

Analisis Penggunaan Struktur Pondasi Plat Lajur Beton Dengan Tanah Dasar Diperbaiki Menggunakan Urugan Sirtu

Analysis Of The Use Of Foundation Structure Of Slab On Reinforced Concrete With Improved Base Soil Using Sand Gravel Fill

Muhammad Rifqi Arya Putra¹⁾, Arief Alihudien²⁾, Ilanka Cahya Dewi³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: rifqip87@gmail.com

²⁾Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: ariefalihudien@unmuhjember.ac.id

³⁾Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: ilankacahyadewi@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Perbaikan tanah menggunakan urugan sirtu terbukti efektif meningkatkan kinerja pondasi plat lajur beton, terutama dalam menurunkan deformasi vertikal dan meningkatkan stabilitas. Pemodelan numerik dilakukan menggunakan PLAXIS 2D pada empat variasi ketebalan urugan (0,8 m, 1,0 m, 1,5 m, dan 2,0 m). Hasil analisis menunjukkan penurunan vertikal menurun dari 2,1 cm menjadi 1,9 cm, sedangkan faktor keamanan meningkat dari 1,84 menjadi 1,982. Semua nilai penurunan berada di bawah batas maksimum SNI 8460:2017, yaitu < 2,5 cm. Hubungan antara ketebalan sirtu dan penurunan membentuk pola kuadratik ($R^2 = 0,9914$), sedangkan terhadap faktor keamanan bersifat linier ($R^2 = 0,6846$). Ketebalan 1,0 m menjadi batas awal efektivitas, di mana lapisan sirtu mulai mendistribusikan beban secara optimal. Perhitungan kekakuan relatif menghasilkan nilai $K_r > 0,5$, sehingga pelat pondasi dengan tebal 0,4 m dikategorikan kaku dan memenuhi syarat perencanaan. Kombinasi kedalaman pondasi 1 meter dengan sirtu 1,5 meter dinilai paling optimal karena memberikan deformasi minimum, distribusi tegangan merata, dan kestabilan struktur yang tinggi.

Kata Kunci : Pondasi plat lajur; Urugan sirtu; Penurunan; Daya Dukung; PLAXIS 2D.

Abstract

Soil improvement using sand-gravel fill (sirtu) has proven effective in enhancing the performance of strip footing foundations, particularly in reducing vertical settlement and increasing structural stability. Numerical modeling using PLAXIS 2D was conducted for four variations of sirtu thickness: 0.8 m, 1.0 m, 1.5 m, and 2.0 m. The results show that vertical settlement decreased from 2.1 cm to 1.9 cm, while the safety factor increased from 1.84 to 1.982. All settlement values remained below the maximum limit set by SNI 8460:2017 (< 2.5 cm). The relationship between sirtu thickness and settlement follows a quadratic pattern ($R^2 = 0.9914$), while its relationship with the safety factor is linear ($R^2 = 0.6846$). The 1.0 m thickness marks the threshold where the fill layer starts to distribute loads effectively. Based on relative stiffness ($K_r > 0.5$), a foundation slab thickness of 0.4 m is considered adequately rigid. The most optimal configuration is a 1-meter-deep foundation combined with 1.5 meters of sirtu, as it yields minimal deformation, uniform stress distribution, and high structural stability.

Keywords: Strip footing; Sand-gravel fill; Settlement; Bearing Capacity; PLAXIS 2D.

1. PENDAHULUAN

Struktur bangunan gedung terdiri atas struktur atas dan struktur bawah, di mana pondasi sebagai bagian dari struktur bawah menjadi elemen pertama yang dikerjakan (Ariani et al., 2023). Pondasi memiliki fungsi utama untuk menyalurkan beban dari struktur bangunan, baik beban mati, beban hidup, maupun beban tambahan lainnya, ke tanah pendukung di bawahnya sehingga tercapai kestabilan dan keamanan struktur secara keseluruhan. Salah satu jenis pondasi dangkal yang banyak digunakan dalam konstruksi adalah pondasi plat lajur beton (*strip footing*). Jenis pondasi ini umumnya diaplikasikan pada bangunan ringan hingga menengah, seperti rumah tinggal, gedung bertingkat rendah, atau bangunan dengan dinding pasangan, terutama pada lokasi dengan kondisi tanah yang memiliki daya dukung cukup baik (Abdullah et al., 2024). Namun, dalam praktiknya, tidak semua lokasi konstruksi memiliki tanah dengan karakteristik ideal.

Pada banyak wilayah, terutama di daerah rawa, pesisir, atau lokasi dengan lapisan tanah lempung tebal, sering dijumpai tanah dengan konsistensi lunak, plastisitas tinggi, dan kandungan air besar. Karakteristik tersebut menyebabkan rendahnya daya dukung tanah serta meningkatnya risiko penurunan berlebihan yang dapat mengganggu kestabilan pondasi dan struktur di atasnya. Oleh karena itu, diperlukan tindakan perbaikan tanah (*soil improvement*) untuk meningkatkan sifat mekanis tanah dasar, seperti memperbesar daya dukung, mengurangi kompresibilitas, dan meningkatkan kestabilan lereng atau lapisan tanah penopang. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah penggantian atau penguatan lapisan tanah dengan urugan sirtu (pasir batu), yang memiliki sifat kepadatan tinggi, permeabilitas baik, serta kemampuan mendistribusikan beban secara merata (Sally Marselina Randang, 2016).

Gedung Halal Center Universitas Islam Negeri KH. Achmad Shiddiq Jember merupakan bangunan dua lantai dengan struktur utama beton bertulang. Pemilihan jenis pondasi pada bangunan ini mempertimbangkan jumlah lantai, beban bangunan, daya dukung tanah, serta potensi penurunan akibat pembebanan.

Sebagai bagian dari tahap perencanaan, dilakukan penyelidikan tanah di lokasi pembangunan menggunakan metode *Cone Penetration Test* (CPT) pada satu titik. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data karakteristik tanah secara vertikal tanpa pengambilan sampel, dengan mencatat nilai tahanan konus (Q_c), gesekan selubung (f_s), dan tekanan pori guna menggambarkan kondisi tanah di lapangan secara lebih akurat (Yunianta et al., 2022).

Perbedaan karakteristik mekanik tanah secara vertikal perlu diperhatikan dalam perencanaan pondasi. Untuk meningkatkan kestabilan dan daya dukung pada lapisan tanah lunak, dapat dilakukan perbaikan menggunakan material urug seperti sirtu. Hal ini penting terutama dalam penerapan pondasi plat lajur, agar sistem pondasi yang digunakan mampu menjamin kekakuan dan keamanan struktur secara menyeluruh (TARIGAN & NALSALITA, 2025). Perbaikan tanah dengan urugan sirtu sebelum pemasangan pondasi plat lajur beton diharapkan dapat memberikan kombinasi kinerja yang optimal, yaitu kekuatan struktur pondasi yang memadai serta kestabilan tanah dasar yang lebih baik. Dengan demikian, perencanaan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam menganalisis efektivitas penggunaan struktur pondasi plat lajur beton pada tanah dasar yang diperbaiki menggunakan urugan sirtu, guna memperoleh daya dukung tanah dan kinerja pondasi yang optimal, khususnya pada proyek pembangunan Gedung Halal Center Universitas Islam Negeri KH. Achmad Shiddiq Jember. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

- 1) Berapa tebal plat pondasi lajur dan tebal tanah yang diperbaiki dengan urugan sirtu untuk memenuhi persyaratan kekuatan perancangan geoteknik?
- 2) Berapa penurunan yang terjadi pada pondasi plat lajur dengan tanah dasar yang diperbaiki menggunakan urugan sirtu pada kedalaman tertentu?

Dari rumusan masalah tersebut penelitian ini memiliki beberapa tujuan, diantaranya :

- 1) Menghitung tebal plat pondasi lajur dan tebal tanah yang diperbaiki dengan urugan

sirtu untuk memenuhi persyaratan kekuatan perancangan geoteknik

- 2) Menghitung penurunan yang terjadi pada pondasi plat lajur dengan tanah dasar diperbaiki menggunakan urugan sirtu pada kedalaman tertentu.

