TUGAS AKHIR – RC-18-4803

ALTERNATIF PERENCANAAN PONDASI DANGKAL PADA *RUNWAY* DAN GEDUNG TERMINAL DENGAN MEMPERHATIKAN PENGARUH LIKUIFAKSI (STUDI KASUS: BANDARA INTERNASIONAL YOGYAKARTA)

TSASCA DEWI ARSYIA ASYIFFA
NRP. 03111640000089

Dosen Pembimbing I
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi

Dosen Pembimbing II
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

TUGAS AKHIR – RC-18-4803

ALTERNATIF PERENCANAAN PONDASI DANGKAL PADA *RUNWAY* DAN GEDUNG TERMINAL DENGAN MEMPERHATIKAN PENGARUH LIKUIFAKSI (STUDI KASUS: BANDARA INTERNASIONAL YOGYAKARTA)

TSASCA DEWI ARSYIA ASYIFFA
NRP. 03111640000089

Dosen Pembimbing I
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi

Dosen Pembimbing II
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT – RC-18-4803

DESIGN ALTERNATIVE OF SHALLOW FOUNDATIONS ON THE RUNWAY AND TERMINAL BUILDING BY CONSIDERING LIQUEFACTION EFFECT (STUDY CASE: YOGYAKARTA INTERNATIONAL AIRPORT)

TSASCA DEWI ARSYIA ASYIFFA
NRP. 03111640000089

Academic Supervisor I
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi

Academic Supervisor II
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

ALTERNATIF PERENCANAAN PONDASI DANGKAL PADA *RUNWAY* DAN GEDUNG TERMINAL DENGAN MEMPERHATIKAN PENGARUH LIKUIFAKSI (STUDI KASUS: BANDARA INTERNASIONAL YOGYAKARTA)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
TSASCA DEWI ARSYIA ASYIFFA
NRP. 03111640000089

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi ..... (Pembimbing I)
2. Dr. Yudhi Lastiasih, ST. MT. ..... (Pembimbing II)

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

SURABAYA
JULI, 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

ALTERNATIF PERENCANAAN PONDASI DANGKAL PADA *RUNWAY* DAN GEDUNG TERMINAL DENGAN MEMPERHATIKAN PENGARUH LIKUIFAKSI (STUDI KASUS: BANDARA INTERNASIONAL YOGYAKARTA)

Nama Mahasiswa : Tsasca Dewi Arsyia Asyiffa
NRP : 03111640000089
Departemen : Teknik Sipil FTSPK-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi
2. Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

Abstrak

Pembangunan bandara baru di Yogayakarta diperlukan akibat jumlah wisatawan yang terus meningkat dan tidak mampu ditampung oleh bandara lama. Lokasi bandara baru tersebut berada di Kabupaten Kulon Progo. Kabupaten Kulon Progo memiliki Peak Ground Acceleration (PGA) hingga sebesar 0.4 g. Di samping itu, lokasi bandara tersebut memiliki kondisi tanah yang didominasi tanah pasir. Mengingat kondisi tanah yang didominasi oleh tanah pasir dan nilai PGA yang cukup tinggi, lokasi tersebut memungkinkan memiliki potensi terjadinya likuifaksi. Akibat potensi likuifaksi tersebut, dalam pembangunan bandara telah dilakukan pemadatan tanah. Saat ini, gedung terminal bandara setinggi 3 lantai dan 1 basement telah dibangun menggunakan pondasi bored pile sepanjang 26 meter serta runway telah dibangun dengan panjang 3250 m dan lebar 45 m. Tugas akhir ini membahas perhitungan lapisan tanah yang berpotensi likuifaksi pada data tanah sebelum dan sesudah perbaikan tanah, analisis evaluasi pondasi eksisting pada gedung terminal, dan perencanaan alternatif pondasi dangkal pada area runway dan gedung terminal. Berdasarkan hasil analisis, diketahui lapisan tanah yang berpotensi likuifaksi dengan data tanah sebelum

pemadatan pada area runway sedalam 2 m dan pada area gedung terminal sedalam 4 m. Namun, hasil kedalaman lapisan tanah yang berpotensi likuifaksi berdasarkan data tanah sesudah pemadatan pada area runway sedalam 1 m dan tidak ditemukan potensi likuifaksi pada area gedung terminal. Perencanaan pondasi cakar ayam pada area runway memiliki dimensi 3250 m x 45 m dengan tebal 0.30 m serta panjang pipa diketahui sebesar 10m. Berdasarkan hasil analisis evaluasi pondasi eksisting gedung terminal, diketahui tidak semua pondasi memiliki hasil evaluasi yang memuaskan dari segi beban aksial, momen lateral. Perencanaan alternatif pondasi dangkal pada gedung terminal tidak dapat digunakan karena SF bearing capacity kurang dari satu (1) dan settlement yang terjadi melampaui settlement maksimum yang disyaratkan.

