TUGAS AKHIR

EVALUASI FONDASI TELAPAK EKSISTING MENGGUNAKAN TEORI TERZAGHI-BOWLES DAN PEMODELAN PLAXIS 2D PADA GEDUNG PENDIDIKAN UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA GUNUNGKIDUL

(EVALUATION OF EXISTING FOOTING FOUNDATION USING TERZAGHI-BOWLES THEORY AND PLAXIS 2D AT THE EDUCATIONAL BUILDING OF YOGYAKARTA STATE UNIVERSITY IN GUNUNGKIDUL)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Achmad Al Revanza Nugraha
22511165

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL – PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DESAIN DAN INOVASI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2026

TUGAS AKHIR

EVALUASI FONDASI TELAPAK EKSISTING MENGGUNAKAN TEORI TERZAGHI-BOWLES DAN PEMODELAN PLAXIS 2D PADA GEDUNG PENDIDIKAN UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA GUNUNGKIDUL

(EVALUATION OF EXISTING FOOTING FOUNDATION USING TERZAGHI-BOWLES THEORY AND PLAXIS 2D AT THE EDUCATIONAL BUILDING OF YOGYAKARTA STATE UNIVERSITY IN GUNUNGKIDUL)

Disusun Oleh

Achmad Al Revanza Nugraha

22511165

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 13 Agustus 2026

Oleh Dewan Penguji:

Dosen Pembimbing :
Ir. Muhammad Irfan Marasabessy, S.T., M.T.
NIK : 245110502
Tanggal : 27 Agustus 2026

Penguji I :
Dr. Ir. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.
NIK : 045110407
Tanggal : 29 Agustus 2026

Penguji II :
Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.
NIK : 215111305
Tanggal : 27 Agustus 2026

Mengesahkan,
Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana

31/8-26

Putut Anggraheni, S.T., M.Eng.
NIK : 165110105

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain dan Inovasi, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 31 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan,



Achmad Al Revanza Nugraha

22511165

Dipindai dengan CamScanner

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji dan syukur yang saya panjatkan kepada ALLAH SWT. tuhan semesta alam yang mana atas segala limpahan rahmatnya, sehingga saya Achmad Al Revanza Nugraha selaku penulis Laporan Tugas Akhir dengan judul Evaluasi Fondasi Telapak Eksisting Menggunakan Teori Terzaghi-Bowles dan Pemodelan PLAXIS 2D pada Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta Gunungkidul dapat diselesaikan. Adapun tujuan dari penyusunan laporan ini, yaitu sebagai salah satu persyaratan akademik dalam Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain dan Inovasi, Universitas Islam Indonesia untuk mendapatkan gelar sarjana strata satu.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, saya sebagai peneliti sangat banyak mendapat bantuan, arahan bimbingan serta kritik dan saran sehingga saya dapat menyelesaikan laporan ini dengan hasil yang baik. Dengan ini, saya ingin menyampaikan terima kasih saya kepada:

1. Bapak Ir. Muhammad Irfan Marasabessy, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir saya yang telah memberikan bimbingan ilmu dan arahan selama penyusunan sehingga laporan ini dapat terselesaikan sesuai dengan apa yang diharapkan.
2. Ibu Dr. Ir. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I.
3. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji II.
4. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Achmad Kusnan dan Ibu Dewana Indrianti Nasution yang selalu mendoakan, membantu serta memberi dukungan semangat dalam pelaksanaan penelitian hingga penyusunan laporan ini.
5. Teman–teman JOTOS (Firda Maulidyah Sari, Helga Natura Khalida, Ika Nur Fatma Sholiha Lubis, Marfa Lena Sangkala, Muhammad Febriansyah Fajar Sidiq, Syahrul Ramadhan Rahman), Abdullah Rafi' Al Anshory, Aliffiandra Hanung Wijaya yang telah menemani dan memberikan saran kepada peneliti selama proses penulisan laporan ini.

6. Teman–teman PENDEKAR HI (Aurora Dinar Wijaya Kusuma, Cut Azlina Samratul Inayah, Dyas Alea Fatin, Hilyatul Abror Nawawi, Ilham Danu Rizal, Valiza Uzma Putri Karlina) yang mau mendengarkan setiap keluh kesah peneliti serta menghibur dan memberikan semangat selama proses penulisan laporan.
7. Semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang saya tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Dengan penuh kesadaran, saya mengakui bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saya memohon maaf apabila ada kesalahan atau kekurangan dan dengan kerendahan hati saya menerima kritik dan saran dari pembaca demi menyempurnakan laporan ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat dan menjadi bernilai bagi pembacanya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 2026

Achmad Al Revanza Nugraha
22511165

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL		i
HALAMAN PENGESAHAN		ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI		iii
KATA PENGANTAR		iv
DAFTAR ISI		vi
DAFTAR TABEL		ix
DAFTAR GAMBAR		xi
DAFTAR LAMPIRAN		xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN		xv
ABSTRAK		xviii
ABSTRACT		xix
BAB I	PENDAHULUAN	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Rumusan Masalah	4
1.3	Tujuan Penelitian	4
1.4	Manfaat Penelitian	5
1.5	Batasan Masalah	5
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1	Penelitian Terdahulu	6
2.2	Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	9
2.3	Keaslian Penelitian	13
BAB III	LANDASAN TEORI	14
3.1	Fondasi	14
	3.1.1 Fondasi Dangkal (*Shallow Foundation*)	14
3.2	Penyelidikan Batuan	15
	3.2.1 Pengambilan Sampel Batuan	15
	3.2.2 Pengujian Sampel Batuan	17
3.3	*Rock Quality Designation* (RQD)	19
3.4	*Rock Mass Rating* (RMR)	21

3.5 Spasi Kekar (Spacing Of Discontinuities) 23
3.6 Teori Daya Dukung Fondasi Dangkal Terzaghi dan Bowles 23
3.7 *Geological Strength Index* (GSI) 29
3.8 Penurunan (*Settlement*) 30
3.9 Pemodelan Struktur dengan *Software* ETABS v22 35
3.10 Pemodelan Fondasi Menggunakan PLAXIS 2D 36
BAB IV METODE PENELITIAN 39
4.1 Lokasi Penelitian 39
4.2 Studi Literatur 39
4.3 Data Penelitian 40
4.4 Analisis Data 40
4.5 Diagram Alir Penelitian 42
BAB V HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN 46
5.1 Pengumpulan dan Analisis Data Geoteknik 46
5.1.1 Penyelidikan Sampel Batuan 46
5.1.2 Menentukan Nilai *Rock Quality Designation* (RQD) 48
5.1.3 Menentukan Nilai Spasi Kekar (*Spacing Of Discontinuities*) 53
5.1.4 Kondisi Diskontinuitas Batuan 54
5.1.5 Kondisi Muka Air Tanah 55
5.2 Pengujian Kuat Tekan Sampel Batuan di Laboratorium 55
5.3 Menentukan Nilai *Rock Mass Rating* (RMR) serta Pengorelasian dengan Kohesi dan Sudut Geser Dalam 57
5.3.1 Menentukan Nilai Rock Mass Rating (RMR) 57
5.3.2 Pengorelasian dengan Kohesi dan Sudut Geser Dalam 59
5.4 Analisis Pembebanan Struktur Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul dengan *Software* ETABS v22 62
5.5 Perhitungan Daya Dukung Batuan dengan Teori Terzaghi-Bowles 65
5.5.1 Data Fondasi Eksisting Bangunan 65
5.5.2 Menentukan Nilai Faktor Daya Dukung Terzaghi 68
5.5.3 Perhitungan Daya Dukung Ultimit Sampel Batuan 70
5.5.4 Perhitungan Daya Dukung Izin Sampel Batuan 73

5.5.5 Perbandingan Daya Dukung Batuan Berdasarkan Metode Terzaghi-Bowles dengan Beban Fondasi 74
5.6 Analisis Penurunan (*Settlement*) Fondasi dengan Teori Bowles 76
5.6.1 Perhitungan Penurunan (*Settlement*) Fondasi dengan Teori Bowles 77
5.6.2 Perbandingan Nilai Penurunan (*Settlement*) Berdasarkan Teori Bowles dengan Batas Penurunan Izin 80
5.7 Analisis Daya Dukung dan Penurunan (*Settlement*) Fondasi Menggunakan Pemodelan PLAXIS 2D 81
5.7.1 Analisis Daya Dukung Ultimit (Q_u) dan Daya Dukung Izin (Q_{all}) Fondasi Menggunakan Pemodelan PLAXIS 2D 81
5.7.2 Perbandingan Daya Dukung Batuan Berdasarkan Metode PLAXIS 2D dengan Beban Fondasi 89
5.7.3 Analisis Penurunan (*Settlement*) Fondasi Menggunakan PLAXIS 2D 91
5.7.4 Perbandingan Nilai Penurunan (*Settlement*) Berdasarkan Metode PLAXIS 2D dengan Batas Penurunan Izin 95
5.8 Perbandingan Nilai Selisih Hasil Perhitungan dengan Metode Terzaghi-Bowles dan PLAXIS 2D 96
5.8.1 Perbandingan Nilai Selisih Hasil Perhitungan Daya Dukung dengan Metode Terzaghi-Bowles dan PLAXIS 2D 96
5.8.2 Perbandingan Nilai Selisih Hasil Perhitungan Penurunan (*Settlement*) dengan Metode Terzaghi-Bowles dan PLAXIS 2D 100
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 102
6.1 Kesimpulan 102
6.2 Saran 103
DAFTAR PUSTAKA 105
LAMPIRAN 108

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	10
Tabel 3.1	Hubungan Nilai RQD den gan Kualitas Batuan	19
Tabel 3.2	Klasifikasi Parameter dan Bobot Penilaiannya	22
Tabel 3.3	Kelas Massa Batuan Berdasarkan Total Bobot Penilaiannya	22
Tabel 3.4	Korelasi Antara RMR dengan Kohesi dan Sudut Geser Dalam	23
Tabel 3.5	Faktor Daya Dukung Terzaghi	27
Tabel 5.1	Jarak Titik Penyelidikan	47
Tabel 5.2	Rekapitulasi Hubungan Nilai RQD dengan Kualitas Batuan	52
Tabel 5.3	Rekapitulasi Parameter Sampel Batuan	57
Tabel 5.4	Rekapitulasi Parameter RMR dan Bobot Penilaiannya	58
Tabel 5.5	Rekapitulasi Kelas Massa Batuan Berdasarkan Total Bobot Penilaiannya	58
Tabel 5.6	Rekapitulasi Korelasi Antara RMR dengan Kohesi dan Sudut Geser Dalam	59
Tabel 5.7	Label pada Tiap Tipe Fondasi	64
Tabel 5.8	Rekapitulasi Total Beban (P) pada Tiap Tipe Fondasi	65
Tabel 5.9	Rekapitulasi Dimensi Tiap Tipe Fondasi	66
Tabel 5.10	Rekapitulasi Luas (A) Fondasi	68
Tabel 5.11	Rekapitulasi Faktor Daya Dukung Terzaghi	70
Tabel 5.12	Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Ultimit (Q_u)	72
Tabel 5.13	Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Izin (Q_{all})	74
Tabel 5.14	Rekapitulasi Perhitungan Tegangan Vertikal (σv)	75
Tabel 5.15	Perbandingan Nilai Q_{all} dan σv	76
Tabel 5.16	Rekapitulasi Perhitungan Penurunan (*Settlement*)	79
Tabel 5.17	Perbandingan Nilai Penurunan (*Settlement*) Berdasarkan Teori Bowles dengan Batas Penurunan Izin	80
Tabel 5.18	Data Hubungan F_y dan u_y pada Fondasi Tipe F1	83
Tabel 5.19	Data Hubungan F_Y dan u_y pada Fondasi Tipe F2	86
Tabel 5.20	Rekapitulasi Hasil Daya Dukung dengan Pemodelan PLAXIS 2D	89

Tabel 5.21 Perbandingan Nilai $Q_{all\ PLAXIS}$ dan σv 90
Tabel 5.22 *Input* Parameter Fondasi 91
Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Penurunan dengan Pemodelan PLAXIS 2D 94
Tabel 5.24 Perbandingan Nilai Penurunan Berdasarkan Metode PLAXIS dengan Batas Penurunan Izin 95
Tabel 5.25 Rekapitulasi Nilai Selisih Daya Dukung Ultimit (Q_u) Antara Kedua Metode 98
Tabel 5.26 Rekapitulasi Nilai Selisih Daya Dukung Izin (Q_{all}) Antara Kedua Metode 98
Tabel 5.27 Rekapitulasi Nilai Selisih Daya Dukung Izin (Q_{all}) Antara Kedua Metode 100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Jenis Tanah Kabupaten Gunungkidul 2

Gambar 3.1 Macam-Macam Fondasi Dangkal: (a) Fondasi Menerus (b) Fondasi Telapak (c) Fondasi Rakit 15

Gambar 3.2 Jumlah Minimum Penyelidikan Tanah 16

Gambar 3.3 Petunjuk Kedalaman Pengambilan Sampel Penyelidikan Tanah 16

Gambar 3.4 Mesin Penekan 18

Gambar 3.5 Ilustrasi Perhitungan RQD 20

Gambar 3.6 Jenis-Jenis Keruntuhan Fondasi Dangkal 25

Gambar 4.1 Lokasi Penelitian 39

Gambar 4.2 Diagram Alir Penelitian 43

Gambar 4.3 Diagram Alir Analisis Struktur dengan *Software* ETABS v22 44

Gambar 4.4 Diagram Alir Analisis Daya Dukung dan Penurunan dengan *Software* PLAXIS 2D 45

Gambar 5.1 Jarak Antar Bangunan Eksisting dengan Lokasi Penyelidikan 47

Gambar 5.2 *Core Box* BH-01 48

Gambar 5.3 *Core Box* BH-02 48

Gambar 5.4 Panjang Potongan Pengeboran BH-01 49

Gambar 5.5 Panjang Potongan Pengeboran BH-02 50

Gambar 5.6 *Joint* Rekahan BH-01 53

Gambar 5.7 Sampel Pengujian Kuat Tekan 55

Gambar 5.8 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum) 62

Gambar 5.9 Denah Fondasi Bangunan 63

Gambar 5.10 Label pada Tiap Tipe Fondasi 64

Gambar 5.11 Denah Fondasi Bangunan 66

Gambar 5.12 Kurva Hubungan F_y dan u_y pada Fondasi Tipe F1 83

Gambar 5.13 Kurva Hubungan F_Y dan u_y pada Fondasi Tipe F2 86

Gambar 5.14 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F1 92

Gambar 5.15 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F2 92

Gambar 5.16 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F3 93

Gambar 5.17 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F4 93
Gambar 5.18 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F4 94
Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Daya Dukung Ultimit (Q_u) Antara Kedua Metode 98
Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Daya Dukung Izin (Q_{all}) Antara Kedua Metode 99
Gambar 5.21 Grafik Perbandingan Penurunan (S_e) Antara Kedua Metode 101

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penelitian dan Permohonan Data 109
Lampiran 2 Balasan Surat Izin dari Pihak UNY 110
Lampiran 3 Titik Pengeboran BH-01 111
Lampiran 4 Titik Pengeboran BH-02 111
Lampiran 5 Koordinat Titik BH-01 112
Lampiran 6 Koordinat Titik BH-02 112
Lampiran 7 Hasil Pengujian UCS 113
Lampiran 8 Data UCS Sekunder SB-02 114
Lampiran 9 Data UCS Sekunder SB-05 115
Lampiran 10 Data UCS Sekunder SB-06 116
Lampiran 11 *Core box* BH-01 117
Lampiran 12 *Core box* BH-02 118
Lampiran 13 RQD BH-01 119
Lampiran 14 RQD BH-02 120
Lampiran 15 Gambar Potongan Bangunan 121
Lampiran 16 Denah Fondasi Bangunan 122
Lampiran 17 Denah Kolom Banguann 123
Lampiran 18 Denah Balok Bangunan 124
Lampiran 19 Detail Fondasi Tipe F1 dan F2 125
Lampiran 20 Detail Fondasi Tipe F3 126
Lampiran 21 Detail Fondasi Tipe F4 127
Lampiran 22 Detail Fondasi Tipe F5 128
Lampiran 23 *Joint Reaction* Fondasi Tipe F1 129
Lampiran 24 *Joint Reaction* Fondasi Tipe F2 129
Lampiran 25 *Joint Reaction* Fondasi Tipe F3 129
Lampiran 26 *Joint Reaction* Fondasi Tipe F4 129
Lampiran 27 *Joint Reaction* Fondasi Tipe F5 129
Lampiran 28 Kurva Hubungan F_y dan u_y pada Fondasi Tipe F1 dan F3 130
Lampiran 29 Kurva Hubungan F_y dan u_y pada Fondasi Tipe F2, F4 dan F5 131

Lampiran 30 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F1 132
Lampiran 31 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F2 133
Lampiran 32 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F3 134
Lampiran 33 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F4 135
Lampiran 34 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F5 136

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_0, A_1, A_2 = Parameter antara atau parameter bantu tak berdimensi untuk memberoleh nilai F_1 dan F_2

A = Luas fondasi (m^2)

ASTM = *American Society for Testing and Materials*

B = Lebar fondasi (m)

B' = Lebar efektif fondasi (m)

BH- = Titik bor ke-

c = Kohesi (kN/m^2)

c' = Kohesi efektif (kN/m^2)

D = Diameter sampel (m)

D = Faktor gangguan massa batuan

D_f = Kedalaman fondasi (m)

DL = *Dead Load*/Beban mati (kN/m^2)

E_{rm} = Modulus elastisitas (kN/m^2)

F_1 = Komponen pertama faktor bentuk Steinbrenner

F_2 = Komponen kedua faktor bentuk Steinbrenner yang dipengaruhi oleh kedalaman lapisan material pendukung

f'_c = Mutu beton (MPa)

FS = Faktor keamanan sebesar 3

F_Y = *Output* reaksi vertikal fondasi PLAXIS 2D (kN/m)

F_Z = *Output* reaksi vertikal fondasi ETABS v22 (kN/m)

GSI = Klasifikasi kualitas dan kekuatan batuan

H = Tinggi sampel (m)

H = Kedalaman lapisan batuan (m)

I_s = Faktor bentuk fondasi

I_f = Faktor kedalaman fondasi

L = Panjang fondasi (m)

LL = *Live Load*/Beban hidup (kN/m^2)

m' = Rasio geometri panjang efektif terhadap lebar efektif fondasi

m_i = Konstanta material batuan

n' = Rasio kedalaman lapisan material terhadap lebar efektif fondasi

N_c, N_q, N_γ = Faktor daya dukung tergantung sudut geser dalam tanah

P = Total beban (kN)

Q_{all} = Kapasitas daya dukung izin (kN/m^2)

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit (kN/m^2)

q_o = Tekanan netto yang bekerja pada dasar fondasi (kN/m^2)

q_y = *Input* beban merata fondasi pada PLAXIS 2D (kN/m/m)

RMR = Penilaian massa batuan

RQD = Persentase kualitas pengeboran batuan (%)

s = Spasi kekar (m)

S_e = Penurunan elastik fondasi (m)

SNI = Standar Nasional Indonesia

UCS = U*nconfined Compressive Strength*

UNY = Universitas Negeri Yogyakarta

u_y = Perpindahan vertikal fondasi (mm)

V = Volume sampel (m^3)

v = *Poisson ratio*

W = Berat elemen (kN)

x = Nilai variabel independen yang ingin dicari pasangannya

x_1 = Nilai data pertama yang diketahui

x_2 = Nilai data kedua yang diketahui

y = Nilai hasil interpolasi

y_1 = Nilai fungsi atau data pada x_1 yang sudah diketahui

y_2 = Nilai fungsi atau data pada $x_2$yang sudah diketahui

α = Koefisien titik penurunan sebesar 4 untuk di tengah fondasi dan 1 untuk di sudet fondasi

γ = Berat isi (kN/m^3)

φ = Sudut geser dalam (°)

φ’ = Sudut geser dalam efektif (°)

σ_{ci} = Kuat tekan uniaksial (MPa)

σ_v = Tegangan vertikal (kN/m^2)

ABSTRAK

Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul menggunakan fondasi telapak yang bertumpu pada batuan pada kedalaman sekitar 6,05 m. Kondisi massa batuan yang dipengaruhi oleh rekahan dan pelapukan memerlukan evaluasi daya dukung serta penurunan fondasi untuk menjamin keamanan struktur. Penelitian ini bertujuan menganalisis daya dukung dan penurunan fondasi telapak eksisting menggunakan teori Terzaghi-Bowles dan pemodelan PLAXIS 2D, serta membandingkan hasil kedua metode.

Penelitian dilakukan melalui pengeboran inti pada dua titik, pengamatan diskontinuitas, pengujian kuat tekan uniaksial, dan analisis klasifikasi massa batuan menggunakan RQD serta RMR. Beban struktur diperoleh melalui pemodelan ETABS v22. Analisis daya dukung dilakukan menggunakan teori Terzaghi-Bowles dengan keruntuhan geser lokal dan faktor keamanan 3, sedangkan penurunan dihitung menggunakan teori Bowles. Pemodelan PLAXIS dilakukan dengan model material Hoek-Brown untuk kelima tipe fondasi.

Hasil analisis metode Terzaghi-Bowles menghasilkan daya dukung ultimit sebesar 4.520,658–5.189,222 kN/m² dan daya dukung izin sebesar 202,197–232,100 kN/m², sedangkan hasil PLAXIS menghasilkan daya dukung ultimit sebesar 627,641–689,818 kN/m² dan daya dukung izin sebesar 209,214–229,939 kN/m². Seluruh nilai daya dukung izin lebih besar daripada tegangan vertikal fondasi sebesar 57,806–159,673 kN/m². Nilai penurunan metode Bowles sebesar 0,269–0,508 mm dan hasil PLAXIS sebesar 0,251–0,692 mm, seluruhnya lebih kecil dari batas penurunan izin 12 mm. Selisih daya dukung ultimit sebesar 85,57%–87,90%, daya dukung izin sebesar 0,20%–9,86%, dan penurunan sebesar 4,95%–43,82%. Dengan demikian, seluruh tipe fondasi telapak eksisting dinyatakan aman dan layak digunakan berdasarkan aspek daya dukung dan penurunan.

Kata kunci: Fondasi dangkal, PLAXIS 2D, Terzaghi, Bowles

ABSTRACT

The Educational Building of Yogyakarta State University in Gunungkidul uses footing foundations resting on stone at an approximate depth of 6.05 m. Rock mass conditions influenced by discontinuities and weathering require an evaluation of foundation to ensure structural safety. This study aims to analyze the bearing capacity and settlement of existing footing foundations using the Terzaghi-Bowles theory and PLAXIS 2D modeling and to compare the results of both methods.

The study was conducted through core drilling at two locations, discontinuity observations, uniaxial compressive strength testing, and rock mass classification using RQD and RMR. Structural loads were obtained through ETABS v22 modeling. Bearing capacity was analyzed using the Terzaghi-Bowles theory with a local shear failure and a safety factor of 3, while settlement was calculated using Bowles theory. PLAXIS modeling uses the Hoek-Brown material model to all five footing variations.

Terzaghi-Bowles method produced ultimate bearing capacities of 4,520.658–5,189.222 kN/m² and allowable bearing capacities of 202.197–232.100 kN/m², while PLAXIS ultimate bearing capacities of 627.641–689.818 kN/m² and allowable bearing capacities of 209.214–229.939 kN/m². All capacity values exceeded the foundation vertical stresses of 57.806–159.673 kN/m². Settlement values ranged from 0.269 to 0.508 mm using Bowles method and from 0.251 to 0.692 mm using PLAXIS, remaining below the 12 mm allowable settlement limit. The differences in ultimate bearing capacity, allowable bearing capacity, and settlement were 85.57%–87.90%, 0.20%–9.86%, and 4.95%–43.82%. Therefore, all existing footing foundation types are considered safe and feasible in terms of bearing capacity and settlement.

***Keywords**: Shallow foundation, PLAXIS 2D, Terzaghi, Bowles*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

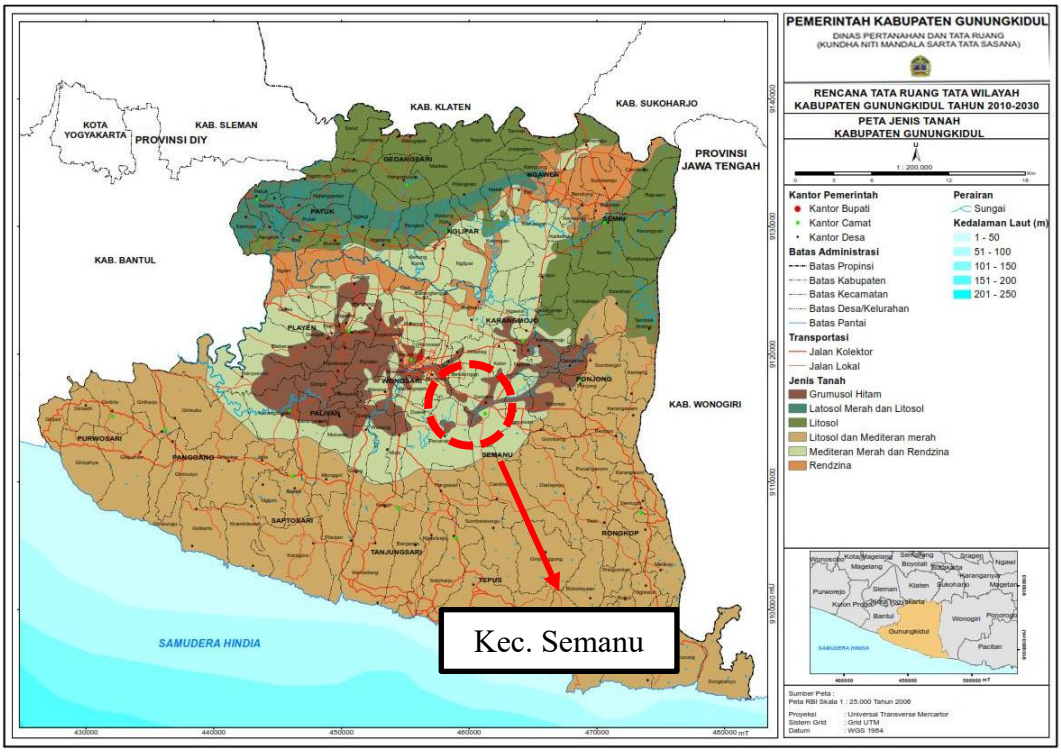
Pembangunan Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul merupakan upaya dari pihak pemerintah guna meningkatkan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) kabupaten, membuka lapangan kerja, serta meningkatkan pertumbuhan ekonomi. Pembangunan tahap pertama gedung pendidikan ini dimulai dari 21 Februari 2019 dan selesai masa pembangunan pada tanggal 30 Agustus 2020. Gedung ini terdiri dari 4 lantai, dan sebagai fasilitas pendidikan memiliki sistem dan prosedur yang kompleks pada perencanaannya. Gedung pendidikan harus didesain strukturnya untuk menampung mahasiswa, para tenaga kerja dan orang lain di dalamnya sesuai dengan standar yang berlaku agar menghindari hal yang tidak diinginkan (Ridar dan Khatib, 2015).

Dalam setiap proses pembangunan suatu struktur, pasti dilakukan dari bawah menuju ke atas. Salah satu contoh pekerjaan struktur bawah adalah fondasi. Fondasi merupakan salah satu elemen struktur bawah yang perannya mendistribusikan beban dari struktur diatasnya menuju ke tanah atau batuan dasar yang ada dibawahnya. Setiap struktur bangunan pasti memiliki fondasi, karena fungsinya yang sangat penting untuk menjaga struktur diatasnya tidak mengalami deformasi maupun penurunan berlebihan atau bahkan runtuh. Fondasi dibedakan menjadi dua tipe yaitu fondasi dangkal (*shallow foundation*) dan fondasi dalam (*deep foundation*). Pemilihan fondasi yang akan digunakan dalam pembangunan struktur tidak bisa sembarangan dipilih dan harus berdasarkan jenis struktur yang akan dibangun serta menggunakan hasil analisis jenis tanah atau batuan yang berada di lapangan. Tujuannya agar fondasi dapat bekerja secara optimal dalam mendistribusikan beban struktur ke bawah tanah (Triastuti, 2022).

Penyelidikan tanah atau batuan menjadi tahapan penting yang menjadi persyaratan umum dalam perancangan suatu proyek. Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan seperti sifat–sifat yang dimiliki tanah atau batuan dan gaya yang bekerja akibat beban struktur agar dapat diketahui klasifikasi tanah atau batuan di

lapangan, nilai stabilitas dan kesesuaiannya untuk menjadi acuan pada saat perencanaan proyek. Penyelidikan tanah dilakukan di titik yang krusial tergantung kondisi, bentuk, dan distribusi struktur diatasnya dengan lokasi penyelidikan batuan yang diatur sedemikian rupa agar jenis batuan dapat diidentifikasi. Hasil dari penyelidikan batuan biasanya mencakup deskripsi kondisi batuan, gaya–gaya yang bekerja dari struktur dan rekomendasi fondasi yang cocok untuk digunakan (SNI-8460, 2017).

Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta yang diteliti terletak di Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Jenis tanah di Kabupaten Gunungkidul yang menjadi dasar karakteristik tanah di lokasi gedung dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut.



Gambar 1.1 Peta Jenis Tanah Kabupaten Gunungkidul (Niti, 2022)

Berdasarkan Gambar 1.1 tersebut, dapat dilihat daerah ini didominasi oleh 3 jenis tanah yaitu mediteran merah, rendzina dan grumusol hitam. Tanah mediteran adalah tanah yang berasal dari pelapukan batuan kapur keras dan sendimen yang

biasanya berwarna kemerahan sampai cokelat. Tanah rendzina adalah tanah hasil pelapukan batuan gamping akibat dari curah hujan yang tinggi sehingga wilayah Gunungkidul didominasi dengan jenis tanah ini. Sedangkan tanah grumusol hitam atau tanah yang terklasifikasi sebagai vertisols adalah tanah lempung yang dapat mengembang dan menyusut tergantung cuaca (Puspitorini dan Iqbal, 2024). Ketiga jenis tanah ini terbentuk dari pelapukan batuan yang sama yaitu batu gamping (*limestone*), sehingga kinerja fondasi dipengaruhi oleh tanah atau batuan dan diperlukan penyelidikan untuk mengetahui nilai tiap parameter yang dimiliki guna memberikan perencanaan fondasi yang baik.

Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta Gunungkidul, menggunakan fondasi telapak (*spread footing*) pada kedalaman kurang lebih 6 meter. Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2016), penyelidikan tambahan mungkin diperlukan untuk memperoleh informasi tamabahan atau mengkonfirmasi bahkan menolak data yang meragukan. Terkadang kebutuhan penyelidikan tambahan ini bisa diabaikan jika penyelidikan utama (awal) dilakukan dengan pengawasan yang tepat. Masalah–masalah dapat teridentifikasi selama pelaksanaan penyelidikan utama, dan perencanaan dari penyelidikan dapat dikembangkan untuk mendapatkan informasi tambahan yang dibutuhkan untuk menjadi perbandingan atau bahkan alternatif. Oleh karena itu, walaupun pada saat proses perencanaan gedung ini sudah melakukan penyelidikan batuan, perlu dilakukan analisis ulang dengan metode yang variatif seperti mengorelasikan sudut geser dalam dan kohesi dengan klasifikasi massa batuan (RMR) untuk menilai dan membandingkan kualitas dari data penyelidikan untuk memastikan bahwa fondasi eksisting yang menopang bangunan telah memenuhi standar persyaratan, optimalisasi desain agar keamanan struktur terjamin serta menghindari *overdesign* dan *underdesign* yang bisa mempengaruhi biaya konstruksi juga. Oleh karena itu peneliti ingin menganalisis dan mengevaluasi ulang fondasi eksisting bangunan berdasarkan hasil investigasi batuan di Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta Gunungkidul menggunakan metode Terzaghi-Bowles dan pemodelan PLAXIS 2D, serta menganalisis penurunan yang terjadi pada fondasi eksisting.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang timbul dari latar belakang yakni sebagai berikut.

1. Berapakah nilai daya dukung ultimit dan izin yang didapat berdasarkan hasil penyelidikan batuan menggunakan teori Terzaghi-Bowles?
2. Berapakah nilai daya dukung ultimit dan izin yang didapat berdasarkan hasil pemodelan dengan PLAXIS 2D?
3. Berapakah nilai penurunan (*settlement*) yang terjadi pada masing-masing tipe fondasi eksisting berdasarkan teori Bowles?
4. Berapakah nilai penurunan (*settlement*) yang terjadi pada masing-masing tipe fondasi eksisting berdasarkan hasil pemodelan dengan PLAXIS 2D?
5. Bagaimana perbandingan nilai selisih hasil daya dukung fondasi antara teori Terzaghi-Bowles dan pemodelan PLAXIS 2D?
6. Bagaimana perbandingan nilai selisih hasil penurunan (*settlement*) yang terjadi pada masing-masing tipe fondasi eksisting antara teori Bowles dan pemodelan PLAXIS 2D?
7. Apakah fondasi eksisting bangunan memenuhi standar keamanan terhadap daya dukung dan penurunannya?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan nilai daya dukung ultimit dan izin berdasarkan hasil penyelidikan batuan menggunakan teori Terzaghi-Bowles.
2. Mendapatkan nilai daya dukung ultimit dan izin berdasarkan hasil pemodelan dengan PLAXIS 2D.
3. Mendapatkan nilai penurunan (*settlement*) yang terjadi pada masing-masing tipe fondasi eksisting berdasarkan teori Bowles.
4. Mendapatkan nilai penurunan (*settlement*) yang terjadi pada masing-masing tipe fondasi eksisting berdasarkan hasil pemodelan dengan PLAXIS 2D.
5. Mengidentifikasi selisih nilai daya dukung fondasi antara metode Terzaghi-Bowles dan pemodelan PLAXIS 2D.

6. Mengidentifikasi selisih nilai penurunan (*settlement*) yang terjadi pada masing-masing tipe fondasi eksisting antara metode Bowles dan pemodelan PLAXIS 2D.
7. Mengevaluasi keamanan fondasi eksisting bangunan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini meliputi:

1. Memberikan ilmu pengetahuan dan referensi tentang evaluasi fondasi khususnya dengan metode Terzaghi-Bowles dan *software* PLAXIS 2D pada suatu bangunan dengan kondisi yang serupa kepada pembaca.
2. Memverifikasi informasi fondasi yang digunakan dalam Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta Gunungkidul termasuk kriteria aman dan sesuai standar atau tidak.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Analisis yang dilakukan hanya berfokus menganalisis nilai daya dukugn dan penurunan menggunakan metode Terzaghi-Bowles dan PLAXIS 2D di Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta Gunungkidul.
2. Analisis dilakukan dengan data primer dan sekunder yang diperoleh peneliti.
3. Analisis struktur atas pada tiap lantai tidak mempertimbangkan gaya gempa.
4. Penyelidikan batuan hanya dilakukan untuk mendapatkan parameter untuk analisis kapasitas daya dukung batuan.
5. Lokasi penelitian dilakukan di sekitar pada Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta Gunungkidul.
6. Data pengujian sampel batuan yang digunakan didapatkan dari pengujian laboratorium.
7. Nilai parameter yang tidak diketahui akan diasumsikan atau menggunakan nilai dari basis data material PLAXIS 2D sesuai klasifikasi batuan.
8. Angka keamanan (*Safety Factor*) yang digunakan adalah 3.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang dipakai memiliki keterkaitan pembahasan dengan penelitian yang ingin dilakukan, meliputi: analisis fondasi dangkal menggunakan teori Terzaghi-Bowles, analisis RMR dan RQD batuan dan analisis menggunakan *software* PLAXIS 2D terhadap fondasi untuk menjadi dasar perencanaan fondasi. Berikut ini adalah penelitian yang membahas tentang daya dukung fondasi telapak.

1. *Field Load Testing of Shallow Foundations in Florida Limestone*

   Penelitian ini bersumber dari laporan riset yang dibuat oleh Herrera dkk (2022). Pengujian pembebanan fondasi dangkal pada batuan berlapis dengan skala penuh di Miami, Fort Lauderdale dan Bell, Florida dilakukan untuk memverifikasi respon penurunan pada kondisi ultimit layan fondasi. Pada penelitian menggunakan metode pengeboran inti (*coring*) untuk pengambilan sampel, uji SPT (*standard penetration test*) dan uji geser seismik. Setelah itu dilakukan pengujian belah tarik (*split tension*), uji kuat tekan bebas (*unconfined compression*) serta triaksial guna menentukan kuat geser dan modulus batuan. Fondasi dianalisis menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM), Burmister, Fenton dan Griffiths untuk dibandingkan dengan persamaan *Florida Bearing Capacity* (FBC). Hasil dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

   a. Persamaan *Florida Bearing Capacity* (FBC) dapat digunakan untuk menjadi dasar perencanaan kapasitas daya dukung fondasi dangkal pada lapis batuan.
   b. Metode *Finite Element Method* (FEM), Burmister, Fenton dan Griffiths memberikan hasil analisis yang cukup baik untuk memprediksi penurunan fondasi dangkal pada batuan.

c. Penurunan fondasi dangkal dipengaruhi oleh berat isi kering batuan, tebal lapisan batuan dan kondisi lapisan tanah atau pasir diatas maupun dibawahnya.

2. *Numerical Analysis of Shallow Foundations with Varying Loading and Soil Conditions*

   Penelitian Hakro dkk (2022) meneliti perilaku fondasi dangkal pada tanah berlapis dengan variasi kondisi pembebanan dan kekakuan lapisan. Analisis numerik dilakukan untuk mengevaluasi hubungan beban deformasi serta *settlement* yang terjadi pada fondasi. Studi ini mendukung penggunaan PLAXIS 2D untuk mengevaluasi *vertical displacement* sebagai *settlement*, terutama ketika kondisi lapisan pendukung memiliki kekakuan yang berbeda. Hasil dari penelitian dapat dilihat sebagai berikut.

   a. *Settlement* fondasi dipengaruhi oleh kondisi pembebanan dan kekakuan lapisan pendukung.
   b. Lapisan pendukung yang lebih kaku mengurangi deformasi vertikal fondasi.
   c. Analisis numerik dapat menunjukkan pola deformasi dan distribusi respon tanah di bawah fondasi.

3. Perbandingan Daya Dukung Tanah Pondasi Dangkal Menggunakan Metode Terzaghi, Meyerhof dan PLAXIS 2D

   Penelitian Mindiastiwi dan Mustofa (2023) membandingkan hasil perhitungan daya dukung fondasi dangkal dengan metode analitis Terzaghi dan Meyerhof terhadap hasil pemodelan numerik PLAXIS 2D. Studi ini dapat digunakan untuk mendukung penggunaan PLAXIS 2D sebagai metode pelengkap perhitungan manual, terutama dalam menampilkan deformasi serta respon tanah/fondasi terhadap pembebanan. Hasil dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

   a. Metode Terzaghi, Meyerhof, dan PLAXIS 2D menghasilkan nilai daya dukung yang berbeda karena asumsi analisisnya tidak sama.
   b. PLAXIS 2D dapat memperlihatkan deformasi dan respon material akibat pembebanan fondasi.

c. Pemodelan numerik dapat digunakan sebagai pembanding hasil perhitungan analitis..

4. *The Design of Shallow Foundations on Fractured Rock*

   Penelitian ini bersumber dari artikel ilmiah karya René dkk. (2024). Makalah ini berisikan analisis perilaku dan kapasitas dukung fondasi dangkal dan batuan beku retak khususnya jenis batu gabro di La Serena, Chile dengan menggunakan berbagai pendekatan. Metode yang digunakan untuk mengestimasi daya dukung dari sebuah batuan adalah *Rock Mass Rating* (RMR89) yang diperkenalkan oleh Bieniawski (1989), *Rock Quality Designation* (RQD), *Uniaxial Compressive Strength* (UCS), metode Serrano & Olalla (1994) serta metode Wyllie (1999). Hasil dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

   a. Metode *Rock Mass Rating* (RMR) adalah metode yang memberikan hasil yang mendekati dengan kondisi di lapangan dibandingkan metode empirik lainnya.
   b. Penurunan (*settlement*) yang terjadi pada fondasi maksimal sebesar 5 mm, yang artinya masih dalam batas aman.
   c. Batuan yang diteliti memiliki kapasitas daya dukung yang lebih besar dibanding nilai kuat tekan beton fondasi.

5. *Evaluating the Relationship Between RMR and Q-System for Improved Classification of Faulted Rocks and Weak Rocks*

   Penelitian ini bersumber dari artikel ilmiah karya Park dkk. (2025), mebahas tentang sistem klasifikasi massa batuan untuk desain penggalian dan penyangga terowongan pada zona sesar dan batuan yang lemah di wilayah Ulsan dan Gyeongju, Korea Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun persamaan korelasi khusus lokasi antara *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Q-System* pada batuan tersesar dan lemah yang kemudian dilakukan analisis regresi untuk memperoleh hubungan RMR-Q yang merepresentasikan kondisi geologi kompleks di lokasi. Hasil dari penelitian dapat dilihat sebagai berikut.

   a. Menghasilkan persamaan baru RMR-Q untuk batuan sesar dan batuan lemah yang lebih sesuai dengan kondisi lapangan.

b. Menemukan perubahan desain penyangga terowongan karena desain dengan data investigasi awal terlalu optimis.
c. Memberikan pengetahuan akan pentingnya kalibrasi lokal *dan face mapping real time* untuk klasifikasi dan desain penyangga yang aman.