Selain itu, terdapat beberapa batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya :

- 1) Penelitian hanya berfokus pada pondasi plat lajur beton untuk pembangunan Gedung Halal Center Universitas Islam Negeri KH. Achmad Shiddiq Jember
- 2) Data tanah yang digunakan untuk dasar perhitungan daya dukung pondasi ini adalah data hasil uji sondir (Cone Penetration Test / CPT)
- 3) Tidak membahas tentang metode pelaksanaan, analisis biaya, dan manajemen konstruksi.
- 4) Perhitungan kombinasi beban struktur hanya menggunakan software SAP2000
- 5) Perhitungan daya dukung dan penurunan hanya menggunakan software PLAXIS 2D

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Pondasi

Pondasi merupakan elemen dari sistem struktur bawah (substructure) yang berfungsi menopang berat sendiri serta seluruh beban yang berasal dari struktur atas, kemudian menyalurkannya ke lapisan tanah atau batuan di bawahnya. Beban yang diterima dari kolom perlu disalurkan ke bidang tanah dengan luasan yang memadai agar tanah mampu menahan beban tersebut secara aman tanpa mengalami keruntuhan. Pembuatan pondasi bangunan harus diperhitungkan dan menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban berguna dan gaya-gaya luar, seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain, serta tidak boleh terjadi penurunan pondasi setempat ataupun penurunan pondasi yang merata lebih dari batas tertentu (Pribadi & Yonas Prima Arga Rumbyarso, 2023).

Ada dua jenis penyaluran beban pada pondasi yaitu secara end bearing dan friction. End Bearing adalah sebagian besar daya dukungnya akibat dari perlawanan tanah keras pada ujung tiang yang dimasukkan sampai lapisan tanah keras, secara teoritis dianggap

bahwa seluruh beban tiang dipindahkan kelapisan keras melalui ujung tiang. Friction adalah sebagian besar daya dukungnya adalah akibat dari gesekan antara tanah dengan sisi-sisi tiang, dengan kata lain kemampuantiang dalam menahan beban hanya mengandalkan gaya gesekan antara tiang dengan tanah disekelilingnya (Sawitri, 2019).

B. Pondasi Plat Lajur Beton

Pondasi plat lajur merupakan salah satu jenis pondasi dangkal yang berbentuk pelat beton memanjang dan berfungsi menyalurkan beban struktur atas ke tanah dasar secara merata. Pondasi ini umumnya digunakan untuk menopang beban dari elemen struktur seperti dinding atau barisan kolom yang terletak dalam satu garis (Malina, 2015). Dalam aplikasinya, pondasi plat lajur dibuat dari beton bertulang dan dirancang agar dapat menahan beban vertikal serta menjaga kestabilan struktur di atasnya (Alif & Islam, 2020). Penggunaan pondasi ini dianggap efisien dan ekonomis pada bangunan yang memiliki beban tidak terlalu besar serta dibangun di atas tanah dengan daya dukung yang cukup baik (Siregar, 2024). Oleh karena itu, pondasi plat lajur banyak diterapkan pada bangunan rumah tinggal, ruko, dan bangunan bertingkat rendah misalnya pada bangunan yang memiliki 1-2 lantai (Susanta, 2007).

C. Teori Pembebanan Pondasi

Dalam perencanaan serta analisis struktur bangunan, pembebanan merupakan aspek awal yang harus ditentukan secara cermat. Secara umum, beban pada gedung diklasifikasikan menurut arah kerjanya menjadi dua jenis, yaitu beban vertikal dan beban horizontal. Beban vertikal mencakup beban mati (*Dead load*, *D*) dan beban hidup (*Live load*, *L*), sedangkan beban horizontal meliputi pengaruh beban angin dan beban gempa (Anwar & Sasongko, 2024).

D. Metode Kekakuan Pelat Pondasi

Dalam analisis struktur pondasi pada penelitian ini, digunakan pendekatan metode kekakuan (*Stiffness method*) untuk mengevaluasi hubungan antara beban yang bekerja dan respons deformasi sistem pondasi. Menurut Braja M. Das dalam buku *Principles of*

Foundation Engineering, metode kekakuan digunakan untuk menganalisis elemen-elemen pondasi seperti balok pada tanah elastis (*beam on elastic foundation*), di mana pondasi diasumsikan memiliki hubungan linier antara gaya reaksi tanah dan deformasi (Das & Sivakugan, 2018). Dalam konteks penelitian ini, metode kekakuan diterapkan untuk menganalisis interaksi antara plat pondasi dan tanah dasar yang diperbaiki menggunakan urugan sirtu. Kekakuan relatif antara pondasi dan lapisan tanah diperhitungkan dalam model numerik untuk mengetahui distribusi tekanan dan deformasi secara menyeluruh, sebagai bagian dari evaluasi daya dukung dan stabilitas struktur pondasi (Habrianto, 2021). Dalam kondisi ini, pelat pondasi akan mengalami lenturan atau deformasi sesuai dengan perubahan karakteristik tanah di bawahnya. Perhitungan asumsi kekakuan plat pondasi dapat dihitung menggunakan rumus :

$$Kr = \frac{E'Ib}{Es B^3} \quad (1)$$

Dengan :

E' = Modulus elastisitas bahan dalam struktur (kN/m^2)
 E = Modulus elastisitas tanah (kN/m^2)
 B = Lebar (m)
 I = Momen inersia struktur per meter tegak lurus terhadap B (m^3)

$E'Ib$ dapat diperjelas dengan rumus :

$$E'Ib = E' (I_f + \Sigma I'b + \Sigma \frac{ah^3}{12}) \quad (2)$$

Dengan :

$E'I$ = Kekakuan lentur bangunan atas dan pondasi per satuan panjang tegak lurus terhadap B (kN-m)
 $\Sigma E'I$ = Kekakuan lentur anggota rangka tegak lurus terhadap B (kN-m)
 $\Sigma \frac{ah^3}{12}$ = Kekakuan lentur rangka (m^4)
 a = tebal dinding geser (m)
 h = tinggi dinding geser (m)
 $E'IF$ = Fleksibilitas pondasi (m/kN)

Berdasarkan nilai Kr , dapat diasumsikan :

$Kr > 0,5$ = *Rigid plate*
 $Kr < 0,5$ = *Flexible plate*

E. Penurunan Tanah

Penurunan tanah atau *settlement* adalah peristiwa turunnya permukaan tanah atau struktur yang berada di atas tanah akibat

perubahan volume tanah di bawahnya (ANANDIA R & NUR AINI, 2010). Fenomena ini merupakan respons alami tanah terhadap beban yang bekerja, namun keberadaannya perlu diperhitungkan secara cermat dalam perencanaan pondasi. Apabila penurunan yang terjadi melebihi batas toleransi, dapat timbul keretakan pada elemen struktural maupun non-struktural, kemiringan bangunan, hingga kegagalan fungsi struktur secara keseluruhan (Doda, 2024). Secara umum, penurunan tanah dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu penurunan langsung (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*).