Kata kunci: Bandara Internasional Yogyakarta, Likuifaksi, Pondasi Cakar Ayam, Pondasi Sarang Laba-Laba

DESIGN ALTERNATIVE OF SHALLOW FOUNDATIONS ON THE RUNWAY AND TERMINAL BUILDING BY CONSIDERING LIQUEFACTION EFFECT (STUDY CASE: YOGYAKARTA INTERNATIONAL AIRPORT)

Student Name	: Tsasca Dewi Arsyia Asyiffa
NRP	: 03111640000089
Departement	: Civil Engineering FTSPK-ITS
Academic Supervisor	: 1. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi
	2. Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

Abstract

A new airport in Yogyakarta is strongly needed due to the increasing number of tourist and it cannot be accommodated by the old airport. The location of it is in Kulon Progo. It has Peak Ground Acceleration (PGA) up to 0.4 g. In addition, the airport has soil conditions that are dominated by sandy soil. Considering those conditions, the airport may be liquefiable. As a result of that, the soil compaction has been carried out. The airport's terminal building, as high as 3 floors and 1 basement, has been built using a-26-meter-long bored pile foundation also the runway has been built with 3250 m x 45 m dimension. This project discusses the calculation of liquefiable soil layers in before and after soil improvement conditions, evaluation of current foundations in terminal building, and design alternative of shallow foundations both in runway and terminal building. Based on the calculations, it is known that the liquefiable layer of soils in before improvement condition in the runway as deep as 2 meters and in the terminal building as deep as 4 meters. However, the liquefiable layer of soils in after improvement condition in the runway as deep as 1 meter and no liquefiable layers found in terminal building. The design alternative of chicken foot foundation in the runway has dimensions of 3250 m x 45 m with a thickness of 0.30 m and pipe

length known to be 10 meters. After analyzing the current foundations, it is known that not all foundations have satisfactory results in terms of axial load, lateral moment. The design alternative of shallow foundations, both chicken foot foundation and spider web foundations, cannot be used because it has safety factor of bearing capacity less than one (1) and the settlement exceeds the maximum.

Keywords: Yogyakarta International Airport, Liquefaction, Chicken Foot Foundation, Spider Web Foundation

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan hidayah-Nya hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "Alternatif Perencanaan Pondasi Dangkal *Runway* dan Gedung Terminal Dengan Memperhatikan Pengaruh Likuifaksi (Studi Kasus: Bandara Internasional Yogyakarta)" tepat pada waktunya.

Dalam proses pengerjaannya penulis menemui banyak kendala yang tidak dapat penulis selesaikan tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak yang telah membantu. Maka, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis yang selalu mendukung dan mendoakan kesuksesan dalam perkuliahan serta penyelesaian tugas akhir ini
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi dan Ibu Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dalam tugas akhir ini
3. Pihak dalam proyek pembangunan Bandara Internasional Yogyakarta yang telah membantu penulis dalam menyajikan data-data terkait tugas akhir ini
4. Teman-teman Angkatan S59 yang selalu mendukung dan menemani penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini
5. Teman – teman Departemen Khusus HMS FTSP ITS yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini belum sempurna. Oleh karena itu, saran dan masukan sangat diperlukan untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Surabaya, Juli 2020
Tsasca Dewi Arsyia Asyiffa

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL.....iii
LEMBAR PENGESAHAN.....v
Abstrak.....vii
Abstract.....ix
KATA PENGANTAR.....xi
DAFTAR ISI.....xiii
DAFTAR GAMBAR.....xviii
DAFTAR TABEL.....xx
BAB I PENDAHULUAN.....1
1.1. Latar Belakang.....1
1.2. Rumusan Masalah.....3
1.3. Batasan Masalah.....4
1.4. Tujuan.....4
1.5. Manfaat.....4
1.6. Lingkup Pekerjaan.....4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....7
2.1. Tanah.....7
2.1.1 Tanah Pasir.....7
2.1.2 Parameter Tanah.....8
2.2. Likuifaksi.....9
2.2.1 Pengertian Likuifaksi dan Klasifikasi Awal Potensi Likuifaksi.....9
2.2.2 Klasifikasi Lanjut Potensi Likuifaksi.....10
2.3. Pondasi.....15