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	**Penelitian Terdahulu**					
	Herrera dkk (2022)	**Hakro dkk (2022)**	**Mindiastiwi dan Mustofa (2023)**	**René dkk (2024)**	**Park dkk (2025)**	**Nugraha (2026)**
Judul	*Field Load Testing of Shallow Foundations in Florida Limestone*	*Numerical Analysis of Shallow Foundations with Varying Loading and Soil Conditions*	Perbandingan Daya Dukung Tanah Pondasi Dangkal Menggunakan Metode Terzaghi, Meyerhof dan PLAXIS 2D	*The Design of Shallow Foundations on Fractured Rock*	*Evaluating the Relationship Between RMR and Q-System for Improved Classification of Faulted Rocks and Weak Rocks*	Evaluasi Fondasi Telapak Eksisting Menggunakan Teori Terzaghi-Bowles dan Pemodelan PLAXIS 2D pada Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta Gunungkidul
Tujuan Penelitian	Memverifikasi hasil perhitungan daya dukung dengan pengujian langsung dilapangan dan memperkirakan besar penurunan yang terjadi saat fondasi diberi beban dengan berbagai metode.	Menganalisis pengaruh variasi beban, kondisi hidrologi, dan kekakuan tanah/lapisan pendukung terhadap respons fondasi dangkal.	Membandingkan nilai daya dukung fondasi dangkal dari metode Terzaghi, Meyerhof, dan PLAXIS 2D.	Mengidentifikasi daya dukung dan kemanan fondasi dangkal di batuan retak dengan menggunakan berbagai metode empiris dan menentukan metode mana yang lebih cocok untuk digunakan pada kondisi batuan retak	Menyusun persamaan korelasi baru antara RMR dan *Q-System* yang terkhusus untuk batuan sesar dan lemah.	Mengevaluasi daya dukung dan penurunan fondasi telapak eksisting berdasarkan teori Terzaghi-Bowles dan pemodelan PLAXIS 2D,

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Penelitian Terdahulu					
	Herrera dkk (2022)	**Hakro dkk (2022)**	**Mindiastiwi dan Mustofa (2023)**	**René dkk (2024)**	**Park dkk (2025)**	**Nugraha (2026)**
Lokasi	Miami, Fort Lauderdale dan Bell, Florida	Studi numerik	Proyek Pembangunan Gedung BPKB Polres Pati	La Serena, Chile	Ulsan dan Gyeongju, Korea Selatan	Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul.
Metode Penelitian	Pembebanan langsung di lapangan, *Uniaxial Compressive Strength* (UCS), *Finite Element Method* (FEM), Burmister, Fenton dan Griffiths serta persamaan *Florida Bearing Capacity* (FBC).	Pemodelan elemen hingga fondasi dangkal menggunakan PLAXIS 2D, evaluasi hubungan beban deformasi dan *settlement.*	Perhitungan analitis Terzaghi dan Meyerhof, kemudian pemodelan fondasi menggunakan PLAXIS 2D.	*Rock Quality Designation* (RQD), *Rock Mass Rating* (RMR), *Uniaxial Compressive Strength* (UCS), Serrano dan Olalla serta Wyllie	Mengumpulkan data geoteknik sepanjang terowongan, face mapping, analisis statistik antara RMR dan Q untuk masing-masing kelompok batuan untuk memperoleh korelasi baru.	*Uniaxial Compressive Strength* (UCS), *Rock Quality Designation* (RQD), *Rock Mass Rating* (RMR), Teori Terzaghi-Bowles, PLAXIS 2D.
Hasil Penelitian	Persamaan *Florida Bearing Capacity* (FBC) dapat dijadikan dasar perencanaan kapasitas daya dukung fondasi dangkal pada lapisan batuan,	*Settlement* fondasi dipengaruhi oleh kondisi pembebanan dan kekakuan lapisan pendukung, lapisan pendukung yang lebih kaku mengurangi deformasi vertikal fondasi, analisis	Metode Terzaghi, Meyerhof, dan PLAXIS 2D menghasilkan nilai daya dukung yang berbeda karena asumsi analisisnya tidak sama, PLAXIS 2D dapat memperlihatkan	Metode RMR oleh Bieniawski adalah metode yang memberikan hasil paling mendekati dengan kondisi lapangan dibandingkan metode empirik lainnya. *Settlement*	Didapatkan persamaan korelasi baru RMR-Q untuk batuan sesar $RMR = 2.2lnQ + 22.4$ dan batuan lemah $RMR = 4.5lnQ + 40.9$	Metode Terzaghi-Bowles menghasilkan daya dukung izin sebesar 202,197–232,100 kN/m², sedangkan PLAXIS 209,214–229,939

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Aspek	Penelitian Terdahulu					
	Herrera dkk (2022)	**Hakro dkk (2022)**	**Mindiastiwi dan Mustofa (2023)**	**René dkk (2024)**	**Park dkk (2025)**	**Nugraha (2026)**
Hasil Penelitian	*metode analisis seperti Finite Element Method* (FEM), Burmister, pendekatan Fenton dan Griffiths memberikan hasil yang baik dalam memprediksi besarnya penurunan fondasi dangkal di atas batuan. Penurunan fondasi dangkal dipengaruhi oleh berat isi kering batuan, tebal lapisan batuan dan kondisi lapisan tanah atau pasir diatas maupun dibawahnya.	numerik dapat menunjukkan pola deformasi dan distribusi respons tanah di bawah fondasi.	deformasi dan respons material akibat pembebanan fondasi, pemodelan numerik dapat digunakan sebagai pembanding hasil perhitungan analitis.	yang terjadi pada fondasi maksimal 5 mm, yang artinya masih dalam batas aman. Batuan yang diteliti memiliki kapasitas daya dukung yang lebih besar dibanding nilai kuat tekan beton fondasi.	Persamaan umum RMR-Q terbukti tidak akurat untuk digunakan di zona sesar, sehingga memberikan desain penyangga terowongan yang tidak aman.	kN/m², seluruhnya lebih besar daripada tegangan vertikal fondasi. Nilai penurunan metode Bowles berada pada rentang 0,269–0,508 mm dan PLAXIS sebesar 0,251–0,692 mm, seluruhnya berada di bawah batas penurunan izin. Selisih daya dukung ultimit sebesar 85,57%–87,90%, daya dukung izin sebesar 0,20%–9,86%, dan penurunan sebesar 4,95%–43,82%. Seluruh fondasi telapak eksisting aman terhadap daya dukung serta penurunan.

Penelitian yang dilakukan menawarkan tahapan analisis yang berbeda guna memberi alternatif dan perbandingan dalam perencanaan fondasi menggunakan metode Terzaghi-Bowles berdasarkan hasil penyelidikan batuan yang dilakukan, dan pemodelan PLAXIS 2D. Perbedaan penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu terletak pada fokus yang dilakukan seperti mengidentifikasi jenis tanah atau batuan untuk mengevaluasi fondasi eksisting. Oleh karena itu penelitian ini menggunakan data hasil dari penyelidikan batuan sebagai parameter utama untuk menilai apakah fondasi eksisting telah memenuhi standar atau tidak.

2.3 Keaslian Penelitian

Pada pembahasan sebelumnya tertera perbandingan penelitian terdahulu dengan yang sekarang, dimana perbandingan tersebut menjadi bukti bahwa penelitian ini adalah karya asli dan tidak hasil dari plagiasi terhadap berbagai jurnal ataupun karya ilmiah sebelumnya. Berikut adalah beberapa perbedaan penelitian terdahulu dengan yang akan peneliti lakukan.

1. Objek yang diamati adalah fondasi eksisting pada Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul yang berlokasi di Dusun Kepuh, Desa Pacarejo, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Sampel batuan yang dijadikan dasar penelitian diambil langsung dari lokasi sekitar Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul menggunakan metode pengeboran inti (*coredrill*).
3. Sampel batuan diuji serta dianalisis langsung oleh peneliti di lapangan dan laboratorium.
4. Pemodelan struktur dilakukan sesuai gambar kerja dari proyek pembangunan pada Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul menggunakan *software* ETABS v22 untuk menentukan total beban (P) gedung yang didistribusikan ke fondasi.
5. Analisis dilakukan dengan penyelidikan aktual dari lapangan dan menggunakan metode Terzaghi-Bowles dan PLAXIS 2D.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Fondasi

Fondasi adalah elemen struktur dibawah tanah (substruktur) yang dijadikan penghubung antara konstruksi diatasnya dan tanah. Fondasi berguna untuk meneruskan beban yang ditopangnya bahkan bebannya sendiri ke dalam tanah. Selain beban struktural, fondasi juga harus bisa menahan gaya tarik, tekanan angin dan bahkan gempa bumi. Fondasi dibedakan menjadi dua tipe yaitu fondasi dangkal (*shallow foundation*) dan fondasi dalam (*deep foundation*). Kedua fondasi ini sering digunakan untuk menjadi bagian dari struktur yang mentransfer semua beban bangunan ke dalam tanah tergantung jenis struktur dan kondisi tanah dibawahnya (Bowles, 1997). Pada penelitian ini, fondasi eksisting pada Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul bertumpu di batuan yang kedalamannya kurang lebih 6 meter di bawah muka tanah. Fondasi tentunya mempunyai batas terhadap kinerjanya, sehingga perlu dilakukan perencanaan dengan teliti agar kemampuan fondasi bisa menjamin keamanan, kestabilan dan kelayakan.

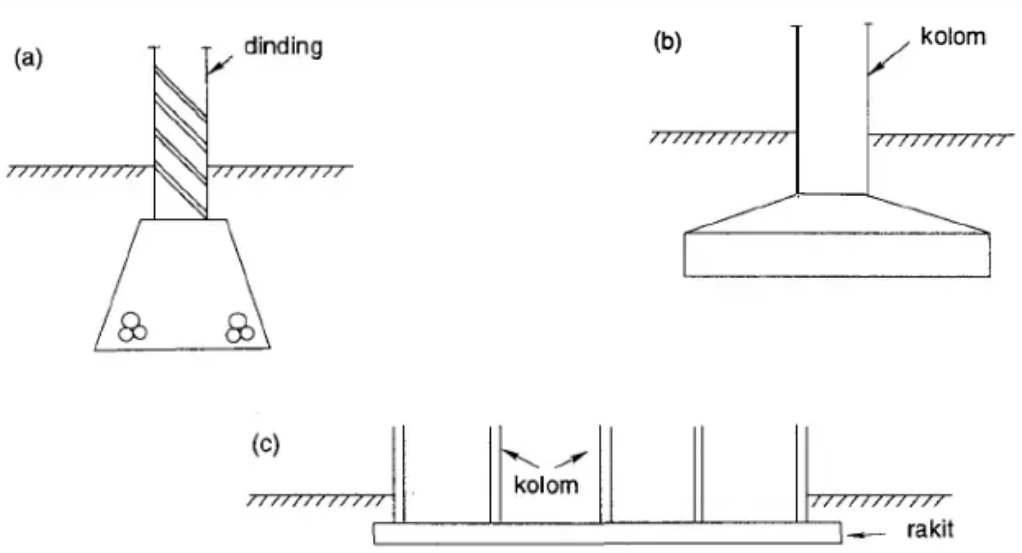
3.1.1 Fondasi Dangkal (*Shallow Foundation*)

Menurut Hardiyatmo (1996), fondasi dangkal dibagi lagi menjadi beberapa tipe, seperti fondasi telapak, menerus dan rakit. Fondasi dangkal selalu diartikan sebagai fondasi yang menopang bebannya secara langsung. Fondasi ini digunakan jika tanah yang daya dukungnya tinggi dekat dengan permukaan tanah. Ketiga tipe fondasi ini memiliki kegunaan yang berbeda-beda yakni sebagai berikut.

1. Fondasi menerus adalah fondasi yang digunakan untuk mendukung barisan kolom yang jaraknya berdekatan, sehingga bila memakai fondasi telapak sisi-sisinya akan berdekatan antara satu dengan lainnya.
2. Fondasi telapak adalah fondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom struktur dan menyebarkan bebannya secara merata.

3. Fondasi rakit adalah fondasi yang dipakai untuk mendukung bagunan yang bertumpu pada tanah yang sangat lunak atau digunakan bila susunan kolom berdekatan di semua arahnya.

Ketiga jenis tipe fondasi dangkal dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Macam-Macam Fondasi Dangkal: (a) Fondasi Menerus (b) Fondasi Telapak (c) Fondasi Rakit (Hardiyatmo, 1996)

3.2 Penyelidikan Batuan

Penyelidikan batuan merupakan tahapan untuk memperoleh data kondisi geologi dan sifat teknis massa batuan pada lokasi pembangunan. Data hasil penyelidikan digunakan sebagai dasar dalam identifikasi lapisan batuan, kualitas massa batuan, kondisi diskontinuitas, serta parameter kekuatan batuan yang diperlukan dalam analisis dan evaluasi fondasi.

3.2.1 Pengambilan Sampel Batuan

Berdasarkan SNI 8460 (2017) tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, Penyelidikan awal tanah dan batu dilakukan untuk memberikan gambaran kondisi lapangan. Penyelidikan awal tanah dan batuan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga data yang diperoleh memadai untuk hal-hal yang relevan di bawah ini.

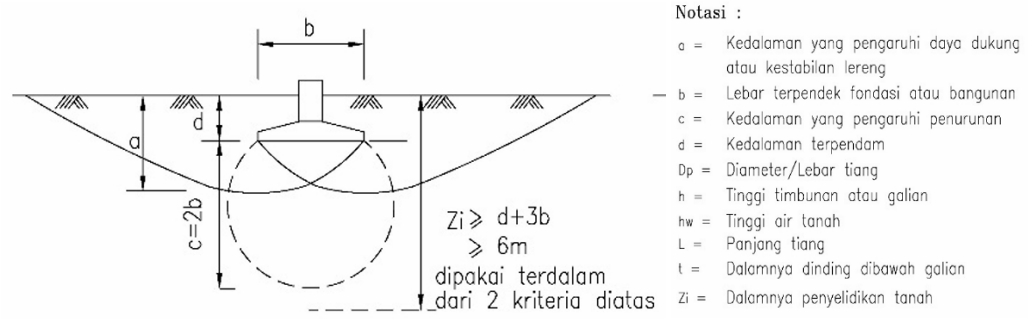
1. Menilai stabilitas global dan kesesuaian umum lapangan.
2. Menilai kesesuaian lokasi proyek dibandingkan dengan lokasi alternatif lainnya.
3. Menilai kesesuaian posisi bangunan.
4. Mengevaluasi efek yang mungkin ditimbulkan dari pembangunan terhadap lingkungan, seperti bangunan tetangga, struktur dan lokasi bangunan.
5. Mengidentifikasi daerah sumber material konstruksi.
6. Mempertimbangkan kemungkinan metode fondasi dan perbaikan tanah.
7. Merencanakan penyelidikan awal tahap perancangan dan penyelidikan tambahan, termasuk identifikasi zona tanah yang mungkin dapat memberi pengaruh yang signifikan terhadap perilaku struktur.

Agar penyelidikan memberikan hasil data yang sesuai dengan poin yang telah dijabarkan sebelumnya, maka saat melakukan penyelidikan tanah dan batuan, diperlukan perencanaan dan penentuan terhadap titik-titik serta kedalaman yang akan diselidiki. Titik-titik dan kedalaman yang akan diselidiki harus berdasarkan letak tumpu bangunan, distribusi beban dan lainnya. Jumlah minimum titik dan kedalaman penyelidikan dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan 3.3 berikut.

Gedung dengan 4 sampai dengan 7 lantai	- Satu titik setiap 400m² dalam pola grid dengan jarak 15 m sampai 40 m dengan minimum 2 titik per gedung. - Dalam hal beberapa gedung terletak berdekatan, dijadikan satu kesatuan - dan digunakan kaidah yang sama. - Tambah titik apabila hasil investigasi menunjukkan anomali lapisan tanah

National Copy Sta

Gambar 3.2 Jumlah Minimum Penyelidikan Tanah (SNI 8460, 2017)



Gambar 3.3 Petunjuk Kedalaman Pengambilan Sampel Penyelidikan Tanah (SNI 8460, 2017)

Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta memiliki 4 lantai dan tipe fondasi yang digunakan adalah fondasi telapak sehingga diperlukan titik penyelidikan dengan satu titik setiap 400 meter persegi dalam pola grid dengan jarak 15 sampai 40 meter dengan minimum 2 titik per gedung. Kedalaman yang harus ditinjau lebih dari sama dengan 6 meter sesuai persyaratan SNI 8460:2017. Nilai kedalaman dan jarak antar pengambilan sampel dipilih juga berdasarkan kondisi peneliti yang hanya melakukan evaluasi dan analisis ulang pada fondasi eksisting bangunan, bukan melakukan investigasi awal dan perencanaan gedung pra-konstruksi.

Pengambilan sampel batuan dilakukan dengan mengebor inti (*coredrill*) pada titik di sekitar lokasi Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta. Menurut Bieniawski (1989), pengeboran inti batuan dilakukan untuk mengidentifikasi kualitas dan karakteristik dari massa batuan. Pengeboran harus mendapatkan tingkat sampel utuh (*recovery core*) sedekat mungkin dengan persentase 100% untuk keperluan pengujian.

3.2.2 Pengujian Sampel Batuan

Perencanaan dimensi dan analisis daya dukung pada fondasi bisa dilakukan dengan menggunakan berbagai metode untuk mendapatkan dasar perencanaannya. Salah satu metode yang bisa digunakan untuk menganalisis fondasi di tanah berbatuan adalah dengan melakukan pengujian kuat tekan bebas (*unconfined compressive strength*). Uji kuat tekan bebas adalah salah satu parameter untuk mengetahui kapasitas tanah dan batuan dengan memberikan pembebanan aksial ke benda uji sampai mengalami keruntuhan. Berdasarkan ASTM C39 (2020), adapun kriteria dimensi sampel yang akan diuji yakni dengan rasio diameter dan panjang sampel direntang 1.8 sampai 2.2. Alat pengujian yang digunakan berupa mesin penekan yang dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Mesin Penekan (Iwin Testing Equipment, 2026)

Menurut SNI 8640 (2017), Uji tekan uniaksial dilakukan untuk menentukan kuat tekan, modulus elastisitas Young, serta rasio Poisson pada benda uji berbentuk silinder dari batuan. Uji ini juga digunakan untuk klasifikasi dan menentukan karakteristik batuan utuh (*intact rock*). Hasil pengujian kemudian dianalisis dengan memperhatikan ciri klasifikasi batuan serta pola keruntuhan yang ditunjukkan pada sketsa benda uji setelah pengujian. Nilai kuat tekan bebas (σ_c) dapat dipakai sebagai parameter klasifikasi kualitas batuan utuh, dan apabila dikombinasikan dengan hasil uji tekan triaksial, dapat diplot dalam diagram Mohr untuk menentukan parameter keruntuhan Mohr–Coulomb, yaitu sudut geser dalam (φ) dan kohesi (c).

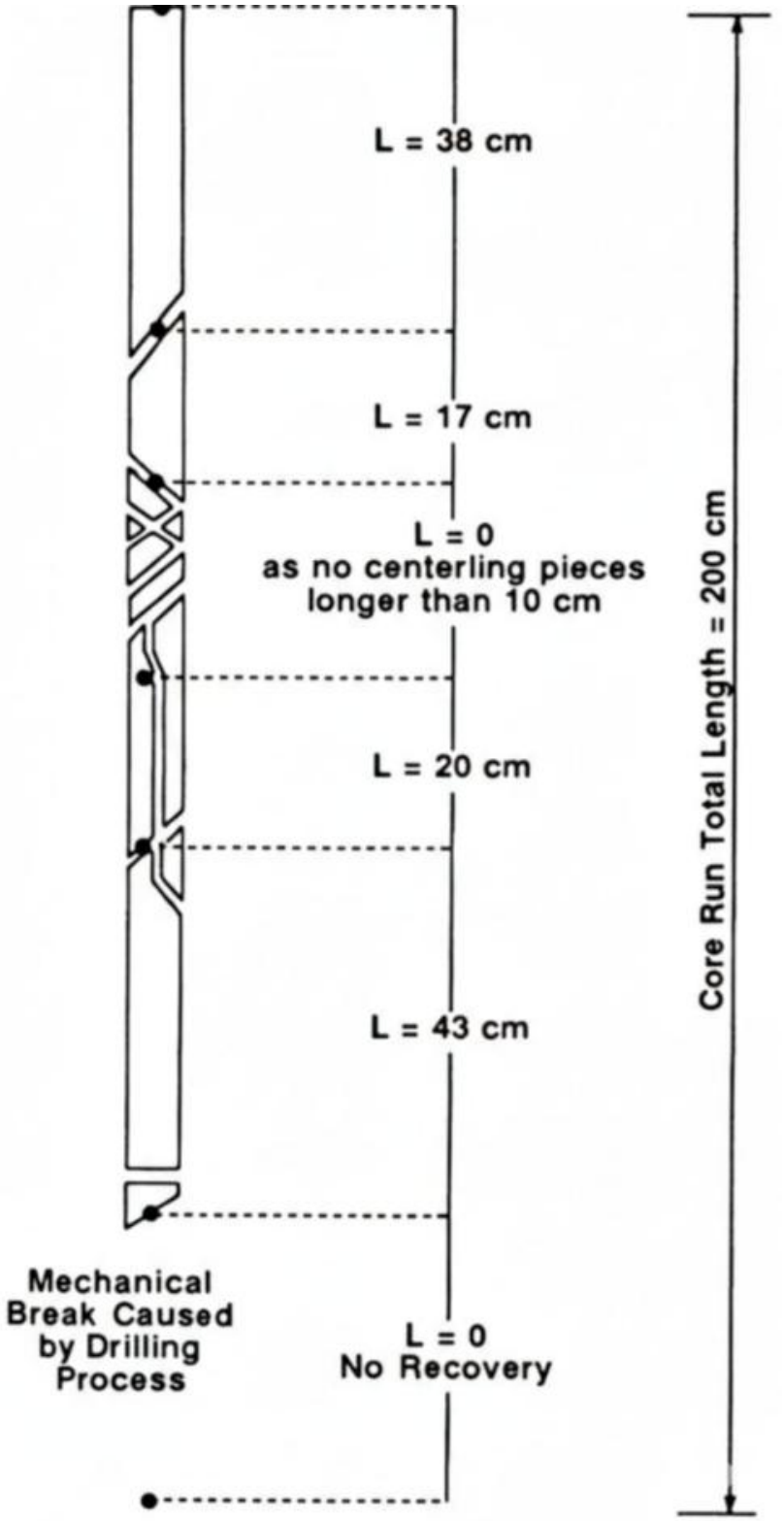
3.3 *Rock Quality Designation* (RQD)

Menurut Deere (1989), *Rock Quality Designation* (RQD) adalah indeks untuk menilai kualitas dari sebuah batuan yang informasinya hanya berdasarkan deskripsi ahli geologi dan hasil pengeboran inti. Prosedur untuk menentukan RQD dapat dihitung dengan mengukur potongan-potongan sampel yang masih utuh sepanjang lebih dari 100 milimeter, panjang potongan tersebut dijumlahkan lalu dibagi dengan total panjang pengeboran. Rumus perhitungan RQD dapat dilihat pada Persamaan 3.1. Potongan yang mengalami pelapukan dan tidak utuh tidak ikut dihitung walaupun memiliki panjang potongan lebih dari 100 milimeter, sehingga batuan yang sangat lapuk akan memberikan hasil RQD nol atau menandakan kualitas batuannya sangat buruk. Selain menggambarkan tingkat keutuhan inti bor, nilai RQD dapat digunakan sebagai indikator awal tingkat diskontinuitas pada massa batuan. Nilai RQD yang tinggi menunjukkan bahwa inti batuan memiliki potongan utuh yang relatif panjang dan sedikit rekahan, sedangkan nilai RQD yang rendah mengindikasikan adanya rekahan, pelapukan, atau fragmentasi yang lebih intensif. Oleh karena itu, nilai RQD tidak hanya digunakan untuk mengklasifikasikan kualitas batuan, tetapi juga menjadi salah satu parameter penting dalam sistem *Rock Mass Rating* (RMR) serta evaluasi sifat teknis massa batuan untuk kebutuhan perencanaan fondasi. Berikut adalah Tabel 3.1 yang menunjukan hubungan nilai RQD dengan kualitas yang dimiliki batuan dan Gambar 3.5 tentang ilustrasi perhitungan RQD.

$$RQD = \frac{\sum \text{Panjang potongan}-\text{potongan pengoboran}}{\text{Total panjang pengeboran}} \times 100\% \qquad (3.1)$$

Tabel 3.1 Hubungan Nilai RQD dengan Kualitas Batuan (Bieniawski, 1989)

RQD (%)	**Kualitas Batuan**
<25	Sangat Buruk
25-50	Buruk
50-75	Cukup
75-90	Baik
90-100	Sangat Baik



Gambar 3.5 Ilustrasi Perhitungan RQD (Deere, 1989)

3.4 *Rock Mass Rating* (RMR)

Rock Mass Rating (RMR) adalah sistem untuk mengklasifikasi perilaku batuan yang dikembangkan oleh Bieniawski (1989). Sistem ini dimodifikasi dari waktu ke waktu seiring banyak bertambah data kasus baru dan untuk menyesuaikan dengan standar. Sistem RMR terbukti memberikan manfaat dan kemudahan dalam penggunaannya untuk masalah desain terowongan, pertambangan, lereng dan fondasi (Yusuf, 2021). Sistem klasifikasi massa batuan ini memberi kemungkinan estimasi awal kekuatan dan properti dari massa batuan lemah untuk tahap desain awal proyek sehingga metode ini masih cocok untuk digunakan dalam penelitian ini. Ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengklasifikasi massa batuan menggunakan sistem RMR yakni sebagai berikut.

1. Kuat tekan unaksial (UCS) material batuan.
2. *Rock Quality Designation* (RQD).
3. Kondisi air tanah.
4. Jarak antar diskontinuitas (spasi kekar).
5. Kondisi diskontinuitas.

Semua parameter tersebut memiliki bobot penilaian yang berbeda-beda, dimana bobot yang lebih tinggi menunjukan kondisi massa batuan baik. Nilai bobot yang didapatkan lalu dijumlahkan untuk mendapatkan kelas dan deskripsi batuan. Nilai RMR yang didapat akan dikorelasikan dengan tabel korelasi untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam untuk perhitungan daya dukung batuan. Berikut klasifikasi parameter dan tiap bobot penilaiannya, penentuan kelas batuan berdasarkan total bobot nilai serta korelasi antara RMR dengan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ) yang dapat dilihat pada Tabel 3.2, 3.3 dan 3.4.

Tabel 3.2 Klasifikasi Parameter dan Bobot Penilaiannya (Bieniawski, 1989)

Parameter			Ranges of Values						
1	Strength of intact rock material	Point load strength index (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	For the low range, uniaxial compressive test is preferied		
		Uniaxial compressive strength (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 – 75	25 - 50	< 25		
	Rating		20	17	15	8	3		
3	Spacing of discontinuities		> 2 m	0,5 – 2 m	200 – 600 mm	60- 200 mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces, not continuous, no separation, unswesthered wall rock	Slightly rough surfaces, separation < 1 mm, slightly weathered walls	Slightly rough surfaces, separation < 1 mm, highly weathered walls	Slickensided surface, gouge < 5 mm thick, separation 1 – 5 mm, continous	Soft gouge > 5 mm thick, separation > 5 mm, continous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	< 10	10 – 25	25 – 125	> 125		
		Ratio $\frac{\text{Joint water pressure}}{\text{Major principal stress}}$	0	< 0.1	0,1 – 0.2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		General condition	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		

Tabel 3.3 Kelas Massa Batuan Berdasarkan Total Bobot Penilaiannya (Bieniawski, 1989)

Rating	**100 - 81**	**80 - 61**	**60 - 41**	**40 - 21**	**< 20**
Class no.	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

Tabel 3.4 Korelasi Antara RMR dengan Kohesi dan Sudut Geser Dalam (Bieniawski, 1989)

RMR	Kohesi (kN/m²)	Sudut Geser Dalam (°)
100-81	> 400	> 45
80-61	300-400	35-45
60-41	200-300	25-35
40-21	100-200	15-25
< 20	< 100	< 15

3.5 Spasi Kekar (Spacing Of Discontinuities)

Massa batuan biasanya tidak utuh, melainkan terdiri dari blok–blok batuan yang terpisah oleh bidang kekar atau lapisan. Menurut Esa dkk. (2022), spasi kekar adalah jarak antar diskontinuitas berdekatan dalam satu garis pengamatan atau *scanline*. Spasi kekar juga menjadi parameter yang menentukan kerapatan massa batuan. Massa batuan bisa diidentifikasi kekuatannya berdasarkan nilai spasi kekar yang bisa dilihat pada rumus 3.2 berikut ini.

$$s = \frac{Panjang\ Scanline}{\sum Diskontinuitas} \tag{3.2}$$

dengan:

s = Spasi kekar (m)

Panjang *scanline* = Panjang garis pengamatan atau panjang pengeboran (m)

ΣDiskontinuitas = Total jumlah diskontinuitas dalam *scanline*

3.6 Teori Daya Dukung Fondasi Dangkal Terzaghi dan Bowles

Fondasi dangkal (*shallow foundation*) harus memiliki dua karakteristik utama agar fungsinya sesuai dengan keinginan dan perencanaan yang telah dilakukan yaitu fondasi harus bisa mengantisipasi keruntuhan geser pada tanah serta fondasi

tidak boleh mengalami pergeseran atau bahkan penurunan yang berlebihan. Menurut Chan (2000), jenis-jenis keruntuhan geser terbagi menjadi tiga jenis yaitu sebagai berikut.

1. Keruntuhan Geser Umum (*General Shear Failure*)

   Keruntuhan geser umum mempertimbangkan keruntuhan tanah di bawah fondasi yang meluas sepanjang jalan menuju permukaan tanah. Keruntuhan dapat dilihat dalam tiga zona, yaitu zona kaku langsung di bawah fondasi, zona geser kontinu yang berputar ke atas, dan zona geser radial yang meluas ke permukaan tanah. Keruntuhan ini bisa terjadi pada satu sisi sehingga fondasi mengalami kemiringan dan tanah di atas fondasi mengembang akibat desakan tanah di bawah fondasi, tipe keruntuhan ini terjadi pada tanah yang padat dan kaku. Ini adalah model keruntuhan yang paling umum digunakan dalam analisis fondasi.

2. Keruntuhan Geser Lokal (*Local Shear Failure*)

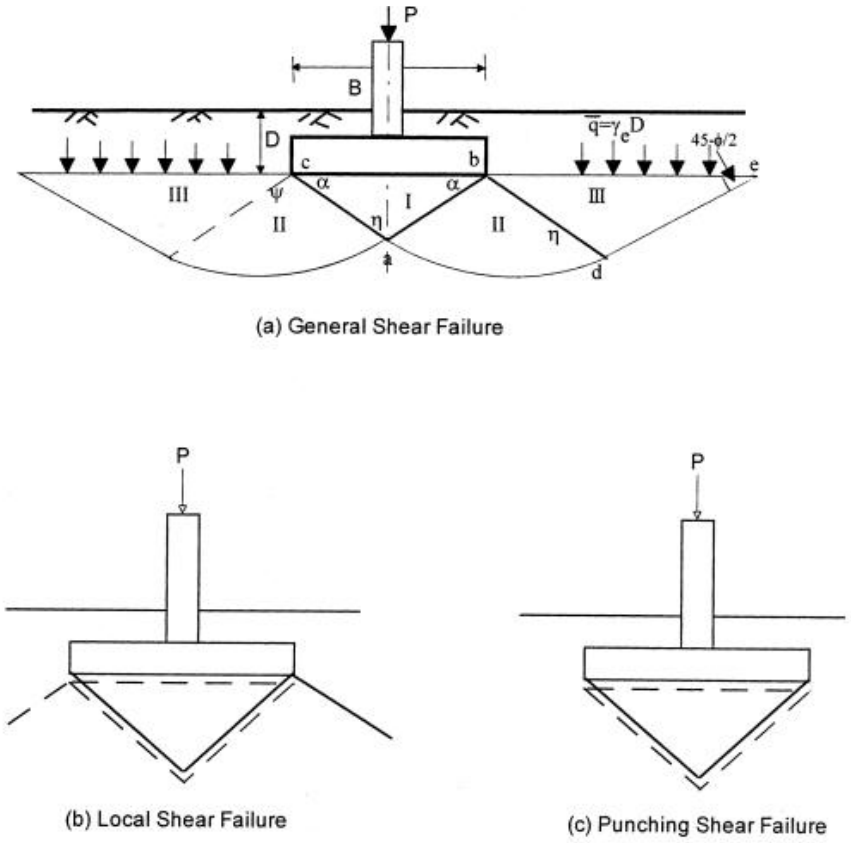
   Keruntuhan geser lokal melibatkan zona keruntuhan yang tidak meluas ke permukaan tanah. Fondasi terlalu dalam di bawah permukaan tanah atau tanahnya sangat mudah dikompresi (lunak) sehingga mencegah perkembangan dari permukaan keruntuhan lengkap yang meluas ke permukaan tanah.

3. Keruntuhan Penetrasi (*Punching Shear Failure*)

   Keruntuhan geser tusukan terjadi pada tanah yang sangat mudah dikompresi, seperti gambut. Permukaan geser tidak dapat berkembang karena kompresibilitas material yang tinggi. Tanah di bawah fondasi tertekan secara vertikal dengan penetrasi geser vertikal yang relatif kecil di sisi-sisi fondasi.

Penentuan tipe keruntuhan perlu dilakukan sebelum perhitungan kapasitas daya dukung karena setiap mekanisme memiliki parameter kuat geser dan faktor daya dukung yang berbeda. Keruntuhan geser umum umumnya digunakan pada material yang padat, kuat, dan relatif tidak kompresibel, sedangkan keruntuhan geser lokal lebih sesuai untuk material dengan kekuatan dan kekakuan sedang hingga rendah yang mengalami deformasi secara bertahap. Adapun keruntuhan penetrasi umumnya terjadi pada material yang sangat lunak atau sangat kompresibel sehingga fondasi cenderung mengalami penurunan vertikal tanpa

terbentuk bidang keruntuhan yang jelas. Oleh karena itu, pemilihan mekanisme keruntuhan harus mempertimbangkan kondisi lapangan, hasil penyelidikan geoteknik, karakteristik material pendukung, serta kedalaman dan dimensi fondasi. Ketiga ilustrasi jenis kegagalan yang terjadi pada fondasi dangkal dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Jenis-Jenis Keruntuhan Fondasi Dangkal (Chan, 2000)

Penentuan mekanisme keruntuhan fondasi dangkal pada penelitian ini menggunakan asumsi keruntuhan geser lokal (*local shear failure*). Asumsi tersebut didasarkan pada kondisi massa batuan di lokasi penelitian yang memiliki nilai kuat tekan uniaksial relatif rendah, mengalami pelapukan, dan menunjukkan nilai *Rock Quality Designation* (RQD) rata-rata sebesar 36,631% yang termasuk kategori buruk. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa massa batuan tidak sepenuhnya bersifat masif dan kaku karena keberadaan diskontinuitas serta proses pelapukan dapat menurunkan kekuatan dan kekakuan massa batuan. Pada kondisi

keruntuhan geser lokal, bidang geser berkembang secara terbatas di bawah alas fondasi dan tidak langsung mencapai permukaan, sehingga respon fondasi berlangsung lebih bertahap dibandingkan keruntuhan geser umum. Oleh karena itu, penggunaan pendekatan keruntuhan geser lokal dipilih sebagai asumsi yang lebih konservatif dalam perhitungan daya dukung fondasi.

Berdasarkan teori daya dukung Terzaghi (1943), total beban kolom (P) ditahan oleh tegangan geser di tepi tiga zona di bawah fondasi dan tekanan beban berlebih, beban di atas fondasi. Istilah pertama, cN_c, berhubungan dengan kohesi tanah. Istilah kedua berhubungan dengan kedalaman fondasi dan tekanan beban berlebih. Istilah ketiga berhubungan dengan lebar fondasi dan berat tanah di zona keruntuhan. Dengan mengetahui setiap tipe keruntuhan yang bisa terjadi, perhitungan daya dukung ultimit untuk fondasi dangkal khususnya berbentuk persegi dan persegi panjang diperoleh seperti Persamaan 3.3 dan 3.4 berikut ini.

$$Q_{u\ Persegi} = 1{,}3cN_c + \gamma D_f N_q + 0{,}4\gamma B N_\gamma \tag{3.3}$$

$$Q_{u\ Persegi\ Panjang} = cN_c(1 + 0.3\frac{B}{L}) + \gamma D_f N_q + 0{,}5\gamma B N_\gamma(1 - 0.2\frac{B}{L}) \tag{3.4}$$

dengan:

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit (kN/m^2)

N_c, N_q, N_γ = Faktor daya dukung tergantung sudut geser dalam tanah

c = Kohesi tanah atau batuan (kN/m^2)

γ = Berat isi tanah atau batuan (kN/m^3)

D_f = Kedalaman fondasi (m)

B = Lebar fondasi (m)

L = Panjang fondasi (m)

Dalam analisis kapasitas dukung yang mengacu pada keruntuhan geser lokal, material yang mempunyai sifat volume yang berubah di bawah bebannya atau mengalami regangan yang besar sebelum tercapai keruntuhan geser, tanpa adanya regangan yang cukup untuk menghasilkan keruntuhan geser umum. Terzaghi

(1943) menyatakan ada koreksi empiris pada faktor daya dukung keruntuhan geser umum yang dipakai untuk menganalisis model keruntuhan geser lokal yang dapat dilihat pada Persamaan 3.5 dan 3.6 berikut ini.

$$c' = \frac{2}{3}c \tag{3.5}$$

$$\varphi' = tan^{-1}[\frac{2}{3}\tan(\varphi)] \tag{3.6}$$

dengan:

c' = Kohesi efektif tanah atau batuan (kN/m^2)

c = Kohesi tanah atau batuan (kN/m^2)

φ' = Sudut geser dalam efektif (°)

φ = Sudut geser dalam (°)

Faktor-faktor daya dukung seperti N_c, N_q, N_γ merupakan fungsi dari sudut geser dalam (φ) yang dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Faktor Daya Dukung Terzaghi (Terzaghi, 1943)

Sudut Geser Dalam (φ)	**Keruntuhan Geser Umum**			**Keruntuhan Geser Lokal**		
	N_c	**N_q**	**N_γ**	**N_c**	**N_q**	**N_γ**
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8

Daya dukung ultimit adalah kondisi tanah harus bisa menopang beban maksimum yang diberikan sebelum mengalami keruntuhan, kegagalan maupun penurunan yang berlebihan. Keruntuhan bisa menyebabkan deformasi hingga keruntuhan pada struktur, sedangkan penurunan menyebabkan kerusakan struktur pada rangka bangunan. Kapasitas daya dukung ultimit (Q_u) perlu dikontrol menjadi kapasitas daya dukung izin (Q_{all}) agar bisa membatasi kegagalan yang terjadi sesuai toleransi yang berlaku dengan mengurangi atau membagi kapasitas daya dukung ultimit dengan faktor keamanan (*safety factor*). Faktor keamanan memiliki rentang nilai bervariasi yang berkisar diantara 2 sampai 3, penelitian ini menggunakan faktor keamanan sebesar 3 untuk menjamin kesesuaian daya dukung dan mengikuti persyaratan SNI 8460 (2017) tentang faktor keamanan fondasi dangkal.

Menurut Bowles (1997), nilai RQD berfungsi sebagai faktor reduksi kapasitas daya dukung, karena rumus yang diperkenalkan oleh Terzaghi (1943) lebih cocok digunakan untuk memperhitungkan fondasi dangkal pada kondisi tanah seragam maupun berlapis. Faktor reduksi ini merepresentasikan kondisi massa batuan yang ada dilapangan, hal ini dikarenakan sampel batuan yang diambil dan diuji merupakan sampel batuan utuh. Batuan utuh hanya merepresentasikan kondisi tanpa diskontinuitas, sehingga pendekatan untuk mendapatkan nilai daya dukung yang lebih realistis dengan kondisi lapangan dapat dilihat melalui Persamaan 3.7 berikut ini.

$$Q_{all} = \frac{Q_u (RQD)^2}{FS} \tag{3.7}$$

dengan:

Q_{all} = Kapasitas daya dukung izin (kN/m^2)

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit (kN/m^2)

RQD = Persentase kualitas batuan (%)

FS = Faktor keamanan sebesar 3

Daya dukung adalah kemampuan maksimum dari sebuah tanah atau batuan dalam menumpu sebuah beban. Nilai kapasitas yang diperoleh akan dibandingkan

dengan beban layan yang diterima oleh fondasi dari struktur atas untuk mengidentifikasi apakah tipe fondasi eksisting yang digunakan Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul sesuai dengan kondisi lapangan atau perlu ada evaluasi terhadap tipe fondasi yang sesuai dengan hasil perhitungan daya dukung. Nilai tegangan beban yang ditumpu dan disebarkan ke batuan oleh fondasi dapat dihitung dengan Persamaan 3.8 berikut.

$$\sigma_v = \frac{P}{A} \tag{3.8}$$

dengan:

σ_v = Tegangan vertikal (kN/m^2)

P = Total beban (kN)

A = Luas fondasi (m^2)

Nilai beban terpusat dibagi dengan luas penampang fondasi agar beban terdistribusi merata ke batuan di bawah tanah. Apabila nilai kapasitas daya dukung izin lebih besar dari nilai tegangan vertikal ($Q_{all} > \sigma_v$), maka fondasi dapat dikategorikan aman dan layak untuk digunakan tipenya. Sebaliknya jika nilai nilai kapasitas daya dukung izin lebih kecil dari nilai tegangan vertikal ($Q_{all} < \sigma_v$), maka fondasi tidak aman dan memerlukan perencanaan ulang terhadap tipe, dimensi atau kedalamannya berdasarkan kondisi lapangannya.

3.7 *Geological Strength Index* (GSI)

Geological Strength Index (GSI) merupakan sistem klasifikasi massa batuan yang dikembangkan untuk memperkirakan sifat kekuatan dan deformabilitas massa batuan. GSI digunakan terutama sebagai parameter masukan dalam kriteria keruntuhan Hoek–Brown untuk mengestimasi kekuatan massa batuan berdasarkan kondisi batuan utuh dan karakteristik diskontinuitasnya. Nilai GSI menggambarkan kualitas massa batuan melalui dua aspek utama, yaitu struktur massa batuan atau tingkat keterkekaran (*blockiness*) dan kondisi permukaan diskontinuitas, seperti kekasaran, tingkat pelapukan, bukaan, serta material pengisi rekahan (Hoek & Brown, 2019).

Penentuan nilai GSI dapat dilakukan secara langsung melalui pengamatan kondisi struktur massa batuan dan permukaan diskontinuitas menggunakan diagram GSI. Massa batuan yang utuh, masif, dan memiliki diskontinuitas kasar serta tidak lapuk akan memperoleh nilai GSI tinggi. Sebaliknya, massa batuan yang sangat terkekarkan, mengalami pelapukan tinggi, memiliki rekahan halus, terbuka, atau terisi material lemah akan menghasilkan nilai GSI rendah. Nilai GSI yang lebih tinggi menunjukkan massa batuan memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih besar, sedangkan nilai GSI rendah menunjukkan massa batuan lebih lemah dan lebih deformabel.