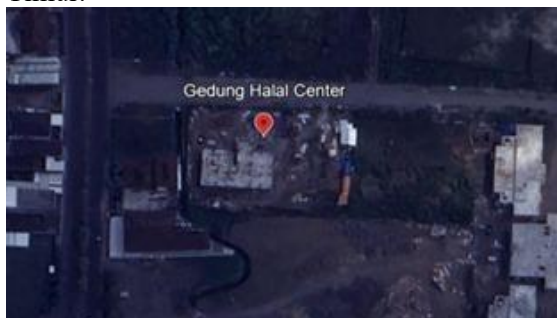
Penurunan langsung terjadi segera setelah beban diaplikasikan ke tanah, disebabkan oleh deformasi elastis butiran tanah serta pengurangan volume pori udara atau air yang tidak signifikan. Fenomena ini umumnya terjadi pada tanah berbutir kasar seperti pasir atau kerikil, yang memiliki permeabilitas tinggi dan tingkat kompresibilitas rendah (Suprayogi, 2021). Berbeda dengan itu, penurunan konsolidasi merupakan penurunan yang terjadi dalam jangka waktu tertentu setelah beban diterapkan. Mekanisme ini berlangsung akibat keluarnya air dari pori-pori tanah jenuh atau mendekati jenuh, sehingga terjadi pemampatan struktur tanah. Besarnya penurunan konsolidasi dipengaruhi oleh karakteristik tanah seperti derajat kejenuhan (S_r) yang berkisar antara 90% hingga 100%, nilai koefisien permeabilitas (k) yang rendah ($< 10^{-6}$ m/s), serta sifat kompresibilitas tanah itu sendiri (Mulyati & Indriastuti, 2006). Proses konsolidasi ini umumnya mendominasi pada tanah berbutir halus seperti lempung, yang memiliki drainase lambat. Penurunan konsolidasi dapat dibagi menjadi dua periode, yaitu penurunan konsolidasi primer dan penurunan konsolidasi sekunder. Penurunan konsolidasi primer terjadi selama proses pengeluaran air dari pori-pori tanah berlangsung hingga tercapai kondisi tegangan efektif akhir yang baru. Setelah proses ini selesai, tanah masih dapat mengalami deformasi tambahan yang disebut penurunan konsolidasi sekunder, yang terjadi akibat penyesuaian struktur butiran tanah dan reorientasi mikrostruktur partikel tanpa adanya perubahan signifikan pada kadar air.

Pemahaman yang mendalam terhadap kedua jenis penurunan ini sangat penting untuk merancang pondasi yang aman dan meminimalkan risiko kerusakan pada struktur selama masa layan. (Karaseran et al., 2015).

3. METODOLOGI

A. Lokasi Penelitian

Gedung Halal Center Universitas Islam Negeri KH. Achmad Shiddiq berlokasi di Jl. Mataram No. 1, Kecamatan Kaliwates, Kelurahan Mangli, Kabupaten Jember, Jawa Timur.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber : Google Earth, 10 Oktober 2024)

B. Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber relevan. Data utama yang dianalisis adalah data hasil uji *Cone Penetration Test* (CPT) atau uji sondir, yang memberikan informasi mengenai karakteristik lapisan tanah di lokasi studi, seperti nilai tahanan konus (q_c) dan interpretasi daya dukung tanah. Selain itu, penelitian ini juga didukung oleh studi pustaka yang mencakup referensi dari jurnal ilmiah, buku teknik sipil, serta dokumen peraturan perencanaan yang berlaku, seperti Standar Nasional Indonesia (SNI). Seluruh data tersebut digunakan untuk mendukung proses analisis teknis, pemodelan, serta perumusan kesimpulan dalam perencanaan pondasi plat lajur dengan perbaikan tanah menggunakan urugan sirtu.

C. Metode Analisa dan Pengolahan Data

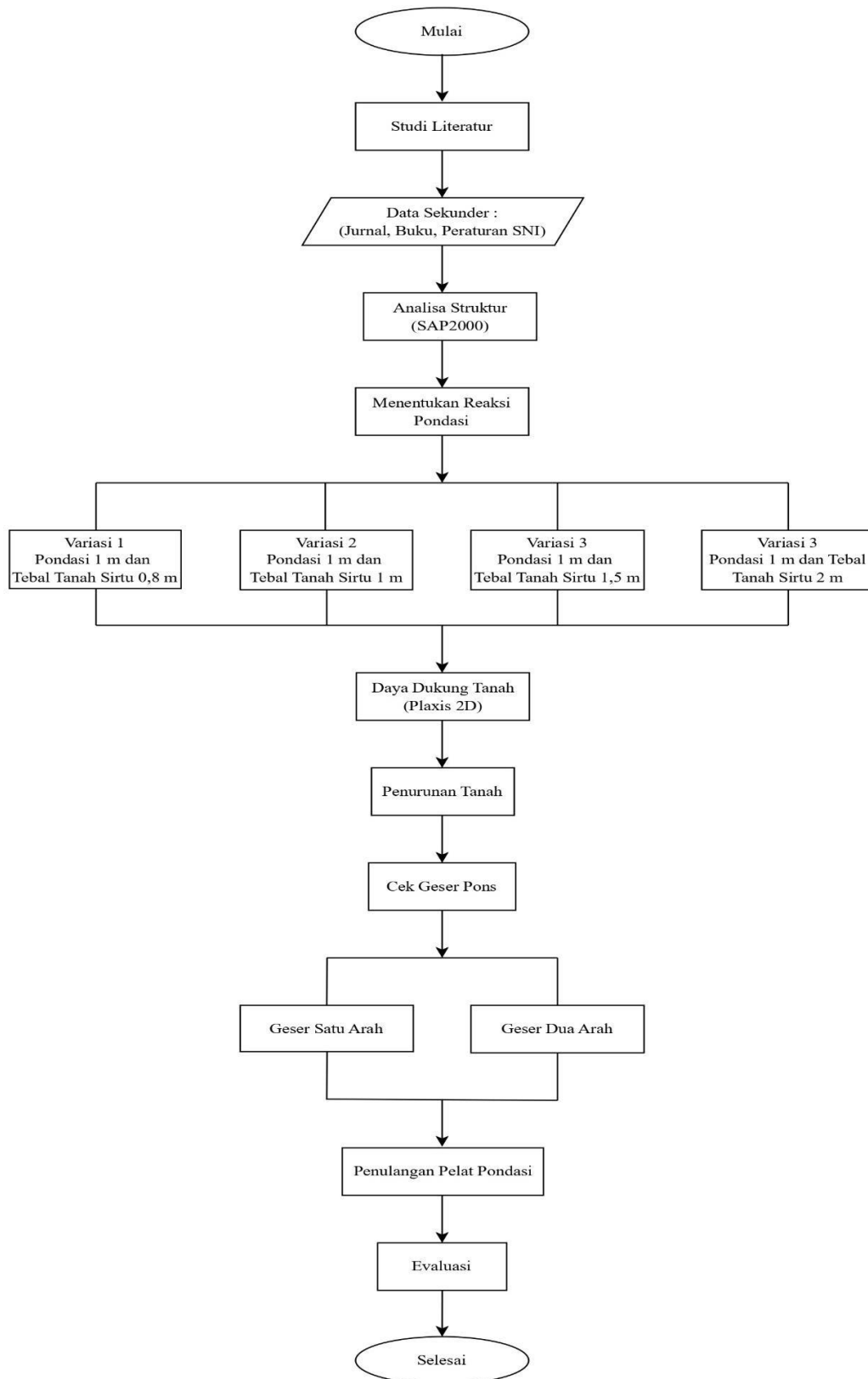
Pada penelitian ini, penulis menganalisis struktur pondasi dengan menggunakan data sekunder yang terdiri dari jurnal, buku, peraturan SNI terbaru dan data tanah sondir yang diperoleh dari proyek. Penelitian dimulai

dengan pengumpulan data sekunder dari literatur yang relevan untuk memahami teori dan konsep yang mendukung perencanaan struktur pondasi. Setelah seluruh data yang diperlukan terpenuhi, penulis melakukan pemodelan struktur atas menggunakan perangkat lunak SAP2000. Tahapan ini bertujuan untuk menghitung serta menganalisis beban-beban yang bekerja pada struktur atas. Beban yang diperhitungkan meliputi beban mati (DL), beban hidup (LL), dan beban gempa (E), yang semuanya mengacu pada ketentuan peraturan dalam SNI. Perhitungan dilakukan secara menyeluruh dengan memanfaatkan fitur-fitur analisis yang tersedia dalam SAP2000. Setelah proses perhitungan selesai, diperoleh hasil yang relevan dan dapat digunakan untuk menganalisis kinerja struktur pondasi, khususnya jenis pondasi plat lajur beton.