2.3.1 Pondasi Dangkal 15
2.3.2 Pondasi Dalam 25
BAB III METODOLOGI 35
3.1. Diagram Alir 35
3.2. Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir 38
BAB IV ANALISIS DATA TANAH 43
4.1. Sumber Data Tanah 43
4.2. Analisis Data Tanah Sebelum Perbaikan Tanah 43
4.2.1 Analisis Data Tanah Pada Area Gedung Terminal 46
4.2.2 Analisis Data Tanah Pada Area *Runway* 61
4.3. Analisis Data Tanah Sesudah Perbaikan Tanah 62
4.3.1 Analisis Data Tanah Pada Area Gedung Terminal 62
4.3.2 Analisis Data Tanah Pada Area *Runway* 70
4.4. Perubahan Parameter Tanah Akibat Perbaikan Tanah ... 71
BAB V ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI 75
5.1. Analisis Potensi Likuifaksi Pada Data Tanah Sebelum Pemadatan 77
5.1.1 Analisis Awal 77
5.1.2 Analisis Lanjut 82
5.2. Analisis Potensi Likuifaksi Pada Data Tanah Sesudah Pemadatan 88
5.2.1 Analisis Awal 88
5.2.2 Analisis Lanjut 89
BAB VI STRUKTUR ATAS GEDUNG TERMINAL 97
6.1. Data Struktur Atas 97
6.2. Referensi Desain Struktur Atas 97

6.3. Data Bangunan 97
6.4. Pembebanan Struktur 98
6.4.1 Beban Mati 98
6.4.2 Beban Hidup 99
6.4.3 Beban Gempa 101
6.4.4 Kombinasi Beban 101
6.5. Data Hasil Analisis Struktur Atas 103
6.5.1 Struktur Gedung Terminal Tengah 103
6.5.2 Struktur Gedung Boarding 106
BAB VII EVALUASI PONDASI EKSISTING PADA GEDUNG TERMINAL 109
7.1. Gambaran Umum 109
7.2. Perhitungan Daya Dukung Tiang 109
7.2.1 Metode Meyerhof & Bazaara 110
7.2.2 Metode Reese & Wright 116
7.3. Analisis Evaluasi Pondasi Eksisting 124
7.3.1 Kontrol Kapasitas Aksial Satu Tiang 124
7.3.2 Kontrol Kapasitas Aksial Grup 127
7.3.3 Kontrol Defleksi Lateral 128
7.3.4 Kontrol Momen Lateral 130
BAB VIII PERENCANAAN ALTERNATIF PONDASI DANGKAL 131
8.1. Perencanaan Pada *Runway* 131
8.1.1 Daya Dukung Pondasi 131
8.1.2 Perencanaan Dimensi 133
8.1.3 Perhitungan Settlement 136

8.2. Perencanaan Pada Gedung Terminal 137
8.2.1 Perhitungan Beban dan Tegangan Kontak 137
8.2.2 Daya Dukung Pondasi 141
8.2.3 Perhitunggan Settlement 144
BAB IX KESIMPULAN 147
9.1. Kesimpulan 147
9.2. Saran 148
DAFTAR PUSTAKA 149
LAMPIRAN 153

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Denah Lokasi Bandara Internasional Yogyakarta, Kabupaten Kulon Progo, DI Yogyakarta 2
Gambar 2. 1 Pondasi Dangkal 15
Gambar 2. 2 Ilustrasi Pondasi Cakar Ayam 20
Gambar 2. 3 Potongan Melintang Pondasi Sarang Laba – Laba 23
Gambar 2. 4 Tampak Atas Pondasi Sarang Laba – Laba 23
Gambar 2. 5 Mekanisme Transfer Beban Pada Pondasi Tiang 25
Gambar 2. 6 Faktor Adhesi Menurut Kulhawy 30
Gambar 2. 7 Koefisien Variasi Untuk Pondasi Tiang yang Menerima Beban Lateral (f) 32
Gambar 2. 8 Koefisien Defleksi Fδ 33
Gambar 2. 9 Koefien Momen (F_M) Pada Pondasi Tiang 34
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir 35
Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan) 36
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan) 37
Gambar 4. 1 Peta PGA Lokasi 44
Gambar 4. 2 Lokasi Titik Pengujian *Bore Log* Pada Gedung Terminal 45
Gambar 4. 3 N-SPT Seluruh Titik Pengujian Pada Area Gedung Terminal 45
Gambar 4. 4 N-SPT Pada Area *Runway* 46
Gambar 4. 5 Rencana Zonasi Statigrafi Titik Uji *Bore Log* Pada Area Gedung Terminal 46
Gambar 4. 6 Statigrafi Tanah Potongan C-C 47
Gambar 4. 7 N-SPT Potongan C-C 48
Gambar 4. 8 Statigrafi Data Tanah Potongan A-A 53
Gambar 4. 9 N-SPT Potongan A-A 53
Gambar 4. 10 Statigrafi Data Tanah Potongan B-B 55
Gambar 4. 11 N-SPT Potongan B-B 55
Gambar 4. 12 Statigrafi Data Tanah Potongan C-C 57
Gambar 4. 13 N-SPT Potongan C-C 57
Gambar 4. 14 Statigrafi Data Tanah Potongan D-D 59
Gambar 4. 15 N-SPT Potongan D-D 59