Apabila data pengamatan lapangan untuk menentukan GSI secara langsung tidak tersedia, nilai GSI dapat diperkirakan melalui korelasi dengan sistem klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) milik Bieniawski (1989). Untuk nilai lebih besar atau sama dengan 23, maka digunakan Persamaan 3.9 berikut ini.

$$GSI = RMR - 5 \tag{3.9}$$

dengan:

GSI = *Geological Strength Index*

RMR = Penilaian massa batuan

Dalam penelitian ini, nilai GSI digunakan sebagai parameter masukan pada model Hoek–Brown dalam perangkat lunak PLAXIS 2D. Nilai tersebut, bersama dengan kuat tekan uniaksial batuan utuh (σ_{ci}), konstanta batuan utuh (m_i), dan faktor gangguan (D), digunakan PLAXIS untuk menurunkan parameter kekuatan massa batuan. Dengan demikian, penggunaan GSI memungkinkan karakteristik massa batuan yang dipengaruhi oleh rekahan dan pelapukan dapat diperhitungkan dalam analisis daya dukung dan penurunan fondasi dangkal.

3.8 Penurunan (*Settlement*)

Penurunan (*settlement*) merupakan salah satu kriteria penting dalam perencanaan fondasi dangkal yang bertumpu pada batuan. Evaluasi fondasi tidak hanya dilakukan berdasarkan kapasitas daya dukung, tetapi juga berdasarkan deformasi

yang terjadi akibat beban struktur (Kimmerling, 2002). Meskipun batuan umumnya memiliki kuat tekan dan kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan tanah, massa batuan di lapangan dapat bersifat heterogen akibat keberadaan rekahan, bidang diskontinuitas, zona pelapukan, rongga, serta variasi kekuatan antar lapisan. Kondisi tersebut dapat menyebabkan penurunan tidak seragam atau penurunan diferensial yang berpotensi menimbulkan keretakan dan gangguan fungsi pada struktur di atasnya.

Menurut Bowles (1997), masalah penurunan fondasi dibahas melalui beberapa komponen utama, yaitu penurunan segera (*immediate settlement*), penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), dan penurunan sekunder atau rangkak (*secondary settlement*). Penurunan segera terjadi secara langsung atau dalam waktu singkat setelah beban bekerja dan berkaitan dengan deformasi elastis massa tanah atau batuan. Penurunan konsolidasi terjadi akibat disipasi tekanan air pori pada material jenuh, terutama tanah berbutir halus, sedangkan penurunan sekunder merupakan deformasi lanjutan setelah proses konsolidasi primer berlangsung akibat perubahan struktur internal material seiring waktu.

Pada penelitian ini, jenis penurunan yang digunakan adalah penurunan elastik atau penurunan segera (*immediate settlement*). Pemilihan tersebut didasarkan pada kondisi fondasi dangkal yang bertumpu pada massa batuan, sehingga deformasi akibat beban struktur diperkirakan dominan terjadi secara langsung dan dipengaruhi oleh sifat elastis material, terutama modulus elastisitas (E_{rm}) dan *poisson ratio* (v). Penurunan konsolidasi tidak digunakan sebagai dasar perhitungan utama karena mekanisme tersebut umumnya berkaitan dengan disipasi air pori pada tanah jenuh, sedangkan material pendukung dalam penelitian ini berupa massa batuan. Oleh karena itu, penurunan elastik dipakai untuk mengevaluasi deformasi vertikal fondasi pada kondisi layan dan memastikan nilainya tidak melampaui batas penurunan izin. Pendekatan penurunan segera Bowles menggunakan teori elastisitas dan faktor pengaruh geometri fondasi dalam menghitung respon deformasi material pendukung (Bowles, 1997).

Nilai penurunan (*settlement*) untuk fondasi dangkal bisa diperoleh menggunakan rumus yang ditawarkan oleh Bowles (1997), rumus tersebut bisa dilihat pada Persamaan 3.10 berikut.

$$S_e = q_o(\alpha B')\frac{1-v^2}{E_{rm}} I_s I_f \tag{3.10}$$

dengan:

S_e = Penurunan elastik fondasi (m)

q_o = Tekanan netto yang bekerja pada dasar fondasi (kN/m^2)

α = Koefisien titik tinjauan penurunan sebesar 4 untuk di tengah fondasi

B’ = Lebar efektif fondasi (m)

v = *Poisson ratio*

E_{rm} = Modulus elastisitas batuan (kN/m^2)

I_s = Faktor bentuk fondasi

I_f = Faktor kedalaman Fondasi

Adapun Nilai faktor bentuk (I_s) dan faktor kedalaman fondasi (I_f) merupakan parameter koreksi dalam perhitungan penurunan elastik. Faktor bentuk mempertimbangkan pengaruh geometri fondasi dan kedalaman lapisan material pendukung yang mengalami deformasi, sedangkan faktor kedalaman mempertimbangkan pengaruh kedalaman peletakan dasar fondasi terhadap nilai penurunan. Menurut Steinbrenner (1934), persamaan untuk menentukan nilai faktor (I_s) bentuk dan faktor kedalaman (I_f) dan parameter lainnya disajikan pada Persamaan 3.11 hingga 3.21 berikut.

$$I_s = F_1 + (\frac{1-2v}{1-v})F_2 \tag{3.11}$$

$$I_f = \frac{D_f}{B} \tag{3.12}$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi}(A_0 + A_1) \tag{3.13}$$

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi} tan^{-1}(A_2) \tag{3.14}$$

$$A_0 = m' ln \frac{(1+\sqrt{m'^2+1})\sqrt{m'^2+n'^2}}{m'(1+\sqrt{m'^2+n'^2+1})} \tag{3.15}$$

$$A_1 = ln \frac{(m'+\sqrt{m'^2+1})\sqrt{1+n'^2}}{m'+\sqrt{m'^2+n'^2+1}} \tag{3.16}$$

$$A_2 = \frac{m'}{n'+\sqrt{m'^2+n'^2+1}} \tag{3.17}$$

$$m' = \frac{L}{B} \tag{3.18}$$

$$n' = \frac{H}{B'} \tag{3.19}$$

$$B' = \frac{B}{2} \tag{3.20}$$

$$q_o = \frac{P}{A} + \gamma D_f \tag{3.21}$$

dengan:

I_s = Faktor bentuk fondasi

I_f = Faktor kedalaman fondasi

v = *Poisson ratio*

F_1 = Komponen pertama faktor bentuk Steinbrenner

F_2 = Komponen kedua faktor bentuk Steinbrenner yang dipengaruhi oleh kedalaman lapisan material pendukung

A_0, A_1, A_2 = Parameter antara atau parameter bantu tak berdimensi untuk memperoleh nilai F_1 dan F_2

m' = Rasio geometri panjang efektif terhadap lebar efektif fondasi

n' = Rasio kedalaman lapisan material terhadap lebar efektif fondasi

B’ = Lebar efektif fondasi (m)

B = Lebar fondasi (m)

L = Panjang fondasi (m)

H = Kedalaman lapisan batuan dengan asumsi senilai 1 meter

q_o = Tekanan netto yang bekerja pada dasar fondasi (kN/m^2)

P = Total beban (kN)

A = Luas fondasi (m^2)

γ = Berat isi (kN/m^3)

D_f = Kedalaman fondasi (m)

Bureau of Indian Standards (1987) menyatakan bahwa desain fondasi pada batuan perlu memeriksa kapasitas daya dukung dan penurunan. Salah satu dari kedua kriteria tersebut dapat menjadi kondisi pengendali, tetapi penurunan sering kali menjadi faktor yang menentukan dalam desain fondasi pada batuan. Standar tersebut juga menekankan bahwa pembebanan yang melebihi kemampuan massa batuan dapat mengakibatkan penurunan diferensial yang besar atau bahkan keruntuhan mendadak, terutama pada massa batuan yang memiliki zona rekahan, bidang geser, material lempung pada diskontinuitas, pelapukan, lapisan keras–lunak yang berselang-seling, atau rongga pelarutan.

Berdasarkan Bureau of Indian Standards (1987) penurunan izin yang digunakan untuk menentukan tekanan daya dukung aman dari hasil *plate load test* pada fondasi batuan adalah sebesar 12 mm, termasuk untuk area pembebanan yang luas. Nilai batas penurunan tersebut ditetapkan relatif kecil karena massa batuan bersifat heterogen dan respon deformasinya dapat dipengaruhi oleh kondisi diskontinuitas maupun kualitas batuan di bawah alas fondasi. Pada struktur yang sangat kaku, seperti silo beton bertulang, batas penurunan dapat dinaikkan secara bijaksana apabila terdapat justifikasi desain yang memadai. Apabila nilai penurunan hasil pemodelan lebih kecil atau sama dengan 12 mm, fondasi dinyatakan memenuhi kriteria layan terhadap penurunan. Sebaliknya, apabila nilai penurunan melebihi 12 mm, maka fondasi perlu dievaluasi lebih lanjut melalui peninjauan parameter deformabilitas massa batuan, kondisi rekahan,

kemungkinan rongga, distribusi beban, dimensi fondasi, atau alternatif perbaikan lapisan pendukung.

Bureau of Indian Standards (1987) juga menjelaskan bahwa pada batuan yang lemah, sangat lapuk, terfragmentasi, atau memiliki diskontinuitas dengan spasi rapat, massa batuan dapat diperlakukan dengan pendekatan mekanika tanah konvensional. Oleh sebab itu, untuk batuan dengan nilai RQD rendah dan indikasi pelapukan, analisis penurunan menjadi penting karena perilaku massa batuan tidak sepenuhnya dapat diwakili oleh kuat tekan batuan utuh saja. Parameter deformabilitas massa batuan serta kondisi diskontinuitas perlu dipertimbangkan dalam pemodelan numerik agar nilai penurunan yang diperoleh lebih mendekati kondisi lapangan.

3.9 Pemodelan Struktur dengan *Software* ETABS v22

ETABS v22 merupakan salah satu dari banyak *software* yang bisa memodelkan dan menganalisis suatu struktur terhadap gaya maupun beban yang ada. Pada penelitian ini dilakukan analisis beban struktur yang memperhitungkan beban mati (DL) dan beban hidup (LL) pada Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul untuk mendapatkan nilai total beban (P) guna mengevaluasi fondasi eksisting bangunan. Tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai total beban (P) adalah sebagai berikut.

1. Pemodelan Struktur Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul

   Pemodelan struktur dilakukan dengan membuat program baru pada *software* dan memilih satuan unit yang akan digunakan selama proses analisis. Selanjutnya menentukan dimensi dan grid sesuai dengan spesifikasi gambar kerja Gedung. Setelah itu, mendefinisikan material yang digunakan pada Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul seperti mutu beton dan material lainnya. Langkah yang terakhir adalah memodelkan material yang telah didefinisikan seperti kolom, balok, dinding beton dan plat lantai maupun atap sesuai gambar kerja Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul.

2. Pembebanan Struktur dan Kombinasinya

   Mendefinisikan dan mengaplikasikan beban mati bangunan berdasarkan berat tiap elemen yang ada. Mendefinisikan dan mengaplikasikan beban hidup bangunan berdasarkan pengelompokan fungsi ruang pada Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul sesuai dengan (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Kombinasi beban yang cocok digunakan untuk desain sistem fondasi dangkal adalah 1,2DL + 1,6LL tanpa beban gempa karena berfokus untuk mendapatkan total beban gravitasi fondasi. Didukung oleh literatur milik Septiawan dkk., (2021) bahwa penambahan beban gempa pada struktur memengaruhi kapasitas kemampuan bangunan dalam menahan gaya gravitasi yang artinya gaya gempa yang dimasukan dapat mengubah gaya aksial yang menjadi dasar dalam perencanaan fondasi.
3. Menentukan Tumpuan Struktur Bangunan

   Tumpuan bangunan ditentukan berdasarkan gambar kerja Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul. Fondasi eksisting berjenis beton bertulang telapak tunggal sehingga kondisi tumpuan dianggap jepit.
4. Cek Hasil Analisis Pembebanan

   Hasil dari analisis yang dilakukan bisa dilihat pada menu catatan hasil dari analisis (*analysis run log*) untuk mendapatkan nilai tegangan aksial dari setiap tumpuan.

3.10 Pemodelan Fondasi Menggunakan PLAXIS 2D

PLAXIS 2D merupakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Method*/FEM) yang digunakan untuk menganalisis respon deformasi dan stabilitas pada permasalahan geoteknik. Dalam penelitian ini, PLAXIS 2D digunakan sebagai metode numerik untuk memperoleh nilai penurunan (*settlement*) fondasi telapak serta membandingkan kapasitas daya dukung hasil pemodelan dengan hasil perhitungan analitis menggunakan metode Terzaghi-Bowles. Pemodelan dilakukan pada kondisi regangan bidang (*plane strain*) sebagai penyederhanaan potongan melintang sistem fondasi–massa batuan.

Massa batuan dimodelkan menggunakan kriteria keruntuhan Hoek–Brown. Model tersebut dipilih karena dirancang untuk material batuan dan mampu merepresentasikan hubungan keruntuhan nonlinier massa batuan. Dalam model Hoek–Brown, kekuatan massa batuan ditentukan oleh kuat tekan uniaksial batuan utuh (σ_{ci}), konstanta material batuan utuh (m_i), *Geological Strength Index* (GSI), dan faktor gangguan massa batuan (D). Nilai konstanta material batuan utuh, GSI, dan faktor gangguan massa batuan digunakan melalui opsi *Derived* pada PLAXIS 2D. Nilai D berada pada rentang 0 untuk massa batuan tidak terganggu hingga 1 untuk massa batuan yang mengalami gangguan sangat tinggi akibat peledakan, penggalian, atau relaksasi tegangan.

Parameter yang tersedia dari hasil penyelidikan dan pengujian batuan dalam penelitian ini meliputi berat isi batuan (γ), modulus elastisitas batuan (E_{rm}), *poisson ratio* (ν), kohesi (c), sudut geser dalam (φ), dan kuat tekan uniaksial batuan utuh (σ_{ci}). Parameter berat isi, modulus elastisitas, nisbah Poisson, dan UCS dimasukkan secara langsung ke dalam model material Hoek–Brown. Sementara itu, nilai kohesi dan sudut geser dalam digunakan sebagai parameter pembanding hasil korelasi RMR dan perhitungan daya dukung Terzaghi dan Bowles, karena parameter tersebut tidak digunakan secara langsung sebagai parameter utama pada amplop keruntuhan Hoek Brown.

Parameter Hoek–Brown yang tidak tersedia secara langsung, yaitu konstanta batuan utuh, nilai GSI, faktor gangguan, dan sudut dilatasi maksimum akan ditentukan melalui pendekatan parameter rekomendasi awal yang tersedia dalam basis data material PLAXIS sesuai dengan jenis dan klasifikasi batuan. Nilai tersebut dipilih berdasarkan tipe litologi batuan yang paling mendekati kondisi lapangan serta tingkat kualitas massa batuan hasil klasifikasi RMR dan RQD. Penggunaan parameter rekomendasi dari PLAXIS dilakukan sebagai pendekatan awal pemodelan karena data pengujian khusus untuk memperoleh seluruh parameter Hoek–Brown tidak tersedia. Oleh sebab itu, nilai parameter tersebut perlu dicantumkan secara jelas dalam tabel *input* material dan dinyatakan sebagai parameter asumsi atau parameter estimasi dalam keterbatasan penelitian.

Tahapan pemodelan diawali dengan penentuan geometri model yang mencakup dimensi massa batuan, elevasi dasar fondasi, dan ukuran fondasi pada setiap variasi. Selanjutnya, parameter material massa batuan dimasukkan sesuai hasil pengujian atau korelasi parameter geoteknik, kemudian fondasi dimodelkan menggunakan elemen plate dengan sifat material beton. Setelah itu, beban struktur dimasukkan sebagai beban merata pada elemen fondasi serta kondisi batas diterapkan pada sisi dan dasar model untuk membatasi pergerakan yang tidak merepresentasikan kondisi lapangan.

Tahap berikutnya adalah pembentukan *mesh* untuk membagi model menjadi elemen hingga, dengan pemadatan elemen terutama pada area di sekitar fondasi agar respon tegangan dan deformasi dapat diperoleh secara lebih teliti. Perhitungan dilakukan melalui tahap tegangan awal (*initial phase*) untuk membentuk kondisi awal massa batuan, dilanjutkan dengan tahap konstruksi (*staged construction*) berupa aktivasi fondasi dan pembebanan. Hasil analisis kemudian dievaluasi pada menu *Output* untuk memperoleh nilai perpindahan vertikal maksimum (u_y) sebagai nilai penurunan fondasi, serta respon tegangan dan deformasi yang digunakan dalam analisis daya dukung dan perbandingan terhadap hasil perhitungan analitis. Nilai penurunan tersebut dibandingkan dengan batas penurunan izin fondasi dangkal pada batuan sebesar 12 mm berdasarkan Bureau of Indian Standards (1987).

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul berlokasi di Dusun Kepuh, Desa Pacarejo, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian (Google Earth, 2025)

4.2 Studi Literatur

Studi literatur adalah metode yang dilakukan oleh peneliti dengan cara membaca atau mengkaji referensi dari sumber-sumber yang terpercaya untuk dijadikan acuan informasi maupun landasan teori penelitian. Sumber yang dijadikan referensi ini harus memiliki kaitan dengan permasalahan yang dibahas pada penelitian sekarang. Sumber ini bisa berupa artikel ilmiah, jurnal bahkan laporan penelitian baik dalam bentuk cetak maupun digital.

4.3 Data Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan untuk menganalisis fondasi eksisting bangunan menggunakan data primer dan data sekunder. Adapun data yang digunakan untuk analisis penelitian ini meliputi.

1. Data Primer

   Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari peneliti dengan melakukan penyelidikan serta analisis langsung di lapangan dan pengujian laboratorium. Data primer yang dimaksud terdiri dari:

   a. Data penyelidikan batuan di Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul.
   b. Data hasil pengujian dan analisis di lapangan dan laboratorium.
   c. Data perhitungan kapasitas daya dukung serta penurunan menggunakan teori Terzaghi-Bowles dan pemodelan PLAXIS 2D.

2. Data Sekunder

   Data sekunder adalah data tambahan yang diperoleh dari perencanaan bangunan eksisting. Data sekunder yang dimaksud terdiri dari:

   a. Gambar kerja dan detail struktural Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul.
   b. Laporan kajian kelayakan geologis pada Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul.

   Kedua data tersebut diperoleh peneliti dari pengajuan surat izin untuk melakukan analisis pada salah satu gedung yang ada di UNY Gunungkidul kepada pihak Universitas akan digunakan untuk mengetahui pembebanan yang diberikan dari struktur atas menuju ke fondasi.

4.4 Analisis Data

Analisis data yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Analisis Data Penyelidikan Batuan di Lapangan dan Laboratorium

   Sampel batuan yang diambil dari lapangan dengan pengeboran inti (*coredrill*) akan diidentifikasi terlebih dahulu jarak dan kondisi diskontinuitasnya untuk menentukan nilai RQD-nya. Setelah itu sampel dibawa untuk dilakukan

pengujian kuat tekan di laboratorium. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kapasitas terhadap gaya aksialnya dan nilai RMR batuan serta parameter lainnya. Pengujian ini memberikan data dan informasi penting yang diperlukan untuk melakukan analisis pada tahap selanjutnya.

2. Analisis Pembebanan dengan *Software* ETABS v22

   Analisis pembebanan menggunakan ETABS v22 guna mencari besarnya gaya yang bekerja dari struktur atas ke fondasi. Aplikasi ini bisa menghitung total berat dari elemen struktur seperti balok, kolom, pelat dan pembebanan yang bekerja sesuai dengan denah ruangan pada struktur. Struktur atas dimodelkan dan dianalisis untuk memberikan total beban (P) yang diterima oleh fondasi untuk perhitungan pada tahap selanjutnya. Kombinasi beban yang cocok digunakan untuk desain sistem fondasi dangkal adalah 1,2D + 1,6L tanpa beban gempa karena berfokus untuk mendapatkan total beban gravitasi fondasi.

3. Analisis dan Evaluasi Fondasi Telapak Eksisting dengan Fondasi Berdasarkan Data dan Teori Terzaghi-Bowles

   Nilai RQD dan RMR yang didapat dari analisis sebelumnnya digunakan untuk dasar perhitungan daya dukung batuan menggunakan teori Terzaghi dan Bowles. Total nilai RMR akan dikorelasikan menggunakan Tabel Bieniawski untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser dalamnya agar bisa dimasukan ke rumus Terzaghi. Nilai-nilai parameter (dimensi dan UCS) yang diperoleh akan digabungkan dengan data sekunder agar mendapatkan nilai rerata yang representatif.

4. Pemodelan Fondasi Menggunakan PLAXIS 2D

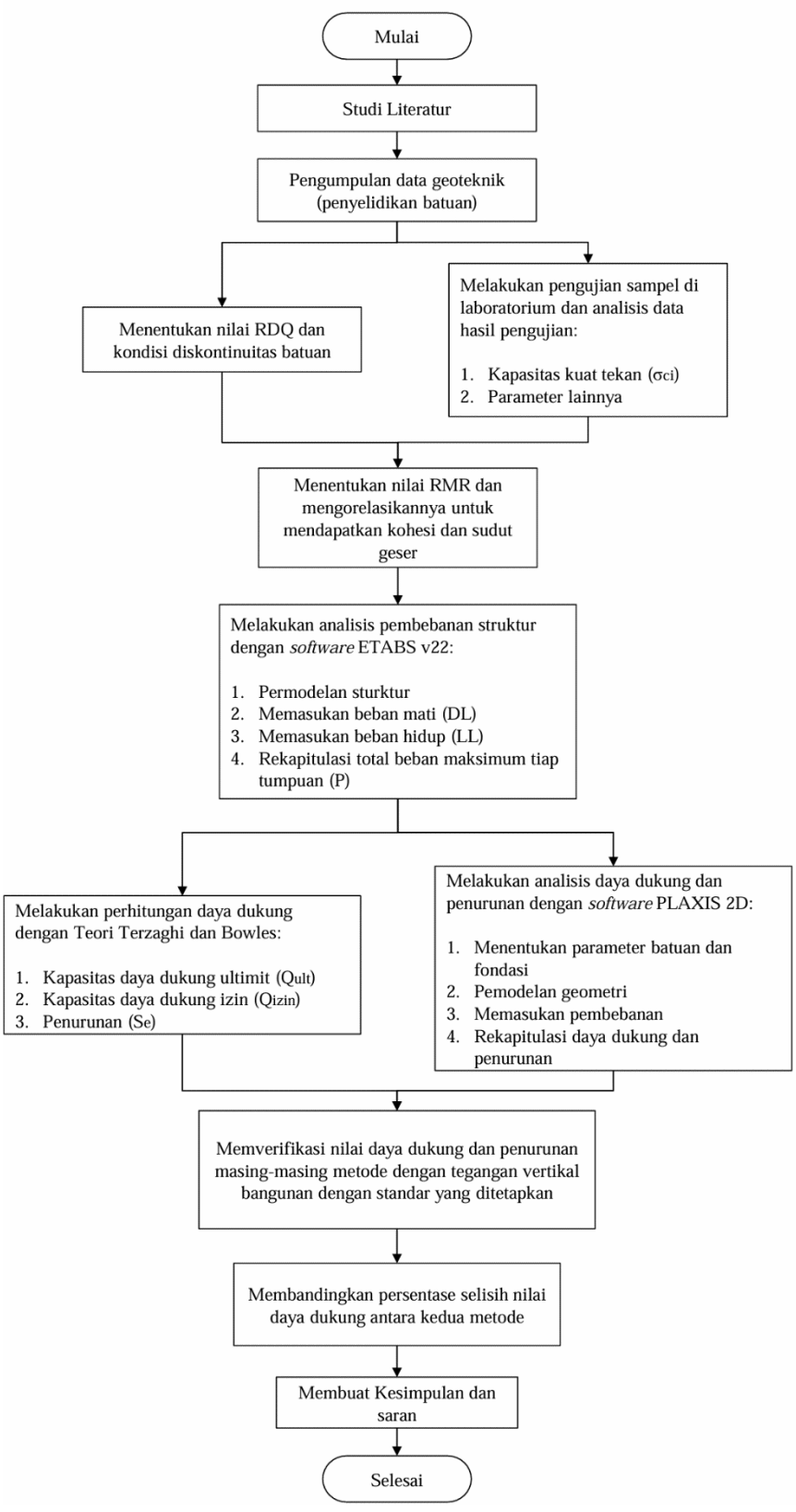
   Pemodelan diawali dengan pembuatan geometri model sesuai dimensi batuan, dan elevasi dasar fondasi, dilanjutkan dengan input parameter material pada setiap lapisan serta elemen *plate* fondasi. Setelah geometri dan material didefinisikan, dilakukan *meshing* dengan kehalusan yang diperbesar di sekitar fondasi untuk meningkatkan akurasi hasil pada zona kritis. Perhitungan dilakukan secara bertahap (*staged construction*) yang terdiri atas fase kondisi awal (*initial phase*), fase aktivasi fondasi, dan fase pembebanan hingga beban layan tercapai. Kapasitas daya dukung ultimit selanjutnya ditentukan melalui

kurva penurunan (U_y) terhadap pembebanan yang terjadi dengan mengambil nilai beban pada saat kurva mencapai kondisi ultimit atau nilai penurunan bertambah tetapi nilai pembebanan konstan maupun turun. Hasil akhir pemodelan berupa nilai daya dukung dan penurunan.

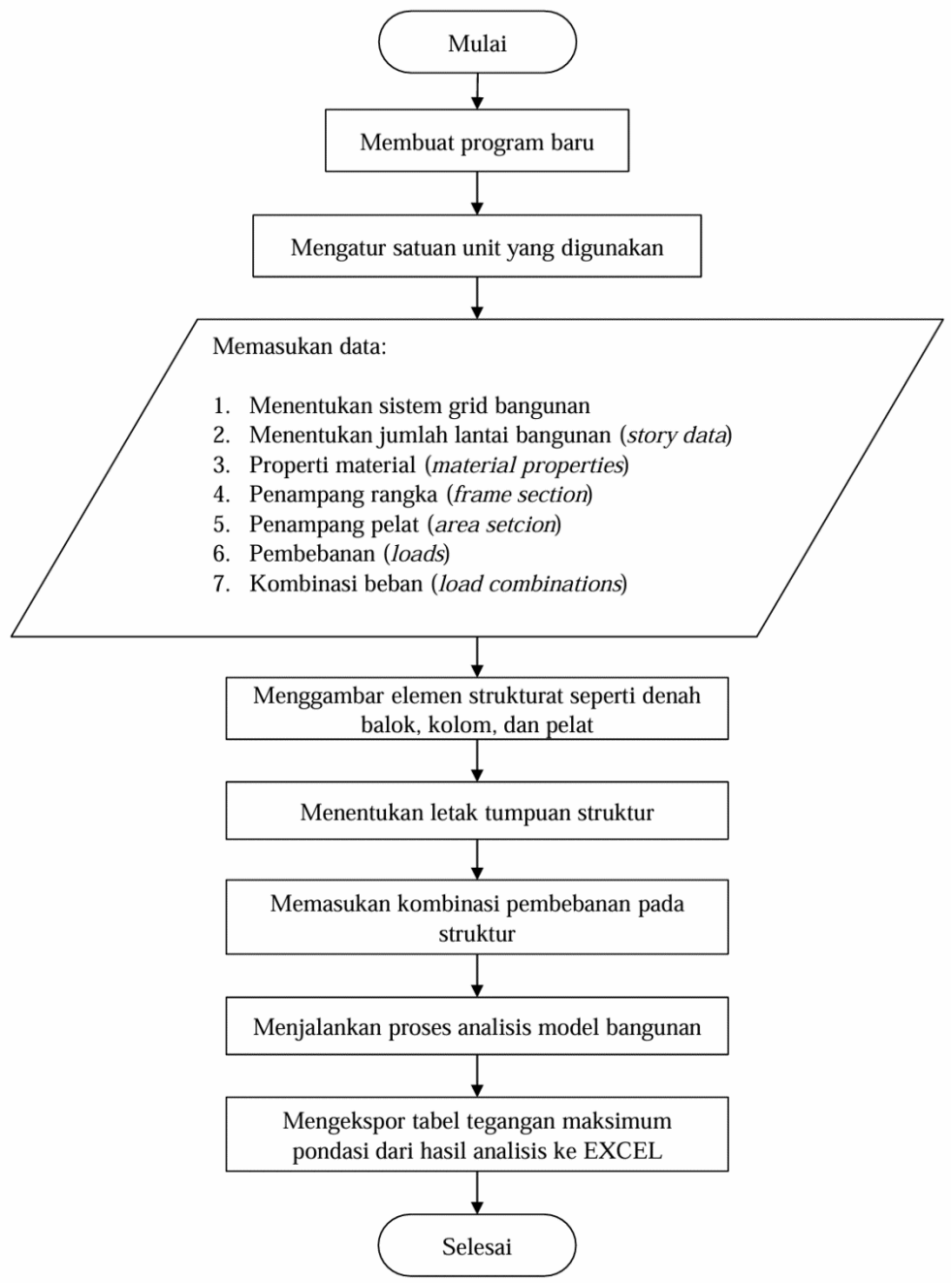
5. Membandingkan Nilai Berdasarkan Hasil Analisis yang Telah Dilakukan
   Evaluasi keamanan fondasi eksisting dilakukan dengan membandingkan tegangan vertikal (σ_v) dengan daya dukung izin (Q_{all}) dari hasil analisis menggunakan metode Tergazhi-Bowles dan pemodelan PLAXIS 2D. Selain itu, perbedaan hasil antara kedua metode perhitungan daya dukung dinyatakan dalam bentuk persentase selisih untuk menilai sejauh mana kedua metode saling mendukung dalam menggambarkan kondisi daya dukung batuan yang sebenarnya di lapangan.
6. Menyusun Pembahasan dan Kesimpulan Berdasarkan Hasil Analisis yang Dilakukan

4.5 Diagram Alir Penelitian

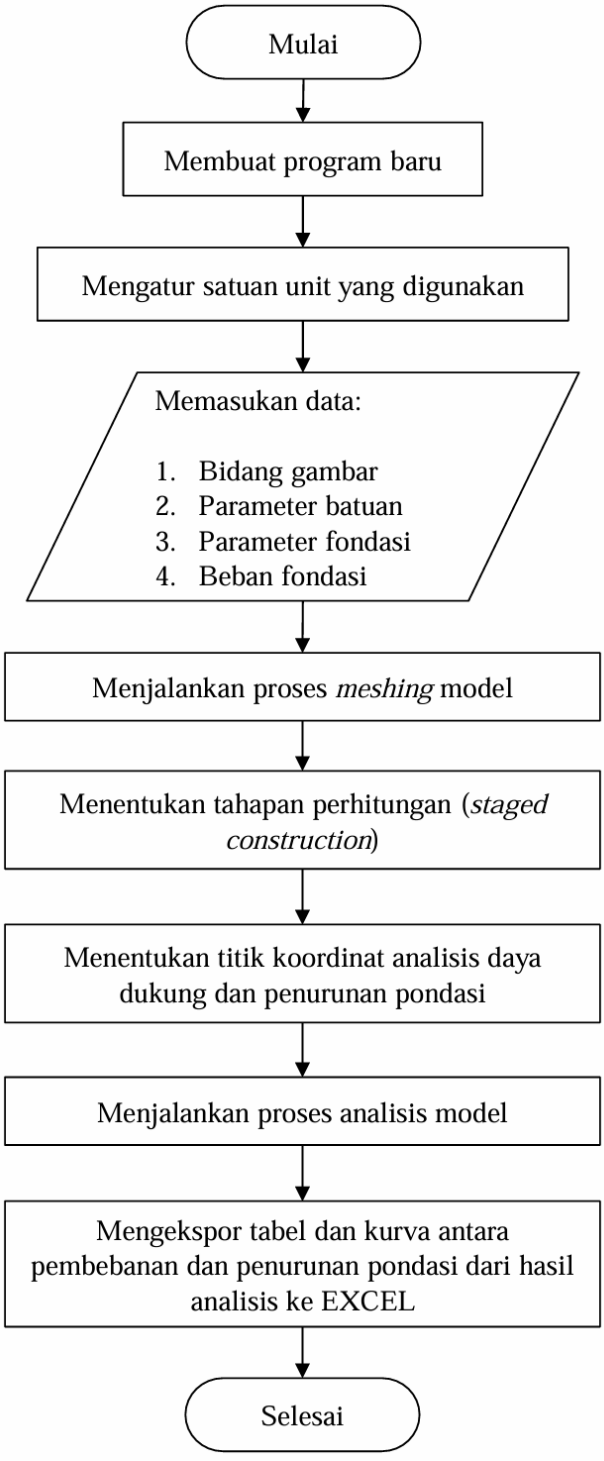
Diagram alir penelitian memiliki fungsi untuk menampilkan proses, tahapan atau langkah-langkah dalam penelitian secara berurutan. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4. Gambar 4.2 menjelaskan alur penelitian yang akan dilakukan seperti pengumpulan data batuan sampai tahap analisis fondasi berdasarkan hasil penyelidikan batuan. Gambar 4.3 menjelaskan tahapan pemodelan bangunan menggunakan *software* ETABS v22 guna mencari tegangan yang didapat fondasi dari beban yang bekerja pada bangunan. Gambar 4.4 menjelaskan tahapan pemodelan bangunan menggunakan *software* PLAXIS 2D guna mencari nilai daya dukung dan penurunan yang terjadi pada fondasi eksisting.



Gambar 4.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4.3 Diagram Alir Analisis Struktur dengan *Software* ETABS v22



Gambar 4.4 Diagram Alir Analisis Daya Dukung dan Penurunan dengan *Software* PLAXIS 2D

BAB V
HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

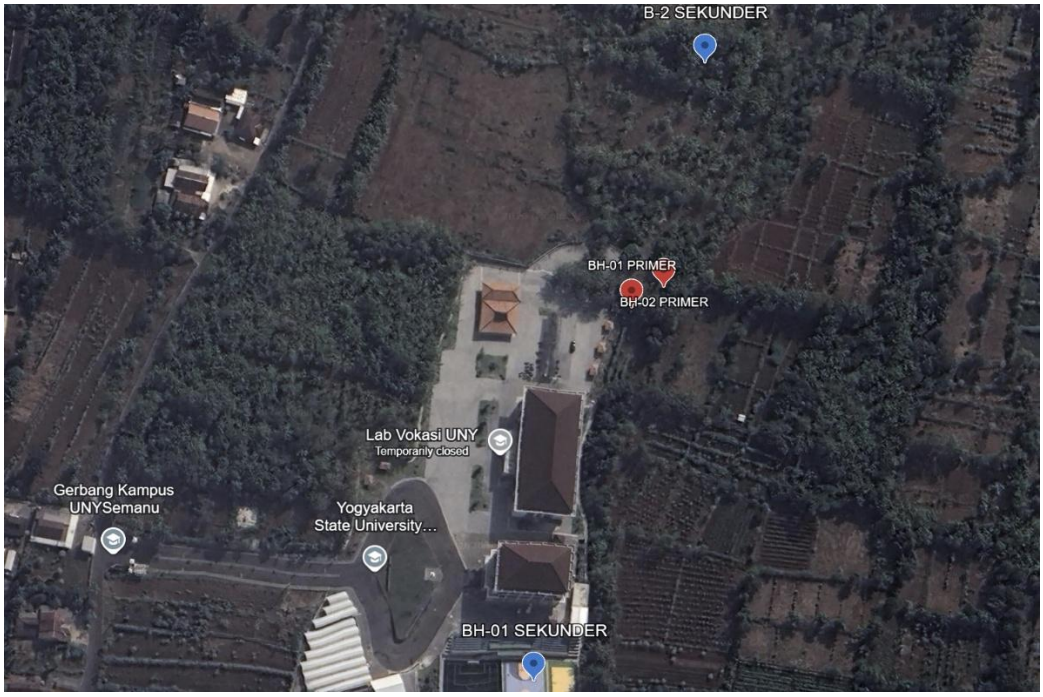
5.1 Pengumpulan dan Analisis Data Geoteknik

Pengumpulan dan analisis data geoteknik dilakukan untuk memperoleh parameter tanah dan batuan yang diperlukan dalam evaluasi fondasi telapak eksisting. Data tersebut meliputi hasil penyelidikan lapangan, kondisi lapisan batuan, rekahan atau diskontinuitas, nilai RQD, klasifikasi RMR, serta hasil pengujian kuat tekan batuan. Seluruh data kemudian digunakan sebagai dasar penentuan parameter massa batuan, perhitungan daya dukung, dan pemodelan fondasi.

5.1.1 Penyelidikan Sampel Batuan

Penyelidikan sampel batuan dilakukan di sekitar Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul untuk mendapat sampel batuan yang akan dianalisis daya dukungnya. Penyelidikan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan kondisi bawah permukaan pada lokasi penelitian yang menjadi dasar tumpuan fondasi telapak eksisting. Selain itu, penyelidikan ini bisa memberikan susunan lapisan, rekahan, dan kondisi batuan yang menjadi parameter dasar penelitian.

Penyelidikan ini dilaksanakan pada tanggal 13 sampai 14 Juni 2026 dengan kedalaman 6 meter pada 2 titik pengeboran sesuai persyaratan SNI 8460 (2017) mengenai persyaratan perancangan geoteknik. Titik penyelidikan yang dipilih berjarak sejauh 37 meter dari bangunan eksisting dan jarak antar kedua titik bor sejauh 15 meter. Setiap titik penyelidikan diberikan kode *borehole* (BH-) agar mudah teridentifikasi pada gambar, lampiran dan proser perhitungan. Jarak dan titik penyelidikan untuk data primer dan sekunder dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Tabel 5.1 berikut ini.



Gambar 5.1 Jarak Antar Bangunan Eksisting dengan Lokasi Penyelidikan (Google Earth, 2026)

Tabel 5.1 Jarak Titik Penyelidikan

	Kode Bor	Koordinat	Jarak Antar Titik	Jarak Antar Titik ke Bangunan
Primer	BH-01	7.994328°S, 110.624858°E	15.76 m	42.04 m
	BH-02	7.994223°S, 110.625075°E		56.61 m
Sekunder	B-1	7.994581°S, 110.626027°E	-	-
	B-2	7.993892°S, 110.624768°E	-	-

Selama proses penyelidikan, dilakukan pendampingan dan pencatatan hasil pada setiap meter data oleh peneliti. Pengambilan sampel batuan diambil menggunakan mesin bor kecil merk KOKEN tipe *spindel* dan memakai mata bor berdiameter 6 cm. Sampel hasil pengeboran yang dilakukan pada BH-01 dan BH-2 diletakan ke dalam *core box* untuk dianalisis RQD dan kondisi diskontinuitasnya. Sampel masing-masing *borehole* dapat dilihat pada Gambar 5.2 dan 5.3 berikut.