Hasil perhitungan dan analisis struktur atas dari SAP2000 digunakan untuk menentukan reaksi awal yang bekerja pada pondasi (q_0). Reaksi tersebut kemudian diinput ke dalam perangkat lunak Plaxis 2D untuk menganalisis kapasitas daya dukung ultimit tanah (q_u) yang terjadi. Setelah diperoleh hasil analisis daya dukung, penulis mengevaluasi kembali hubungan antara kombinasi beban struktur dan pondasi. Evaluasi ini dilakukan dengan menghitung penurunan total pada struktur pondasi plat lajur beton. Perhitungan penurunan mengacu pada ketentuan SNI 8460:2017. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh proses perhitungan telah sesuai dengan standar yang berlaku.

Langkah pertama dalam menganalisis data adalah mengumpulkan informasi yang relevan untuk mendukung proses analisis struktur pondasi. Data yang dikumpulkan meliputi referensi dari jurnal, buku, peraturan SNI, serta data hasil uji *cone penetration test* (CPT) dari proyek terkait. Setelah seluruh data terkumpul, penulis mengolahnya dengan mengacu pada teori dan ketentuan yang sesuai. Pengolahan data dilakukan secara sistematis agar hasil analisis dapat menjawab dari tujuan penelitian. Proses ini menjadi dasar dalam menyusun perencanaan serta evaluasi struktur pondasi secara menyeluruh.

D. Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. Diagram Alur Penelitian
 Sumber : Data Penelitian, 2025

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Data Umum

Gedung Halal Center Universitas Islam Negeri KH. Achmad Shiddiq berlokasi di Jl. Mataram No. 1, Kecamatan Kaliwates, Kelurahan Mangli, Kabupaten Jember, Jawa Timur. Gedung ini digunakan sebagai pusat penelitian, pengembangan, dan pengkajian produk halal. Data bangunan sebagai berikut :

1. Jumlah Lantai = 2 Lantai
2. Mutu Beton (f'_c) = 20 Mpa
3. Mutu Baja (f'_y) = 240 Mpa
4. Lebar Bangunan = 13 m
5. Tinggi Bangunan = 10 m
6. Uk. Kolom 1 = 35 x 35 cm
7. Uk. Kolom 2 = 25 x 30 cm
8. Uk. Balok 1 = 25 x 40 cm
9. Uk. Balok 2 = 20 x 30 cm
10. Ring Balok = 25 x 15 cm



Gambar 2. Tampak Depan Gedung Halal Center Universitas Islam Negeri KH. Achmad Shiddiq Jember
(Sumber : Shop Drawing, 2025)

Informasi karakteristik tanah pada lokasi studi diperoleh melalui pengujian sondir (*Cone Penetration Test/CPT*) yang dilakukan secara langsung oleh pihak pelaksana proyek pada satu titik pengujian. Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa lapisan tanah keras terletak pada kedalaman sekitar 6,6 meter dari permukaan tanah. Profil nilai tahanan ujung konus (q_c) terhadap kedalaman menunjukkan fluktuasi yang menggambarkan variasi daya dukung tanah secara vertikal. Nilai q_c ini kemudian dikonversi ke dalam parameter teknis tanah, seperti nilai N-SPT setara, sudut geser dalam (ϕ), dan modulus elastisitas (E), menggunakan pendekatan empiris yang bersumber dari literatur terpercaya. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai rata-rata q_c sebesar 41 kg/cm² dan angka banding geser (R_f) sebesar 4,149%.

Berdasarkan nilai-nilai tersebut, maka tanah pada lokasi pembangunan dapat diklasifikasikan sebagai tanah pasir. Parameter-parameter ini dimanfaatkan dalam analisis respons pondasi terhadap beban, penilaian kestabilan tanah, serta estimasi penurunan yang mungkin terjadi. Interpretasi data sondir yang akurat sangat penting untuk meminimalkan potensi kegagalan struktur akibat ketidakcocokan antara desain pondasi dan kondisi tanah di lapangan.

Dalam perencanaan struktur bangunan, pembebanan atap merupakan salah satu komponen penting yang harus diperhitungkan secara cermat, karena atap berfungsi sebagai elemen penutup sekaligus pelindung terhadap beban lingkungan. Beban-beban yang bekerja pada struktur atap dapat dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu beban mati (*dead load*) yang terdiri dari berat sendiri struktur atap dan material penutupnya, serta beban hidup (*live load*) yang mengacu pada beban sementara seperti pekerja selama pemasangan atau perawatan. Selain itu, struktur atap juga harus dirancang untuk menahan beban angin dan beban gempa, terutama jika bangunan berada di wilayah rawan gempa atau terbuka terhadap tekanan angin besar (BSN SNI 1727, 2020). Pembebanan pada struktur kuda-kuda meliputi parameter :

Jarak antar kuda – kuda	= 5 m
Jarak antar Gording	= 1,13 m
Beban Penutup Atap Genteng	= 50 kg/m ²
Berat Gording	= 5,5 kg/m
Berat Plafond	= 18 kg/m ²

Kalkulasi beban :

Kuda – kuda	= 5 m
Berat Gording	= 5,5 kg
Berat total gording	= 5 x 5,5 = 27,5 kg/m ²
Beban Penutup Atap Genteng	= 50 kg/m ²
Jarak antar Gording	= 1,13 m
Jarak antar kuda – kuda	= 5 m
Berat total Penutup Atap	= 50 x 1,13 x 5 = 282,5 kg/m ²
Total	= 27,5 kg/m ² <u>282,5 kg/m²</u> + 310 kg/m ²

$$\begin{aligned} \text{Asumsi Penambahan (10\%)} &= 310 \times 0,1 \\ &= 31 \text{ kg} \\ \text{Berat Plafond} \times \text{Jarak kuda-kuda} \times \text{Bentang} &+ \\ \frac{18 \times 5 \times 13}{17} &= 68,82353 \text{ kg} \\ \text{Total Keseluruhan} &= 409,8235 \text{ kg} \end{aligned}$$

B. Pembebanan Struktur

Dalam analisis penggunaan struktur pondasi plat lajur beton, pembebanan struktur menjadi aspek utama untuk menentukan hasil perhiungan gaya dan distribusi tekanan tanah. Dalam tahap ini dilakukan penentuan pembebanan struktur yang meliputi beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban gempa (*earthquake load*), serta beban tambahan yang relevan dengan kondisi yang terjadi di lapangan. Beban mati mencakup seluruh berat sendiri dari elemen struktur, termasuk pelat, balok, kolom, serta beban non-struktural seperti penutup atap, plafon, dan lapisan finishing (Aulia, 2024). Beban hidup disesuaikan dengan fungsi ruang yang berada di atas struktur, dengan nilai yang mengacu pada SNI 1727:2020 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain.

- Beban mati mencakup elemen non-struktural seperti penutup atap (misalnya genteng metal), plafon, pelapis lantai, dinding pengisi, serta bahan pelapis lainnya yang terpasang secara permanen pada bangunan.