Gambar 4. 16 Rencana Zonasi Statigrafi Titik Uji *Bore Log* Setelah Pemadatan 63
Gambar 4. 17 N-SPT Seluruh Titik Uji *Bore Log* Setelah Pemadatan 63
Gambar 4. 18 Statigrafi Tanah Pada Zona B..... 64
Gambar 4. 19 N-SPT Zona B 65
Gambar 4. 20 N-SPT Gabungan Seluruh Zona..... 67
Gambar 5. 1 Peta PGA Lokasi 75
Gambar 5. 2 N-SPT Pada Area Gedung Terminal 76
Gambar 5. 3 N-SPT Pada Area *Runway*..... 76
Gambar 7. 1 Detail Pondasi Tipe P1 109
Gambar 7. 2 Daya Dukung Tiang Diameter 1.2m Menggunakan Data Tanah Sebelum Perbaikan 113
Gambar 7. 3 Daya Dukung Tiang Diameter 1.2m Menggunakan Data Tanah Sesudah Perbaikan 116
Gambar 7. 4 Daya Dukung Tiang Diameter 1.2m Menggunakan Data Tanah Sebelum Perbaikan 117
Gambar 7. 5 Daya Dukung Tiang Diameter 1.2m Menggunakan Data Tanah Sebelum Perbaikan 119
Gambar 7. 6 Grafik Daya Dukung Tiang Diameter 1.2m Menggunakan Data Tanah Sesudah Perbaikan 121
Gambar 7. 7 Daya Dukung Tiang Diameter 1.2m Menggunakan Data Tanah Sesudah Perbaikan 122
Gambar 7. 8 Detail Pondasi Konfigurasi 4x4 Tipe P4A 125
Gambar 7. 9 Potongan A Pada Detail Pondasi Tipe P4A..... 125
Gambar 7. 10 Hasil Plot Grafik Dr-f 129
Gambar 7. 11 Hasil Plot Grafik LT dengan Fδ..... 129
Gambar 8. 1 Sketsa Tampak Atas Dimensi Pondasi Cakar Ayam di *Runway* 131
Gambar 8. 2 Potongan Memanjang Gedung Terminal..... 140
Gambar 8. 3 Letak *Section* B Pada Gedung Terminal..... 141
Gambar 8. 4 Sketsa Dimensi Pondasi Dangkal Gedung Terminal 142

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Jumlah Penumpang Pesawat Udara yang Datang dan Berangkat Melalui Bandara Adi Sutjipto November – Desember 2016 1
Tabel 2. 1 Batasan- Batasan Ukuran Golongan Tanah 7
Tabel 2. 2 Hubungan Antara Kondisi Kepadatan, *Relative Density*, Harga N-SPT, Harga ϕ, dan Berat Volum Jenuh Tanah Pasir 8
Tabel 2. 3 Korelasi Parameter Fisis Tanah Berdasarkan Harga N-SPT ((Bowles, 1984) dalam (Kurniawan, 2017)) 8
Tabel 2. 4 Potensi Likuifaksi Berdasarkan *Relative Density* 10
Tabel 2. 5 Faktor Koreksi C_N, C_E, C_R, C_B, C_S untuk $(N_1)_{60}$ 12
Tabel 2. 6 Faktor Koreksi C_N, C_E, C_R, C_B, C_S untuk $(N_1)_{60}$ (Lanjutan) 13
Tabel 2. 7 Harga Modulus Elastisitas dan *Poisson's Ratio* Untuk Berbagai Jenis Tanah 19
Tabel 2. 8 Koefisien Bentuk Pondasi Cf 19
Tabel 4. 1 Korelasi Parameter Fisis Tanah Berdasarkan N-SPT ((Bowles, 1984) dalam (Kurniawan, 2017)) 50
Tabel 4. 2 Harga Modulus Elastisitas dan *Poisson's Ratio* Untuk Berbagai Jenis Tanah (Das B. , 2007) 50
Tabel 4. 3 Hasil Analisis COV pada BH 13A, BH 14A, dan BH 22A 52
Tabel 4. 4 Hasil Analisis Gabungan BH 15A, BH 13A, BH 14A, BH 17A 54
Tabel 4. 5 Hasil Analisis Gabungan BH 36, BH 41, BH 37 54
Tabel 4. 6 Hasil Analisis Gabungan BH 36 dan BH 28 56
Tabel 4. 7 Hasil Analisis Gabungan BH 18A, BH 20A, BH 21A, BH 22A 56
Tabel 4. 8 Hasil Analisis Gabungan BH 37 dan BH 41 58
Tabel 4. 9 Hasil Analisis Gabungan BH 14A, BH 22A, BH 13A 58
Tabel 4. 10 Hasil Analisis Gabungan BH 15A, BH 18A, BH 20A, BH 21A, BH 22A 60
Tabel 4. 11 Hasil Analisis BH 28 60