Gambar 5.2 *Core Box* BH-01

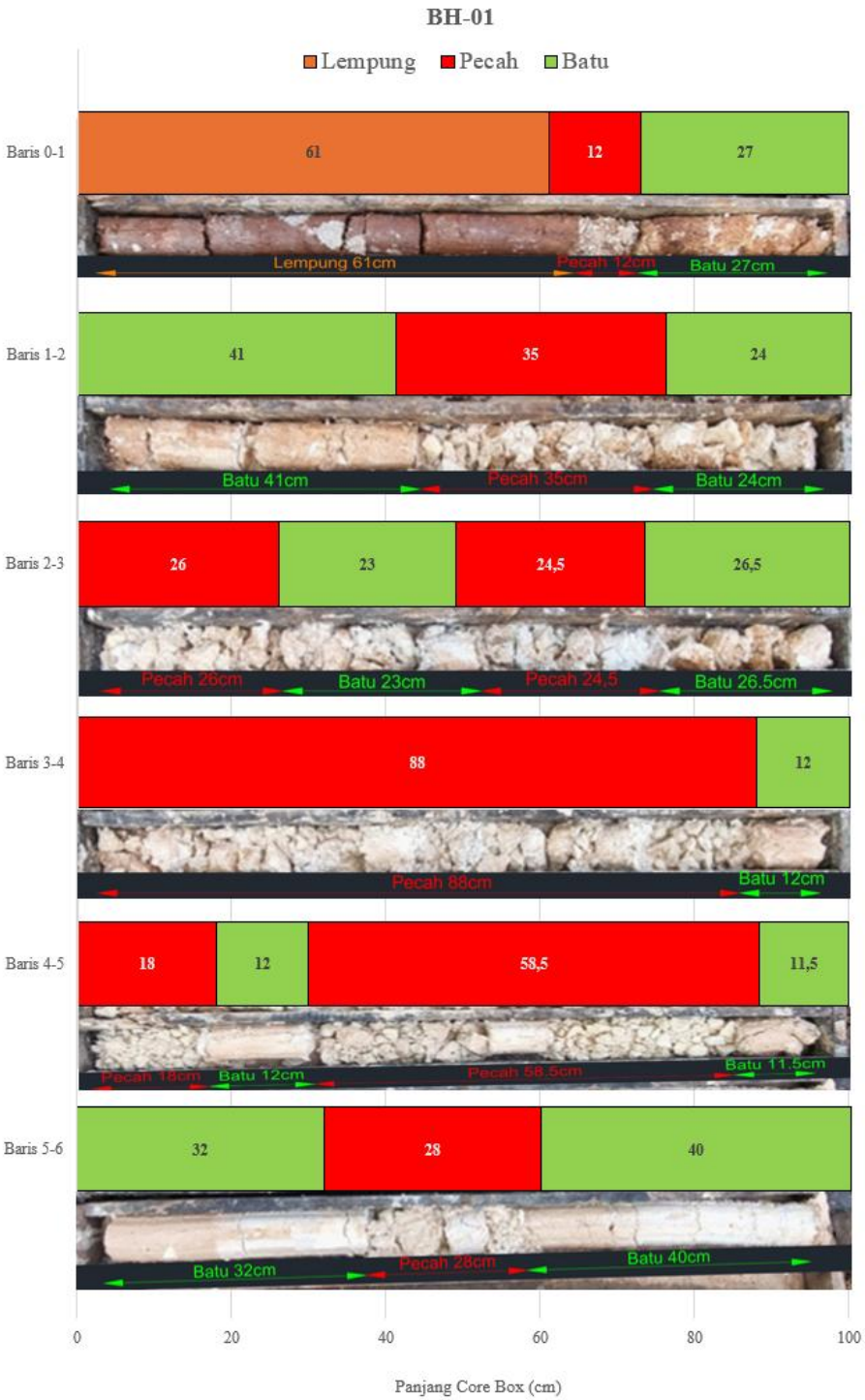


Gambar 5.3 *Core Box* BH-02

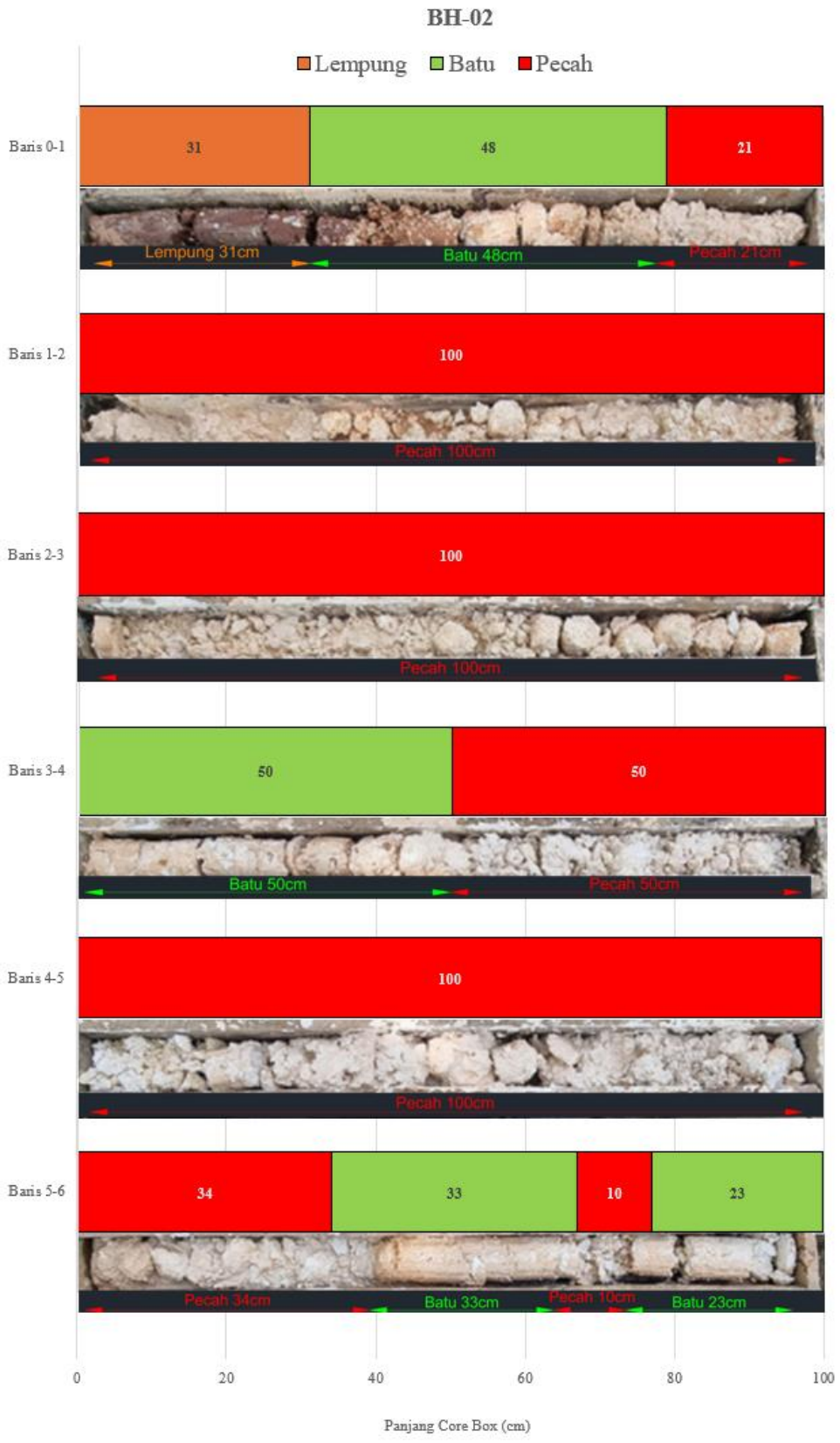
5.1.2 Menentukan Nilai *Rock Quality Designation* (RQD)

Nilai *rock quality designation* (RQD) merupakan salah satu parameter penting dan hanya bisa diperoleh dari hasil pengeboran batuan. Nilai RQD bisa menilai kualitas batuan berdasarkan jarak diskontinuitas atau rekahan antar batuan. Persentase RQD bisa didapat menggunakan Persamaan (3.1) yang telah

dijabarkan pada pembahasan sebelumnya. Berdasarkan penyelidikan yang telah dilakukan, didapat panjang tiap potongan pengeboran hasil dari masing–masing *bore hole* yang dapat dilihat pada gambar 5.4 dan 5.5.



Gambar 5.4 Panjang Potongan Pengeboran BH-01



Gambar 5.5 Panjang Potongan Pengeboran BH-02

Nilai RQD dapat diperoleh dengan menjumlahkan potongan sampel yang masih utuh (*intact*) lalu dibagi dengan panjang total dari pengeboran yang dilakukan. Adapun syarat dalam perhitungan ini, yaitu potongan yang kurang dari 100 mm dan mengalami pelapukan tidak ikut dihitung. Potongan yang patah akibat bor ikut dimasukan dalam perhitungan dikarenakan patahan tersebut tidak termasuk rekahan Berikut adalah langkah–langkah perhitungan untuk menentukan nilai RQD.

1. RQD BH-01
   a. Panjang total baris 0m - 1m = 27 cm
   b. Panjang total baris 1m - 2m = 41 cm + 24 cm
      = 65 cm
   c. Panjang total baris 2m - 3m = 23 cm + 26.5 cm
      = 49,5 cm
   d. Panjang total baris 3m – 4m = 12 cm
   e. Panjang total baris 4m – 5m = 12 cm +11,5 cm
      = 23,5 cm
   f. Panjang total baris 5m – 6m = 32 cm + 40 cm
      = 72 cm
   g. Kedalaman pengeboran = 600 cm – 61 cm (lapisan lempung)
      = 539 cm
   h. RQD BH-01 $= \frac{\sum \text{Panjang potongan} - \text{potongan pengoboran}}{\text{Total panjang pengeboran}} \times 100\%$
      $= \frac{27+65+49{,}5+12+23{,}5+72}{539} \times 100\%$
      $= \frac{249}{539} \times 100\%$
      = 46,197%
2. RQD BH-02
   a. Panjang total baris 0m – 1m = 48 cm
   b. Panjang total baris 1m – 2m = 0 cm
   c. Panjang total baris 2m – 3m = 0 cm
   d. Panjang total baris 3m – 4m = 50 cm
   e. Panjang total baris 4m – 5m = 0 cm

f. Panjang total baris 5m – 6m = 33 cm + 23 cm
= 56 cm

g. Kedalaman pengeboran = 600 cm – 31 cm (lapisan lempung)
= 569 cm

h. RQD BH-02 $= \frac{\sum \text{Panjang potongan} - \text{potongan pengoboran}}{\text{Total panjang pengeboran}} \times 100\%$

$= \frac{48+0+0+50+0+56}{569} \times 100\%$

$= \frac{154}{569} \times 100\%$

= 27,065%

3. Rerata Nilai RQD

a. RQD BH-01 = 46,197%

b. RQD BH-02 = 27,065%

c. Rerata RQD $= \frac{\text{RQD BH}-01+\text{RQD BH}-02}{2}$

$= \frac{46{,}197 + 27{,}065}{2}$

$= \frac{73{,}262}{2}$

= 36,631 %

4. Rekapitulasi Nilai RQD

Rekapitulasi nilai RQD dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Hubungan Nilai RQD dengan Kualitas Batuan

RQD (%)	**Kualitas Batuan**
<25	Sangat Buruk
25-50	**Buruk**
50-75	Cukup
75-90	Baik
90-100	Sangat Baik

Pada saat perhitungan, total panjang pengeboran dikurangi dengan panjang lapisan lempung dikarenakan bisa merubah persentase nilai RQD. Dari hasil perhitungan yang dilakukan diatas, didapatkan nilai RQD pada BH-01 sebesar 46,197% dan BH-02 sebesar 27,065%. Kedua nilai tersebut direratakan dan didapat sebesar 36.631%. Berdasarkan nilai RQD yang didapat, kualitas batuan termasuk kategori ”Buruk” sesuai dengan Tabel 5.1. Nilai rerata tersebut menjadi perwakilan dari kondisi batuan dibawah Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul dan digunakan untuk mencari nilai RMR pada perhitungan berikutnya.

5.1.3 Menentukan Nilai Spasi Kekar (*Spacing Of Discontinuities*)

Nilai antar rekahan batuan didapat dari jarak antar blok – blok yang dipisah oleh bidang kekar. Nilai ini bisa ditentukan berdasarkan jarak diskontinuitas dari panjang total garis pengamatan seperti yang sudah dijelaskan pada pembahasan sebelumnnya. Dapat dilihat bahwa BH-01 memiliki satu joint rekahan sepanjang garis pengamatan, sedangkan pada BH-02 *joint* rekahan tidak dapat teridentifikasi oleh peneliti akibat kondisi batuan yang mengalami tingkat pelapukan yang sangat tinggi sehingga dianggap batuan tidak memiliki diskontinuitas atau lapisan batuan yang didapat adalah seragam. *Joint* rekahan pada masing–masing *borehole* dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 *Joint* Rekahan BH-01

Berikut adalah tahapan untuk menghitung nilai spasi kekar masing–masing *borehole*.

1. Nilai Spasi Kekar BH-01
   a. Jumlah diskontinuitas = 1
   b. Panjang garis pengamatan = 539 cm
   c. Spasi kekar (s) $= \frac{Panjang\ Scanline}{\sum Diskontinuitas}$
   $= \frac{539}{1}$
   = 539 cm
   = 5,39 m
2. Nilai Spasi Kekar BH-02
   Dikarenakan pada BH-02 tidak teridentifikasi diskontinuitas, maka diasumsikan nilai spasi kekarnya >2 meter sesuai klasifikasi tabel RMR.
3. Rerata Nilai Kekar
   a. Nilai kekar BH-01 = 5,39 m
   b. Nilai kekar BH-02 = 2 m
   c. Rerata nilai kekar $= \frac{5,39+2}{2}$
   = 3,695 m

Didapat nilai spasi kekar pada BH-01 sebesar 5,39 meter dan BH-02 sebesar 2 meter. Kedua nilai tersebut direratakan dan didapat sebesar 3,695 meter. Nilai rerata spasi kekar tersebut menjadi perwakilan dari kondisi batuan dibawah Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul dan digunakan untuk mencari nilai RMR pada perhitungan berikutnya.

5.1.4 Kondisi Diskontinuitas Batuan

Berdasarkan dari pengamatan yang telah dilakukan, terlihat sampel batuan mengalami pelapukan pada tingkat yang sangat tinggi sehingga menyebabkan batuan berubah menjadi pecahan hingga pasir. Permukaan pada *joint* diskontinuitas memiliki tekstur dan tampilan sedikit kasar akibat dari pelapukan yang terjadi. Pemisahan yang teridentifikasi dari pengamatan pun berkisar <1

milimeter karena terisi oleh material pasir. Maka kondisi diskontinuitas tergolong agak kasar, pemisahan <1 milimeter, dan dinding sangat lapuk.

5.1.5 Kondisi Muka Air Tanah

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan pada saat proses pengeboran, sampel batuan yang didapat tidak dalam kondisi yang basah akibat adanya muka air tanah. Maka parameter muka air tanah pada hasil pengeboran yang dilakukan terklasifikasi kering.

5.2 Pengujian Kuat Tekan Sampel Batuan di Laboratorium

Pengujian kuat tekan berjutuan untuk mengatahui kapasitas tekan dengan memberi tegangan aksial kepada sampel. Peneliti mengambil 4 sampel batuan dari hasil pengeboran untuk diteliti kuat tekannya. Keempat sampel diambil dari hasil pengeboran BH-01 dengan masing – masing kedalaman sampel 1 (4,2 s.d. 4,32 meter), sampel 2 (5 s.d. 5,16 meter), sampel 3 (5,17 s.d. 5,3 meter) dan sampel 4 (5,7 s.d. 5,83 meter). Pada BH-02, tidak ada sampel yang layak diambil untuk diuji karena kondisi pelapukan yang tinggi. Adapun syarat yang menjadi dasar pemilihan sampel yaitu rasio tinggi terhadap diameter berada pada rentang 1,8 sampai 2,2. Sampel yang dibawa untuk diuji kuat tekannya dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Sampel Pengujian Kuat Tekan

Namun sampel 2 dan 3 mengalami patah dan retak sehingga kriterianya menjadi tidak layak untuk diuji kuat tekannya. Selain itu, sampel 1 gagal dalam pengujian dikarenakan alat yang dipakai tidak bisa membaca gaya maksimum yang diterima sampel akibat dari kuat tekan dari sampel tersebut sangat kecil. Oleh kerena itu, tersisa hanya satu yaitu sampel 4 yang tahapan pengujiannya adalah sebagai berikut.

1. Preparasi Benda Uji

   Benda uji dipersiapkan dengan cara meratakan permukaan alas benda uji agar pada saat ditekan terdistribusi merata. Selain itu, preparasi menghindari benda uji miring akibat permukaan yang tidak rata.

2. Mengukur dan Menimbang Benda Uji

   Benda uji yang sudah dipreparasi, diukur dimensinya dan ditimbang beratnya untuk mendapatkan volume benda uji yang digunakan untuk mencari berat isi dari sampel. Benda uji diukur menggunakan meteran dan didapatkan diameter sampel sebesar 6,18 cm dan panjang sampel sebesar 12,12 cm. Setelah itu sampel ditimbang dan didapatkan beratnya sebesar 731,5 gram.

3. Menguji Sampel Batuan dengan Mesin Penekan

   Setelah diukur dimensi dan ditimbang beratnya, sampel diletakan ke mesin penekan. Sebelum itu pasang sampel diantara plat penekan dan atur *dial* pembaca tekanan ke angka nol, lalu naikan beban secara perlahan dan baca dial per 200 kg dari beban yang diberikan. Nilai kuat tekan dicatat pada saat *dial* mengalami penurunan atau sampel sudah mengalami keruntuhan.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan uniaksial (UCS) yang telah dilakukan, didapat nilai kuat tekan yang dimiliki oleh sampel batuan 4 (5,7 s.d. 5,83 m) sebesar 3,34 MPa. Untuk memperoleh hasil analisis yang lebih sesuai terhadap kondisi massa batuan pada lokasi penelitian, nilai parameter (dimensi dan UCS) yang diperoleh akan digabungkan dengan data sekunder agar mendapatkan nilai rerata yang representatif. Kombinasi tiap parameter yang akan digunakan untuk tahap analisis berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Parameter Sampel Batuan

Sampel Batuan		Diameter (cm)	Tinggi Sampel (cm)	Berat Sampel (g)	Nilai UCS (MPa)
Primer	Sampel 4 (5,7 s.d. 5,83 m)	6,18	12,12	731,5	3,340
Sekunder	Sampel SB-02	5,3	10,9	455	2,975
	Sampel SB-05	5,3	10,4	417	1,440
	Sampel SB-06	5,3	10,0	410	3,193
Nilai Rerata		**5,52**	**10,855**	**503,735**	**2,737**

5.3 Menentukan Nilai *Rock Mass Rating* (RMR) serta Pengorelasian dengan Kohesi dan Sudut Geser Dalam

Nilai Rock Mass Rating (RMR) ditentukan berdasarkan penjumlahan lima parameter, yaitu kuat tekan uniaksial batuan utuh, *Rock Quality Designation* (RQD), spasi diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, dan kondisi air tanah. Setelah nilai RMR diperoleh untuk setiap titik bor, klasifikasi kualitas massa batuan ditentukan berdasarkan rentang nilai total RMR, kemudian nilai tersebut dikorelasikan untuk memperoleh parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ) massa batuan. Kedua parameter tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan daya dukung fondasi dengan metode Terzaghi-Bowles serta sebagai parameter pembanding pada pemodelan PLAXIS 2D.

5.3.1 Menentukan Nilai Rock Mass Rating (RMR)

Rock Mass Rating (RMR) adalah sistem untuk mengklasifikasi perilaku batuan. Ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengklasifikasi massa batuan menggunakan sistem RMR yakni kuat tekan unaksial (UCS) material batuan, *rock quality designation* (RQD), kondisi air tanah, kondisi diskontinuitas, orientasi dan jarak antar diskontinuitas (spasi kekar). Semua parameter tersebut memiliki bobot penilaian yang berbeda-beda, dimana bobot yang lebih tinggi menunjukan kondisi massa batuan baik. Nilai bobot yang didapatkan lalu dijumlahkan untuk mendapatkan kelas dan deskripsi batuan. Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, didapatkan seluruh parameter untuk menentukan RMR yang dapat dilihat pada Tabel Rekapitulasi 5.4 dan 5.5 berikut ini.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Parameter RMR dan Bobot Penilaiannya

Parameter			Ranges of Values						
1	Strength of intact rock material	Point load strength index (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	For the low range, uniaxial compressive test is preferied		
		Uniaxial compressive strength (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	**1 - 5**	< 1
	Rating		15	12	7	4	2	**1**	0
2	Drill core quality RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 – 75	**25 - 50**	< 25		
	Rating		20	17	15	**8**	3		
3	Spacing of discontinuities		**> 2 m**	0.5 – 2 m	200 – 600 mm	60- 200 mm	< 60 mm		
	Rating		**20**	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces, not continuous, no separation, unswesthered wall rock	Slightly rough surfaces, separation < 1 mm, slightly weathered walls	**Slighlty rough surfaces, separation < 1 mm, highly weathered walls**	Slickensided surface, gouge < 5 mm thick, separation 1 – 5 mm, continous	Soft gouge > 5 mm thick, separation > 5 mm, continous		
	Rating		30	25	**20**	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	< 10	10 – 25	25 – 125	> 125		
		Ratio $\frac{\text{Joint water pressure}}{\text{Major principal stress}}$	0	< 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5		
		General condition	**Completely dry**	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		**15**	10	7	4	0		
Total RMR Rating			**64**						

Tabel 5.5 Rekapitulasi Kelas Massa Batuan Berdasarkan Total Bobot Penilaiannya

Rating	**100 - 81**	**80 - 61**	**60 - 41**	**40 - 21**	**< 20**
Class no.	I	**II**	III	IV	V
Description	Very good rock	**Good rock**	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

Nilai RMR yang didapat dari setiap parameter adalah sebesar 64. Menurut total *rating* yang diperoleh, batuan yang diteliti terklasifikasi dalam massa batuan kelas II. Nilai *rating* sebesar 64 juga menggolongkan sampel batuan dalam ”Batuan Baik” berdasarkan Tabel 5.4 yang telah dibahas sebelumnya. Nilai RQD yang rendah menunjukkan kualitas inti batuan kurang baik akibat rekahan, tetapi nilai RMR masih dapat tergolong baik karena RMR merupakan gabungan beberapa parameter, seperti kuat tekan batuan utuh, spasi dan kondisi rekahan, serta kondisi air tanah. Dengan demikian, nilai tinggi pada parameter lain misalnya batuan kuat, rekahan rapat tetapi permukaannya kasar dan tidak terisi, serta kondisi kering dapat meminimalkan pengaruh dari nilai RQD yang buruk.

5.3.2 Pengorelasian dengan Kohesi dan Sudut Geser Dalam

Setelah nilai RMR didapatkan, tahap berikutnya adalah mengorelasikannya dengan kohesi dan sudut geser dalam agar bisa dihitung daya dukung batuannya menggunakan rumus Terzaghi sesuai tabel korelasi milik (Bieniawski, 1989). Berikut merupakan tahap pengorelasian RMR terhadap kohesi dan sudut geser dalam.

1. Pengorelasian nilai RMR ke Kohesi dan Sudut Geser dalam dengan Interpolasi
   Nilai RMR yang didapat dari perhitungan sebelumnya adalah sebesar 64. Dengan demikian, nilai RMR termasuk dalam rentang 80-61 dengan kohesi 300-400 kN/m^2 dan sudut geser dalam 35°-45° sesuai dengan Tabel 5.5 yang dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Korelasi Antara RMR dengan Kohesi dan Sudut Geser Dalam

RMR	Kohesi (kN/m²)	Sudut Geser Dalam (°)
100-81	> 400	> 45
80-61	**300-400**	**35-45**
60-41	200-300	25-35
41-21	100-200	15-25
< 20	< 100	< 15

Dikarenakan nilai RMR yang didapat berada di tengah–tengah rentang tabel korelasi, maka untuk menentukan kohesi dan sudut geser dalamnya digunakan metode interpolasi untuk memperkirakan nilai asli dari rentang yang diberikan. Langkah untuk interpolasi dapat dilihat pada Persamaan 5.1 berikut.

$$y = y_1 + \frac{x-x_1}{x_2-x_1}(y_2 - y_1) \quad (5.1)$$

dengan:

x = Nilai variabel independen yang ingin dicari pasangannya

x_1 = Nilai data pertama yang diketahui

x_2 = Nilai data kedua yang diketahui

y = Nilai hasil interpolasi

y_1 = Nilai fungsi atau data pada x_1 yang sudah diketahui

y_2 = Nilai fungsi atau data pada $x_2$yang sudah diketahui

2. Interpolasi Nilai RMR ke Kohesi (*c*)
   a. Nilai RMR (x) = 64
   b. Rentang bawah RMR (x_1) = 61
   c. Rentang atas RMR (x_2) = 80
   d. Rentang bawah kohesi (y_1) = 300
   e. Rentang atas kohesi (y_2) = 400
   f. Nilai kohesi (y) $= y_1 + \frac{x-x_1}{x_2-x_1}(y_2 - y_1)$

$$= 300 + \frac{64-61}{80-61}(400 - 300)$$

$$= 300 + \frac{3}{19}(100)$$

$$= 300 + \frac{300}{19}$$

$$= \frac{6000}{19}$$

$$= 315{,}789 \text{ kN/m}^2$$

3. Interpolasi Nilai RMR ke Sudut Geser Dalam (°)
   a. Nilai RMR (x) = 64

b. Rentang bawah RMR (x_1) = 61
c. Rentang atas RMR (x_2) = 80
d. Rentang bawah kohesi (y_1) = 35
e. Rentang atas kohesi (y_2) = 45
f. Nilai sudut geser dalam (y) $= y_1 + \frac{x-x_1}{x_2-x_1}(y_2 - y_1)$

$= 35 + \frac{64-61}{80-61}(45 - 35)$

$= 35 + \frac{3}{19}(10)$

$= 35 + \frac{30}{19}$

$= \frac{695}{19}$

$= 36{,}579°$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, didapat nilai kohesi batuan sebesar 315,784 kN/m^2 dan nilai sudut geser dalam sebesar 36,579°. Dikarenakan hasil pengeboran dan parameter sampel yang didapat, batuan teridentifikasi memiliki tingkat pelapukan yang tinggi, nilai UCS yang rendah. Dengan demikian, akan digunakan perhitungan daya dukung dengan tipe keruntuhan lokal. Nilai kohesi dan sudut geser dalam akan direduksi sesuai Persamaan 3.5 dan 3.6 pada pembahasan sebelumnya. Langkah untuk mengkoreksi kedua nilai tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

1. Koreksi Nilai Kohesi
   a. Kohesi (c) = 315,789 kN/m^2
   b. Kohesi efektif (c') $= \frac{2}{3}c$

   $= \frac{2}{3}(315{,}789)$

   = 210,526 kN/m^2
2. Koreksi Nilai Sudut Geser Dalam
   a. Sudut geser dalam (φ) = 36,579°
   b. Sudut geser dalam efektif (φ') $= tan^{-1}[\frac{2}{3}\tan(\varphi)]$

   $= tan^{-1}[\frac{2}{3}\tan(36{,}579)]$

   = 26,323°

Dari perhitungan tersebut, diperoleh nilai efektif kedua parameter sebesar 210,526 kN/m^2 dan 26,323°. Kedua nilai yang didapat akan menjadi perwakilan dari kondisi batuan dibawah Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul dan digunakan untuk mencari nilai daya dukung pada perhitungan berikutnya.

5.4 Analisis Pembebanan Struktur Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul dengan *Software* ETABS v22

Analisis pembebanan menggunakan ETABS v22 guna mencari besarnya gaya yang bekerja dari struktur atas ke fondasi. Aplikasi ini bisa menghitung total berat dari elemen struktur seperti balok, kolom, pelat dan pembebanan yang bekerja sesuai dengan denah ruangan pada struktur. Tahap awal dalam mencari nilai total beban (P) yang ditumpu tiap fondasi bangunan adalah dengan memodelkan struktur bangunan pada *software*. Tahap beriktunya dalam mencari nilai total beban (P) yang ditumpu tiap fondasi bangunan setelah memodelkan struktur bangunan pada *software* adalah memberikan pembebanan pada elemen plat sesuai SNI 1727:2013 yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.

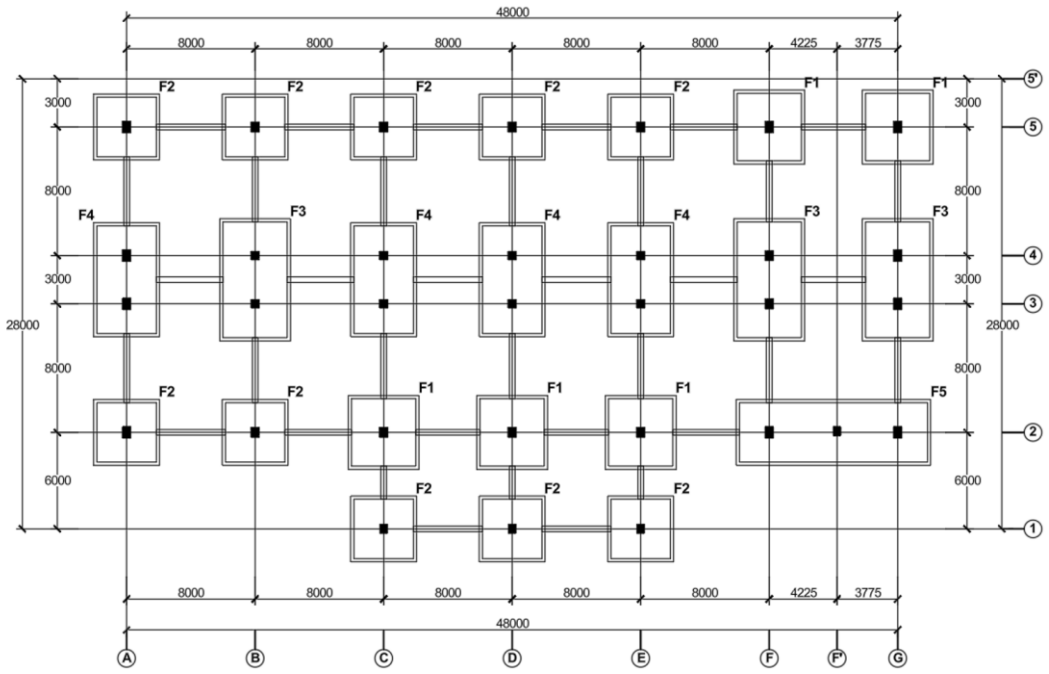
Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m^2)	Terpusat lb (kN)
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)[n]	
Atap digunakan untuk taman atap	100 (4,79)	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	Sama seperti hunian dilayani[a]	[i]
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya		
Awning dan kanopi		
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24) tidak boleh direduksi	
Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	200 (0,89)
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	2 000 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai		
Titik panel tunggal dari batang bawah ranga atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi		300 (1,33)
Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1 000 (4,5)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,5)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,5)

Gambar 5.8 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum (SNI 1727, 2013)

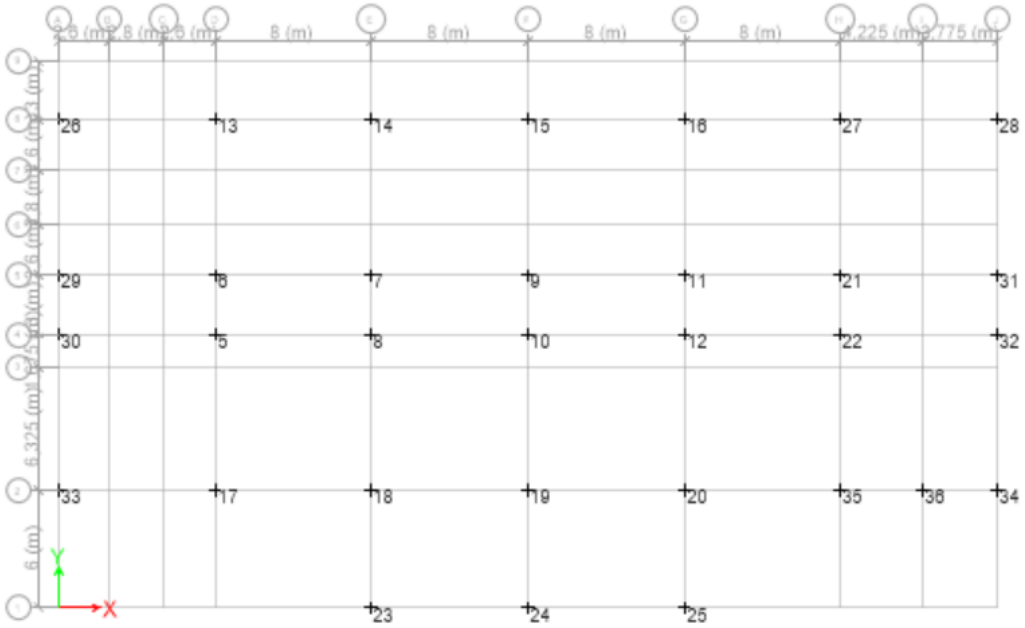
Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta merupakan bangunan yang diperuntukan untuk perkuliahan program vokasi sehingga termasuk dalam kategori sekolah. Dapat dilihat bahwa beban hidup (LL) yang akan digunakan berdasarkan SNI 1727:2013 adalah sebagai berikut.

1. Ruang kelas = 1,92 kN/m^2
2. Koridor di atas lantai pertama = 3,83 kN/m^2
3. Koridor lantai pertama = 4,79 kN/m^2
4. Atap berbubung = 0.96 kN/m^2

Sesudah nilai beban hidup terdistribusi merata telah teridentifikasi, maka tahap selanjutnya memasukan beban tersebut ke dalam model bangunan yang telah dibuat. Nilai total beban (P) yang diambil adalah nilai terbesar pada tiap tipe fondasi. Nilai tersebut dapat dilihat berdasarkan label tumpuan fondasi tipe apa yang memiliki beban vertikal (F_Z) paling besar. Sesuai *file* pemodelan yang telah dibuat, label tumpuan tiap tipe fondasi dengan denah fondasi sesuai Gambar 5.9, dapat dilihat pada Gambar 5.10 dan Tabel 5.7 berikut ini.



Gambar 5.9 Denah Fondasi Bangunan



Gambar 5.10 Label pada Tiap Tipe Fondasi

Tabel 5.7 Label pada Tiap Tipe Fondasi

Label Tumpuan	**Tipe Fondasi**
18,19,20,27,28	F1 (4x4,2)
13,14,15,16,17,23,24,25,26,33	F2 (3,7x3,7)
5,6,21,22,31,32	F3 (4x7)
7,8,9,10,11,12,29,30	F4 (3,7x6,7)
34,35,36	F5 (3,7x11,7)

Rekapitulasi total beban (P) berdasarkan hasil analisis dengan ETABS v22 pada masing–masing tipe fondasi. Pada fondasi tipe F3, F4 dan F5, pelat tapak menumpu lebih dari satu kolom sehingga nilai yang diambil adalah resultan terbesar. Rekapitulasi total beban dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Total Beban (P) pada Tiap Tipe Fondasi

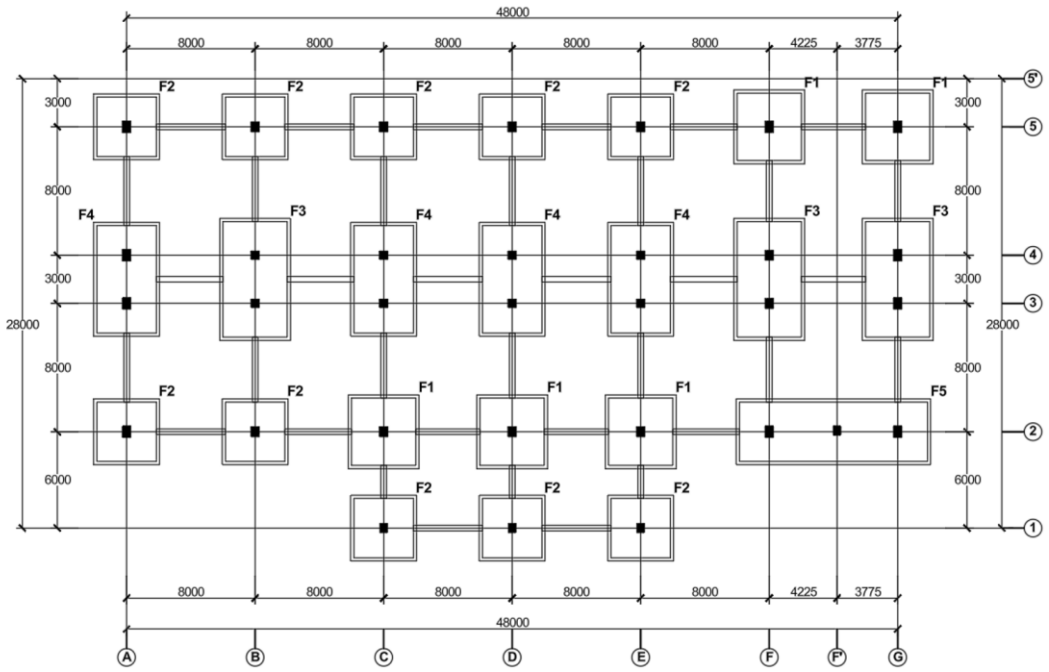
Tipe Fondasi	Total Beban (kN)
F1 (4x4,2)	2.032,323
F2 (3,7x3,7)	2.185,928
F3 (4x7)	3.405,426
F4 (3,7x6,7)	3.157,955
F5 (3,7x11,7)	2.502,436

5.5 Perhitungan Daya Dukung Batuan dengan Teori Terzaghi-Bowles

Nilai RQD dan RMR yang didapat dari analisis sebelumnnya digunakan untuk dasar perhitungan daya dukung batuan menggunakan teori Terzaghi-Bowles. Analisis ini dilakukan dengan perhitungan kapasitas daya dukung batuan untuk memverifikasi keamanannya. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan parameter kuat geser massa batuan, dimensi fondasi, kedalaman fondasi, serta beban yang bekerja pada masing-masing tipe fondasi. Hasil perhitungan daya dukung ultimit dan daya dukung ijin selanjutnya dibandingkan dengan tekanan kontak akibat beban struktur untuk mengevaluasi keamanan fondasi eksisting terhadap keruntuhan daya dukung.

5.5.1 Data Fondasi Eksisting Bangunan

Berdasarkan data dan gambar kerja yang diperoleh peneliti, terdapat lima tipe fondasi telapak yang digunakan pada Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul. Variasi tipe fondasi tersebut menunjukkan adanya perbedaan dimensi telapak yang disesuaikan dengan kebutuhan struktur, besarnya beban yang diterima kolom, serta kondisi tumpuan pada masing-masing lokasi fondasi. Data fondasi eksisting ini digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi konfigurasi dan ukuran fondasi yang telah diterapkan pada bangunan, sebelum dilakukan evaluasi lebih lanjut terhadap kapasitas dukung dan penurunan fondasi. Denah fondasi berdasarkan gambar kerja yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 5.11, sedangkan rekapitulasi dimensi masing-masing tipe fondasi disajikan pada Tabel 5.9.



Gambar 5.11 Denah Fondasi Bangunan

Tabel 5.9 Rekapitulasi Dimensi Tiap Tipe Fondasi

Tipe Fondasi	**B (m)**	**L (m)**	**D_f (m)**
F1 (4x4,2)	4,0	4,2	6,05
F2 (3,7x3,7)	3,7	3,7	6,05
F3 (4x7)	4,0	7,0	6,05
F4 (3,7x6,7)	3,7	6,7	6,05
F5 (3,7x11,7)	3,7	11,7	6,05

Nilai yang dibutuhkan untuk perhitungan berikutnya adalah luas alas masing – masing telapak fondasi. Luas alas digunakan untuk memperhitungkan beban yang didistribusikan fondasi ke dasar batuan. Untuk yang fondasi berbentuk bujur sangkar, digunakan rumus sisi dikali sisi untuk mendapatkan luasnya. Sedangkan fondasi yang berbentuk persegi panjang, menggunakan rumus sisi panjang dikali dengan sisi lebarnya untuk memperoleh luasnya. Berikut adalah perhitungan luas pada masing–masing tipe fondasi.

1. Luas Alas Fondasi Tipe F1 (4x4,2)
   a. B (m) = 4 meter
   b. L (m) = 4,2 meter
   c. A (m^2) = $B \times L$
      = $4 \times 4{,}2$
      = 16,8 m^2
2. Luas Alas Fondasi Tipe F2 (3,7x3,7)
   a. B (m) = 3,7 meter
   b. L (m) = 3,7 meter
   c. A (m^2) = $B \times L$
      = $3{,}7 \times 3{,}7$
      = 13,69 m^2
3. Luas Alas Fondasi Tipe F3 (4x7)
   a. B (m) = 4 meter
   b. L (m) = 7 meter
   c. A (m^2) = $B \times L$
      = 4×7
      = 28 m^2
4. Luas Alas Fondasi Tipe F4 (3,7x6,7)
   a. B (m) = 3,7 meter
   b. L (m) = 6,7 meter
   c. A (m^2) = $B \times L$
      = $3{,}7 \times 6{,}7$
      = 24,79 m^2
5. Luas Alas Fondasi Tipe F5 (3,7x11,7)
   a. B (m) = 3,7 meter
   b. L (m) = 11,7 meter
   c. A (m^2) = $B \times L$
      = $3{,}7 \times 11{,}7$
      = 43,29 m^2

Berdasarkan dari perhitungan yang telah dilakukan, dapat dilihat nilai luas alas masing–masing tipe fondasi yang bisa dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Luas (A) Fondasi

Tipe Fondasi	**Luas (m^2)**
F1 (4x4,2)	16,8
F2 (3,7x3,7)	13,69
F3 (4x7)	28
F4 (3,7x6,7)	24,79
F5 (3,7x11,7)	43,29

5.5.2 Menentukan Nilai Faktor Daya Dukung Terzaghi

Pada perhitungan sebelumnya, didapat nilai sudut geser dalam efektif sebesar 26,320°. Parameter sudut geser dalam ini menentukan nilai faktor daya dukung (N_c, N_q, N_γ) sesuai dengan Tabel 3.5 yang sudah dibahas sebelumnya. Dikarenakan nilai sudut geser dalam yang didapat berada di tengah – tengah rentang tabel, maka untuk menentukan faktor daya dukungnya dalam kondisi geser lokal akan menggunakan metode interpolasi untuk memperkirakan nilai asli dari rentang yang diberikan. Langkah interpolasi masih sama dengan Persamaan (5.1) sebelumnya. Berikut adalah tahapan menentukan nilai faktor daya dukung Terzaghi.

1. Interpolasi Nilai N_c
   a. Nilai sudut geser dalam (x) = 26,323°
   b. Rentang bawah sudut geser dalam (x_1) = 25°
   c. Rentang atas sudut geser dalam (x_2) = 30°
   d. Rentang bawah N_c (y_1) = 14,8
   e. Rentang atas N_c (y_2) = 19,0
   f. Nilai N_c (y) $= y_1 + \frac{x-x_1}{x_2-x_1}(y_2 - y_1)$

      $= 14{,}8 + \frac{26{,}323-25}{30-25}(19{,}0 - 14{,}8)$

$= 14{,}8 + \frac{1{,}323}{5}(4{,}2)$

$= 14{,}8 + 1{,}111$

$= 15{,}911$

2. Interpolasi Nilai N_q
   a. Nilai sudut geser dalam (x) = 26,323°
   b. Rentang bawah sudut geser dalam (x_1) = 25°
   c. Rentang atas sudut geser dalam (x_2) = 30°
   d. Rentang bawah N_q (y_1) = 5,6
   e. Rentang atas N_q (y_2) = 8,3
   f. Nilai N_q (y) $= y_1 + \frac{x-x_1}{x_2-x_1}(y_2 - y_1)$

$= 5{,}6 + \frac{26{,}323-25}{30-25}(8{,}3 - 5{,}6)$

$= 5{,}6 + \frac{1{,}323}{5}(2{,}7)$

$= 5{,}6 + 0{,}714$

$= 6{,}314$

3. Interpolasi Nilai N_γ
   a. Nilai sudut geser dalam (x) = 26,323°
   b. Rentang bawah sudut geser dalam (x_1) = 25°
   c. Rentang atas sudut geser dalam (x_2) = 30°
   d. Rentang bawah N_γ (y_1) = 3,2
   e. Rentang atas N_γ (y_2) = 5,7
   f. Nilai Nγ (y) $= y_1 + \frac{x-x_1}{x_2-x_1}(y_2 - y_1)$

$= 3{,}2 + \frac{26{,}323-25}{30-25}(5{,}7 - 3{,}2)$

$= 3{,}2 + \frac{1{,}323}{5}(2{,}5)$

$= 3{,}2 + 0{,}662$

$= 3{,}862$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan diatas, didapatkan masing–masing nilai N_c, N_q, N_γ yang dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Faktor Daya Dukung Terzaghi

Sudut geser dalam efektif (φ')	26,320°	N_c	15,911
		N_q	6,314
		N_γ	3,862

5.5.3 Perhitungan Daya Dukung Ultimit Sampel Batuan

Nilai RQD, RMR dan parameter lainnya yang didapat dari analisis sebelumnnya digunakan untuk dasar perhitungan daya dukung batuan menggunakan teori Terzaghi. Berikut langkah–langkah perhitungan daya dukung menggunakan rumus Terzaghi yang sudah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya.