1. Berat masing masing lantai

Beban hidup atap	= 100 kg/m ²
Beban hidup lantai	= 250 kg/m ²
Beban hidup tangga	= 300 kg/m ²
Beban tembok ½ bata	= 250 kg/m ²
Beban kaca	= 10 kg/m ²
Tebal pelat atap	= 0,10 m
Tebal pelat lantai	= 0,12 m
Berat plafond + rangka	= 20 kg/m ²
Koefisien reduksi	= 0,9
Panjang bangunan	= 26 m
Lebar bangunan	= 13 m
Ukuran balok 1, b	= 0,25 m
h	= 0,40 m
Ukuran balok 2, b	= 0,20 m

h	= 0,30 m
Ukuran kolom 1, b	= 0,35 m
h	= 0,35 m
Ukuran kolom 2, b	= 0,25 m
h	= 0,30 m

2. Lantai 2

Balok Ring	= 40846 kg
Kolom 35x35	= 55296 kg
Kolom 12x30	= 15552 kg
Balok arah y	= 10483,2 kg
Balok arah x	= 2870,4 kg
Tembok ½ bata	= 1149200 kg
Plafond	= 6760 kg
Beban hidup	= 16900 kg
Beban total	= 1253179,6 kg
	= 12531,796 kN

3. Lantai 1

Kolom 35x35	= 41454 kg
Balok 25x40	= 17472 kg
Balok 20x30	= 2246,4 kg
Tembok ½ bata	= 1149200 kg
Plafond	= 6760 kg
Beban hidup	= 16900 kg
Beban total	= 1234032,4 kg
	= 12340,324 kN

Beban total lantai 1-2 = 24872,12 kN

- Beban hidup ditentukan berdasarkan fungsi bangunan sebagai ruang kelas, dengan acuan nilai sebesar 250 kg/m² sesuai standar minimum dalam SNI 1727:2020 mengenai perencanaan struktur bangunan. Beban ini meliputi massa dari penghuni, perabot, serta aktivitas umum yang berlangsung di dalam ruangan. Beban hidup diasumsikan terdistribusi secara merata dan bekerja secara vertikal ke bawah pada seluruh area lantai.
- Beban gempa pada perencanaan pondasi plat lajur beton ditentukan berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Penentuan beban ini mempertimbangkan beberapa faktor penting, yaitu zona seismik Kabupaten Jember yang menunjukkan tingkat percepatan gempa rencana, klasifikasi jenis tanah di lokasi proyek yang memengaruhi respons spektrum desain, serta sistem struktur bangunan yang digunakan sesuai

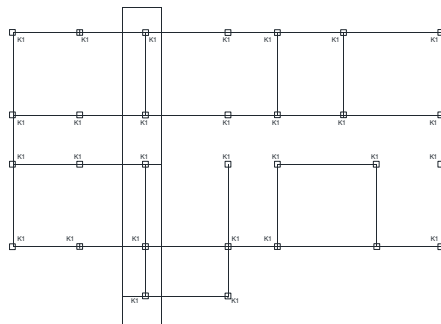
kategori desain seismik. Perhitungan gaya gempa dilakukan dengan metode statik ekuivalen (*Equivalent Static Method*), yang melibatkan penentuan parameter percepatan desain, koefisien gempa, serta berat seismik total struktur. Gaya gempa total yang diperoleh selanjutnya didistribusikan secara proporsional ke masing-masing elemen struktur atas, seperti balok, kolom, dan dinding geser, sesuai dengan kekakuan relatifnya. Beban lateral yang telah didistribusikan tersebut kemudian diteruskan ke pondasi plat lajur beton melalui sistem rangka bangunan, sehingga pondasi harus dirancang untuk mampu menahan kombinasi beban vertikal dan lateral akibat pengaruh gempa tanpa melebihi kapasitas dukung tanah maupun kapasitas struktural pondasi itu sendiri.

C. Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Plat Lajur Beton

Diketahui hasil analisis dilapangan dan analisis struktur gedung.

1. Menentukan Pusat Beban Pondasi

- Asumsi tebal pelat = 0,5 m
- L = 18 m
- B = 2 m
- Berat Jenis Beton = 24 kN/m³
- Volume = 14,4 m³



Gambar 3. Rencana Pondasi Plat Lajur Beton

(Sumber : Dokumentasi Pribasi, 2025)

2. Distribusi Beban di bawah plat pondasi

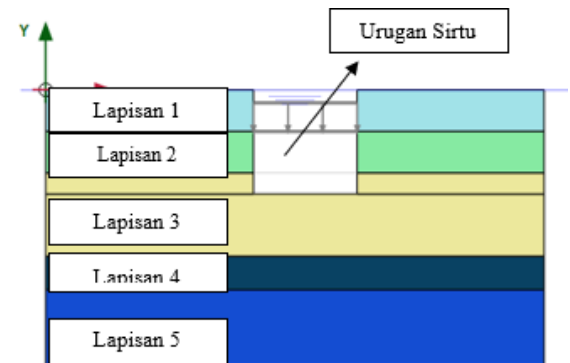
- V = 1174,39 kN
 - Mx = 34,085 kN-m
 - My = 168,761 kN-m
3. Luas Penampang Pondasi = 36 m²
 4. Sumbu (Ix) = 12 m⁴
 5. Sumbu (Iy) = 972 m⁴

6. Sumbu x = 9 m
7. Sumbu y = 1 m
8. X = 17254,7 kN-m
9. ΣMy = 17423 kN/m
10. X' = 11,46 kN-m
11. Ex (Eksentrisitas) = 2,46 m
12. Nilai q0 (max) = 79,72 kN/m²
13. Nilai q0 (min) = 4,719 kN/m²

C. Analisa Penurunan dengan Software Plaxis 2D

Penurunan total pondasi dihitung untuk mengetahui besarnya penurunan vertikal yang terjadi akibat beban yang bekerja pada struktur. Perhitungan penurunan dilakukan berdasarkan parameter tanah yang diperoleh dari data uji sondir di lapangan. Dalam menganalisis penurunan pondasi, penulis menggunakan alat bantu berupa software Plaxis 2D untuk mengetahui berapa besar penurunan pondasi akibat beban yang bekerja pada struktur atas. Selain menganalisis penurunan, software Plaxis 2D juga dapat menentukan nilai SF (*Safety Factor*) yaitu nilai keamanan tanah yang mendapat beban vertikal dari struktur atas (Sandy&Ramadlan,2022). Berikut adalah tahapan – tahapan dalam menganalisis menggunakan software Plaxis 2D:

1. Pemodelan Geometri



Gambar 4. Pemodelan Tanah Pada Plaxis 2D

(Sumber : Plaxis 2D, 2025)

Parameter tanah yang digunakan untuk input material dan struktur pondasi pada Plaxis 2D adalah hasil perhitungan.

2. Melakukan Perhitungan

Proses perhitungan terbagi dalam 3 tahapan, termasuk tahap tegangan awal (*initial phase*), tahap menginput beban

pondasi vertikal dan tahap penentuan faktor keamanan. Setiap tahapan perhitungan memiliki parameter yang telah ditentukan.

3. Hasil Penurunan

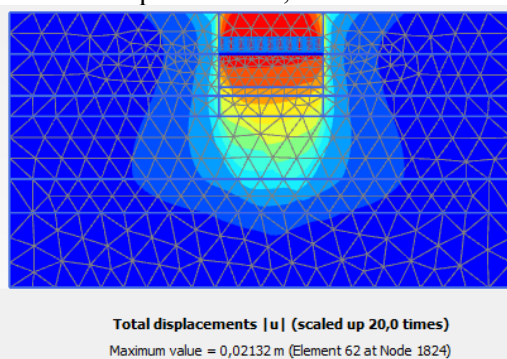
Output hasil penurunan menunjukkan perubahan ketinggian atau pergerakan tanah di sepanjang struktur atau area tertentu. Ini penting untuk menilai deformasi tanah yang mungkin terjadi akibat beban struktural atau perubahan lingkungan. Hasil penurunan ini biasanya disajikan dalam bentuk grafik atau laporan numerik, memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi dampaknya terhadap struktur terkait.

4. *Safety Factor*

Faktor keamanan (*safety factor*) adalah ukuran untuk menilai sejauh mana suatu struktur aman dari kegagalan. Dalam analisis geoteknik menggunakan Plaxis 2D, faktor ini digunakan untuk mengevaluasi stabilitas pondasi, dinding penahan tanah, lereng, dan struktur bawah lainnya terhadap berbagai beban dan kondisi tanah.