Tabel 4. 12 Hasil Analisis Korelasi Parameter Fisis pada Data Tanah Area *Runway* 62
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Analisis Data Tanah Zona B 66
Tabel 4. 14 Hasil Rekapitulasi Analisis COV Untuk Seluruh Zona Pada Area Gedung Terminal 67
Tabel 4. 15 Hasil Rekapitulasi Analisis Koefisien Variasi Gabungan Seluruh Zona Pada Area Gedung Terminal 68
Tabel 4. 16 Rekapitulasi Hasil Korelasi Parameter Fisis Untuk Data Tanah Area Gedung Terminal 69
Tabel 4. 17 Rekapitulasi Hasil Korelasi Parameter Fisis Untuk Data Tanah Area *Runway* 71
Tabel 4. 18 Prosentase Perubahan Setiap Parameter Akibat Perbaikan Tanah pada Gedung Terminal 73
Tabel 4. 19 Prosentase Perubahan Setiap Parameter Akibat Perbaikan Tanah pada *Runway*.....73
Tabel 5. 1 Potensi Likuifaksi Berdasarkan *Relative Density*.....77
Tabel 5. 2 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 15A, BH 13A, BH 14A, BH 17A.....78
Tabel 5. 3 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 36, BH 41, BH 37.....79
Tabel 5. 4 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 18A, BH 20A, BH 21A, BH 22A.....79
Tabel 5. 5 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 36 dan BH 28.....80
Tabel 5. 6 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 14A, BH 22A, BH 13A 80
Tabel 5. 7 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 37 dan BH 41.....81
Tabel 5. 8 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 15A, BH 18A, BH 20A, BH 21A, BH 17A 81
Tabel 5. 9 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada BH 28 82
Tabel 5. 10 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Area *Runway*.82
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Analisis Lanjut Pada Area *Runway* 86

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil Analisis Lanjut Pada Area Gedung Terminal 86
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Hasil Kedalaman Potensi Likuifaksi Pada Area *Runway* 87
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Hasil Kedalaman Potensi Likuifaksi Pada Area Gedung Terminal 87
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Kedalaman Potensi Likuifaksi Pada Area Gedung Terminal (Lanjutan) 88
Tabel 5. 16 Hasil Analisis Awal Potensi Likuifaksi Pada Area *Runway* 89
Tabel 5. 17 Hasil Analisis Awal Potensi Likuifaksi Pada Area Gedung Terminal 89
Tabel 5. 18 Hasil Kesimpulan Kedalaman Potensi Likuifaksi Pada Area Gedung Terminal 93
Tabel 5. 19 Hasil Kesimpulan Kedalaman Potensi Likuifaksi Pada Area *Runway* 93
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Perbandingan Kedalaman Likuifaksi pada Kondisi Sebelum dan Sesudah Dipadatkan untuk Area Gedung Terminal 94
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Perbandingan Kedalaman Likuifaksi pada Kondisi Sebelum dan Sesudah Dipadatkan untuk Area *Runway* 95
Tabel 6. 1 Reaksi Perletakan Kondisi Servis Pada Basement ... 104
Tabel 6. 2 Reaksi Perletakan Kondisi Servis Pada *Freestanding* 104
Tabel 6. 3 Reaksi Perletakan Kondisi Servis Pada Lantai Dasar 105
Tabel 6. 4 Reaksi Perletakan Kondisi Servis Pada *Ramp* 105
Tabel 6. 5 Reaksi Perletakan Kondisi Servis Pada Boarding Kanan 106
Tabel 6. 6 Reaksi Perletakan Kondisi Servis Pada Boarding Kiri 107
Tabel 7. 1 Hasil Rekapitulasi Daya Dukung Tiang 123
Tabel 7. 2 Rekapitulasi Hasil Evaluasi Pondasi Joint 1662 130
Tabel 7. 3 Rekapitulasi Hasil Evaluasi Pondasi Joint 1662 (Lanjutan) 130

Tabel 8. 1 Hasil Rekapitulasi Perhitungan SF dan *Settlement* Pondasi Dangkal Untuk Seluruh *Section* Pada Gedung Terminal 145
Tabel 9. 1 Rekapitulasi SF *Bearing Capacity* dan *Settlement* Pondasi Dangkal Untuk Seluruh *Section* Pada Gedung Terminal 148

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Yogyakarta merupakan salah satu kota metropolitan di Indonesia dengan luas wilayah sebesar 3185.8 km^2 dan memiliki banyak destinasi wisata yang sangat populer. Oleh karena itu, Yogyakarta menjadi salah satu kota tujuan wisata yang sering dikunjungi. Jumlah wisatawan yang berkunjung ke Yogyakarta terus mengalami peningkatan seperti yang terlihat pada Tabel 1.1. Pada bulan Desember 2016 keberangkatan penumpang dari Bandara Adi Sutjipto secara keseluruhan mengalami kenaikan sebesar 16.44% dan kedatangan penumpang di Bandara Adi Sutjipto secara keseluruhan mengalami kenaikan sebesar 17.30% dibanding bulan sebelumnya (Badan Pusat Statistik Provinsi DI Yogyakarta, 2016)