1. Daya Dukung Ultimit pada Fondasi Tipe F1 (4x4,2)
   a. Kohesi efektif (*c*') = 210,526 kN/m^2
   b. Diameter sampel batuan (m) = 5,520 cm
      = 0,0552 m
   c. Tinggi sampel batuan (m) = 10,855 cm
      = 0,10855 m
   d. Berat sampel batuan (kN) = 503,375 g
      = $503{,}375 \times \ 0{,}00000980665$
      = 0,00494 kN
   e. Volume sampel batuan (m^3) = $\pi \times (\frac{Diameter\ Sampel}{2})^2 \times Tinggi\ Sampel$
      = $\pi \times (\frac{0{,}0552}{2})^2 \times 0{,}10855$
      = $\pi \times 0{,}0276^2 \times 0{,}10855$
      = 0,0002598 m^3
   f. Berat isi batuan (γ) = $\frac{W}{V}$
      = $\frac{0{,}00494}{0{,}0002598}$
      = 19,003 kN/m^3

g. Kedalaman fondasi (D_f) = 6,05 m

h. Lebar fondasi (B) = 4,0 m

i. Panjang fondasi (L) = 4,2 m

j. N_c = 15,911

k. N_q = 6,314

l. N_γ = 3,862

m. Daya dukung ultimit (Q_u) $= cN_c(1 + 0.3\frac{B}{L}) + \gamma D_f N_q + 0{,}5\gamma B N_\gamma(1 - 0.2\frac{B}{L})$

$= \left[210{,}526 \times 15{,}911\left(1 + 0{,}3\frac{4}{4{,}2}\right)\right] +$

$[19{,}003 \times 6{,}05 \times 6{,}314] + [0{,}5 \times 19{,}003 \times 4 \times$

$3{,}862\left(1 - 0{,}2\frac{4}{4{,}2}\right)]$

= 5.151,572 kN/m^2

2. Daya Dukung Ultimit pada Fondasi Tipe F2 (3,7x3,7)

a. Kohesi efektif (*c*') = 210,526 kN/m^2

b. Diameter sampel batuan (m) = 5,520 cm

= 0,0552 m

c. Tinggi sampel batuan (m) = 10,855 cm

= 0,10855 m

d. Berat sampel batuan (kN) = 503,375 g

$= 503{,}375 \times \ 0{,}00000980665$

= 0,00494 kN

e. Volume sampel batuan (m^3) $= \pi \times (\frac{Diameter\ Sampel}{2})^2 \times Tinggi\ Sampel$

$= \pi \times (\frac{0{,}0552}{2})^2 \times 0{,}10855$

$= \pi \times 0{,}0276^2 \times 0{,}10855$

= 0,0002598 m^3

f. Berat isi batuan (γ) $= \frac{W}{V}$

$= \frac{0{,}00494}{0{,}0002598}$

= 19,003 kN/m^3

g. Kedalaman fondasi (D_f) = 6,05 m

h. Lebar fondasi (B) = 3,7 m

i. Panjang fondasi (L) = 3,7 m

j. N_c = 15,911

k. N_q = 6,314

l. N_γ = 3,862

m. Daya dukung ultimit (Q_u) $= 1{,}3cN_c + \gamma D_f N_q + 0{,}4\gamma B N_\gamma$

$=[1{,}3(210{,}526)(15{,}911)] +$
$[19{,}003(6{,}05)(6{,}314)] +$
$[0{,}4(19{,}003)(3{,}7)(3{,}862)]$

$= 5.189{,}222$ kN/m^2

3. Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Ultimit pada Tiap Tipe Fondasi

Dengan langkah untuk memperoleh nilai daya dukung pada tiap tipe fondasi sama dengan perhitungan sebelumnya. Maka nilai daya dukung tiap tipe fondasi dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Ultimit (Q_u)

Parameter	**F1 (4x4,2)**	**F2 (3,7x3,7)**	**F3 (4x7)**	**F4 (3,7x6,7)**	**F5 (3,7x11,7)**
c' (kN/m$^{2)}$	210,526	210,526	210,526	210,526	210,526
D (m)	0,0552	0,0552	0,0552	0,0552	0,0552
H (m)	0,10855	0,10855	0,10855	0,10855	0,10855
W (kN)	0,00494	0,00494	0,00494	0,00494	0,00494
V (m^3)	0,0002598	0,0002598	0,0002598	0,0002598	0,0002598
γ (kN/m^3)	19,033	19,033	19,033	19,033	19,033
D_f (m)	6,05	6,05	6,05	6,05	6,05
B (m)	4,0	3,7	4,0	4,3	3,7
L (m)	4,2	3,7	7,0	6,7	11,7
N_c	15,911	15,911	15,911	15,911	15,911
N_q	6,314	6,314	6,314	6,314	6,314
N_γ	3,862	3,862	3,862	3,862	3,862
Q_u (kN/m^2)	5.151,572	5.189,222	4.779,925	4.751,413	4.520,658

5.5.4 Perhitungan Daya Dukung Izin Sampel Batuan

Kapasitas daya dukung ultimit (Q_u) perlu dikontrol menjadi kapasitas daya dukung izin (Q_{all}) agar bisa membatasi kegagalan yang terjadi sesuai toleransi yang berlaku dengan mengurangi atau membagi kapasitas daya dukung ultimit dengan faktor keamanan (*safety factor*). Pada penelitian ini, digunakan faktor keamanan sebesar 3 untuk menjamin kesesuaian daya dukung. Seperti pembahasan sebelumnya, menurut Bowles (1997), nilai RQD berfungsi sebagai faktor reduksi kapasitas daya dukung, karena rumus yang diperkenalkan oleh Terzaghi (1943) lebih cocok digunakan untuk memperhitungkan fondasi dangkal pada kondisi tanah seragam maupun berlapis. Faktor reduksi ini merepresentasikan kondisi massa batuan yang ada dilapangan, hal ini dikarenakan sampel batuan yang diambil dan diuji merupakan sampel batuan utuh. Batuan utuh hanya merepresentasikan kondisi tanpa diskontinuitas, sehingga pendekatan untuk mendapatkan nilai daya dukung yang lebih realistis dengan kondisi lapangan dapat menggunakan Persmaan 3.7. Berikut langkah–langkah perhitungan daya dukung izin menggunakan teori Bowles.

1. Daya Dukung Izin pada Fondasi Tipe F1
   a. Daya dukung ultimit (Q_u) = 5.151,572 kN/m^2
   b. *Rock quality designation* (RQD) = 36,631%
   c. Faktor keamanan (FS) = 3
   d. Daya dukung izin (Q_{all})
   $$= \frac{Q_u (RQD)^2}{FS}$$
   $$= \frac{5.151{,}572(36{,}631\%)^2}{3}$$
   $$= \frac{691{,}250}{3}$$
   $$= 230{,}416 \text{ kN/m}^2$$
2. Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Izin pada Tiap Tipe Fondasi

   Langkah untuk memperoleh nilai daya dukung pada tiap tipe fondasi sama dengan perhitungan sebelumnya. Maka nilai daya dukung izin setiap tipe fondasi setelah koreksi faktor keamanan dan reduksi RQD dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Izin (Q_{all})

Tipe Fondasi	Daya Dukung Ultimit (Q_u)	RQD (%)	FS	Daya Dukung Izin (Q_{all})
F1 (4x4,2)	5.151,572 kN/m^2	36,631%	3	230,416 kN/m^2
F2 (3,7x3,7)	5.189,222 kN/m^2	36,631%	3	232,100 kN/m^2
F3 (4x7)	4.779,925 kN/m^2	36,631%	3	213,793 kN/m^2
F4 (3,7x6,7)	4.751,413 kN/m^2	36,631%	3	212,518 kN/m^2
F5 (3,7x11,7)	4.520,658 kN/m^2	36,631%	3	202,197 kN/m^2

5.5.5 Perbandingan Daya Dukung Batuan Berdasarkan Metode Terzaghi-Bowles dengan Beban Fondasi

Tahap terakhir adalah membandingkan nilai daya dukung izin dengan tegangan vertikal bangunan. Nilai daya dukung yang digunakan merupakan hasil analisis berdasarkan parameter yang sudah dilakukan seperti nilai UCS, RQD, dan RMR, yang kemudian diolah untuk mendapatkan nilai daya dukung izin. Sementara itu, total beban dari bangunan hasil dari analisis menggunakan ETABS v22 memberikan nilai pembebanan yang bekerja untuk dibandingkan. Perbandingan dilakukan untuk mengidentifikasi apakah tipe fondasi eksisting yang digunakan Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul sesuai dengan kondisi lapangan atau perlu ada evaluasi terhadap tipe fondasi yang sesuai dengan hasil perhitungan daya dukung. Sebelum membandingkan kedua nilai tersebut, diperlukan nilai tegangan beban yang ditumpu dan disebarkan ke batuan oleh fondasi. Nilai tegangan vertikal dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.8 yang sudah dibahas sebelumnya. Berikut ini adalah langkah–langkah perhitungan untuk mendapatkan nilai tegangan vertikal berdasarkan total beban bangunan yang diperoleh dari hasil analisis ETABS v22.

1. Tegangan Vertikal (σ_v) Fondasi F1 (4x4,2)
   a. Total beban (P) = 2.032,32 kN
   b. Luas alas fondasi (A) = 16,8 m^2
   c. Tegangan vertikal (σ_v) = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{2.032,32}{16,8}$$

$$= 137,043 \text{ kN/m}^2$$

2. Rekapitulasi Tegangan Vertikal (σ_v) Tiap Tipe Fondasi

Langkah untuk memperoleh nilai tegangan vertikal pada tiap tipe fondasi sama dengan perhitungan sebelumnya. Maka rekapitulasi nilai tegangan vertikal tiap tipe fondasi dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan Vertikal ($\boldsymbol{\sigma_v}$)

Tipe Fondasi	**Total Beban (P)**	**Luas Alas Fondasi (A)**	**Tegangan Vertikal ($\boldsymbol{\sigma_v}$)**
F1 (4x4,2)	2.302,323 kN	16,80 m^2	137,043 kN/m^2
F2 (3,7x3,7)	2.185,928 kN	13,69 m^2	159,673 kN/m^2
F3 (4x7)	3.405,426 kN	28,00 m^2	121,622 kN/m^2
F4 (3,7x6,7)	3.157,995 kN	28,81 m^2	127,390 kN/m^2
F5 (3,7x11,7)	2.502,436 kN	43,29 m^2	57,806 kN/m^2

Setelah didapatkan nilai tegangan vertikal pada masing–masing fondasi, dilakukan perbandingan dengan daya dukung izin berdasarkan perhitungan sebelumnya. Apabila nilai kapasitas daya dukung izin lebih besar dari nilai tegangan vertikal ($Q_{all} > \sigma_v$), maka fondasi dapat dikategorikan aman dan layak untuk digunakan tipenya. Sebaliknya jika nilai nilai kapasitas daya dukung izin lebih kecil dari nilai tegangan vertikal ($Q_{all} < \sigma_v$), maka fondasi tidak aman. Perbandingan kedua nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut ini.

Tabel 5.15 Perbandingan Nilai Q_{all} dan $\boldsymbol{\sigma_v}$

Tipe Fondasi	Tegangan Vertikal ($\boldsymbol{\sigma_v}$)		Daya Dukung Izin ($\mathbf{Q_{all}}$)	Keterangan
F1 (4x4,2)	137,043 kN/m^2	<	230,416 kN/m^2	Fondasi Aman
F2 (3,7x3,7)	159,673 kN/m^2	<	232,100 kN/m^2	Fondasi Aman
F3 (4x7)	121,622 kN/m^2	<	213,793 kN/m^2	Fondasi Aman
F4 (3,7x6,7)	127,390 kN/m^2	<	212,518 kN/m^2	Fondasi Aman
F5 (3,7x11,7)	57,806 kN/m^2	<	202,197 kN/m^2	Fondasi Aman

Berdasarkan tabel perbandingan nilai Q_{all} dan σ_v di atas, dapat disimpulkan bahwa seluruh tipe fondasi eksisting yang digunakan Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul berada dalam kondisi aman. Selain itu, nilai daya dukung dan beban yang terjadi menunjukkan bahwa fondasi masih memiliki kapasitas tambahan yang memadai untuk menahan beban dari struktur atas. Dengan demikian, desain fondasi yang digunakan telah memenuhi kriteria keamanan dan dapat dinyatakan layak digunakan pada kondisi lapangan yang diteliti.

5.6 Analisis Penurunan (*Settlement*) Fondasi dengan Teori Bowles

Perhitungan penurunan fondasi dilakukan untuk mengetahui besar deformasi vertikal elastis yang terjadi pada massa batuan akibat beban struktur. Pada penelitian ini, penurunan dihitung menggunakan teori Bowles (1997) untuk memperkirakan penurunan segera (*immediate settlement*) yang terjadi akibat tambahan tegangan dari beban fondasi terhadap massa batuan pendukung. Nilai penurunan yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan batas penurunan izin sebesar 12 mm untuk menilai apakah setiap variasi fondasi telah memenuhi persyaratan.

5.6.1 Perhitungan Penurunan (*Settlement*) Fondasi dengan Teori Bowles

Nilai penurunan elastik pada setiap tipe fondasi dihitung menggunakan Persamaan 3.10 sampai 3.21 yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya. Perhitungan dilakukan untuk memperoleh besarnya deformasi vertikal segera yang terjadi akibat tambahan tekanan netto dari beban fondasi pada massa batuan pendukung. Parameter yang digunakan meliputi dimensi fondasi, kedalaman fondasi, besar beban yang bekerja, berat isi batuan, modulus elastisitas batuan, rasio Poisson, serta faktor bentuk dan faktor kedalaman fondasi. Perhitungan nilai penurunan elastis pada tiap tipe fondasi dapat dilihat sebagai berikut.

1. Nilai Penurunan (*Settlement*) yang Terjadi pada Fondasi Tipe F1 (4x4,2)
   a. Data yang diketahui
      1) Lebar fondasi (B) = 4 m
      2) Panjang fondasi (L) = 4,2 m
      3) Kedalaman fondasi (D_f) = 6,05 m
      4) Kedalaman lapisan batuan (*H*) = Asumsi 1 m
      5) Modulus batuan (E_{rm}) = 337,380 MPa
         = 337380 kN/m^2
      6) *Poisson ratio* batuan (ν) = 0.21
      7) Koefisien titik tinjauan penurunan (α) = 4
      8) Berat isi batuan (γ) = 19,003 kN/m^3
      9) Tegangan vertikal (σ_v) = 137,043 kN/m^2
   b. Tekanan netto (q_o) $= \frac{P}{A} + \gamma D_f$
      $= 137.043 + 19{,}003(6{,}05)$
      = 252,009 kN/m^2
   c. Lebar fondasi efektif (B') $= \frac{B}{2}$
      $= \frac{4}{2}$
      = 2 m
   d. n' $= \frac{H}{B'}$
      $= \frac{1}{2}$

$= 0{,}5$

e. m’ $= \frac{L}{B}$

$= \frac{4{,}2}{4}$

$= 1{,}1$

f. A0 $= m' ln \frac{(1+\sqrt{m'^2+1})\sqrt{m'^2+n'^2}}{m'(1+\sqrt{m'^2+n'^2+1})}$

$= 1{,}1 ln \frac{(1+\sqrt{1{,}1^2+1})\sqrt{1{,}1^2+0{,}5^2}}{1{,}1(1+\sqrt{1{,}1^2+0{,}5+1})}$

$= 0{,}072$

g. A1 $= ln \frac{(m'+\sqrt{m'^2+1})\sqrt{1+n'^2}}{m'+\sqrt{m'^2+n'^2+1}}$

$= ln \frac{(1{,}1+\sqrt{1{,}1^2+1})\sqrt{1+0{,}5^2}}{1{,}1+\sqrt{1{,}1^2+0{,}5^2+1}}$

$= 0{,}033$

h. A2 $= \frac{m'}{n'+\sqrt{m'^2+n'^2+1}}$

$= \frac{1{,}1}{0{,}5+\sqrt{1{,}1^2+0{,}5^2+1}}$

$= 0{,}516$

i. F1 $= \frac{1}{\pi}(A_0 + A_1)$

$= \frac{1}{\pi}(0{,}072 + 0{,}033)$

$= 0{,}033$

j. F2 $= \frac{n'}{2\pi} tan^{-1}(A_2)$

$= \frac{0{,}5}{2\pi} tan^{-1}(0{,}516)$

$= 0{,}038$

k. Faktor bentuk fondasi (I_s) $= F_1 + (\frac{1-2v}{1-v})F_2$

$= 0{,}033 + \left(\frac{1-2(0{,}21)}{1-0{,}21}\right) 0{,}038$

$= 0{,}048$

l. Faktor kedalaman fondasi (I_f) $= \frac{D_f}{B}$

$= \frac{6{,}05}{4}$

= 1,513

m. Nilai penurunan (S_e) $= q_o(\alpha B')\frac{1-v^2}{E_{rm}} I_s I_f$

$= 252{,}009\ (4 \times 2)\frac{1-0{,}21^2}{337380}(0{,}048)(1{,}513)$

= 0,000411 m

= 0,441 mm

2. Rekapitulasi Perhitungan Penurunan pada Tiap Tipe Fondasi

Dengan perhitungan yang sama untuk masing-masing tipe fondasi, hasil perhitungan penurunan (*settlement*) dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan (*Settlement*)

Parameter	**Tipe Fondasi**				
	F1 (4x4,42)	**F2 (3,7x3,7)**	**F3 (4x7)**	**F4 (3,7x6,7)**	**F5 (3,7x11,7)**
Lebar fondasi (B)	4 m	3,7 m	4 m	3,7 m	3,7 m
Panjang fondasi (L)	4,2 m	3,7 m	7 m	6,7 m	11,7 m
Kedalaman fondasi (D_f)	6,05 m				
Modulus batuan (E_{rm})	337380 kN/m^2				
Poisson ratio batuan (v)	0,21				
α	4				
Berat isi batuan (γ)	19,003 kN/m^3				
Tegangan vertikal (σ_v)	137,043 kN/m^2	159,673 kN/m^2	121,622 kN/m^2	127,390 kN/m^2	57,806 kN/m^2
Tekanan netto (q_o)	252,009 kN/m^2	274,639 kN/m^2	236,588 kN/m^2	242,356 kN/m^2	172,772 kN/m^2
Lebar fondasi efektif (B')	2,0 m	1,850 m	2,0 m	1,850 m	1,850 m
n'	0,5				
m'	1,1	1,0	1,8	1,8	3,2
A_0	0,072	0,088	0,034	0,037	0,014
A_1	0,033	0,037	0,045	0,053	0,061
A_2	0,516	0,487	0,679	0,676	0,811
F_1	0,033	0,040	0,025	0,028	0,024
F_2	0,038	0,039	0,047	0,051	0,059
I_s	0,048	0,054	0,043	0,047	0,045
I_f	1,513	1,635	1,513	1,635	1,635
S_e	0,411 mm	0,508 mm	0,346 mm	0,394 mm	0,269 mm

Berdasarkan Tabel 5.16, nilai penurunan elastik seluruh tipe fondasi berada pada rentang 0,269 mm sampai dengan 0,508 mm. Penurunan terbesar terjadi pada fondasi F2 (3,7x3,7) sebesar 0,508 mm, sedangkan yang terkecil terjadi pada fondasi F5 (3,7x11,7) sebesar 0,269 mm. Nilai penurunan yang relatif kecil dipengaruhi oleh modulus elastisitas massa batuan yang tinggi, yaitu 337380 kN/m². Seluruh nilai penurunan selanjutnya dibandingkan dengan batas penurunan izin sebesar 12 mm untuk mengevaluasi kelayakan fondasi.

5.6.2 Perbandingan Nilai Penurunan (*Settlement*) Berdasarkan Teori Bowles dengan Batas Penurunan Izin

Nilai penurunan elastik hasil perhitungan teori Bowles (1997) selanjutnya dibandingkan dengan batas penurunan izin untuk sesuai Bureau of Indian Standards (1987) untuk mengevaluasi kelayakan fondasi pada kondisi layan. Pada penelitian ini, batas penurunan izin yang digunakan adalah sebesar 12 mm. Suatu fondasi dinyatakan memenuhi persyaratan apabila nilai penurunan hasil perhitungan lebih kecil atau sama dengan batas penurunan izin. Sebaliknya, apabila nilai penurunan melebihi 12 mm, maka fondasi dinyatakan belum memenuhi kriteria penurunan. Perbandingan nilai penurunan (*settlement*) berdasarkan teori bowles dengan batas penurunan izin dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Perbandingan Nilai Penurunan (*Settlement*) Berdasarkan Teori Bowles dengan Batas Penurunan Izin

Tipe Fondasi	S_e (mm)		Batas Penurunan (mm)	Keterangan
F1 (4x4,2)	0,411	<	12	Fondasi Aman
F2 (3,7x3,7)	0,508	<	12	Fondasi Aman
F3 (4x7)	0,346	<	12	Fondasi Aman
F4 (3,7x6,7)	0,394	<	12	Fondasi Aman
F5 (3,7x11,7)	0,269	<	12	Fondasi Aman

Berdasarkan Tabel 5.17, seluruh tipe fondasi memiliki nilai penurunan elastik yang jauh lebih kecil daripada batas penurunan izin sebesar 12 mm. Penurunan terbesar terjadi pada fondasi F2 (3,7x3,7) sebesar 0,508 mm, sedangkan yang terkecil terjadi pada fondasi F5 (3,7x11,7) sebesar 0,269 mm. Oleh karena itu, seluruh variasi fondasi dinyatakan aman dan memenuhi persyaratan kondisi layan terhadap penurunan.

5.7 Analisis Daya Dukung dan Penurunan (*Settlement*) Fondasi Menggunakan Pemodelan PLAXIS 2D

Analisis daya dukung dan penurunan (*settlement*) fondasi menggunakan *software* PLAXIS 2D sebagai alat bantu numerik berbasis metode elemen hingga. PLAXIS 2D dipilih karena mampu memodelkan kondisi lapangan mendekati keadaan sebenarnya, sehingga perilaku deformasi tanah dan respon fondasi terhadap beban dapat dievaluasi dengan lebih rinci dibandingkan hanya menggunakan pendekatan analitis konvensional. Analisis dilakukan dengan memasukkan parameter tanah hasil penyelidikan lapangan serta karakteristik fondasi ke dalam model.

5.7.1 Analisis Daya Dukung Ultimit (Q_u) dan Daya Dukung Izin (Q_{all}) Fondasi Menggunakan Pemodelan PLAXIS 2D

Tahap pemodelan dalam PLAXIS 2D diawali dengan penentuan jenis model (*plane strain*), dimensi, dan geometri batuan. Selanjutnya, parameter batuan yang diperoleh dari uji laboratorium dan analisis massa batuan dimasukkan ke dalam program dengan pemilihan model Hoek-Brown, yang sesuai dengan karakteristik batuan di lokasi penelitian. Setelah geometri batuan selesai dimodelkan, dilakukan pemodelan fondasi dilakukan dengan pendekatan simetri, sehingga hanya setengah lebar fondasi (B/2) yang dimodelkan untuk mengurangi ukuran domain dan waktu komputasi. Garis tengah fondasi ditetapkan sebagai batas simetri dengan kondisi perpindahan horizontal sedangkan perpindahan vertikal tetap diizinkan hasil gaya reaksi dari model setengah kemudian dikalikan dua untuk merepresentasikan fondasi penuh. Berikutnya proses *meshing* dilakukan dengan tingkat kerapatan elemen yang lebih rapat di sekitar fondasi untuk memperoleh

distribusi tegangan dan deformasi yang lebih representatif. Proses perhitungan disusun melalui beberapa fase, yaitu fase tegangan awal (*initial phase*), dan fase pembebanan menggunakan metode *prescribed displacement*. Pada fase tersebut, perpindahan vertikal ke arah bawah diberikan secara bertahap pada fondasi sampai massa batuan mengalami respon plastis atau mendekati kondisi keruntuhan.

Hasil analisis kemudian dievaluasi pada fase ultimate melalui kurva hubungan antara gaya reaksi vertikal fondasi (F_Y) dan perpindahan vertikal (u_y). Nilai daya dukung ultimit ditentukan berdasarkan gaya reaksi vertikal maksimum yang dicapai sebelum kurva menunjukkan kecenderungan mendatar atau terjadi peningkatan penurunan secara signifikan tanpa kenaikan gaya yang berarti. Dengan demikian, kurva hasil pada tahap *ultimate* digunakan sebagai dasar untuk menentukan kapasitas dukung ultimit massa batuan pada lokasi fondasi. Nilai dan parameter yang digunakan dalam proses pemodelan ini dapat dilihat sebagai berikut.

1. Parameter Batuan
   a. Berat isi (γ) = 19,003 kN/m^3
   b. Modulus elastisitas batuan (E_{rm}) = 337,380 MPa
      = 337380 kN/m^2
   c. *Poisson ratio* batuan (v) $= 0.21$
   d. Nilai kuat tekan uniaksial (σ_{ci}) = 2.737 MPa
      = 2737 kN/m^2
   e. Konstanta material batuan (m_i) = 4 (berdasarkan basis data PLAXIS)
   f. GSI $= RMR - 5$
      $= 64 - 5$
      $= 59$
   g. Faktor gangguan massa batuan (D) = 0
2. Nilai *Prescribed Displacement*

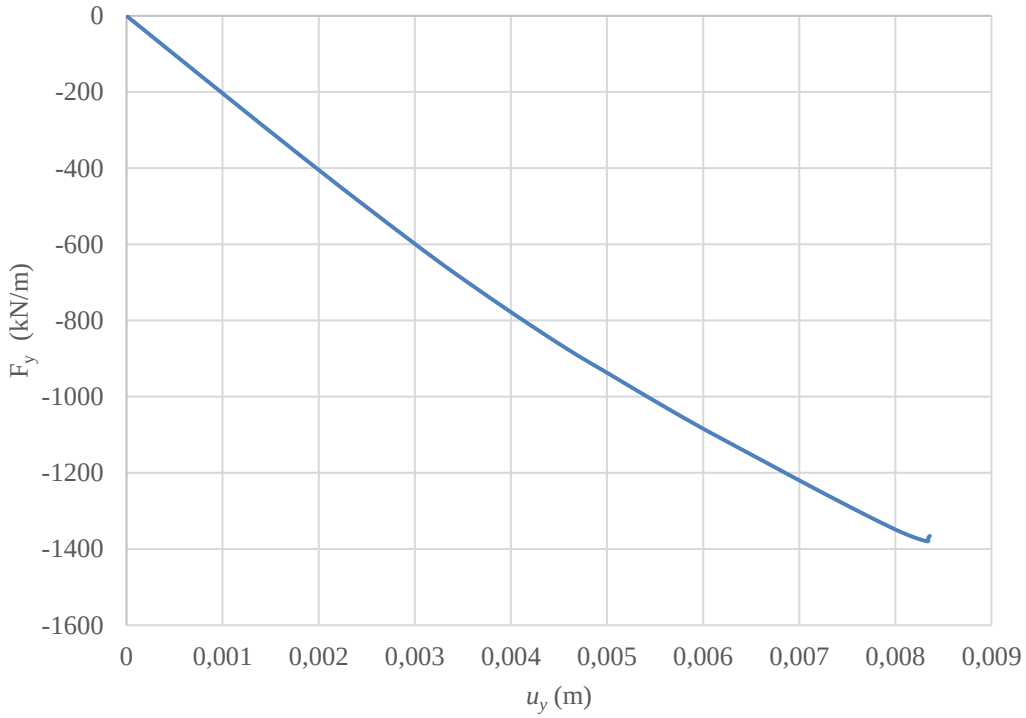
   Nilai *prescribed displacement* yang digunakan sebesar 0,2 meter sebagai perpindahan vertikal maksimum pada fondasi agar pembebanan dapat

berlangsung cukup besar hingga respon massa batuan mencapai kondisi plastis atau mendekati keruntuhan.

Setelah semua tahapan dan parameter dimasukan, jalankan program analisis untuk memperoleh daya dukung dan penurunan pada tiap tipe fondasi. Hasil analisis yang diperoleh dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. Hasil Analisis Daya Dukung pada Fondasi Tipe F1 (4x4,2)

   Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada fondasi tipe F1 dengan dimensi 4x4,2, diperoleh kurva terhadap gaya reaksi vertikal fondasi (F_Y) dan perpindahan vertikal (u_y) yang dapat dilihat pada Gambar 5.12 dan Tabel 5.18 berikut.



Gambar 5.12 Kurva Hubungan F_y dan u_y pada Fondasi Tipe F1

Tabel 5.18 Data Hubungan F_y dan u_y pada Fondasi Tipe F1

Tahap ke-	**u_y (m)**	**F_y (kN/m)**
1	0	0
2	0,001376928	-279,9270325
3	0,002065393	-417,3678589

Lanjutan Tabel 5.18 Data Hubungan F_Y dan u_y pada Fondasi Tipe F1

Tahap ke-	u_y (m)	F_y (kN/m)
4	0,002409625	-485,0649414
5	0,003098089	-617,3737183
6	0,003442321	-680,4239502
7	0,003614437	-710,9656982
8	0,003786553	-741,0986938
9	0,003958669	-770,7920532
10	0,004130785	-799,9529419
11	0,004302901	-828,647644
12	0,004475017	-856,9058228
13	0,004647133	-884,3595581
14	0,004733191	-897,6505127
15	0,004819249	-910,4534302
16	0,004905307	-923,0852661
17	0,004991366	-935,7941895
18	0,005077424	-948,6461792
19	0,005163481	-961,5891113
20	0,005249539	-974,5336304
21	0,005335597	-987,4310303
22	0,005421656	-1000,258911
23	0,005507714	-1013,006897
24	0,00567983	-1038,258057
25	0,005851946	-1063,059937
26	0,006024062	-1087,324585
27	0,00611012	-1099,077271
28	0,006282236	-1122,405273
29	0,006454352	-1145,690918
30	0,006626468	-1168,992676
31	0,006712526	-1180,672607
32	0,006884642	-1203,999756
33	0,007056758	-1227,195679
34	0,007228874	-1250,192383
35	0,007314932	-1261,532593
36	0,007487048	-1284,072266
37	0,007659164	-1306,34314
38	0,00783128	-1328,116455
39	0,007917338	-1338,675415
40	0,008003396	-1349,062134
41	0,008046425	-1353,998779
42	0,008089454	-1358,700562
43	0,008132484	-1363,185913
44	0,008175513	-1367,433228
45	0,008218542	-1371,355347
46	0,008261571	-1374,893188
47	0,0083046	-1378,052002

Lanjutan Tabel 5.18 Data Hubungan F_Y dan u_y pada Fondasi Tipe F1

Tahap ke-	u_y (m)	F_y (kN/m)
48	0,008326114	-1379,373779
49	0,008336871	-1379,636108
50	0,00834225	-1379,247925
51	0,008342999	-1377,32373
52	0,008341707	-1372,364136
53	0,008348083	-1368,544556
54	0,008358841	-1365,460327

Tabel 5.18 menunjukan nilai-nilai yang diekstrak dari kurva dan dapat dilihat gaya reaksi vertikal (F_Y) maksimum yang terjadi pada tahap ke-49 sebesar 1379,636 kN/m. Nilai tersebut adalah nilai daya dukung ultimit ($q_{u\ PLAXIS}$) yang dimiliki oleh batuan saat menopang beban yang diberikan oleh fondasi tipe F1 (4x4,2). Dikarenakan pemodelan PLAXIS 2D hanya merepresentasikan setengah lebar fondasi, yaitu 2 meter dengan bidang simetris, nilai gaya reaksi vertikal yang diperoleh merupakan respon dari setengah bidang fondasi. Oleh karena itu, untuk memperoleh daya dukung ultimit total fondasi selebar 4 meter, nilai gaya reaksi vertikal hasil pemodelan dikalikan dua. Tahapan untuk mendapatkan nilai daya dukung ultimit total ($Q_{u\ PLAXIS}$) dan daya dukung izin ($Q_{all\ PLAXIS}$) pada fondasi tipe F1 dapat dilihat sebagai berikut.

a. Daya Dukung Total pada Fondasi Tipe F1 (4x4,2)

1) Daya dukung ultimit total ($Q_{u\ PLAXIS}$) $= \frac{q_{u\ PLAXIS} \times 2}{B}$

$= \frac{1379{,}636 \times 2}{4}$

$= 689{,}818\ \text{kN/m}^2$

2) Daya dukung izin ($Q_{all\ PLAXIS}$) $= \frac{Q_{u\ PLAXIS}}{FS}$

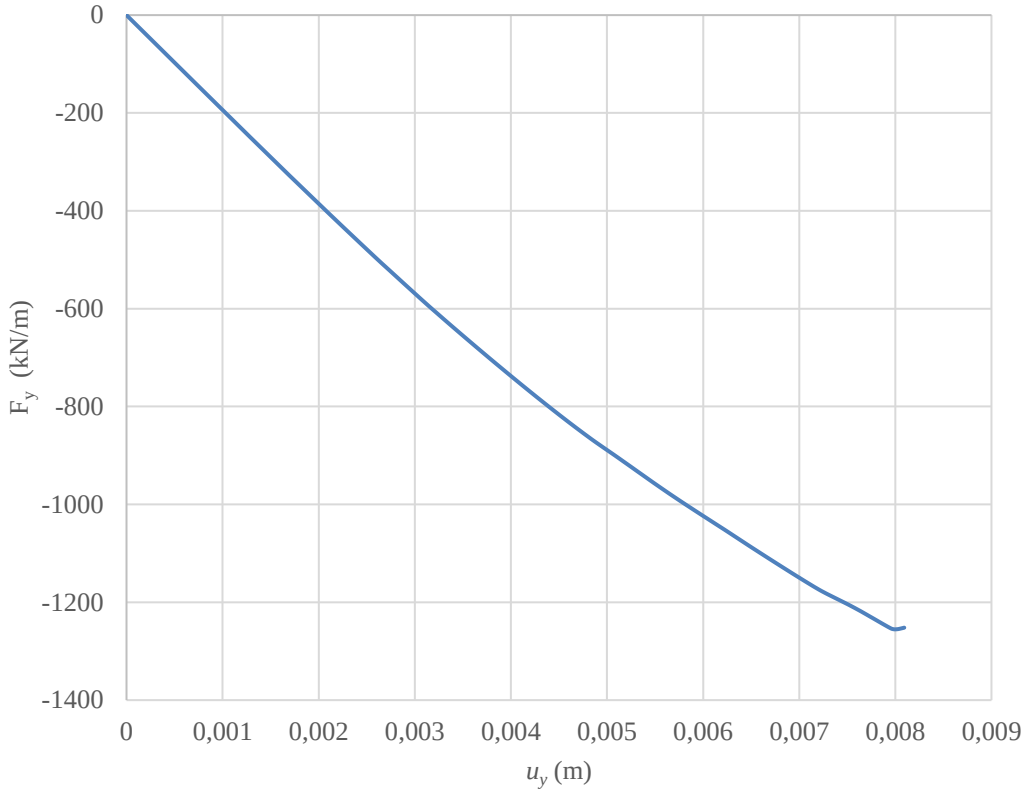
$= \frac{689.818}{3}$

$= 229{,}939\ \text{kN/m}^2$

2. Hasil Analisis Daya Dukung pada Fondasi Tipe F2 (3,7x3,7)

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada fondasi tipe F2 dengan dimensi 3,7x3,7, diperoleh kurva terhadap gaya reaksi vertikal fondasi (F_Y) dan

perpindahan vertikal (u_y) yang dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan Tabel 5.19 berikut.



Gambar 5.13 Kurva Hubungan F_Y dan u_y pada Fondasi Tipe F2

Tabel 5.19 Data Hubungan F_Y dan u_y pada Fondasi Tipe F2

Tahap	**u_y (m)**	**F_y (kN/m)**
1	0	0
2	0,001290004	-250,0589294
3	0,001935006	-373,0839233
4	0,002257507	-433,7110291
5	0,002580008	-493,4165649
6	0,002741258	-522,5213013
7	0,003063759	-580,2546997
8	0,00322501	-608,2803955
9	0,00338626	-635,8302002
10	0,003547511	-662,9771118
11	0,003708761	-689,8827515
12	0,003870012	-716,4260254
13	0,004031262	-742,6455078

Lanjutan Tabel 5.19 Data Hubungan F_Y dan u_y pada Fondasi Tipe F2

Tahap	u_y (m)	F_y (kN/m)
14	0,004192513	-768,4951782
15	0,004353763	-793,8700562
16	0,004515014	-818,7932739
17	0,004676264	-843,0855713
18	0,004837515	-866,548645
19	0,00491814	-877,7445679
20	0,004998765	-888,7026367
21	0,00507939	-899,6364746
22	0,005119703	-905,1831055
23	0,005200328	-916,348877
24	0,005280953	-927,5599365
25	0,005361579	-938,7772217
26	0,005442204	-949,9667358
27	0,005522829	-961,0720215
28	0,005603455	-971,9978638
29	0,00568408	-982,7437134
30	0,005764705	-993,3338623
31	0,00584533	-1003,76886
32	0,006006581	-1024,345337
33	0,006167831	-1044,73877
34	0,006248456	-1054,961304
35	0,006329082	-1065,336426
36	0,006490332	-1086,100098
37	0,006570958	-1096,319702
38	0,006651583	-1106,49292
39	0,006732208	-1116,615112
40	0,006812833	-1126,673096
41	0,006893458	-1136,664795
42	0,006974084	-1146,582397
43	0,007054709	-1156,389893
44	0,007135334	-1166,05249
45	0,007175647	-1170,747437
46	0,007215959	-1175,331665
47	0,007256272	-1179,593384
48	0,007296585	-1183,701172
49	0,00737721	-1191,61084
50	0,007417523	-1195,564331
51	0,007498148	-1203,459717
52	0,007538461	-1207,57312
53	0,007619086	-1216,078735
54	0,007659398	-1220,516113
55	0,007740024	-1229,598511
56	0,007780336	-1234,170166
57	0,007860961	-1243,307739

Lanjutan Tabel 5.19 Data Hubungan F_Y dan u_y pada Fondasi Tipe F2

Tahap	u_y (m)	F_y (kN/m)
58	0,007901274	-1247,793457
59	0,007941587	-1252,188721
60	0,007961743	-1254,101563
61	0,007971821	-1254,700684
62	0,007991977	-1255,282104
63	0,008012134	-1255,144897
64	0,00803229	-1254,692017
65	0,008052447	-1253,832275
66	0,008092759	-1251,920288

Tabel 5.19 menunjukan nilai-nilai yang diekstrak dari kurva dan dapat dilihat gaya reaksi vertikal (F_Y) maksimum yang terjadi pada tahap ke-62 sebesar 1255,282 kN/m. Nilai tersebut adalah nilai daya dukung ultimit ($q_{u\ PLAXIS}$) yang dimiliki oleh batuan saat menopang beban yang diberikan oleh fondasi tipe F1 (3,7x3,7). Dikarenakan pemodelan PLAXIS 2D hanya merepresentasikan setengah lebar fondasi, yaitu 2 meter dengan bidang simetris, nilai gaya reaksi vertikal yang diperoleh merupakan respon dari setengah bidang fondasi. Oleh karena itu, untuk memperoleh daya dukung ultimit total fondasi selebar 3,7 meter, nilai gaya reaksi vertikal hasil pemodelan dikalikan dua. Tahapan untuk mendapatkan nilai daya dukung ultimit total ($Q_{u\ PLAXIS}$) dan daya dukung izin ($Q_{all\ PLAXIS}$) pada fondasi tipe F2 dapat dilihat sebagai berikut.

a. Daya Dukung Total pada Fondasi Tipe F2 (3,7x3,7)

1) Daya dukung ultimit total ($Q_{u\ PLAXIS}$) $= \frac{q_{u\ PLAXIS} \times 2}{B}$

$= \frac{1255{,}282 \times 2}{4}$

$= 627{,}641\ kN/m^2$

2) Fakto kemanan (FS) $= 3$

3) Daya dukung izin ($Q_{all\ PLAXIS}$) $= \frac{Q_{u\ PLAXIS}}{FS}$

$= \frac{627{,}641}{3}$

$= 209{,}214\ kN/m^2$

3. Rekapitulasi Hasil Analisis Daya Dukung pada Tiap Tipe Fondasi

Pemodelan dilakukan menggunakan PLAXIS 2D dengan pendekatan *plane strain*, analisis hanya mempertimbangkan lebar efektif fondasi pada bidang dua

dimensi. Oleh karena itu, beberapa tipe fondasi seperti tipe F1 dan F3, atau F2, F4 serta F5 yang memiliki lebar efektif sama menghasilkan nilai daya dukung yang sama pada hasil pemodelan PLAXIS, meskipun panjang aktual fondasinya berbeda. Nilai daya dukung yang mempertimbangkan dimensi aktual setiap tipe fondasi, termasuk pengaruh panjang dan faktor bentuk telapak, dapat dilihat pada hasil perhitungan analitis menggunakan metode Terzaghi–Bowles. Hasil daya dukung ultimit dan izin pada tiap tipe fondasi menggunakan analisis PLAXIS 2D dapat dilihat pada Tabel Rekapitulasi 5.20 berikut.

Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil Daya Dukung dengan Pemodelan PLAXIS 2D

Tipe Fondasi	**Daya Dukung Ultimit ($Q_{u\ PLAXIS}$)**	**FS**	**Daya Dukung Izin ($Q_{all\ PLAXIS}$)**
F1 (4x4,2)	689,818 kN/m^2	3	229,939 kN/m^2
F2 (3,7x3,7)	627,641 kN/m^2	3	209,214 kN/m^2
F3 (4x7)	689,818 kN/m^2	3	229,939 kN/m^2
F4 (3,7x6,7)	627,641 kN/m^2	3	209,214 kN/m^2
F5 (3,7x11,7)	627,641 kN/m^2	3	209,214 kN/m^2

5.7.2 Perbandingan Daya Dukung Batuan Berdasarkan Metode PLAXIS 2D dengan Beban Fondasi

Tahap terakhir adalah membandingkan nilai daya dukung izin dengan tegangan vertikal bangunan. Nilai daya dukung yang digunakan merupakan hasil analisis berdasarkan pemodelan PLAXIS, yang kemudian diolah untuk mendapatkan nilai daya dukung izin. Sementara itu, total beban dari bangunan hasil dari analisis menggunakan ETABS v22 memberikan nilai pembebanan yang bekerja untuk dibandingkan. Perbandingan dilakukan untuk mengidentifikasi apakah tipe fondasi eksisting yang digunakan Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul sesuai dengan kondisi lapangan atau perlu ada evaluasi terhadap tipe fondasi yang sesuai dengan hasil perhitungan daya dukung.