Analisis perbandingan penurunan dan faktor keamanan dilakukan dengan memvariasikan ketebalan urugan sirtu sebagai lapisan perbaikan tanah dasar. Empat skenario pemodelan disusun, yakni:

A. Pondasi pada kedalaman 1 meter dengan ketebalan lapisan sirtu 0,8 meter

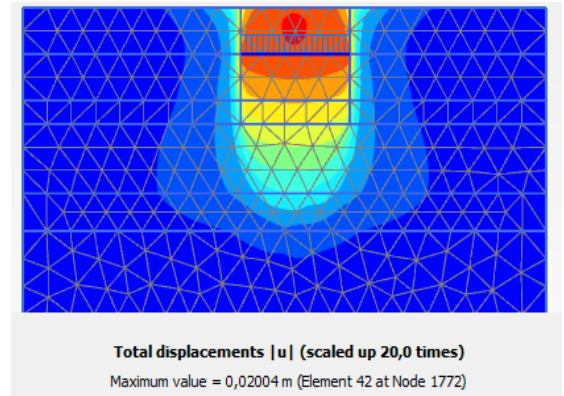


Gambar 5. Penurunan Tanah Variasi 1
(Sumber : Plaxis 2D, 2025)

Pada variasi pertama, pondasi diletakkan pada kedalaman 1 meter dengan urugan sirtu setebal 0,8 meter. Hasil simulasi PLAXIS 2D menunjukkan penurunan sebesar 2,1 cm, masih di bawah

batas toleransi SNI ($< 2,5$ cm), dengan deformasi merata di dasar pondasi. Faktor keamanan yang diperoleh adalah 1,84.

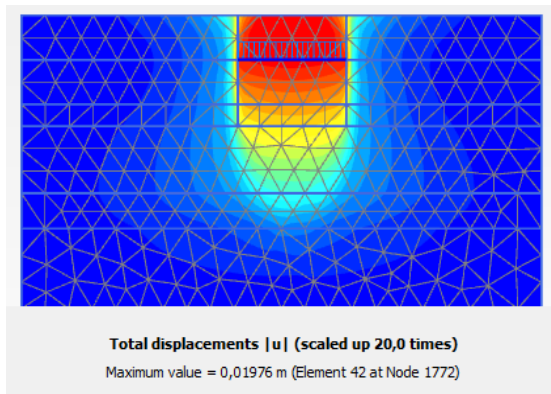
B. Pondasi pada kedalaman 1 meter dengan ketebalan lapisan sirtu 1 meter



Gambar 6. Penurunan Tanah Variasi 2
(Sumber : Plaxis 2D, 2025)

Pada variasi kedua, pemodelan dilakukan dengan menempatkan pondasi pada kedalaman 1 meter dari permukaan tanah, di mana lapisan tanah dasar telah diperbaiki menggunakan urugan sirtu setebal 1 meter. Nilai penurunan vertikal yang dihasilkan dari analisis masih berada dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh SNI, yaitu kurang dari 2,5 cm. Berdasarkan hasil perhitungan, penurunan vertikal yang terjadi adalah 0,020 m atau 2 cm, dengan pola deformasi yang cenderung merata di sepanjang area dasar pondasi. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi beban dari pondasi ke tanah dasar berlangsung secara seragam, sehingga meminimalkan risiko terjadinya penurunan diferensial (differential settlement). Selain itu, hasil analisis stabilitas menunjukkan faktor keamanan (*Safety Factor*) sebesar 1,94, yang berada di atas nilai minimum yang direkomendasikan untuk pondasi bangunan. Nilai ini mengindikasikan bahwa sistem pondasi dengan konfigurasi perbaikan tanah menggunakan urugan sirtu setebal 1 meter pada kedalaman 1 meter memiliki kinerja struktural dan geoteknis yang memadai, baik dari segi daya dukung maupun kestabilan terhadap beban yang bekerja.

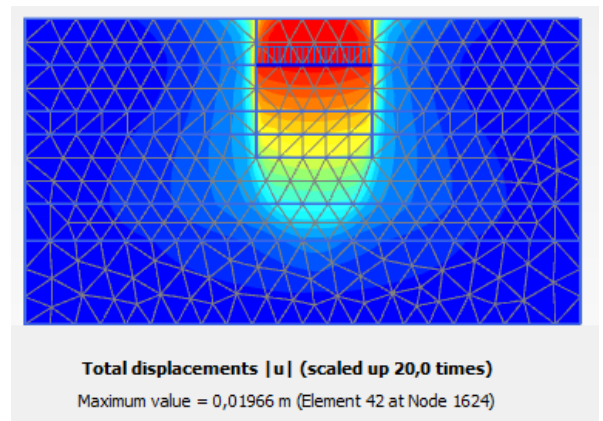
C. Pondasi pada kedalaman 1 meter dengan ketebalan sirtu 1,5 meter



Gambar 7. Penurunan Tanah Variasi 3
(Sumber : Plaxis 2D, 2025)

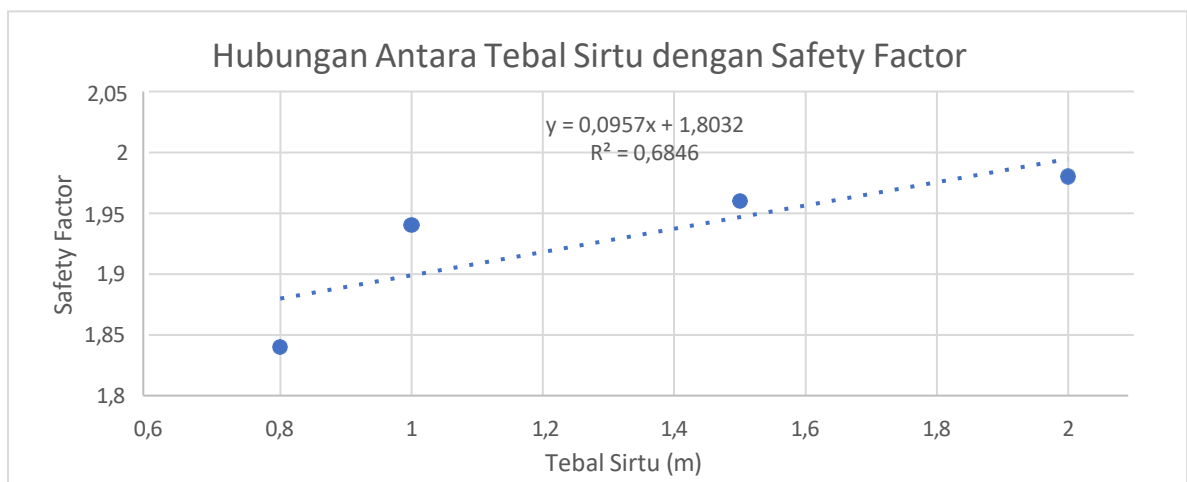
Pada variasi ketiga, pemodelan dilakukan dengan meletakkan pondasi pada kedalaman 1 meter dari permukaan tanah, dengan lapisan perbaikan berupa urugan sirtu setebal 1 meter. Hasil simulasi menggunakan PLAXIS 2D menunjukkan bahwa konfigurasi ini memberikan respons tanah yang cukup baik terhadap beban yang diterapkan. Nilai penurunan vertikal yang terjadi masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan menurut ketentuan SNI yaitu $< 2,5$ cm, sedangkan penurunan yang terjadi setelah menganalisa pada program plaxis sebesar 0,019 m atau 1,9 cm, dengan deformasi yang cenderung merata di sepanjang area dasar pondasi. Faktor keamanan (*Safety Factor*) yang diperoleh pada kondisi ini juga menunjukkan nilai 1,952.