Tabel 1. 1 Jumlah Penumpang Pesawat Udara yang Datang dan Berangkat Melalui Bandara Adi Sutjipto November – Desember 2016

Pelabuhan asal dan tujuan	November 2016		Desember 2016		Persentase Perubahan	
	Datang	Berangkat	Datang	Berangkat	Datang	Berangkat
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
DOMESTIK	**265.319**	**267.059**	**312.615**	**310.763**	**17,83**	**16,36**
1. Balikpapan	19.954	19.963	28.112	27.226	**40,88**	**36,38**
2. Bandung	6.902	7.096	7.584	7.432	**9,88**	**4,74**
3. Banjarmasin	10.924	10.618	11.885	10.894	**8,80**	**2,60**
4. Batam	10.907	10.145	10.887	10.782	**-0,18**	**6,28**
5. Denpasar	25.813	27.323	32.808	35.801	**27,10**	**31,03**
6. Jakarta/ Halim PK	7.266	8.310	27.066	26.771	**272,50**	**222,15**
7. Jakarta/ Soekarno-Hatta	132.348	131.413	133.635	129.152	**0,97**	**-1,72**
8. Kualanamu	4.454	4.698	4.688	5.305	**5,25**	**12,92**
9. Lombok	4.150	4.612	4.403	5.256	**6,10**	**13,96**
10. Palembang	6.094	5.621	6.621	6.095	**8,65**	**8,43**
11. Pekanbaru	4.211	4.369	4.864	5.005	**15,51**	**14,56**
12. Pontianak	5.740	6.188	7.014	7.441	**22,20**	**20,25**
13. Surabaya	13.508	13.393	16.293	15.644	**20,62**	**16,81**
14. Ujungpandang	13.048	13.310	16.755	17.959	**28,41**	**34,93**
INTERNATIONAL	**16.213**	**15.179**	**17.620**	**17.874**	**8,68**	**17,75**
1. Johor Bahru	0	0	0	0	**0**	**0**
2. Kualalumpur	9.911	8.981	10.515	10.272	**6,09**	**14,37**
3. Singapura	6.302	6.198	7.105	7.602	**12,74**	**22,65**
TOTAL	**281.532**	**282.238**	**330.235**	**328.637**	**17,30**	**16,44**

(Badan Pusat Statistik Provinsi DI Yogyakarta, 2016)

Bandara Adi Sutjipto memiliki kapasitas sebesar 1.2 – 1.5 juta penumpang tiap tahunnya. Akan tetapi, jumlah penumpang yang tercatat di Bandara Adi Sutjipto sebesar 7.8 juta penumpang tiap tahunnya. Di samping itu, kapasitas area parkir pesawat dan landasan pacu (*runway*) tidak mampu menampung pesawat berbadan lebar, serta apron hanya mampu menampung 11 pesawat. Hal tersebut yang menjadi alasan perlunya pembangunan bandara baru di Yogyakarta atau yang disebut sebagai Bandara Internasional Yogyakarta.

Dalam rancangan pembangunan bandara New Yogyakarta Internasional Airport, hal yang pertama kali dikaji adalah menentukan lokasi bandara baru tersebut. Awal mulanya terdapat 7 daerah yang telah disurvei sebagai kandidat lokasi bandara baru, di antaranya Adisutjpto, Selomartani, Gading Airport, Gadingharjo, Bugel, Temon, dan Bulak Kayangan. Berdasarkan hasil survei lokasi, daerah pesisir selatan Kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo menjadi kawasan yang memenuhi persyaratan secara teknis dan operasional untuk pembangunan bandara baru. Pada Gambar 1.1 menjelaskan bahwa lokasi tersebut memiliki kondisi geografis yang dekat dengan pantai, kurang lebih sejauh 200 meter dari bibir Pantai Glagah.

Gambar 1. 1. Denah Lokasi Bandara Internasional Yogyakarta, Kabupaten Kulon Progo, DI Yogyakarta

Hanya saja, lokasi bandara tersebut memiliki kondisi tanah yang didominasi oleh tanah pasir. Hal ini dibuktikan dengan hasil analisis data yang dilakukan oleh PT. PP KSO bahwa kondisi permukaan tanah pada lokasi tersebut didominasi oleh tanah pasir. Di samping itu, kabupaten Kulon Progo memiliki PGA (*Peak Ground Acceleration*) hingga sebesar 0.4-0.5 g (SNI 1726:2012). Mengingat kondisi tanah yang didominasi oleh tanah pasir dan nilai PGA yang cukup tinggi, lokasi tersebut memiliki potensi likuifaksi. Dalam perencanaan Bandara YIA perlu memerhatikan potensi terjadinya likuifaksi yang akan terjadi. Akibat dari potensi likuifaksi tersebut, PT. PP KSO telah melakukan pemadatan tanah dengan metode *impulse compaction* untuk area sekitar gedung terminal dan *dynamic compaction* untuk area sekitar *runway*.