Sebelum membandingkan kedua nilai tersebut, diperlukan nilai tegangan beban yang ditumpu dan disebarkan ke batuan oleh fondasi.

Setelah didapatkan nilai tegangan vertikal pada masing–masing fondasi, dilakukan perbandingan dengan daya dukung izin berdasarkan perhitungan sebelumnya. Apabila nilai kapasitas daya dukung izin lebih besar dari nilai tegangan vertikal ($Q_{all\ PLAXIS} > \sigma_v$), maka fondasi dapat dikategorikan aman dan layak untuk digunakan tipenya. Sebaliknya jika nilai nilai kapasitas daya dukung izin lebih kecil dari nilai tegangan vertikal ($Q_{all\ PLAXIS} < \sigma_v$), maka fondasi tidak aman. Perbandingan kedua nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut ini.

Tabel 5.21 Perbandingan Nilai $Q_{all\ PLAXIS}$ dan $\boldsymbol{\sigma_v}$

Tipe Fondasi	**Tegangan Vertikal ($\boldsymbol{\sigma_v}$)**		**Daya Dukung Izin ($\boldsymbol{Q_{all\ PLAXIS}}$)**	**Keterangan**
F1 (4x4,2)	137,043 kN/m^2	<	229,939 kN/m^2	Fondasi Aman
F2 (3,7x3,7)	159,673 kN/m^2	<	209,214 kN/m^2	Fondasi Aman
F3 (4x7)	121,622 kN/m^2	<	229,939 kN/m^2	Fondasi Aman
F4 (3,7x6,7)	127,390 kN/m^2	<	209,214 kN/m^2	Fondasi Aman
F5 (3,7x11,7)	57,806 kN/m^2	<	209,214 kN/m^2	Fondasi Aman

Berdasarkan tabel perbandingan nilai $Q_{all\ PLAXIS}$ dan σ_v di atas, dapat disimpulkan bahwa seluruh tipe fondasi eksisting yang digunakan Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul berada dalam kondisi aman. Selain itu, nilai daya dukung dan beban yang terjadi menunjukkan bahwa fondasi masih memiliki kapasitas tambahan yang memadai untuk menahan beban dari struktur atas. Dengan demikian, desain fondasi yang digunakan telah memenuhi kriteria keamanan dan dapat dinyatakan layak digunakan pada kondisi lapangan yang diteliti.

5.7.3 Analisis Penurunan (*Settlement*) Fondasi Menggunakan PLAXIS 2D

Analisis penurunan fondasi dilakukan menggunakan PLAXIS 2D untuk memperoleh respon deformasi massa batuan akibat beban kerja yang diterima fondasi. Pemodelan diawali dengan pembuatan geometri batuan sesuai kondisi lokasi penelitian serta penempatan fondasi pada elevasi dasar fondasi. Fondasi dimodelkan sebagai elemen *plate* dengan yang dapat dilihat pada Tabel 5.22. Penggunaan elemen *plate* dimaksudkan untuk merepresentasikan kekakuan fondasi dalam menyalurkan beban ke massa batuan dasar. Beban vertikal dari struktur kemudian dimasukkan sebagai *line load* yang bekerja merata pada sepanjang elemen fondasi.

Tabel 5.22 *Input* Parameter Fondasi

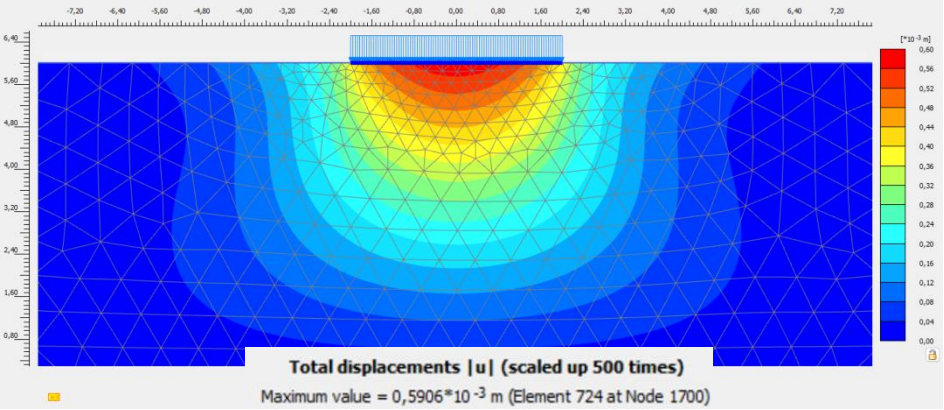
Parameter		**F1**	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**
f'$_c$ (MPa)	-	25	25	25	25	25
E_{rm} (MPa)	$4700\sqrt{f'c}$	23500	23500	23500	23500	23500
EI (kN/m)	$E_{rm}\frac{{D_f}^3 B}{12}$	2686,8	2485,3	2686,8	2485,3	2485,3
EA (kN/m^2/m)	$E_{rm} \times D_f \times B$	658,00	60865	65800	60865	60865
W (kN/m/m)	$\gamma_{beton}\, x\, D_f$	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8
***v* beton**	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
q$_y$ (kN/m/m)	σ_v/B	32,6	43,2	17,4	19,0	4,9

Setelah geometri, parameter material, dan kondisi batas ditetapkan, dilakukan proses meshing untuk membagi domain batuan dan fondasi menjadi elemen hingga. Ukuran elemen dibuat lebih rapat pada area di sekitar fondasi agar distribusi tegangan dan deformasi yang terjadi pada zona pengaruh beban dapat dimodelkan secara lebih representatif. Tahap perhitungan selanjutnya disusun melalui fase tegangan awal (*initial phase*) untuk menghasilkan kondisi tegangan awal massa batuan, kemudian dilanjutkan dengan fase konstruksi (*staged construction*) untuk mengaktifkan elemen plate fondasi dan beban vertikal secara

bertahap. Hasil dari analisis penurunan fondasi pada tiap tipe dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. Hasil Analisis Penurunan Fondasi Tipe F1 (4x4,2)

   Hasil dari analisis yang telah dilakukan pada PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.

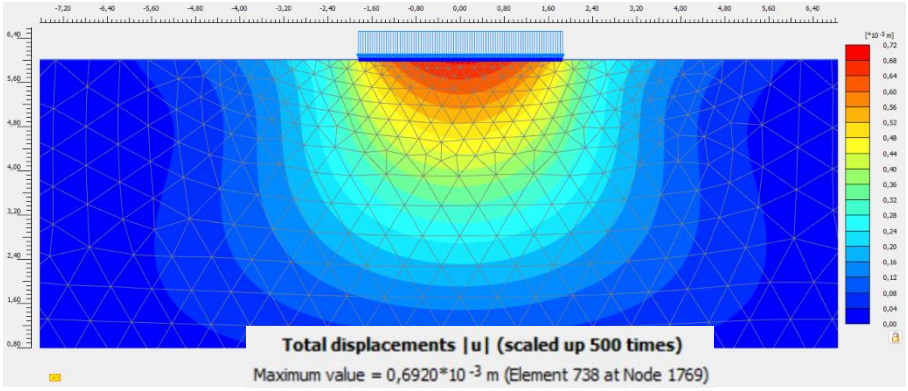


Gambar 5.14 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F1

   Berdasarkan Gambar 5.14 tersebut, diperoleh nilai penurunan fondasi dengan dimensi 4x4,2 meter dan beban 32,6 kN/m/m mengalami penurunan sebesar $0{,}5906 \times 10^{-3}$ meter atau setara dengan 0,591 milimeter.

2. Hasil Analisis Penurunan Fondasi Tipe F2 (3,7x3,7)

   Hasil dari analisis yang telah dilakukan pada PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.

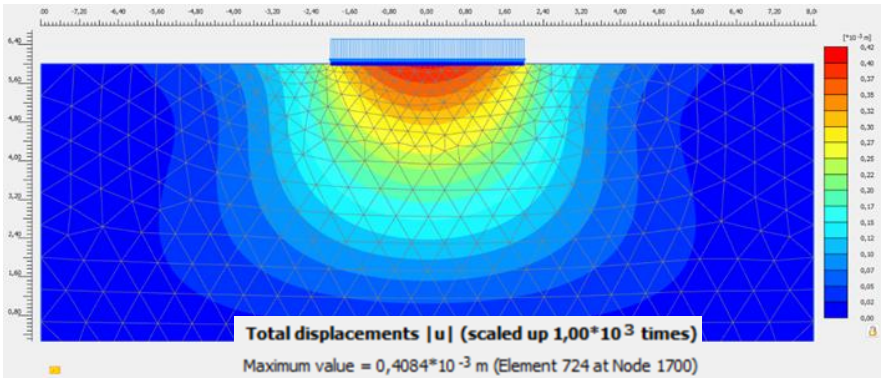


Gambar 5.15 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F2

Berdasarkan Gambar 5.15 tersebut, diperoleh nilai penurunan fondasi dengan dimensi 3,7x3,7 meter dan beban 43,2 kN/m/m mengalami penurunan sebesar 0,6920x10^{-3} meter atau setara dengan 0,692 milimeter.

3. Hasil Analisis Penurunan Fondasi Tipe F3 (4x7)

   Hasil dari analisis yang telah dilakukan pada PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.

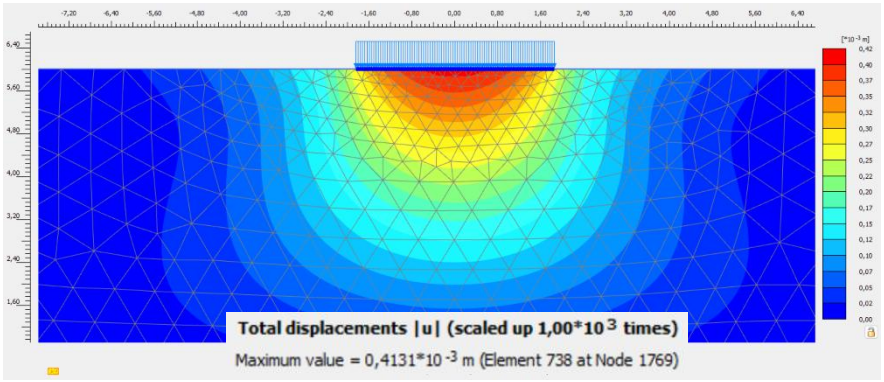


Gambar 5.16 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F3

Berdasarkan Gambar 5.16 tersebut, diperoleh nilai penurunan fondasi dengan dimensi 4x7 meter dan beban 17,4 kN/m/m mengalami penurunan sebesar 0.4084x10^{-3} meter atau setara dengan 0,408 milimeter.

4. Hasil Analisis Penurunan Fondasi Tipe F4 (3,7x6,7)

   Hasil dari analisis yang telah dilakukan pada PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.

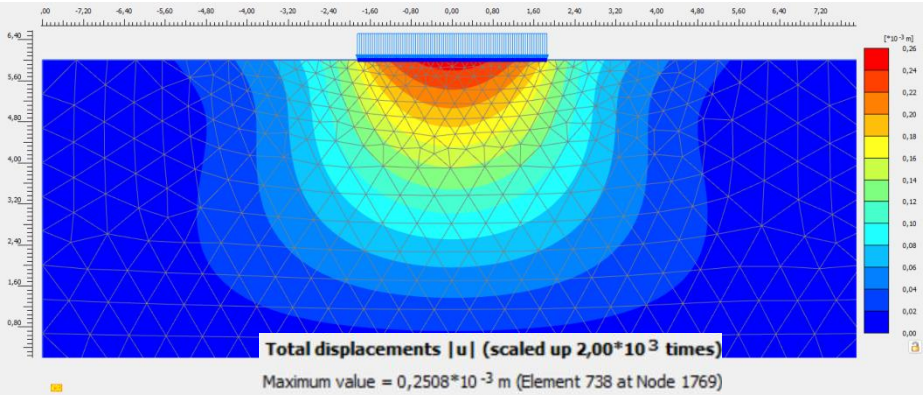


Gambar 5.17 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F4

Berdasarkan Gambar 5.17 tersebut, diperoleh nilai penurunan fondasi dengan dimensi 3,7x6,7 meter dan beban 19,0 kN/m/m mengalami penurunan sebesar $0{,}4131 \times 10^{-3}$ meter atau setara dengan 0,413 milimeter.

5. Hasil Analisis Penurunan Fondasi Tipe F5 (3,7x11,7)

   Hasil dari analisis yang telah dilakukan pada PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F4

Berdasarkan Gambar 5.18 tersebut, diperoleh nilai penurunan fondasi dengan dimensi 3,7x11,7 meter dan beban 4,9 kN/m/m mengalami penurunan sebesar $0{,}2508 \times 10^{-3}$ meter atau setara dengan 0,251 milimeter.

6. Rekapitulasi Hasil Analisis Penurunan Fondasi Menggunakan Pemodelan PLAXIS 2D

   Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dengan PLAXIS 2D, didapatkan masing–masing nilai penurunan (*settlement*) yang terjadi pada tiap tipe fondasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut.

Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Penurunan dengan Pemodelan PLAXIS 2D

Tipe Fondasi	**$S_{e\ PLAXIS}$ (mm)**
F1 (4x4,2)	0,591
F2 (3,7x3,7)	0,692
F3 (4x7)	0,408
F4 (3,7x6,7)	0,413
F5 (3,7x11,7)	0,251

5.7.4 Perbandingan Nilai Penurunan (*Settlement*) Berdasarkan Metode PLAXIS 2D dengan Batas Penurunan Izin

Evaluasi penurunan fondasi dilakukan dengan membandingkan nilai penurunan maksimum yang diperoleh dari hasil analisis PLAXIS 2D terhadap batas penurunan izin yang telah ditetapkan. Nilai penurunan hasil pemodelan diambil dari perpindahan vertikal maksimum (u_y) pada area fondasi, khususnya pada titik yang mengalami deformasi terbesar. Pada penelitian ini, batas penurunan izin ditetapkan sebesar 12 mm mengacu pada Bureau of Indian Standards (1987) tentang perencanaan dan pelaksanaan fondasi dangkal pada batuan. Apabila nilai penurunan hasil analisis lebih kecil atau sama dengan batas penurunan izin ($S_{e\ PLAXIS} < S_{e\ Izin}$), maka fondasi dinyatakan memenuhi kriteria penurunan dan dapat berfungsi dengan baik pada kondisi pembebanan yang direncanakan. Sebaliknya, apabila nilai penurunan hasil analisis melebihi batas penurunan izin ($S_{e\ PLAXIS} > S_{e\ Izin}$), maka fondasi dinyatakan belum memenuhi persyaratan. Perbandingan kedua nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut ini.

Tabel 5.24 Perbandingan Nilai Penurunan Berdasarkan Metode PLAXIS dengan Batas Penurunan Izin

Tipe Fondasi	$S_{e\ PLAXIS}$ (mm)		Batas Penurunan (mm)	Keterangan
F1 (4x4,2)	0,591	<	12	Fondasi Aman
F2 (3,7x3,7)	0,692	<	12	Fondasi Aman
F3 (4x7)	0,408	<	12	Fondasi Aman
F4 (3,7x6,7)	0,413	<	12	Fondasi Aman
F5 (3,7x11,7)	0,251	<	12	Fondasi Aman

Berdasarkan hasil analisis penurunan menggunakan PLAXIS 2D, seluruh variasi kondisi pemodelan menunjukkan nilai penurunan maksimum yang lebih kecil dari batas penurunan izin sebesar 12 mm. Dengan demikian, seluruh desain fondasi yang dianalisis dinyatakan memenuhi persyaratan terhadap penurunan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa deformasi vertikal yang terjadi pada massa batuan pendukung masih berada dalam batas yang dapat diterima, sehingga fondasi dinilai mampu mendukung beban struktur tanpa menimbulkan penurunan

berlebihan yang dapat mengganggu kinerja struktur di atasnya. Kriteria 12 mm tersebut digunakan sebagai batas evaluasi penurunan berdasarkan Bureau of Indian Standards (1987).

5.8 Perbandingan Nilai Selisih Hasil Perhitungan dengan Metode Terzaghi-Bowles dan PLAXIS 2D

Perhitungan nilai daya dukung dan penurunan dibandingkan antara hasil perhitungan dengan metode Terzaghi-Bowles dan hasil pemodelan PLAXIS 2D. Metode Terzaghi-Bowles menggunakan pendekatan analitis berdasarkan parameter material pendukung, dimensi fondasi, kedalaman fondasi, dan pembebanan, sedangkan PLAXIS 2D menggunakan metode elemen hingga untuk memodelkan distribusi tegangan serta deformasi pada fondasi dan massa batuan. Selisih hasil perhitungan dinyatakan dalam persentase dengan menjadikan hasil metode Terzaghi-Bowles sebagai nilai acuan. Selisih hasil penurunan dihitung menggunakan Persamaan 5.2 berikut.

$$Selisih\ (\%) = \frac{|Metode\ PLAXIS - Metode\ Analitis|}{Metode\ Analitis} \times 100\% \qquad (5.2)$$

Perbedaan nilai dapat terjadi karena metode Terzaghi-Bowles menggunakan persamaan analitis dengan beberapa asumsi penyederhanaan, sedangkan PLAXIS 2D menggunakan metode elemen hingga yang memodelkan distribusi tegangan dan deformasi massa batuan. Hasil perbandingan ini digunakan untuk melihat besarnya perbedaan kedua metode serta mendukung verifikasi hasil analisis daya dukung dan penurunan fondasi.

5.8.1 Perbandingan Nilai Selisih Hasil Perhitungan Daya Dukung dengan Metode Terzaghi-Bowles dan PLAXIS 2D

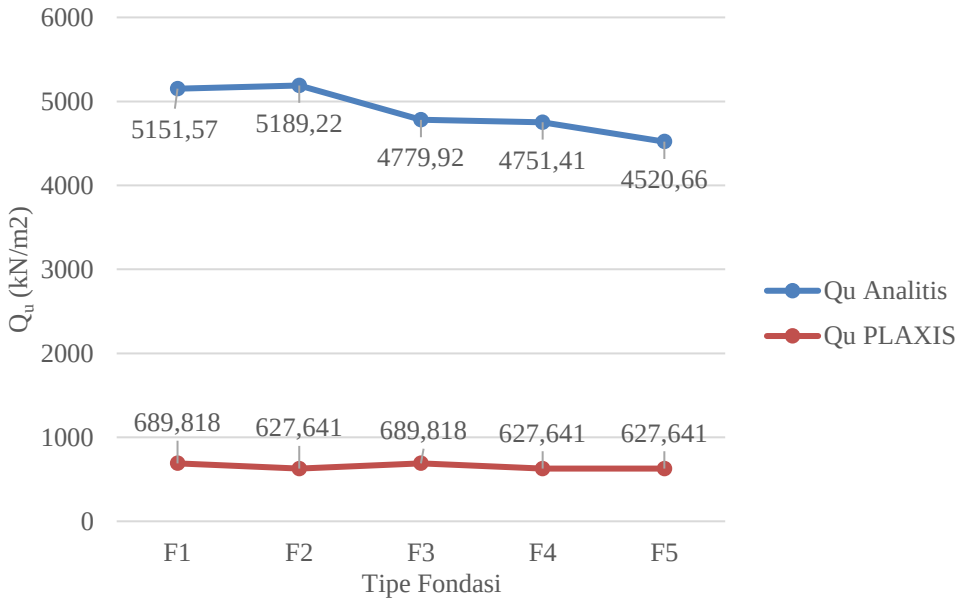
Perbandingan daya dukung dilakukan dengan membandingkan nilai daya dukung yang diperoleh dari metode Terzaghi-Bowles dengan hasil analisis PLAXIS 2D. Perbandingan ini bertujuan untuk memperoleh besarnya selisih nilai daya dukung antara pendekatan analitis dan numerik, sekaligus menilai konsistensi hasil

perhitungan pada kedua metode. Tahapan untuk memperoleh nilai selisih daya dukung tiap tipe fondasi dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 5.2 sebelumnya yang dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. Selisih Nilai Daya Dukung Ultimit Metode Terzaghi-Bowles dengan PLAXIS pada Fondasi Tipe F1 (4x4,2)
   a. Daya dukung ultimit analitis ($Q_{u\ Analitis}$) = 5151,572 kN/m^2
   b. Daya dukung ultimit PLAXIS ($Q_{u\ PLAXIS}$) = 689,818 kN/m^2
   c. Selisih (%)
   $$= \frac{|Metode\ PLAXIS - Metode\ Analitis|}{Metode\ Analitis} \times 100\%$$
   $$= \frac{|689{,}818 - 5151{,}572|}{5151{,}572} \times 100\%$$
   $$= \frac{4461.754}{5151{,}572} \times 100\%$$
   $$= 0{,}866 \times 100\%$$
   $$= 86{,}60\%$$
2. Selisih Nilai Daya Dukung Izin Metode Terzaghi-Bowles dengan PLAXIS pada Fondasi Tipe F1 (4x4,2)
   a. Daya dukung izin analitis ($Q_{all\ Analitis}$) = 230,416 kN/m^2
   b. Daya dukung izin PLAXIS ($Q_{all\ PLAXIS}$) = 229,939 kN/m^2
   c. Selisih (%)
   $$= \frac{|Metode\ PLAXIS - Metode\ Analitis|}{Metode\ Analitis} \times 100\%$$
   $$= \frac{|\ 229{,}939 - 230{,}416|}{230{,}416} \times 100\%$$
   $$= \frac{0{,}477}{230{,}416} \times 100\%$$
   $$= 0{,}0020 \times 100\%$$
   $$= 0{,}20\%$$
3. Rekapitulasi Perbandingan Selisih Nilai Daya Dukung dengan Kedua Metode
   Dengan perhitungan yang dilakukan menggunakan parameter yang sama dan variasi dimensi fondasi, hasil selisih nilai daya dukung antara kedua metode dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 serta Tabel 5.25 dan Tabel 5.26 berikut. Perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui besarnya perbedaan hasil serta mengevaluasi tingkat kesesuaian antara metode analitis dan metode numerik.

Tabel 5.25 Rekapitulasi Nilai Selisih Daya Dukung Ultimit (Q_u) Antara Kedua Metode

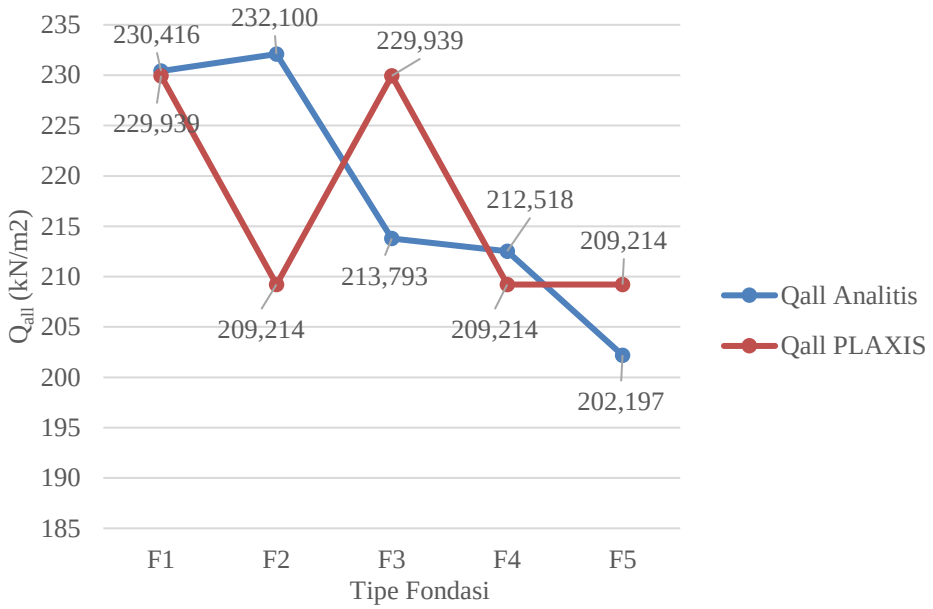
Tipe Fondasi	$Q_{u\ Analitis}$	$Q_{u\ PLAXIS}$	Selisih
F1 (4x4,2)	5151,572 kN/m^2	689,818 kN/m^2	86,60%
F2 (3,7x3,7)	5189,222 kN/m^2	627,641 kN/m^2	87,90%
F3 (4x7)	4779,925 kN/m^2	689,818 kN/m^2	85,57%
F4 (3,7x6,7)	4751,413 kN/m^2	627,641 kN/m^2	86,79%
F5 (3,7x11,7)	4520,658 kN/m^2	627,641 kN/m^2	86,12%



Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Daya Dukung Ultimit (Q_u) Antara Kedua Metode

Tabel 5.26 Rekapitulasi Nilai Selisih Daya Dukung Izin (Q_{all}) Antara Kedua Metode

Tipe Fondasi	$Q_{all\ Analitis}$	$Q_{all\ PLAXIS}$	Selisih
F1 (4x4,2)	230,416 kN/m^2	229,939 kN/m^2	0,20%
F2 (3,7x3,7)	232,100 kN/m^2	209,214 kN/m^2	9,86%
F3 (4x7)	213,793 kN/m^2	229,939 kN/m^2	7,55%
F4 (3,7x6,7)	212,518 kN/m^2	209,214 kN/m^2	1,55%
F5 (3,7x11,7)	202,197 kN/m^2	209,214 kN/m^2	3,47%



Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Daya Dukung Izin (Q_{all}) Antara Kedua Metode

Berdasarkan hasil perbandingan, nilai daya dukung ultimit (Q_u) antara metode analitis dan PLAXIS 2D menunjukkan selisih yang besar, yaitu sekitar 85,57% sampai dengan 87,90%. Perbedaan tersebut terjadi karena kedua metode menggunakan dasar penentuan kapasitas yang berbeda. Perhitungan analitis Terzaghi-Bowles umumnya menghasilkan daya dukung ultimit berdasarkan persamaan teoritis dengan asumsi kondisi keruntuhan geser yang ideal, sedangkan nilai daya dukung ultimit pada PLAXIS 2D diperoleh dari respon numerik model terhadap pembebanan, yang dipengaruhi oleh parameter material, ukuran mesh, serta tahapan pembebanan. Namun, setelah daya dukung ultimit dikonversikan menjadi daya dukung izin (Q_{all}), selisih menjadi jauh lebih kecil, yaitu 0,20% sampai dengan 9,86%, karena nilai daya dukung izin telah mempertimbangkan faktor keamanan dan kriteria penurunan. Dengan demikian, perbedaan besar pada daya dukung ultimit tidak secara langsung menunjukkan bahwa hasil desain fondasi berbeda secara signifikan dari sisi daya dukung izin.

5.8.2 Perbandingan Nilai Selisih Hasil Perhitungan Penurunan (*Settlement*) dengan Metode Terzaghi-Bowles dan PLAXIS 2D

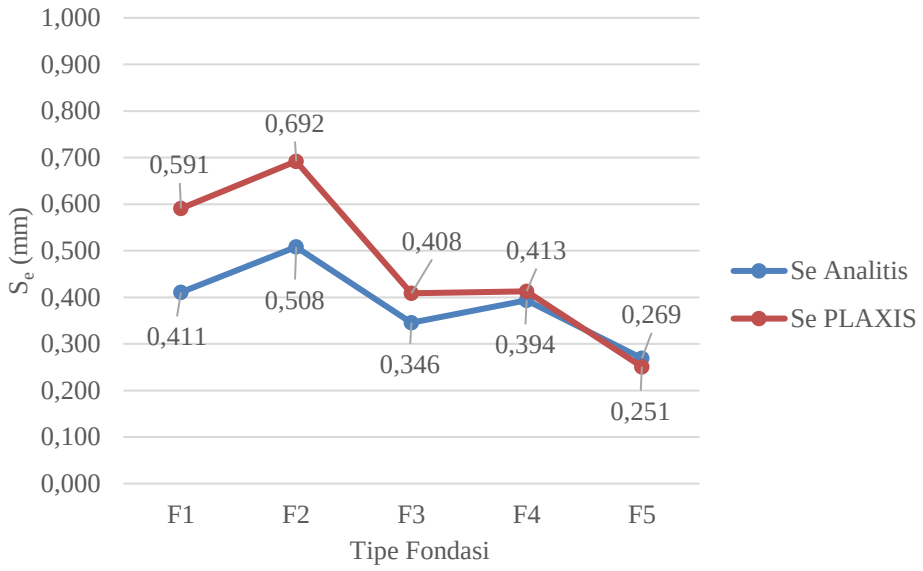
Perbandingan penurunan dilakukan dengan membandingkan nilai *settlement* hasil perhitungan metode Bowles terhadap nilai perpindahan vertikal hasil pemodelan PLAXIS 2D. Hasil perbandingan tersebut digunakan untuk mengetahui persentase selisih penurunan antara kedua metode dan menunjukkan perbedaan respon deformasi fondasi yang dihasilkan oleh pendekatan analitis maupun numerik. Tahapan untuk memperoleh nilai selisih penurunan yang terjadi pada tiap tipe fondasi dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 5.2 sebelumnya yang dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. Selisih Nilai Penurunan Metode Bowles dengan PLAXIS pada Fondasi Tipe F1 (4x4,2)
   a. Penurunan analitis ($S_{e\ Analitis}$) = 0,411 mm
   b. Penurunan PLAXIS ($S_{e\ PLAXIS}$) = 0,591 mm
   c. Selisih (%)
   $$= \frac{|Metode\ PLAXIS - Metode\ Analitis|}{Metode\ Analitis} \times 100\%$$
   $$= \frac{|\ 0{,}591 - 0{,}411|}{0{,}411} \times 100\%$$
   $$= \frac{0{,}180}{0{,}411} \times 100\%$$
   $$= 0{,}9382 \times 100\%$$
   $$= 43{,}82\%$$
2. Rekapitulasi Selisih Nilai Penurunan dengan Kedua Metode

   Dengan perhitungan yang sama untuk masing-masing tipe fondasi, hasil perhitungan selisih antara kedua metode dapat dilihat pada Tabel 5.27 dan Gambar 5.21 berikut.

Tabel 5.27 Rekapitulasi Nilai Selisih Daya Dukung Izin (Q_{all}) Antara Kedua Metode

Tipe Fondasi	$S_{e\ Analitis}$	$S_{e\ PLAXIS}$	Selisih
F1 (4x4,2)	0,411 mm	0,591 mm	43,82%
F2 (3,7x3,7)	0,508 mm	0,692 mm	36,21%
F3 (4x7)	0,346 mm	0,408 mm	18,12%
F4 (3,7x6,7)	0,394 mm	0,413 mm	4,95%
F5 (3,7x11,7)	0,269 mm	0,251 mm	6,77%



Gambar 5.21 Grafik Perbandingan Penurunan (S_e) Antara Kedua Metode

Berdasarkan Tabel 5.27, nilai penurunan hasil metode analitis dan PLAXIS 2D menunjukkan selisih sebesar 4,95% sampai dengan 43,82%. Selisih terbesar terjadi pada fondasi F1 (4x4,2) sebesar 43,82%, sedangkan selisih terkecil terjadi pada fondasi F4 (3,7x6,7) sebesar 4,95%. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan pendekatan perhitungan, yaitu metode analitis menggunakan asumsi penyederhanaan, sedangkan PLAXIS 2D mempertimbangkan respon numerik massa batuan, distribusi tegangan, kondisi batas, dan tahapan pembebanan.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa.

1. Nilai daya dukung ultimit (Q_u) metode Terzaghi-Bowles untuk semua tipe fondasi berada pada rentang 4.520,658 kN/m² sampai dengan 5.189,222 kN/m². Setelah dikoreksi menggunakan nilai RQD dan faktor keamanan sebesar 3, nilai daya dukung izin (Q_{all}) berada pada rentang 202,197 kN/m² sampai dengan 232,100 kN/m². Nilai tersebut lebih besar daripada tegangan vertikal fondasi sebesar 57,806 sampai dengan 159,673 kN/m², sehingga seluruh fondasi dinyatakan aman terhadap daya dukung.
2. Nilai daya dukung ultimit ($Q_{u\ PLAXIS}$) hasil pemodelan PLAXIS 2D berada pada rentang 627,641 kN/m² sampai dengan 689,818 kN/m². Dengan faktor keamanan sebesar 3, nilai daya dukung izin ($Q_{all\ PLAXIS}$) berada pada rentang 209,214 kN/m² sampai dengan 229,939 kN/m². Seluruh nilai daya dukung izin tersebut lebih besar daripada tegangan vertikal yang bekerja pada masing-masing fondasi, sehingga seluruh tipe fondasi memenuhi persyaratan daya dukung.
3. Nilai penurunan elastik (S_e) hasil perhitungan teori Bowles berada pada rentang 0,269 sampai dengan 0,508 mm. Penurunan terbesar terjadi pada fondasi F2 (3,7x3,7) sebesar 0,508 mm, sedangkan penurunan terkecil terjadi pada fondasi F5 (3,7x11,7)sebesar 0,269 mm. Seluruh nilai penurunan lebih kecil daripada batas penurunan izin sebesar 12 mm, sehingga fondasi memenuhi persyaratan kondisi layan terhadap penurunan.
4. Nilai penurunan elastik ($S_{e\ PLAXIS}$) hasil pemodelan PLAXIS 2D berada pada rentang 0,251 sampai dengan 0,692 mm. Penurunan terbesar terjadi pada fondasi F2 (3,7x3,7) sebesar 0,692 mm, sedangkan penurunan terkecil terjadi pada fondasi F5 (3,7x11,7) sebesar 0,251 mm. Karena seluruh nilai penurunan

berada di bawah batas penurunan izin 12 mm, seluruh tipe fondasi dinyatakan aman terhadap penurunan.

5. Perbandingan hasil daya dukung antara metode Terzaghi-Bowles dan PLAXIS 2D menunjukkan selisih daya dukung ultimit sebesar 85,57% sampai dengan 87,90%. Namun, setelah diperhitungkan sebagai daya dukung izin, selisih menjadi lebih kecil, yaitu 0,20% sampai dengan 9,86%. Perbedaan tersebut terjadi karena metode Terzaghi-Bowles menggunakan pendekatan analitis dengan faktor reduksi RQD, sedangkan PLAXIS 2D memperoleh respon kapasitas berdasarkan analisis numerik dengan model material Hoek-Brown, geometri model, kondisi batas, *mesh*, dan tahapan pembebanan.
6. Perbandingan nilai penurunan antara teori Bowles dan PLAXIS 2D menunjukkan selisih sebesar 4,95% sampai dengan 43,82%. Selisih terbesar terjadi pada fondasi F1 (4x4,2) sebesar 43,82%, sedangkan selisih terkecil terjadi pada fondasi F4 (3,7x6,7) sebesar 4,95%. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan pendekatan analitis dan numerik dalam merepresentasikan distribusi tegangan, deformasi massa batuan, serta kondisi batas pemodelan.
7. Berdasarkan evaluasi daya dukung dan penurunan menggunakan metode Terzaghi-Bowles maupun PLAXIS 2D, seluruh tipe fondasi telapak eksisting pada Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta di Gunungkidul dinyatakan aman dan layak digunakan. Seluruh fondasi memenuhi persyaratan terhadap kapasitas daya dukung serta batas penurunan izin.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh peneliti yaitu sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan penyelidikan batuan dengan jumlah titik yang lebih banyak dan kedalaman pengamatan yang lebih besar di sekitar bangunan untuk memperoleh variasi kualitas massa batuan yang lebih representatif.
2. Menggunakan variasi metode maupun teori fondasi dangkal seperti pemodelan numerik yang dapat dikembangkan menggunakan analisis tiga dimensi (*3D*

modelling) untuk memperhitungkan bentuk fondasi secara penuh, interaksi antar fondasi, dan distribusi beban struktur yang lebih mendekati kondisi lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM International. (2020). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*.

Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. www.bsn.go.id

Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. www.bsn.go.id

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan NonGedung*.

Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications_ A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.

Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis And Design* (Fifth). Irwin/McGraw-Hill.

Bureau of Indian Standards. (1987). *IS 12070:1987: Code of practice for Design and Construction of Shallow Foundations on Rocks* .

Chan, D. (2000). *Shallow Foundations*. Encyclopedia Life Support Systems (EOLSS).

Deere, D. W. (1989). *Rock Quality Designation (RQD) After Twenty Years*.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2016). *Petunjuk Teknis Pengujian Tanah*.

Esa, P., Sitompul, L., Purwoko, B., & Syafrianto, M. K. (2022). *Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Slope Mass Rating di Bukit Peniraman*. Universitas Tanjungpura.

Hakro, M. R., Kumar, A., Ali, M., Habib, A. F., de Azevedo, A. R. G., Fediuk, R., Sabri, M. M. S., Salmi, A., & Awad, Y. A. (2022). Numerical Analysis of Shallow Foundations with Varying Loading and Soil Conditions. *Buildings*, *12*(5). https://doi.org/10.3390/buildings12050693

Hardiyatmo, H. C. (1996). *Teknik Pondasi I*. PT Gramedia Pustaka Utama.

Herrera, R., David Horhota, P. E., Rodgers, M. B., Mcvay, M. C., Wasman, S., Tran, K., & Yang, K. (2022). *Final Report Phase II: Field Load Testing of Shallow Foundations in Florida Limestone*.

Hoek, E., & Brown, E. T. (2019). The Hoek–Brown Failure Criterion and GSI. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, *11*(3), 445–463. https://doi.org/10.1016/J.JRMGE.2018.08.001

Kimmerling, R. E. (2002). *Geotechnical Engineering Circular N. 6 Shallow Foundations (Report No. FHWA-SA-02-054)*.

Mindiastiwi, T., & Mustofa, M. A. (2023). Perbandingan Daya Dukung Tanah Pondasi Dangkal Menggunakan Metode Terzaghi, Mayerhoff dan Plaxis 2D. *Jurnal Teknik Sipil*, *16*(2), 81–91. https://jurnal2.untagsmg.ac.id/index.php/JTS

Niti, K. M. (2022). *Situs PPID Pemerintah Kabupaten Gunungkidul*.

Park, J. S., Go, Y. W., & Oh, T. M. (2025). Evaluating The Relationship Between RMR and Q-System for Improved Classification of Faulted Rocks and Weak Rocks. *Scientific Reports*, *15*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-025-01985-1

Puspitorini, P., & Iqbal, G. (2024). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Mitra Cendikia Media.

René, N., Guillén, E., Triana, J. A. A., González Martínez, L., & Flores, K. N. (2024). *The Design of Shallow Foundations on Fractured Rock*.

Ridar, M., & Khatib, A. (2015). Tinjauan Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Sumuran di Pemuda City Walk di Jl. Pemuda Pekanbaru Propinsi Riau. *Jurnal Saintis*, *15*(1), 81–92.

Septiawan, D., Handayani, N., & Ajie Saputra, N. (2021). *Evaluasi Struktur Gedung Pasca Sarjana Lain Palangka Raya Terhadap Potensi Gempa di Kota Palangka Raya* (Vol. 14, Number 2). dinamika TEKNIK SIPIL.

Serrano, A., & Olalla, C. (1994). Ultimate Bearing Capacity of Rock Masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr*, *31*(2).

Steinbrenner, W. (1934). Tables for Settlement Calculation. *Die Straße*.

Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. Chapman and Hall Limited.

Triastuti, N. S. (2022). *Berbagai Macam Pondasi*. CV. Mitra Ilmu.

Verbrugge, J.-Claude., & Schroeder, Christian. (2018). *Geotechnical Correlations for Soils and Rocks*. ISTE Ltd; John Wiley & Sons, Inc.

Wyllie, D. C. (1999). *Foundations on Rock*. E & FN Spon.

Yusuf, M. (2021). *Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode RMR (Rock Mass Rating) Pada Jalan Daerah Koto Lamo, Kecamatan Kapur Sembilan, Provinsi Sumatera Barat*. Universitas Islam Riau.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penelitian dan Permohonan Data



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Nomor : 361/Sek. Prodi PSTS/20/TA/IV/2026
Hal : **Izin Penelitian dan Permohonan Data Tugas Akhir**

Yth: **Direktorat Prasarana, Sarana, dan Aset Universitas Negeri Yogyakarta**
Jl. Colombo No. 1 Sleman, D.I Yogyakarta

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Untuk memenuhi salah satu syarat guna menyelesaikan studi pada Prodi Teknik Sipil Program Sarjana, setiap mahasiswa wajib melaksanakan penelitian Tugas Akhir yang berkaitan dengan ketekniksipilan. Dalam proses tersebut diperlukan data-data pendukung baik dari instansi Pemerintah BUMN maupun Perusahaan Swasta/Proyek.

Berdasarkan hal tersebut, kami mohon bantuan Bapak/Ibu untuk dapat memberikan izin penelitian dan permohonan data berupa **Denah struktur bangunan dan Sampel batuan di lapangan** yang akan digunakan untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Prodi Teknik Sipil Program Sarjana Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

Nama	:	**Achmad Al Revanza Nugraha**
NIM	:	**22511165**
CP Mahasiswa	:	**081362622681**
Judul Tugas Akhir	:	**Analisis Pondasi Telapak Menggunakan Hasil Penyelidikan Batuan di Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta Gunungkidul**

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullah Wabarakatuh.