D. Pondasi pada kedalaman 1 meter dengan ketebalan sirtu 2 meter.



Gambar 8. Penurunan Tanah Variasi 4
(Sumber : Plaxis 2D, 2025)

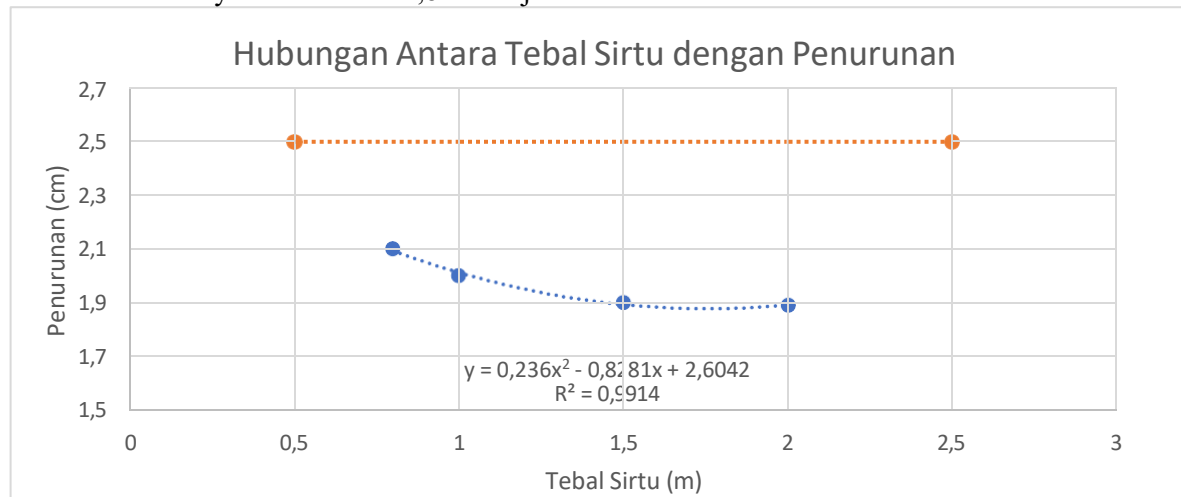
Pada variasi ketiga, pemodelan dilakukan dengan meletakkan pondasi pada kedalaman 1 meter dari permukaan tanah, dengan lapisan perbaikan berupa urugan sirtu setebal 2 meter. Hasil simulasi menggunakan PLAXIS 2D menunjukkan bahwa konfigurasi ini memberikan respons tanah yang cukup baik terhadap beban yang diterapkan. Nilai penurunan vertikal yang terjadi masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan menurut ketentuan SNI yaitu $< 2,5$ cm, sedangkan penurunan yang terjadi setelah menganalisa pada program plaxis sebesar 0,019 m atau 1,9 cm, dengan deformasi yang cenderung merata di sepanjang area dasar pondasi. Faktor keamanan (*Safety Factor*) yang diperoleh pada kondisi ini juga menunjukkan nilai 1,982.



Gambar 9. Grafik Hubungan Antara Tebal Sirtu dengan Safety Factor
(Sumber : Data Penelitian, 2025)

Gambar menunjukkan hubungan linier antara ketebalan lapisan sirtu dan nilai safety factor berdasarkan analisis numerik. Persamaan regresi $y = 0,0957x + 1,8032$ dengan $R^2 = 0,6846$ menunjukkan bahwa 68,46% variasi safety factor dipengaruhi oleh ketebalan sirtu. Peningkatan ketebalan dari 0,8 m hingga 2,0 m menaikkan safety factor dari 1,84 menjadi

hampir 1,98, dengan lonjakan paling signifikan terjadi antara 0,8 m dan 1,0 m. Hal ini disebabkan karena pada ketebalan awal, lapisan sirtu belum efektif memutus interaksi langsung dengan tanah asli, sementara ketebalan 1,0 m sudah cukup untuk mendistribusikan beban dan meningkatkan kapasitas geser.



Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Tebal Sirtu dengan Penurunan
(Sumber : Data Penelitian, 2025)

Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan ketebalan sirtu secara signifikan mengurangi penurunan tanah, dengan hubungan kuadratik $y = 0,236x^2 - 0,8281x + 2$ dan $R^2 = 0,9914$. Penurunan terbesar terjadi pada ketebalan 0,2 m sebesar 2,5 cm, sementara pada 1,5 m turun menjadi sekitar 1,9 cm. Semua nilai masih memenuhi batas SNI ($< 2,5$ cm). Secara teknis dan ekonomis, ketebalan 0,2 m dianggap efisien karena memenuhi standar penurunan dengan biaya material yang lebih rendah. Namun, peningkatan ketebalan perlu dipertimbangkan jika manfaat teknis dianggap sepadan dengan biaya tambahan.

D. Perhitungan Ketebalan Plat

Dalam perencanaan pondasi plat lajur, nilai K_r menjadi pertimbangan penting dalam menentukan tebal plat yang dibutuhkan. Ketebalan plat harus cukup untuk menjamin kekakuan struktur dalam mendistribusikan beban secara merata dan mencegah deformasi yang berlebihan akibat tekanan tanah. Oleh karena itu, dengan mengetahui nilai modulus elastisitas bahan beton dan kondisi tanah di lokasi (yang tercermin melalui E_s), maka tebal

plat dapat direncanakan secara rasional menggunakan pendekatan kekakuan relatif ini. Nilai K_r digunakan untuk menentukan tingkat kekakuan relatif antara elemen struktural (plat pondasi) dan tanah pendukungnya. Jika nilai K_r tinggi, berarti plat relatif kaku terhadap tanah, dan beban lebih merata di sepanjang panjang pondasi. Sebaliknya, jika K_r rendah, maka plat lebih fleksibel, dan beban akan lebih terkonsentrasi pada bagian tertentu. Berikut adalah perhitungan ketebalan plat :

$$K_r = \frac{E'lb}{E_s \times B^3} = \frac{21019038,99 \times 0,010666667}{22500 \times 8} = 1,25 > 0,5 \text{ (Kaku)}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal Plat} &= 0,4 \text{ m} \\ &= 40 \text{ cm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang mengacu pada nilai kekakuan relatif antara struktur plat pondasi dan tanah dasar, diperoleh bahwa tebal plat pondasi yang memenuhi kriteria kekakuan adalah sebesar 0,4 meter.

Ketebalan ini dipilih untuk memastikan bahwa plat memiliki kekakuan yang cukup dalam menahan beban struktur dan mendistribusikannya secara merata ke tanah di bawahnya.

Nilai tebal 0,4 meter dinilai memadai berdasarkan perbandingan antara modulus elastisitas material beton dan modulus elastisitas tanah (E_s) di lokasi, serta memperhatikan lebar efektif pondasi (B). Dengan ketebalan ini, nilai kekakuan relatif (K_r) berada pada kisaran yang menunjukkan bahwa plat berperilaku cukup kaku terhadap tanah, sehingga risiko penurunan diferensial dan konsentrasi tegangan pada area tertentu dapat diminimalkan.

A. Cek Geser Pons dan Penulangan Lentur

Keruntuhan geser pons adalah kegagalan yang dapat terjadi pada pelat beton bertulang akibat gaya tekan terpusat dari kolom, bersifat tiba-tiba dan getas, sehingga perlu evaluasi kapasitas geser pelat. Analisis menggunakan pendekatan keliling kritis, yaitu pada jarak setengah tinggi efektif pelat dari tepi kolom, sesuai SNI 2847:2019. Selain terhadap kolom, geser pons juga dapat terjadi akibat reaksi tanah. Pemeriksaan ini bertujuan memastikan pondasi mampu menahan gaya geser dari tekanan tanah di bawahnya. Analisis dilakukan dengan menentukan gaya geser maksimum dan membandingkannya dengan kapasitas geser material pondasi. Selanjutnya disajikan perhitungan untuk cek geser pons satu arah (tanah) dan dua arah (kolom).

1. Cek Geser Satu Arah

Tebal yang diperlukan untuk geser satu arah yaitu :

$$d = \frac{V_u}{0,17 \sqrt{f'_c} b} = \frac{252000}{0,75 \times 0,17 \times \sqrt{20^5} \times 2000} = 220,976 \text{ mm}$$

$$d = 220,976 \text{ mm} < 400 \text{ mm (OK)}$$

2. Cek Geser Dua Arah

$$\phi V_c > N$$

$$87654 \text{ kg/m}^3 > 35960 \text{ kg/m}^3 \text{ (OK)}$$

Berarti dimensi plat pondasi bisa dipakai.