Yogyakarta, 27 April 2026

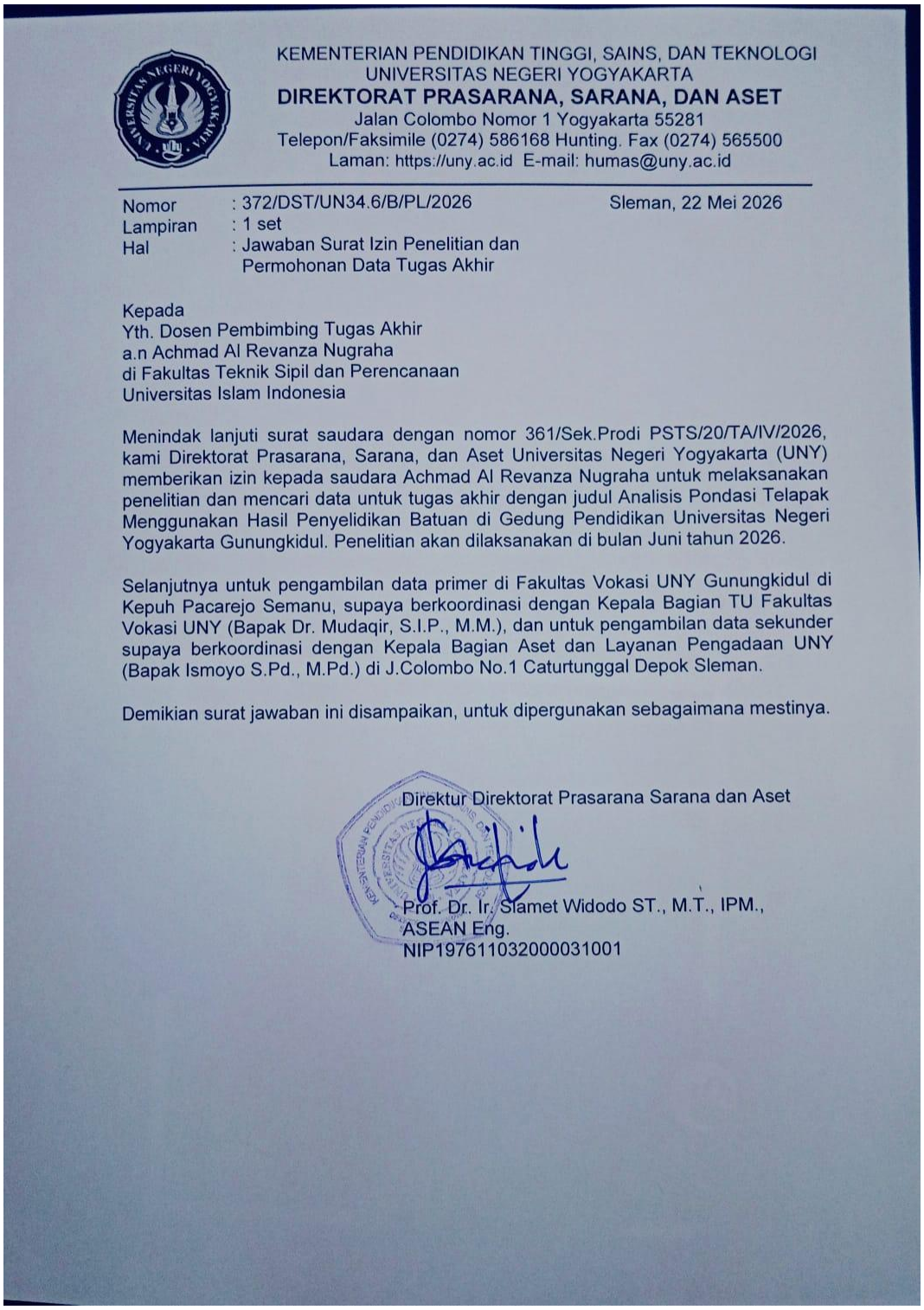
Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,

Dinia Anggraheni, S.T., M. Eng

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

Muhammad Irfan Marasabessy, S.T., M.T.

Lampiran 2 Balasan Surat Izin dari Pihak UNY



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
DIREKTORAT PRASARANA, SARANA, DAN ASET
Jalan Colombo Nomor 1 Yogyakarta 55281
Telepon/Faksimile (0274) 586168 Hunting. Fax (0274) 565500
Laman: https://uny.ac.id E-mail: humas@uny.ac.id

Nomor : 372/DST/UN34.6/B/PL/2026 Sleman, 22 Mei 2026
Lampiran : 1 set
Hal : Jawaban Surat Izin Penelitian dan Permohonan Data Tugas Akhir

Kepada
Yth. Dosen Pembimbing Tugas Akhir
a.n Achmad Al Revanza Nugraha
di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia

Menindak lanjuti surat saudara dengan nomor 361/Sek.Prodi PSTS/20/TA/IV/2026, kami Direktorat Prasarana, Sarana, dan Aset Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) memberikan izin kepada saudara Achmad Al Revanza Nugraha untuk melaksanakan penelitian dan mencari data untuk tugas akhir dengan judul Analisis Pondasi Telapak Menggunakan Hasil Penyelidikan Batuan di Gedung Pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta Gunungkidul. Penelitian akan dilaksanakan di bulan Juni tahun 2026.

Selanjutnya untuk pengambilan data primer di Fakultas Vokasi UNY Gunungkidul di Kepuh Pacarejo Semanu, supaya berkoordinasi dengan Kepala Bagian TU Fakultas Vokasi UNY (Bapak Dr. Mudaqir, S.I.P., M.M.), dan untuk pengambilan data sekunder supaya berkoordinasi dengan Kepala Bagian Aset dan Layanan Pengadaan UNY (Bapak Ismoyo S.Pd., M.Pd.) di J.Colombo No.1 Caturtunggal Depok Sleman.

Demikian surat jawaban ini disampaikan, untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Direktur Direktorat Prasarana Sarana dan Aset

Prof. Dr. Ir. Slamet Widodo ST., M.T., IPM., ASEAN Eng.
NIP197611032000031001

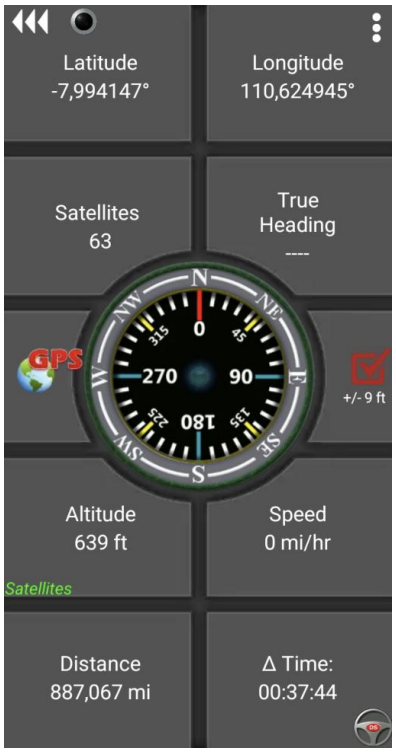
Lampiran 3 Titik Pengeboran BH-01



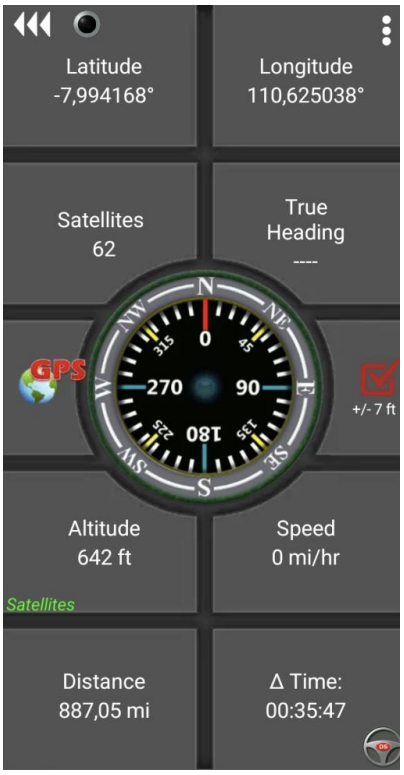
Lampiran 4 Titik Pengeboran BH-02



Lampiran 5 Koordinat Titik BH-01



Lampiran 6 Koordinat Titik BH-02



Lampiran 7 Hasil Pengujian UCS

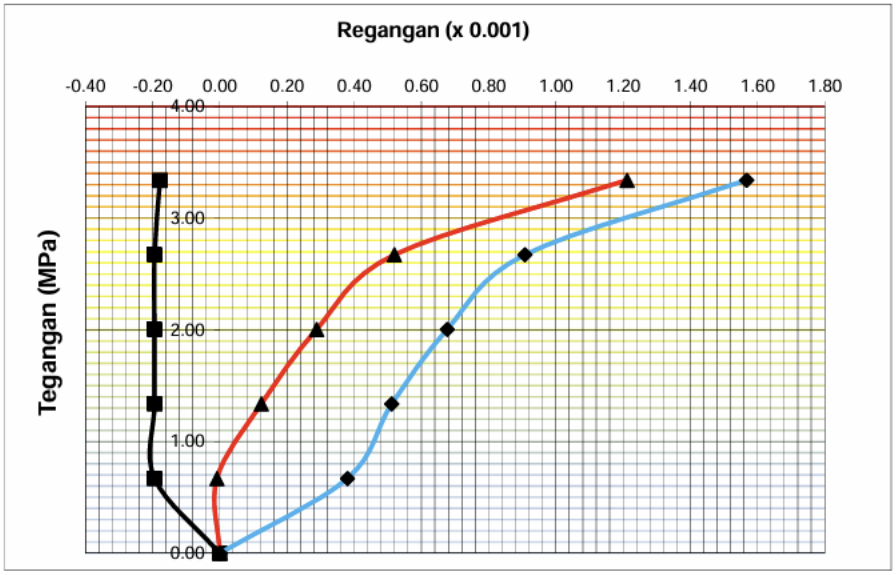
ASIA ROCK TEST
LABORATORIUM GEOMEKANIKA PENGUJIAN TEKNIK BATUAN DAN DESAIN REKAYASA
Founder: S.Koesnaryo

PENGUJIAN KUAT TEKAN UNIAKSIAL

Lb. Bor	ACHMAD_UII		**Tinggi (h)**	121.20	mm
No.Sample	BH_01		**Dia. (d)**	61.80	mm
Kedalaman	05.17-05.30	m	**Luas**	2998.10	mm^2
Batuan	CLAYSTONE		**h/d**	1.96	
Tanggal uji	26 JUNI 2026		**Diuji oleh**	Fajar, dkk	
			Mengetahui	Dr.Ir.S.Koesnaryo,M.Sc	

Beban	Tegangan	Deformasi (x 0,001 mm)			Regangan (x 0,001)		
(kg)	(MPa)	aksial	lat.1	lat.2	aksial	lateral	volumetrik
0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200.30	0.67	46	-1.00	13.00	0.38	-0.19	-0.01
400.60	1.34	62	-3.00	15.00	0.51	-0.19	0.12
600.90	2.00	82	-3.00	15.00	0.68	-0.19	0.29
801.20	2.67	110	-5.00	17.00	0.91	-0.19	0.52
1001.50	3.34	190	-6.00	17.00	1.57	-0.18	1.21

Kuat tekan uniaksial	=	**3.34**	**MPa**
Nisbah Poisson	=	**0.21**	
Modulus Elastisitas	=	**337.38**	**MPa**



Kalab. Asia Rock Test Yogyakarta,

Titan Era Yudha,ST,M.Sc

Workshop :
Jl. Besi Jangkang km.2 Losari 002/010 Sukoharjo Ngaglik Sleman Yogyakarta.
CP : +62821 3808 8810

Lampiran 8 Data UCS Sekunder SB-02

UNCONFINED COMPRESSION TEST

Project : Pembangunan Gedung UNY
Location : Wonosari, Gunung Kidul
Kode : SB 02
Depth
Date : 6 Juli 2021
Tested by : Muchyidin

Diametre of Sample	=	**5,3**	cm
Area	=	22,07	cm^2
Height of Sample	=	10,90	cm
Volume of Sampel	=	240,57	cm^3

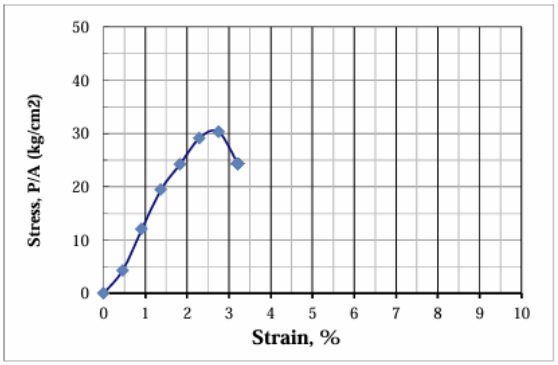
Water Content	**11,93**	%
Mass of Sample	**455,00**	gr
Density,gr/cm^3	1,690	gr/cm^3

MDD : gr/cm^3
OMC : %

Unconfined Compression Result Tests

Dial Reading (a)	ΔL $\Delta.10^{-3}$ (cm)	Strain $\varepsilon = \Delta L/Lo$ (%)	Corrected Area (cm^2)	Reading (Div.)	Load P (kg)	Stress P/A (kg/cm^2)
0	0,000	0,00	22,07	**0**	0,00	0,000
50	0,050	0,46	22,17	**55**	95,16	4,292
100	0,100	0,92	22,28	**155**	268,17	12,039
150	0,150	1,38	22,38	**252**	435,99	19,482
200	0,200	1,83	22,48	**315**	544,98	24,239
250	0,250	2,29	22,59	**380**	657,44	29,105
300	0,300	2,75	22,70	**398**	688,58	30,340
350	0,350	3,21	22,80	**320**	553,63	24,279
400	0,400	3,67	22,91			
450	0,450	4,13	23,02			
500	0,500	4,59	23,13			
550	0,550	5,05	23,24			
600	0,600	5,50	23,36			
650	0,650	5,96	23,47			
700	0,700	6,42	23,59			
750	0,750	6,88	23,70			
800	0,800	7,34	23,82			
850	0,850	7,80	23,94			
900	0,900	8,26	24,06			
950	0,950	8,72	24,18			
1000	1,000	9,17	24,30			

Max. Stress : 30,34 kg/cm2 C : 15,170 kg/cm2
α : 65,50 o ϕ : o



SOIL MECHANICS LABORATORY - DIPLOMA PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING DEPT. - GADJAH MADA UNIVERSITY

Lampiran 9 Data UCS Sekunder SB-05

UNCONFINED COMPRESSION TEST

Project : Pembangunan Gedung UNY
Location : Wonosari, Gunung Kidul
Kode : SB 05
Depth
Date : 6 Juli 2021
Tested by : Muchyidin

Diametre of Sample	=	**5,3**	cm
Area	=	22,07	cm^2
Height of Sample	=	10,40	cm
Volume of Sampel	=	229,54	cm^3

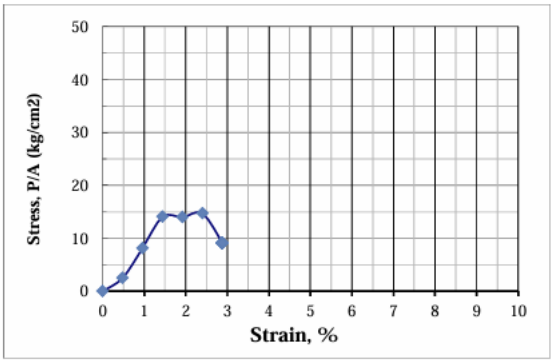
Water Content	**25,73**	%
Mass of Sample	**417,00**	gr
Density,gr/cm^3	1,445	gr/cm^3

MDD : gr/cm^3
OMC : %

Unconfined Compression Result Tests

Dial Reading (a)	ΔL Δ.10^{-3} (cm)	Strain ε = ΔL/Lo (%)	Corrected Area (cm^2)	Reading (Div.)	Load P (kg)	Stress P/A (kg/cm^2)
0	0,000	0,00	22,07	**0**	0,00	0,000
50	0,050	0,48	22,18	**32**	55,36	2,496
100	0,100	0,96	22,28	**105**	181,66	8,152
150	0,150	1,44	22,39	**182**	314,88	14,061
200	0,200	1,92	22,50	**182**	314,88	13,992
250	0,250	2,40	22,61	**192**	332,18	14,689
300	0,300	2,88	22,73	**119**	205,88	9,059
350	0,350	3,37	22,84			
400	0,400	3,85	22,95			
450	0,450	4,33	23,07			
500	0,500	4,81	23,19			
550	0,550	5,29	23,30			
600	0,600	5,77	23,42			
650	0,650	6,25	23,54			
700	0,700	6,73	23,66			
750	0,750	7,21	23,79			
800	0,800	7,69	23,91			
850	0,850	8,17	24,04			
900	0,900	8,65	24,16			
950	0,950	9,13	24,29			
1000	1,000	9,62	24,42			

Max. Stress : 14,69 kg/cm2 C : 7,344 kg/cm2
α : 69,00 o ϕ : o



Lampiran 10 Data UCS Sekunder SB-06

UNCONFINED COMPRESSION TEST

Project : Pembangunan Gedung UNY
Location : Wonosari, Gunung Kidul
Kode : SB 06

Depth
Date : 6 Juli 2021
Tested by : Muchyidin

Diametre of Sample	=	**5,3**	cm
Area	=	22,07	cm^2
Height of Sample	=	10,00	cm
Volume of Sampel	=	220,71	cm^3

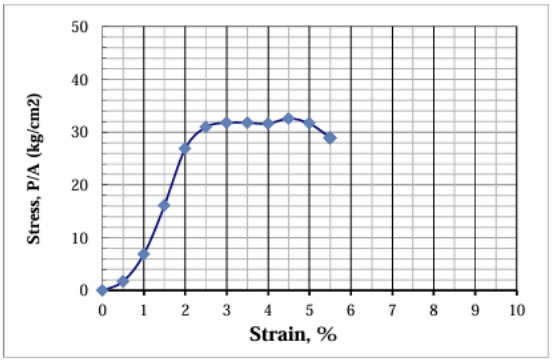
Water Content	**8,61**	%
Mass of Sample	**410,00**	gr
Density,gr/cm^3	1,710	gr/cm^3

MDD : gr/cm^3
OMC : %

Unconfined Compression Result Tests

Dial Reading (a)	ΔL $\Delta.10^{-3}$ (cm)	Strain ε = ΔL/Lo (%)	Corrected Area (cm^2)	Reading (Div.)	Load P (kg)	Stress P/A (kg/cm^2)
0	0,000	0,00	22,07	**0**	0,00	0,000
50	0,050	0,50	22,18	**22**	38,06	1,716
100	0,100	1,00	22,29	**88**	152,25	6,829
150	0,150	1,50	22,41	**208**	359,86	16,060
200	0,200	2,00	22,52	**350**	605,54	26,887
250	0,250	2,50	22,64	**405**	700,69	30,954
300	0,300	3,00	22,75	**418**	723,18	31,784
350	0,350	3,50	22,87	**420**	726,64	31,771
400	0,400	4,00	22,99	**420**	726,64	31,606
450	0,450	4,50	23,11	**435**	752,60	32,565
500	0,500	5,00	23,23	**425**	735,29	31,6496
550	0,550	5,50	23,36	**390**	674,74	28,8903
600	0,600	6,00	23,48			
650	0,650	6,50	23,61			
700	0,700	7,00	23,73			
750	0,750	7,50	23,86			
800	0,800	8,00	23,99			
850	0,850	8,50	24,12			
900	0,900	9,00	24,25			
950	0,950	9,50	24,39			
1000	1,000	10,00	24,52			

Max. Stress : 32,56 kg/cm2 C : 16,282 kg/cm2
α : 69,50 o ϕ : o



SOIL MECHANICS LABORATORY - DIPLOMA PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING DEPT. - GADJAH MADA UNIVERSITY

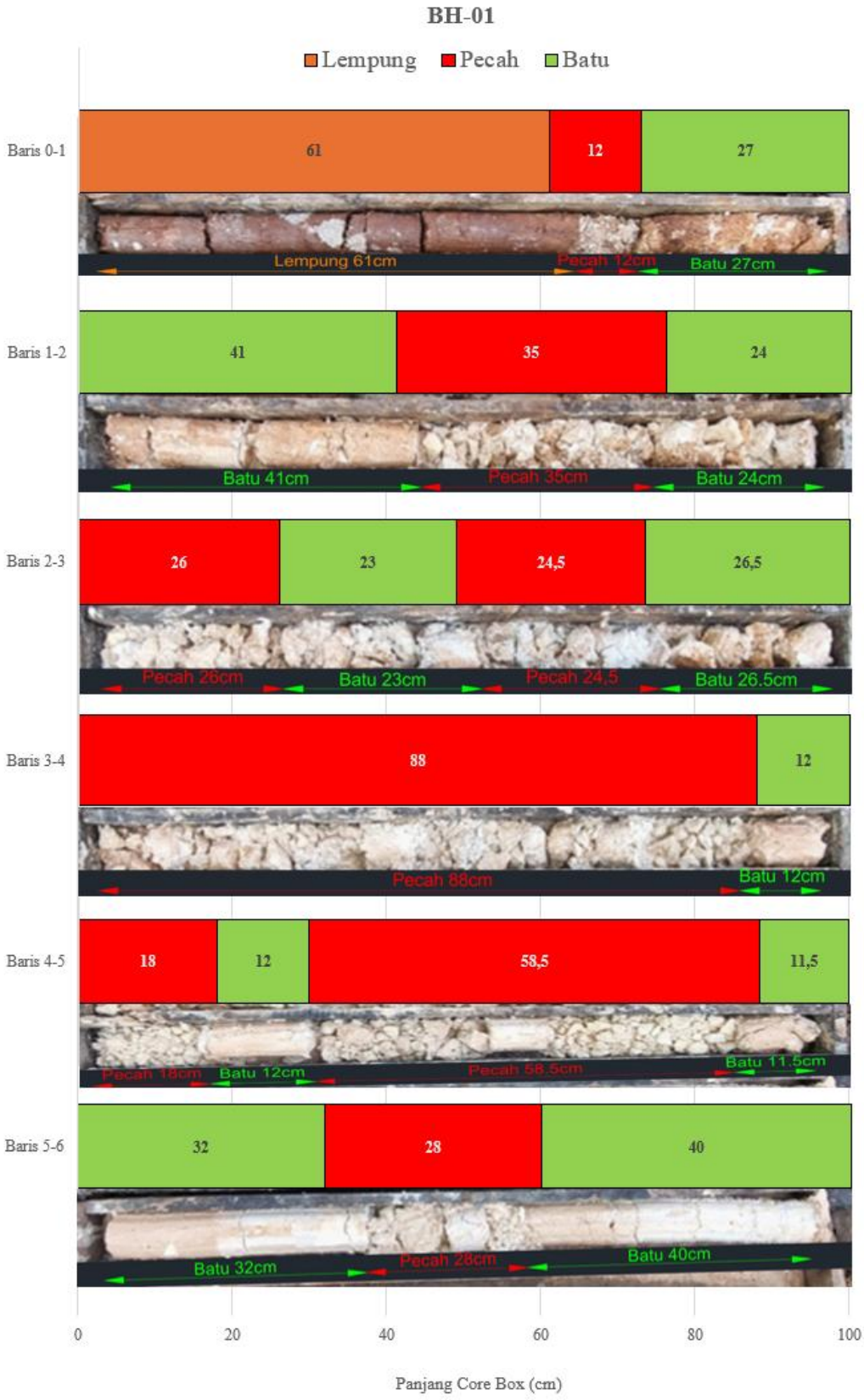
Lampiran 11 *Core box* BH-01



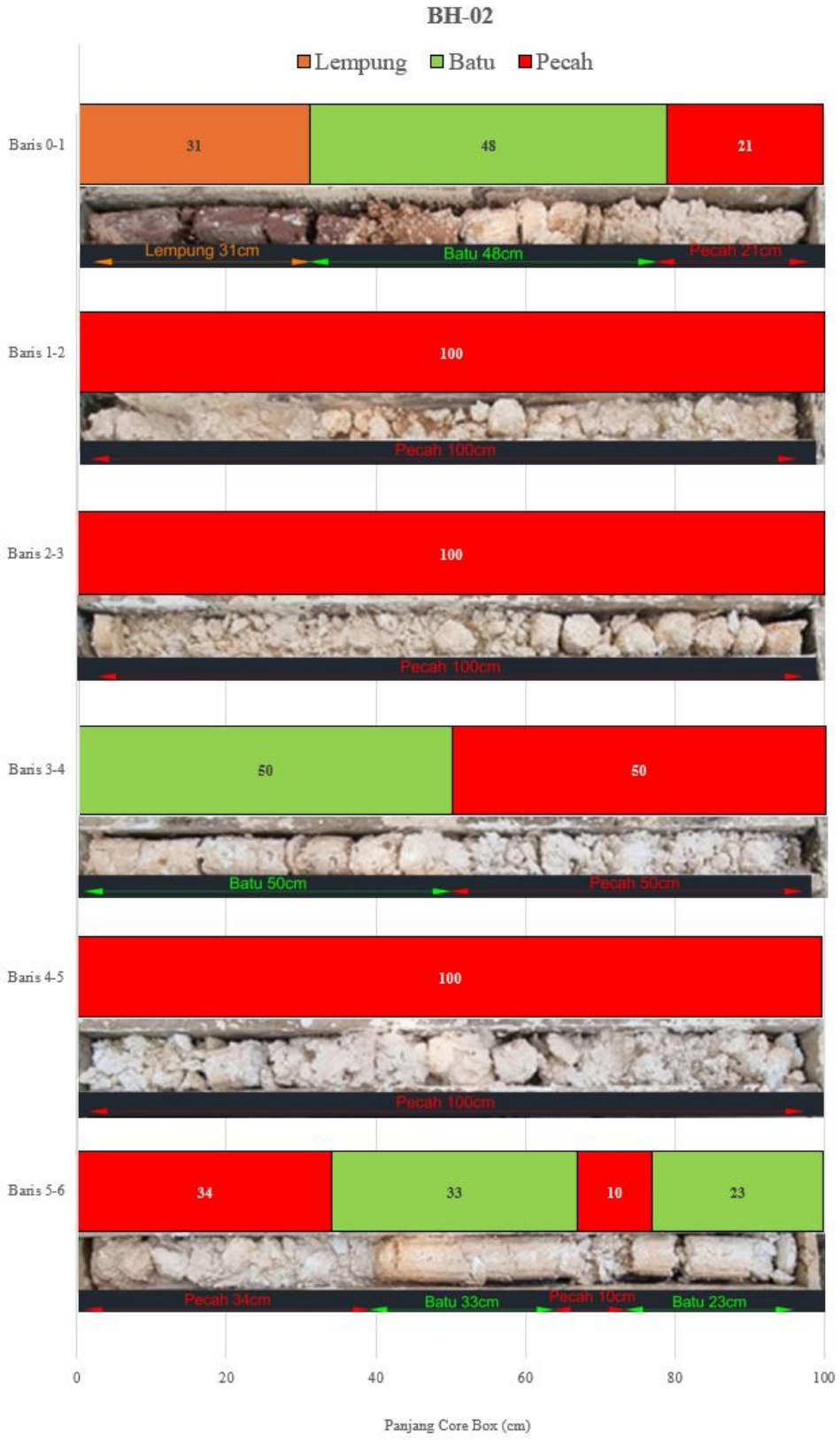
Lampiran 12 *Core box* BH-02



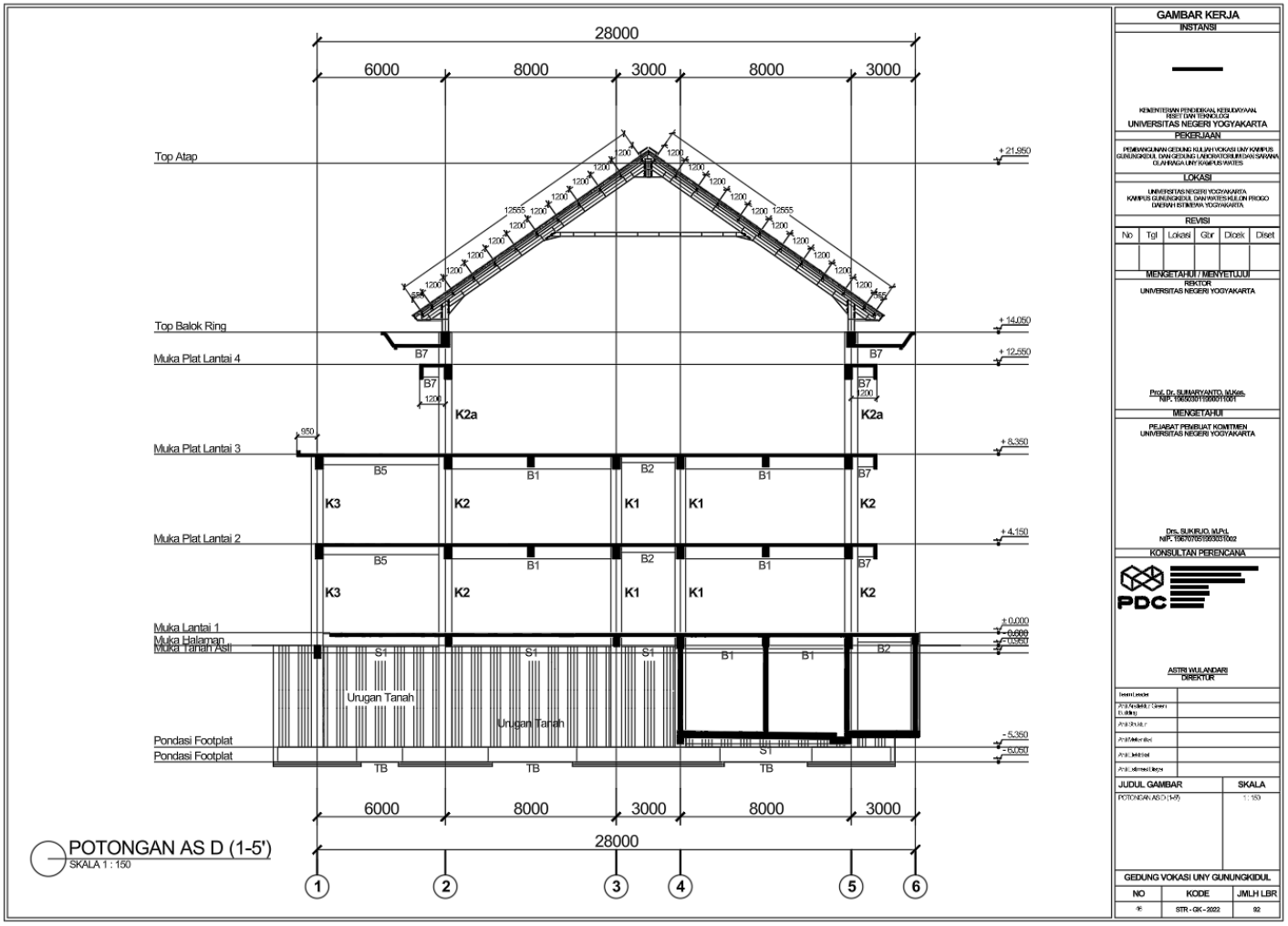
Lampiran 13 RQD BH-01



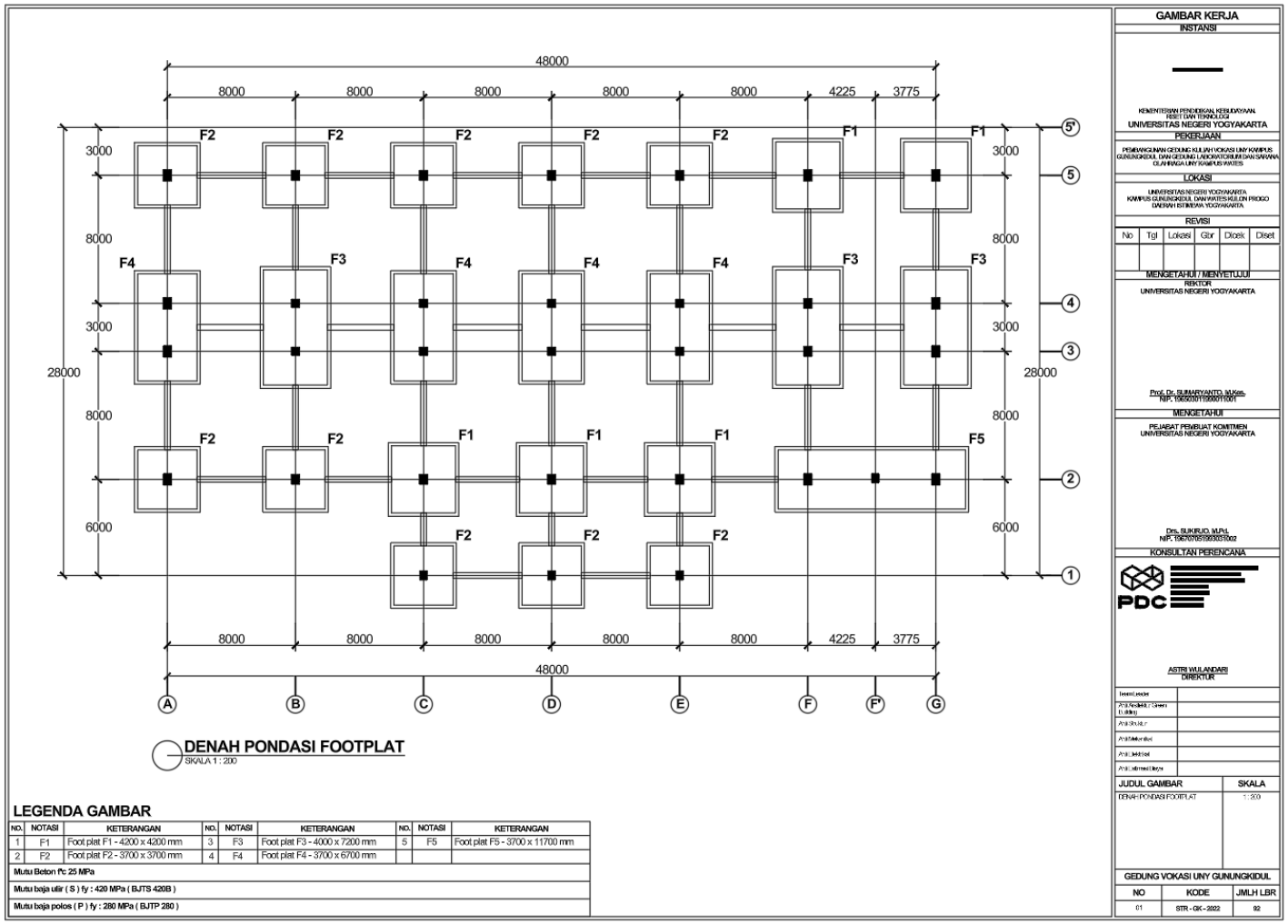
Lampiran 14 RQD BH-02



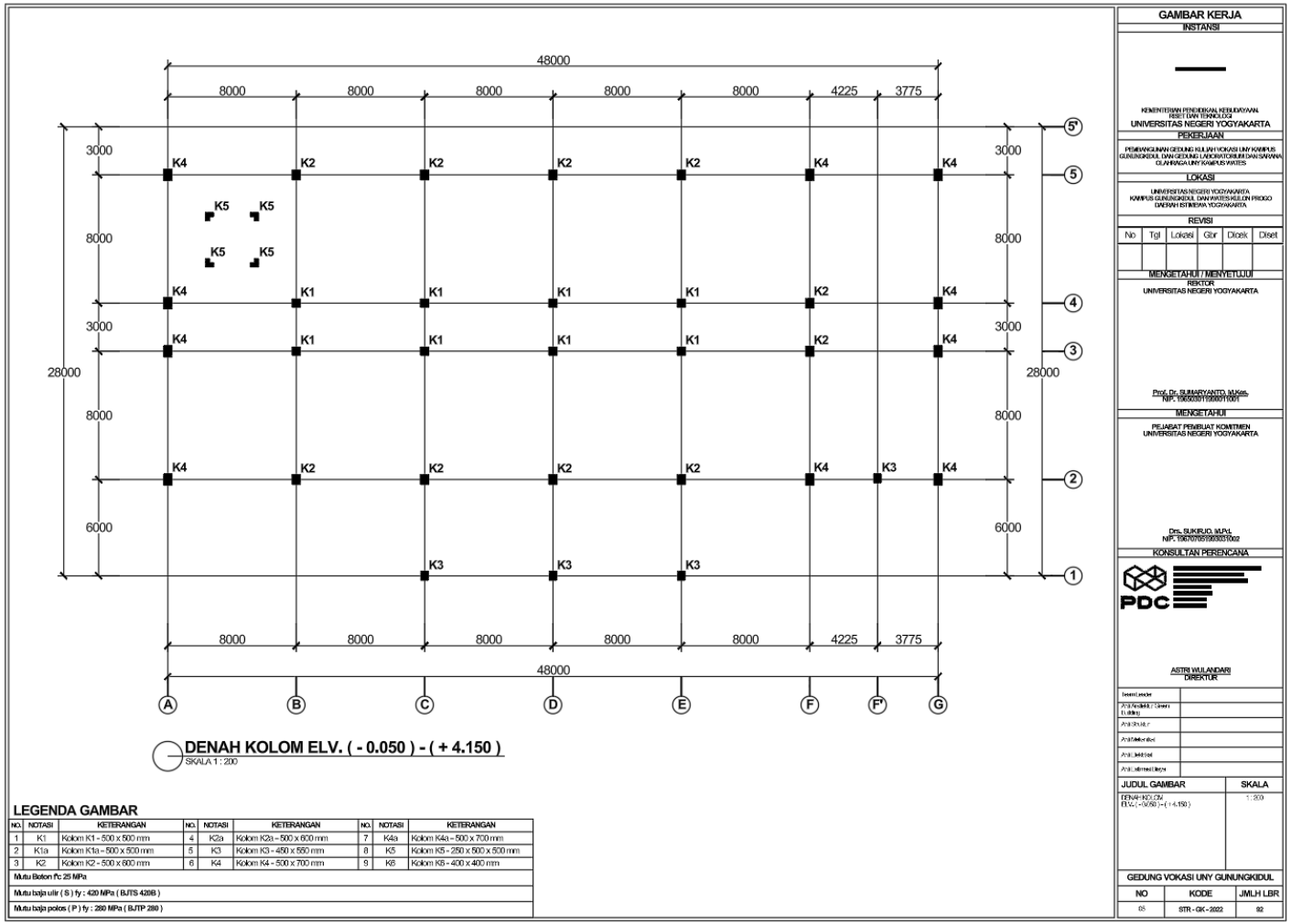
Lampiran 15 Gambar Potongan Bangunan



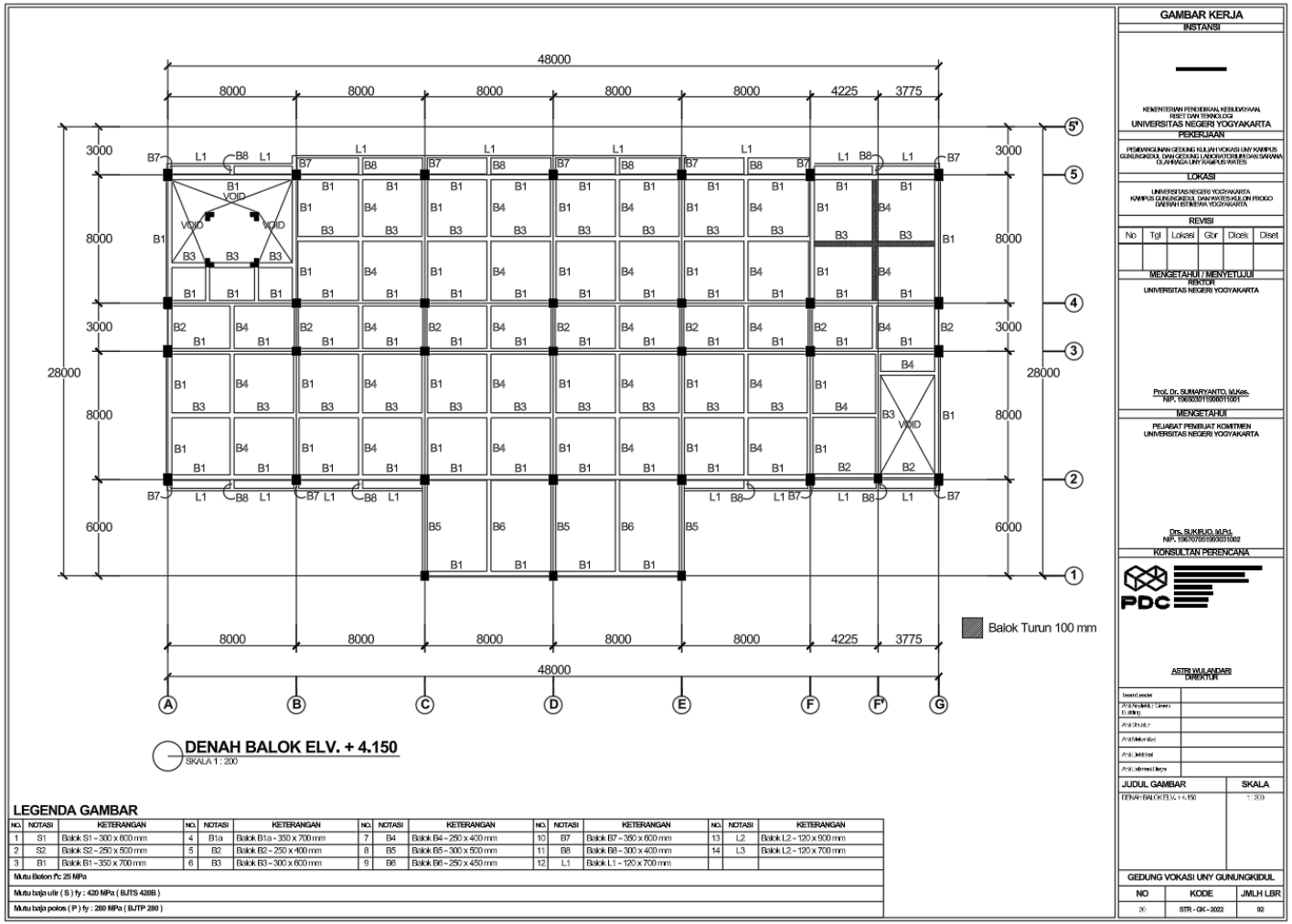
Lampiran 16 Denah Fondasi Bangunan



Lampiran 17 Denah Kolom Banguann



Lampiran 18 Denah Balok Bangunan



DENAH BALOK ELV. + 4.150
SKALA 1 : 200

LEGENDA GAMBAR

NO.	NOTASI	KETERANGAN	NO.	NOTASI	KETERANGAN	NO.	NOTASI	KETERANGAN	NO.	NOTASI	KETERANGAN	NO.	NOTASI	KETERANGAN
1	S1	Balok S1 – 300 x 600 mm	4	B1a	Balok B1a – 350 x 700 mm	7	B4	Balok B4 – 250 x 400 mm	10	B7	Balok B7 – 350 x 600 mm	13	L2	Balok L2 – 120 x 500 mm
2	S2	Balok S2 – 250 x 500 mm	5	B2	Balok B2 – 250 x 400 mm	8	B5	Balok B5 – 300 x 500 mm	11	B8	Balok B8 – 300 x 400 mm	14	L3	Balok L2 – 120 x 700 mm
3	B1	Balok B1 – 350 x 700 mm	6	B3	Balok B3 – 300 x 600 mm	9	B6	Balok B6 – 250 x 450 mm	12	L1	Balok L1 – 120 x 700 mm			