3. Penulangan Lentur

$$D = 16 \text{ mm}$$

$$S = 150 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ Pakai} = 2679,466 \text{ mm}^2$$

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Hasil dari analisis dan perhitungan dalam penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Berdasarkan hasil analisis, tebal plat pondasi lajur sebesar 40 cm terbukti memenuhi persyaratan kekuatan dan kestabilan struktur terhadap beban mati, hidup, dan gempa. Perbaikan tanah menggunakan urugan sirtu setebal 1,5 m eter secara signifikan meningkatkan daya dukung dan mengurangi deformasi tanah. Kombinasi kedalaman pondasi 1 meter dan urugan sirtu 1,5 meter memberikan distribusi tegangan yang merata serta penurunan vertikal yang minimal. Konfigurasi ini dinilai paling efektif untuk meningkatkan performa pondasi pada tanah kurang stabil di lokasi studi Gedung Halal Center UIN KH. Achmad Shiddiq Jember.
2. Analisis penurunan pondasi dengan PLAXIS 2D menunjukkan bahwa konfigurasi pondasi pada kedalaman 1 meter dengan urugan sirtu setebal 1,5 dan 2 meter menghasilkan penurunan total terkecil, yaitu 1,98 cm, masih di bawah batas toleransi SNI 8460-2017 yaitu $< 2,5$ cm. Ketebalan urugan sirtu terbukti efektif dalam mengurangi deformasi vertikal, memperbaiki redistribusi tegangan, serta menjaga kestabilan struktur. Strategi ini sangat tepat diterapkan pada bangunan bertingkat seperti Gedung Halal Center yang menuntut performa dan kenyamanan jangka panjang.

B. Saran

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa rekomendasi atau saran yang dapat disampaikan oleh penulis untuk penelitian selanjutnya :

1. Penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan lapisan perbaikan tanah sangat mempengaruhi performa pondasi. Oleh

karena itu, pada proyek konstruksi yang berada di atas tanah lunak, disarankan untuk merancang sistem pondasi dengan mempertimbangkan optimalisasi tebal lapisan urugan, agar penurunan dan risiko kerusakan struktur dapat diminimalkan sejak awal.

2. Penggunaan metode numerik seperti PLAXIS 2D terbukti sangat membantu dalam memprediksi perilaku pondasi dan tanah. Namun, agar hasil lebih representatif, disarankan untuk dilengkapi dengan kalibrasi data berdasarkan uji laboratorium atau uji lapangan tambahan, seperti uji pembebanan langsung.
3. Untuk penelitian lanjutan, disarankan dilakukan analisis komparatif antara biaya pelaksanaan dari masing-masing variasi desain pondasi dan perbaikan tanah yang diuji. Hal ini akan memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai keseimbangan antara kinerja struktur dan efektivitas anggaran proyek.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Syarif, M., Imran, M., Yusri, A., Idrus, I., Artayani, M., Puspaningtyas, R., Binti, A. S. J., Wantouw, S., & Tiagas, D. H., 2024. *Struktur Dan Konstruksi Bangunan Sederhana*. Tohar Media. Makassar.
- Alif, M. H., dan Islam, H., 2020. Perencanaan Fondasi Plat Lajur Pada Gedung Auditorium Universitas Wahidiyah Kediri. *Kedung Karya 1* (1): 14-23.
- Anandia R, A., Dan Nur Aini, S. 2010. Analisis Dan Alternatif Penanganan Kelongsoran Tanah Di Perumahan Bukit Manyaran Permai (Bmp) Semarang “Analisis And Alternative Of Landslide Handling At Bukit Manyaran Permai (Bmp) Semarang.”. Tesis. Fakultas. Teknik Universitas Diponegoro.
- Anwar, K., dan Sasongko, J., 2024. Analisa Rekayasa Nilai (Value Engineering) pada Struktur Bangunan SDN Karangketug 3 Kota Pasuruan. *AKADEMIK: Jurnal Mahasiswa Humanis*, 4(3), 1026–1039.
- Ariani, I., Aditya, M. R., dan Jamal, M., 2023. Analisis Elemen Struktur Balok Dan Kolom Beton Bertulang (Studi Kasus Gedung Dealer Honda Astra Kota Samarinda). *Teknologi Sipil : Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 7(1), 29.
- Aulia, S. N. 2024. Analisis Pembebanan Dan Perbandingan Pondasi Tiang Bor Dengan Tiang Pancang Pada Jembatan Surah STA 12+195 (Loading Analysis And Comparison Of Bore Pile Foundations With Piles On Surah Bridge STA 12+195) (Studi Kasus Proyek Tol Solo-Yogyakarta Kulon Progo Seksi 1 Paket 1.1 Solo-Klaten). Tesis. Fakultas Teknik Universitas Islam Indonesia.
- BSN SNI 1727. (2020). SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. *Jakarta*, 8, 1–336.
- Das, B. M., & Sivakugan, N. 2018. *Principles of foundation engineering*. Edisi 7. Cengage learning. USA.
- Doda, N. 2024. *Pondasi Lanjutan*. Widina Media Utama. Bandung.
- Habrianto, A. G. 2021. Evaluasi Perbandingan Daya Dukung Pondasi Berdasarkan Analisis Numerik 3 Dimensi Dengan Hasil Uji Pda Test Pada Pembangunan Kantor Pt. Daya Adicipta Mustika Bandung. Tesis. Fakultas Teknik Institut Teknologi Nasional.
- Karaseran, A. J. Sompie, O. B. A. dan Balamba, S. 2015. Pengaruh Bahan Campuran Arang Tempurung Terhadap Konsolidasi Sekunder Pada Lempung Ekspansif. *Jurnal Sipil Statik*. 3 (8) : 543-553.
- Malina, M. 2015. Tinjauan Perencanaan dan Metode Pelaksanaan Pondasi Sumuran. Tesis. Politeknik Negeri Manado.
- Mutiarasella, N. 2022. Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Bor Pada Gedung Masjid Hajjah Yuliana Bearing Capacity And Settlement Analysis Of Borepile Foundation On The Hajjah Yuliana Mosque. Tesis. Universitas Islam Indonesia.
- DPU. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung*. Yayasan Badan Penerbit PU. 5-9.
- Pribadi, G. dan Rumbyarso, Y. P. A. 2023. Analisis Perbandingan Daya Dukung dan

- Penurunan Pondasi Tiang Bor Dengan Perhitungan Manual dan Software ALLPILE. *Jurnal TESLINK : Teknik Sipil Dan Lingkungan*. 5 (2) : 16-20. <https://doi.org/10.52005/teslink.v5i2.301>
- Randang, S. M. 2016. Perhitungan Struktur Bawah Dan Perencanaan Manajemen Sumber Daya Pada Proyek Pembangunan Plaza Ratahan Di Minahasa Tenggara. Tesis. Politeknik Negeri Manado.
- Sandy, Y. T. dan Ramadlan, Z. A. 2022. Analisa Daya Dukung dan Penurunan Tanah terhadap Pondasi Bored Pile pada Proyek Gedung Student Center Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Tesis. Universitas Islam Sultan Agung.
- Siregar, L. I. 2024. Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Pile pada Proyek Pembangunan Gedung Living Plaza Cemara Asri Medan. Tesis. Universitas Medan Area.
- Suprayogi, B. 2021. Analisis Numerik Perbandingan Perilaku Timbunan di Atas Tanah Lunak Tanpa Perkuatan dan Perkuatan Sistem Pelat Terpaku. Tesis. Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. <http://repository.uir.ac.id/id/eprint/15150>
- Tarigan, B. R. dan Nalsalita, E. 2025. Evaluasi Daya Dukung Dinding Penahan Tanah Pada Rumah Pompa Air Limbah Di Jalan Sidorukun Medan. Tesis. Fakultas Teknik Universitas Islam Sumatera Utara.
- Yunianta, A. Astari, M. D. Rochmawati, R. Sila, A. A. Widiati, I. R. Lapian, F. E. P. dan Mabui, D. S. S. 2022. *Pengujian Tanah Di Laboratorium*. CV. Tohar Media. Makassar.