Mutu Beton f'c: 25 MPa
Mutu baja ulir (S) fy : 420 MPa (BJTS 420B)
Mutu baja polos (P) fy : 280 MPa (BJTP 280)

GAMBAR KERJA

INSTANSI

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

PEKERJAAN

PEMBANGUNAN GEDUNG KULIAH VOKASI UNY KAMPUS GUNUNGKIDUL DAN GEDUNG LABORATORIUM DAN SARANA OLAHRAGA UNY KAMPUS WATES

LOKASI

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
KAMPUS GUNUNGKIDUL DAN WATES, KULON PROGO
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

REVISI

No	Tgl	Lokasi	Gbr	Dcek	Dset

MENGETAHUI / MENYETUJUI
REKTOR
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Prof. Dr. SUMARYANTO, M.Kes.
NIP. 196503011990071001

MENGETAHUI
PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Drs. SUKIRJO, M.Pd.
NIP. 196707051993031002

KONSULTAN PERENCANA

PDC

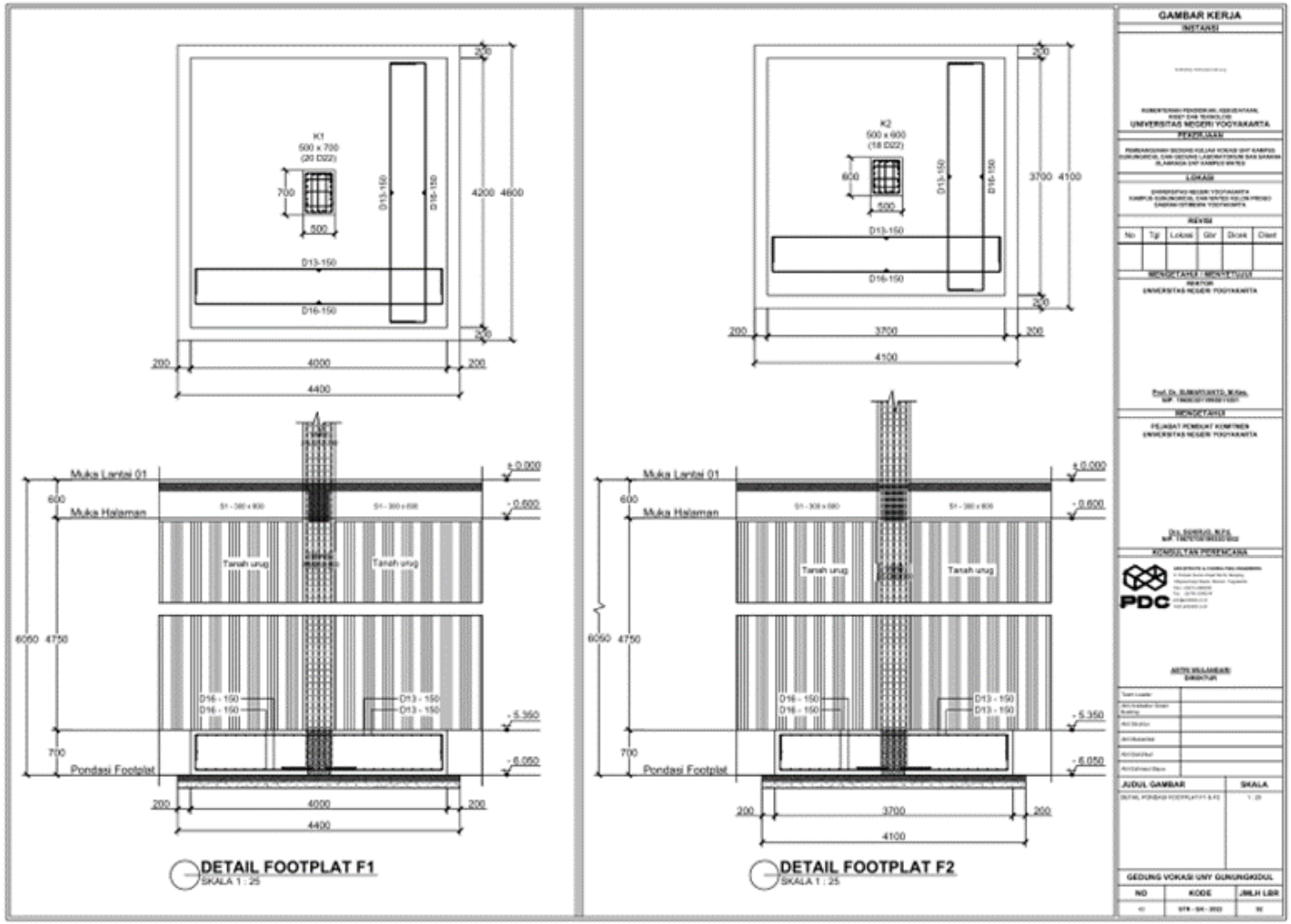
ASTRI WULANDARI
DIREKTUR

JUDUL GAMBAR	SKALA
DENAH BALOK ELV. + 4.150	1 : 200

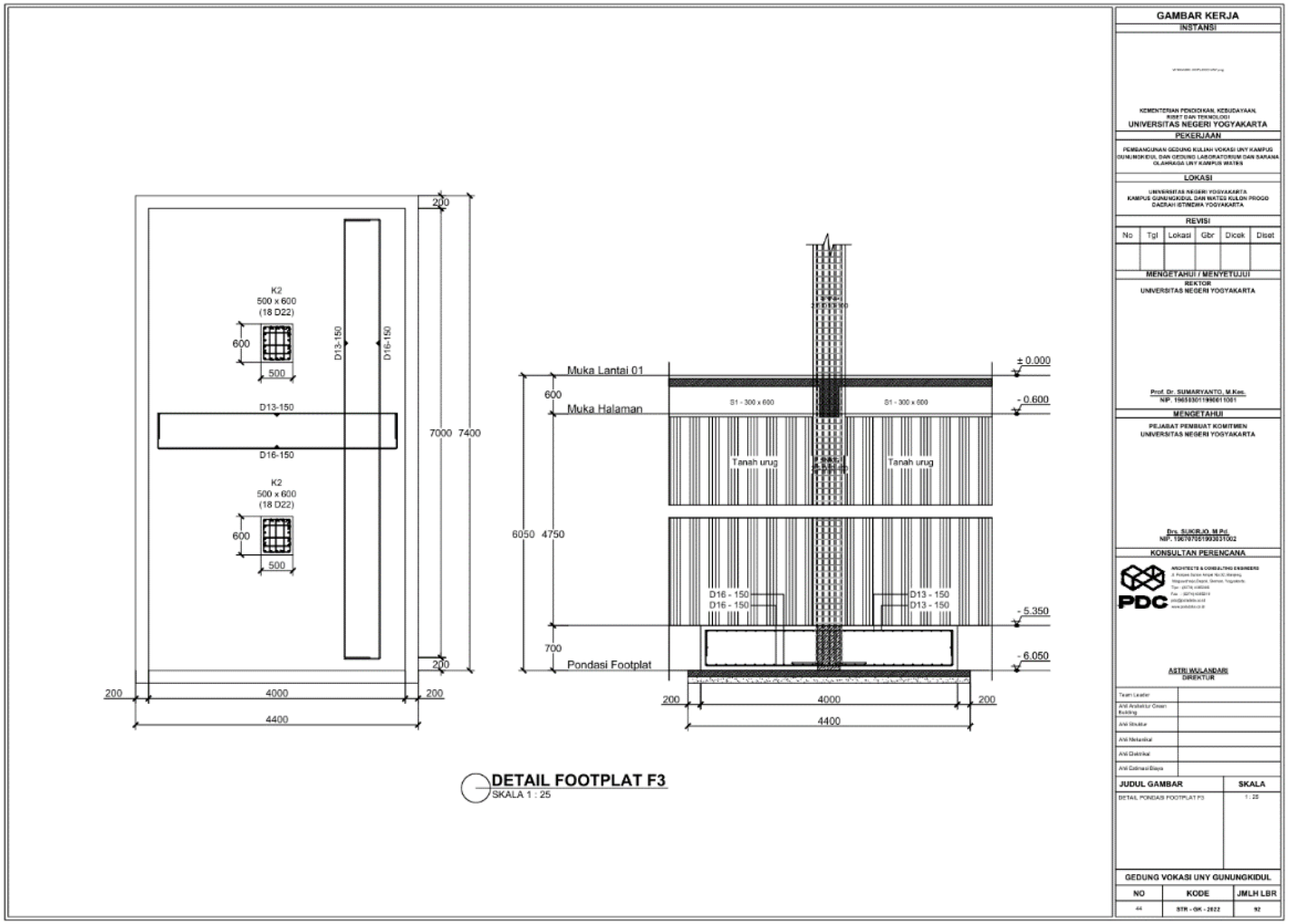
GEDUNG VOKASI UNY GUNUNGKIDUL

NO	KODE	JMLH LBR
20	STR - GK - 2022	92

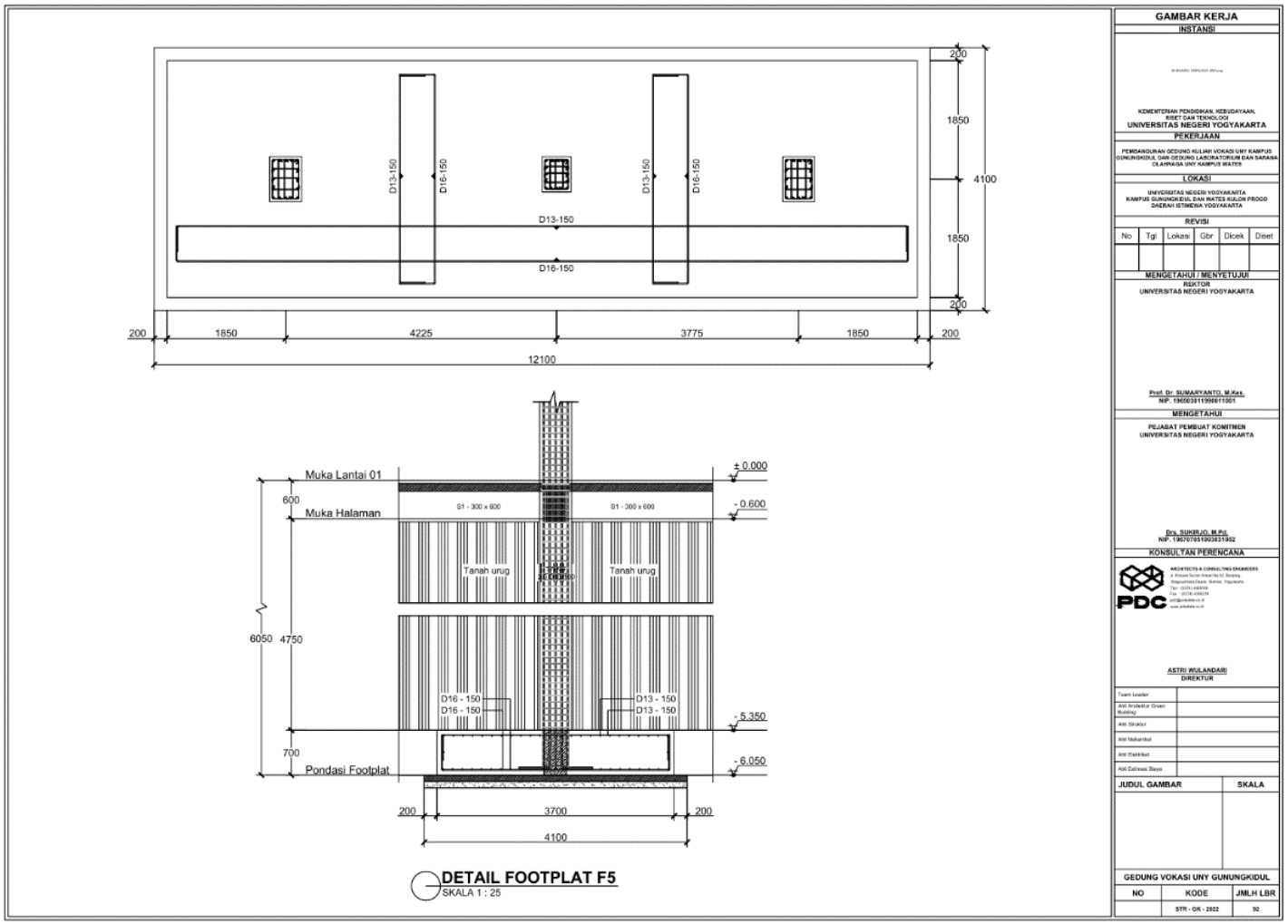
Lampiran 19 Detail Fondasi Tipe F1 dan F2



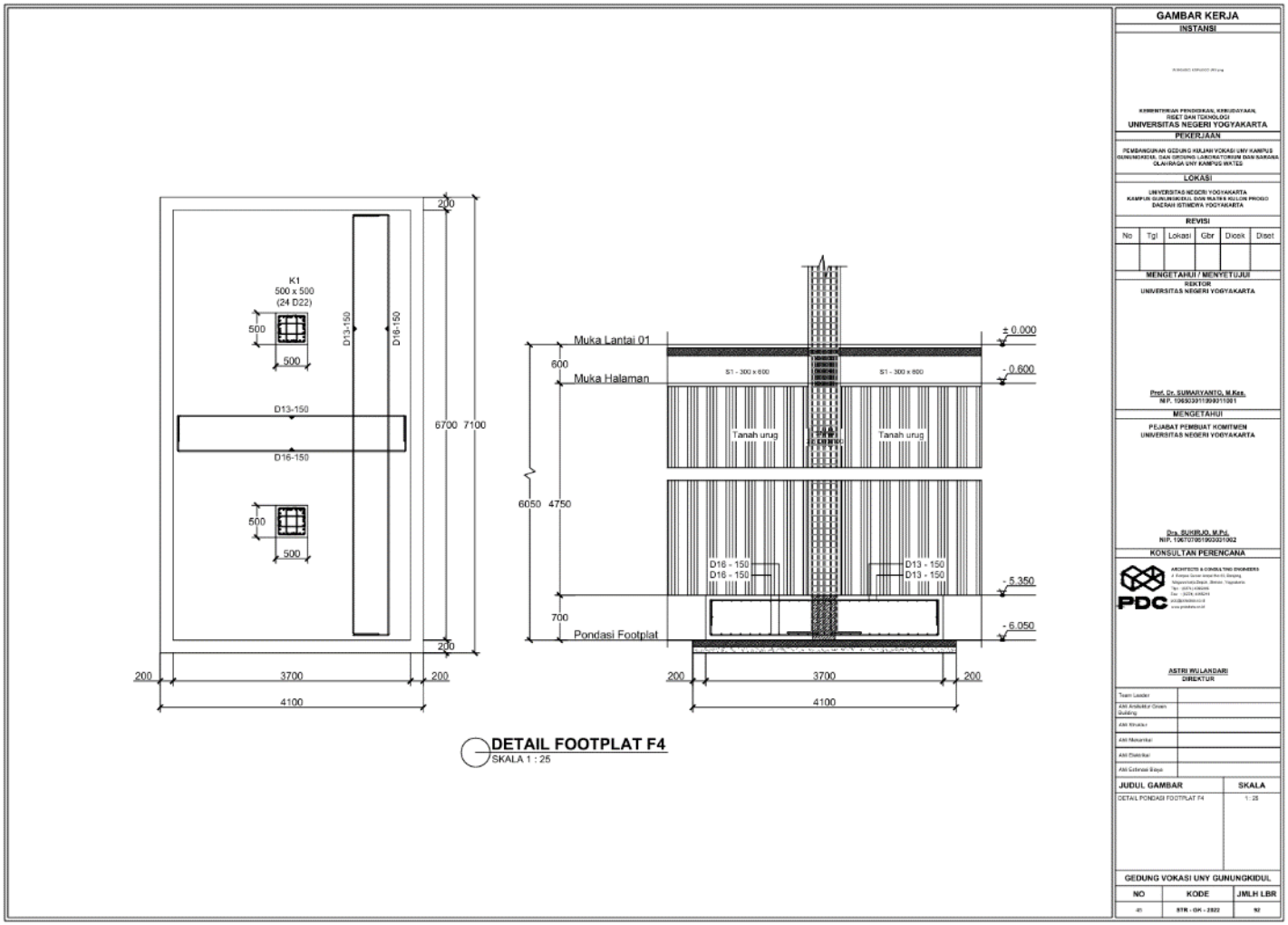
Lampiran 20 Detail Fondasi Tipe F3



Lampiran 21 Detail Fondasi Tipe F4



Lampiran 22 Detail Fondasi Tipe F5



Lampiran 23 *Joint Reaction* Fondasi Tipe F1

TABLE: Joint Reactions										
Story	Label	nique Na	utput C	Case Ty	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
b1	18	65	Comb1	Combinati	23,2748	18,9191	1926,27	-32,0236	40,2884	-0,1283
b1	19	67	Comb1	Combinati	-0,4212	10,8606	2302,32	-17,6292	-1,204	0,004
b1	20	69	Comb1	Combinati	-23,7108	18,0746	1949,63	-30,4524	-41,9903	0,1236
b1	27	79	Comb1	Combinati	-3,9091	-29,3726	1767,5	53,3313	-1,6661	0,1221
b1	28	81	Comb1	Combinati	-12,9668	-16,0162	1219,9	30,2375	-6,9227	0,074

Lampiran 24 *Joint Reaction* Fondasi Tipe F2

TABLE: Joint Reactions										
Story	Label	nique Na	utput C	Case Ty	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
b1	13	51	Comb1	Combinati	20,1944	-37,4852	1532,84	65,2942	-2,4256	0,0529
b1	14	53	Comb1	Combinati	24,9174	-4,0141	2185,93	-1,5289	12,9737	-1,2775
b1	15	55	Comb1	Combinati	-27,2708	-29,139	2176,96	9,8185	-13,6038	0,1502
b1	16	57	Comb1	Combinati	-7,1025	-27,7365	1522,08	49,2309	-2,6197	-0,0775
b1	17	63	Comb1	Combinati	-2,8054	28,6214	1468,2	-48,8045	-5,1468	-0,0018
b1	23	71	Comb1	Combinati	5,3882	8,3903	473,99	-14,5298	8,4774	-0,4961
b1	24	73	Comb1	Combinati	-0,4378	21,371	893,973	-36,4296	-1,0824	0,0056
b1	25	75	Comb1	Combinati	-6,2094	7,9259	475,604	-13,6489	-10,5505	0,5339
b1	26	77	Comb1	Combinati	11,4989	-24,6803	1071,3	44,3583	19,6758	0,0266
b1	33	91	Comb1	Combinati	13,8785	17,8609	1005,12	-29,2804	24,1297	0,0932

Lampiran 25 *Joint Reaction* Fondasi Tipe F3

TABLE: Joint Reactions										
Story	Label	nique Na	utput C	Case Ty	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
b1	5	9	Comb1	Combinati	-2,3851	-15,4211	1533,84	27,5537	-4,3433	-0,005
b1	6	7	Comb1	Combinati	-6,4544	22,0435	1871,59	-37,8637	-11,4237	-0,0157
b1	21	59	Comb1	Combinati	1,3551	17,743	1739,94	-29,4327	1,7083	0,0144
b1	22	61	Comb1	Combinati	1,7936	-16,3681	1564,18	29,8077	2,4667	0,0178
b1	31	87	Comb1	Combinati	-22,5694	9,7846	1262,85	-14,7899	-40,3569	0,0449
b1	32	89	Comb1	Combinati	-22,3937	-11,0472	1086,97	21,1052	-40,0247	0,0869

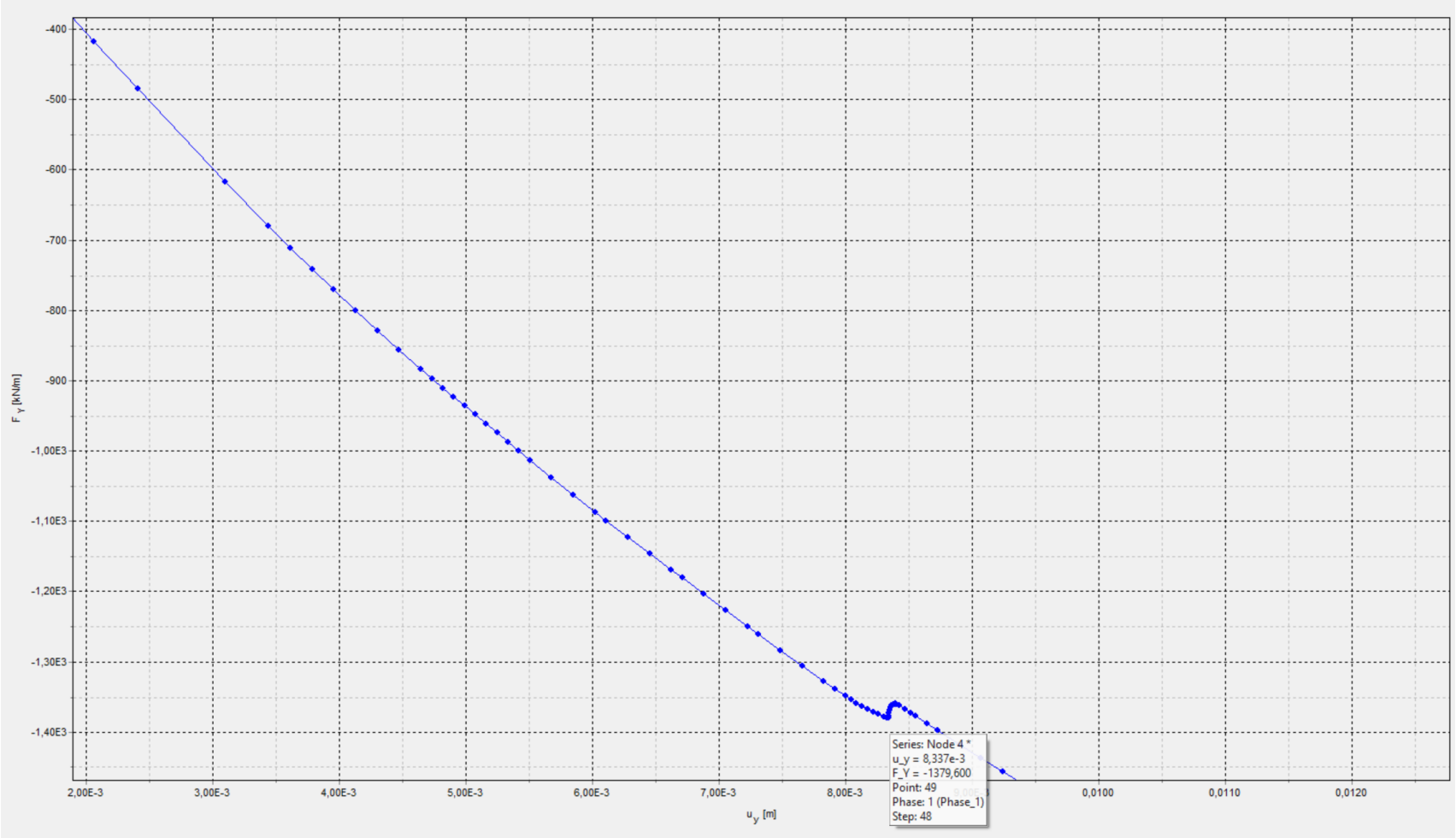
Lampiran 26 *Joint Reaction* Fondasi Tipe F4

TABLE: Joint Reactions										
Story	Label	nique Na	utput C	Case Ty	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
b1	7	11	Comb1	Combinati	22,6783	-1,2063	1661,71	5,1683	6,3271	-0,023
b1	8	13	Comb1	Combinati	6,3094	-23,5126	1420,99	41,782	10,7354	-0,005
b1	9	15	Comb1	Combinati	-25,066	19,4241	1659,75	-1,088	-7,2444	1,1315
b1	10	17	Comb1	Combinati	0,0914	-28,9057	1498,25	51,2511	-0,2072	-0,0029
b1	11	19	Comb1	Combinati	0,4718	16,1462	1391,14	-27,3693	0,3709	0,0006
b1	12	21	Comb1	Combinati	-6,7949	-22,0662	1511,54	39,3212	-12,3133	0,0017
b1	29	83	Comb1	Combinati	26,527	21,2939	1450,69	-35,0686	46,2089	0,1155
b1	30	85	Comb1	Combinati	22,9949	-8,454	1119,69	16,3464	40,0627	0,0674

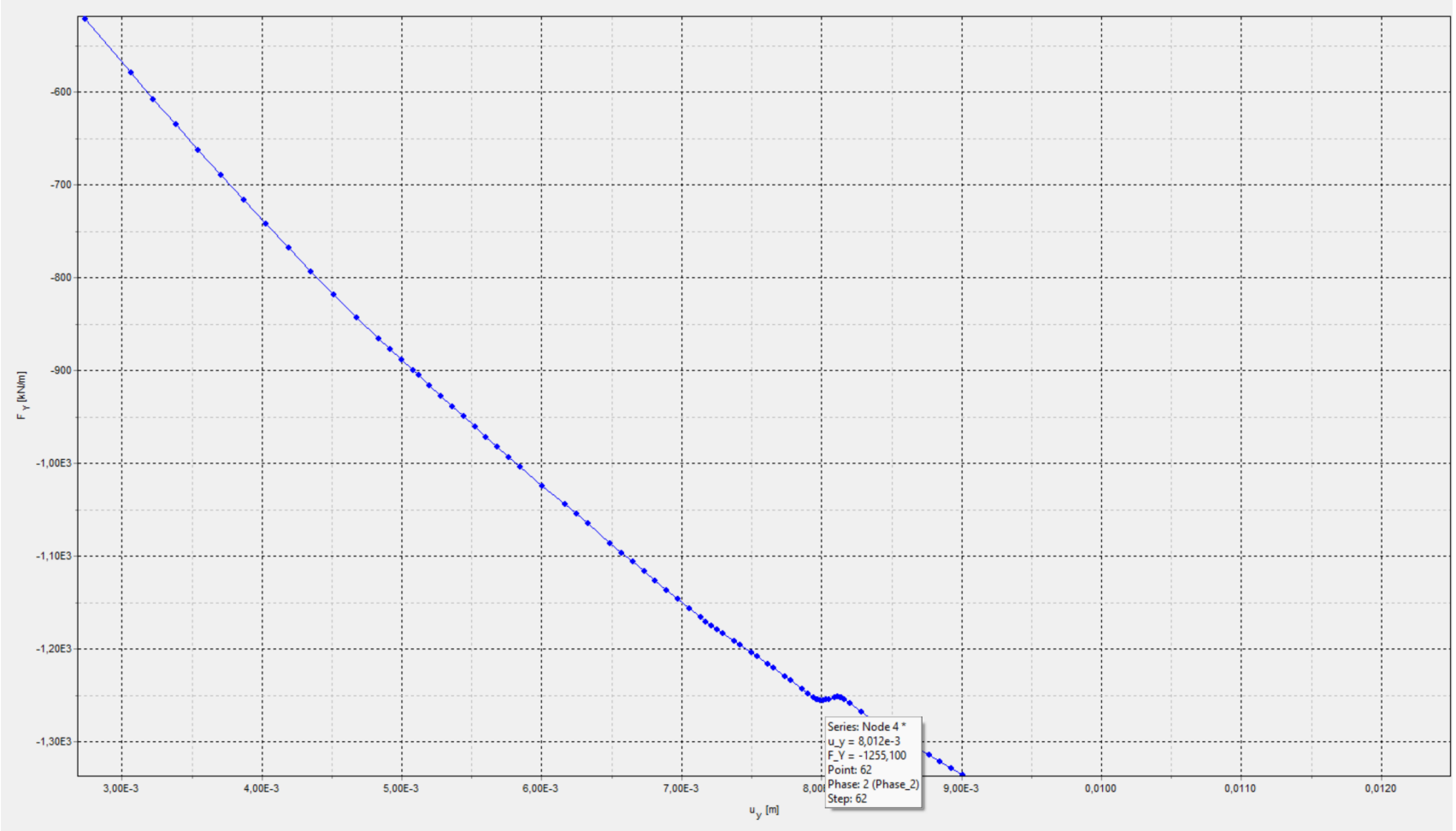
Lampiran 27 *Joint Reaction* Fondasi Tipe F5

TABLE: Joint Reactions										
Story	Label	nique Na	utput C	Case Ty	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
b1	34	93	Comb1	Combinati	-3,6762	11,4716	662,733	-17,8333	-7,2409	0,0961
b1	35	95	Comb1	Combinati	-6,204	24,2237	1252,02	-39,9494	-11,6279	0,002
b1	36	97	Comb1	Combinati	-0,9962	21,271	587,679	-36,1819	-2,1999	0,0253

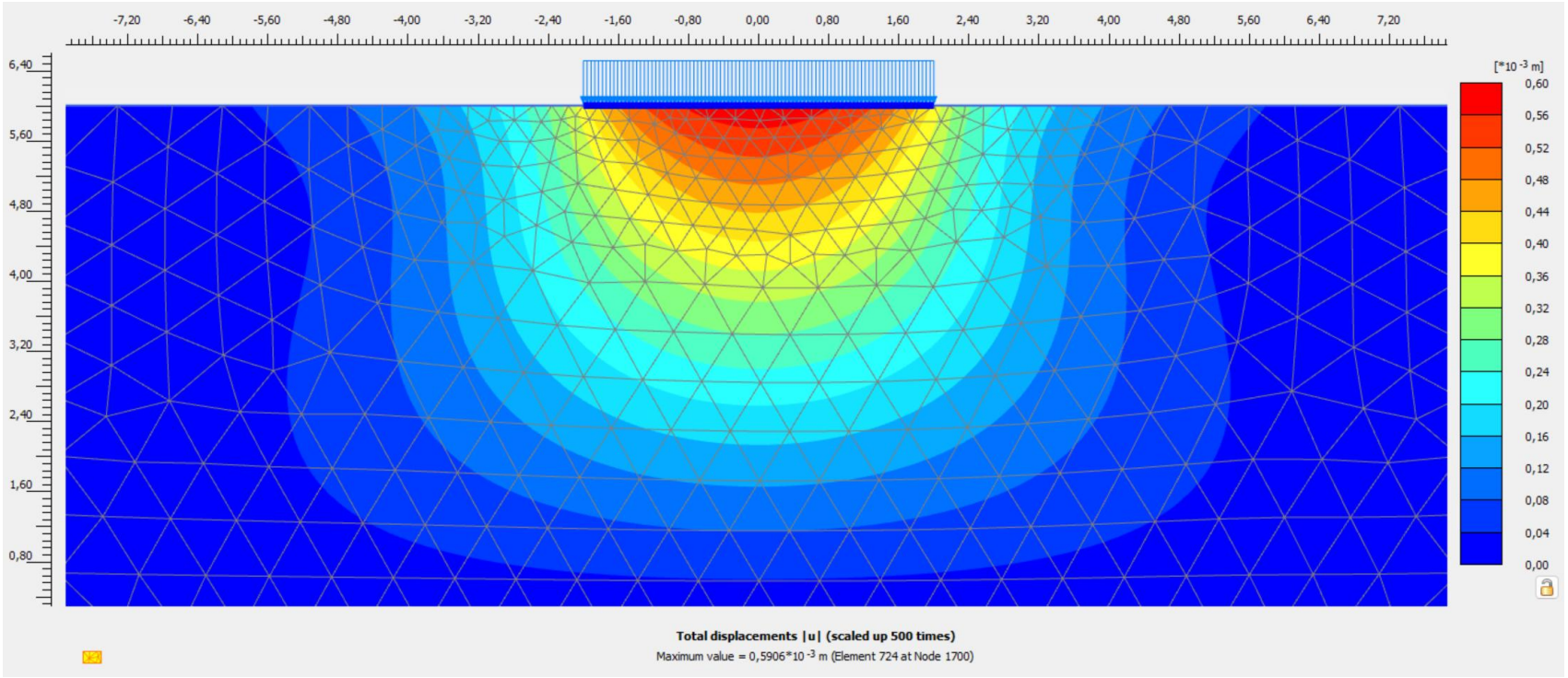
Lampiran 28 Kurva Hubungan F_y dan u_y pada Fondasi Tipe F1 dan F3



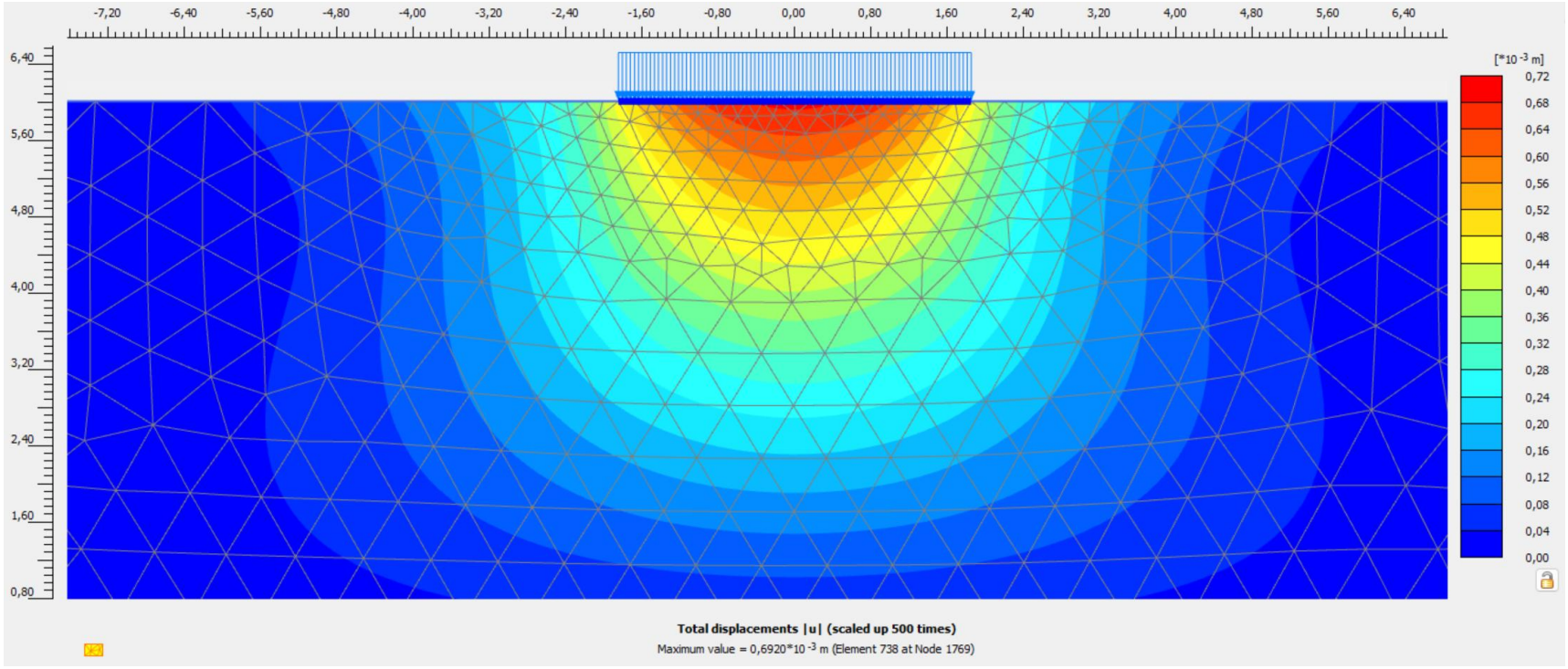
Lampiran 29 Kurva Hubungan F_y dan u_y pada Fondasi Tipe F2, F4 dan F5



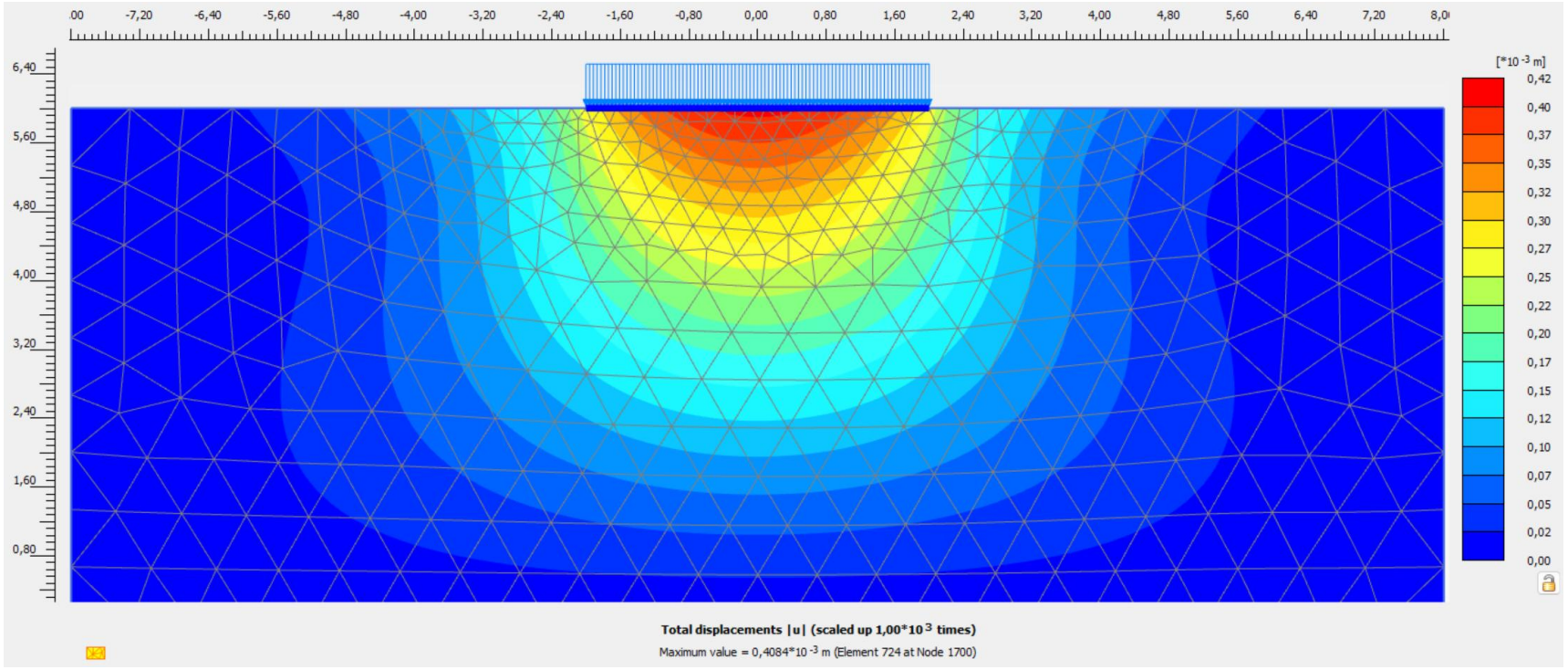
Lampiran 30 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F1



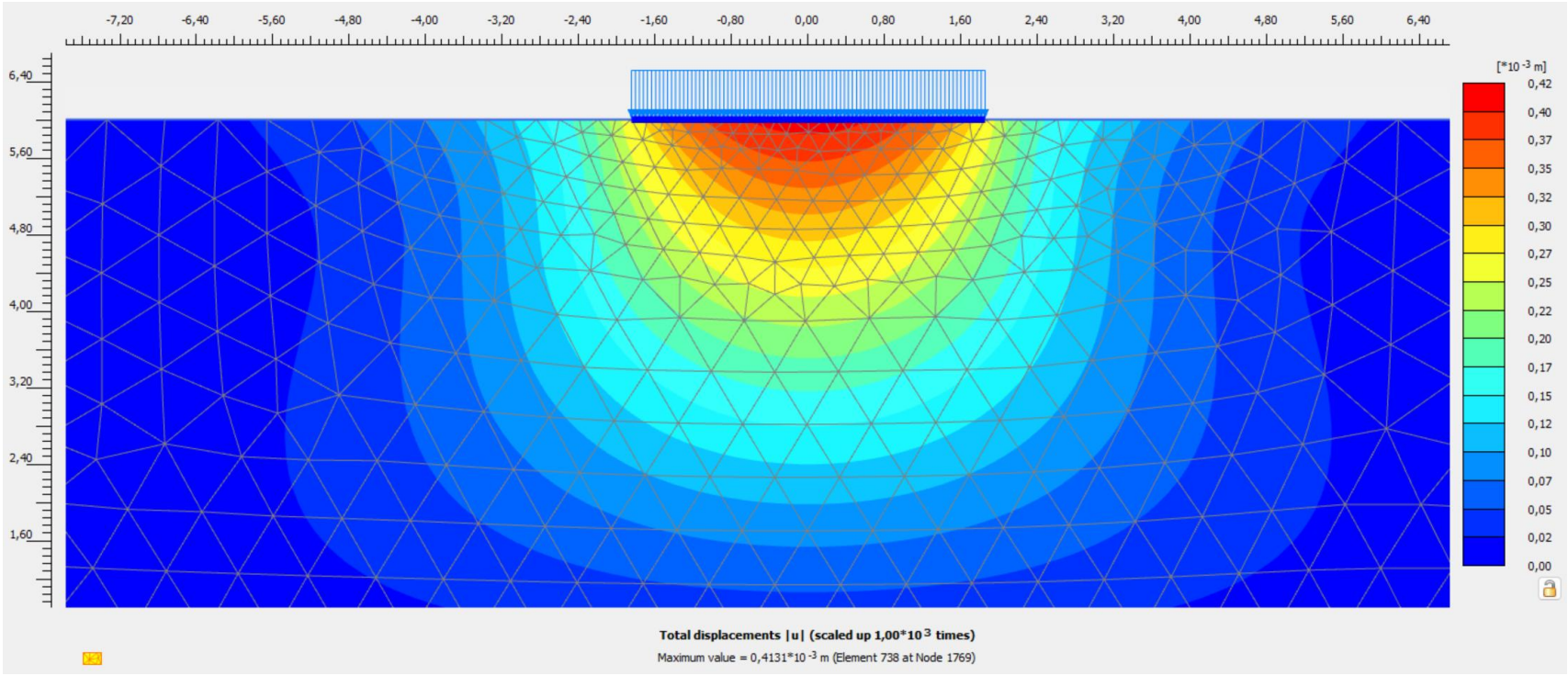
Lampiran 31 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F2



Lampiran 32 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F3



Lampiran 33 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F4



Lampiran 34 *Output* Penurunan Fondasi Tipe F5