Saat ini, gedung terminal Bandara YIA setinggi 3 lantai dan 1 *basement* telah dibangun menggunakan pondasi *bored pile* sedalam 26 meter dengan diameter 1200 mm serta landasan pacu (*runway*) telah diberi perkerasan. *Basement* yang digunakan dalam gedung terminal ini memiliki ketinggian sebesar 4 m. Perencanaan bandara tersebut perlu memperhatikan bahaya akibat likuifaksi. Maka, diperlukan evaluasi daya dukung pondasi gedung terminal terhadap pengaruh likuifaksi. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan alternatif pondasi dangkal pada *runway* dan gedung terminal yang efisien tetapi tetap aman terhadap bahaya likuifaksi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini antara lain:

1. Lapisan tanah mana sajakah, baik di *runway* maupun gedung terminal, yang berpontensi likuifaksi?
2. Apakah metode perbaikan yang dilakukan pihak poryek sudah menghilangkan potensi likuifaksi pada tanah tersebut?
3. Bagaimana alternatif pondasi cakar ayam yang direncanakan pada *runway*?

4. Bagaimana hasil evaluasi pondasi eksisting pada gedung terminal?
5. Bagaimana alternatif pondasi cakar ayam dan pondasi sarang laba-laba yang direncanakan pada gedung terminal?

1.3. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini terdapat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah data sekunder
2. Jenis alternatif pondasi dangkal yang direncanakan adalah pondasi cakar ayam dan pondasi sarang laba-laba
3. Tidak menganalisis dinding penahan tanah pada sekitar *basement* gedung terminal

1.4. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah merencanakan alternatif pondasi dangkal pada *runway* dan gedung terminal yang efisien.

1.5. Manfaat

Manfaat yang diharapkan pada tugas akhir, baik untuk penulis maupun pembaca, adalah sebagai referensi perencanaan pondasi dangkal di daerah yang berpotensi likuifaksi.

1.6. Lingkup Pekerjaan

Berikut lingkup pekerjaan dalam tugas akhir ini:

1. Pengumpulan data sekunder
2. Studi literatur
3. Analisis data tanah sebelum pemadatan

a. Korelasi parameter fisis tanah
b. Klasifikasi lapisan likuifaksi

4. Perhitungan Hasil Perubahan Parameter Tanah Akibat Hasil Perbaikan Tanah

a. Korelasi parameter fisis tanah
b. Klasifikasi lapisan likuifaksi

c. Perbandingan kedalaman likuifaksi dengan tanah sebelum dan sesudah perbaikan tanah
5. Perencanaan alternatif konstruksi *runway* dengan pondasi cakar ayam
6. Kontrol stabilitas pondasi cakar ayam pada *runway*
7. Analisis daya dukung pondasi eksisting gedung terminal
a. Perhitungan daya dukung pondasi terhadap potensi likuifaksi
b. Perbandingan hasil daya dukung menggunakan data tanah sebelum perbaikan dan sesudah perbaikan
8. Kontrol stabilitas pondasi eksisting
9. Perencanaan alternatif pondasi dangkal (pondasi cakar ayam)
10. Perencanaan alternatif pondasi dangkal (pondasi sarang laba-
11. Kontrol daya dukung pondasi dan *settlement* pondasi dangkal
12. Analisis volum material

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

2.1.1 Tanah Pasir

Tanah dapat digolongkan sebagai tanah kerikil, pasir, lanau, lempung berdasarkan pada ukuran partikel yang paling dominan dari tanah tersebut. Beberapa organisasi telah mengembangkan beberapa parameter batasan dalam menggolongkan tanah. Parameter batasan tersebut direkapitulasi dalam Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2. 1 Batasan- Batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 - 0.06	0.06 - 0.002	<0.002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 - 0.05	0.05 - 0.002	<0.002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76.2 - 2	2 - 0.075	0.075 - 0.002	<0.002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation)	76.2 - 4.75	4.75 - 0.075	Halus (yaitu lanau dan lempung) <0.0075	

(Das, Mochtar, & Mochtar, Mekanika Tanah I Jilid 1 , 1995)

2.1.2 Parameter Tanah

Seringkali data tanah yang didapatkan dari hasil uji tanah hanya berupa data hasil uji SPT. Oleh karena itu, dibutuhkan korelasi-korelasi terhadap harga N-SPT untuk mendapatkan parameter fisis tanah yang lainnya. Berikut Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 menjelaskan korelasi harga N-SPT dengan parameter fisis tanah:

Tabel 2. 2 Hubungan Antara Kondisi Kepadatan, *Relative Density*, Harga N-SPT, Harga ϕ, dan Berat Volum Jenuh Tanah Pasir

Kondisi Kepadatan	***Relative Density* (Kepadatan Relatif) (%)**	**Perkiraan Harga NSPT**	**Perkiraan Harga φ (^{o})**	**Perkiraan Berat Volum Jenuh (γ_{sat}) (ton/m^3)**
very loose (sangat renggang)	0 - 15	0 - 4	0 - 28	< 1.6
loose (renggang)	15 - 35	4 - 10	28 - 30	1.5 - 2
medium (menengah)	35 - 65	10-30	30 - 36	1.75 - 2.1
dense (rapat)	65 - 85	30 - 50	36 - 41	1.75 - 2.25
very dense (sangat rapat)	85 - 100	>50	41	

(Mochtar, 2009) dalam (Gumelar, 2019)

Tabel 2. 3 Korelasi Parameter Fisis Tanah Berdasarkan Harga N-SPT ((Bowles, 1984) dalam (Kurniawan, 2017))

Cohesionless Soil / Soil Pulverulent					
N (*blows*)	0 - 3	4 - 10	11 - 30	31 - 50	>50
γ (kN/m^3)	-	12 - 16	14 - 18	16 - 20	18 - 23
φ (^{o})	-	25 - 32	28 - 36	30 - 40	>35
State	*Very Loose*	*Loose*	*Medium*	*Dense*	*Very Dense*
Dr (%)	0 - 15	15 - 35	35 - 65	65 - 85	85 - 100
Cohesive Soil / Soil Coherent					
N (*blows*)	< 4	4 - 6	6 -15	16 - 25	>25
γ (kN/m^3)	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	> 20
q_u (kPa)	< 25	20 - 50	30 - 60	40 -200	> 100
State	*Very Soft*	*Soft*	*Medium*	*Stiff*	*Hard*

2.2. Likuifaksi

2.2.1 Pengertian Likuifaksi dan Klasifikasi Awal Potensi Likuifaksi

Likuifaksi adalah peristiwa ketika tanah kehilangan daya dukungnya akibat menerima getaran terus menerus saat terjadi gempa bumi. Fenomena likuifaksi hanya terjadi pada jenis tanah berbutir yang jenuh atau tersaturasi. Oleh karena itu, kedalaman muka air tanah berpengaruh terhadap probabilitas terjadinya likuifaksi. Apabila kedalaman muka air tanah tinggi, maka probabilitas terjadinya likuifaksi semakin besar.

Fenomena likuifaksi dapat ditandai dengan munculnya lumpur pasir di atas permukaan tanah, munculnya rembesan air tanah dari lubang rekahan tanah, penurunan level muka tanah, atau tenggelamnya struktur yang dibangun di atas lapisan tanah tersebut. Pada saat gempa terjadi, lapisan tanah berbutir yang jenuh mengalami getaran dan menyebabkan tanah tersebut memadat serta diiringi naiknya harga tekanan air pori. Apabila harga tekanan air pori terus meningkat hingga sama dengan harga tegangan total, maka tegangan efektif tanah tersebut akan bernilai sama dengan nol. Selanjutnya, tanah tersebut akan kehilangan kekuatan daya dukungnya dan akan berperilaku seperti cairan.

Klasifikasi awal potensi likuifaksi dapat ditentukan dari beberapa aspek, antara lain:

a. Aspek *Relative Density*

Harga *relative density* dapat menjadi acuan awal dalam klasifikasi potensi likuifaksi. Semakin kecil harga *relative density* yang diiringi dengan semakin besarnya percepatan permukaan tanah saat gempa, maka probabilitas tanah tersebut akan mengalami likuifaksi semakin besar seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.4

Tabel 2. 4 Potensi Likuifaksi Berdasarkan *Relative Density*

Max Ground Acceleration	**Liquefiable**	**Liquefiable Based on Soil Types and Earthquake Magnitude**	**Liquefaction Unlikely**
0.1 g	Dr < 33%	33% < Dr < 54%	Dr > 54%
0.15 g	Dr < 48%	48% < Dr < 73%	Dr > 73%
0.2 g	Dr < 60%	60% < Dr < 85%	Dr > 85%
0.25 g	Dr < 70%	70% < Dr < 92%	Dr > 92%

(Seed & Idriss, 1971) dalam (Gumelar, 2019)

b. Aspek Jumlah Pukulan SPT

Menurut Mercuson (1990) (dalam Gumelar, 2019), tanah dengan jumlah pukulan SPT $(N_1)_{60}$ < 30 menjadi ambang batas minimum untuk potensi likuifaksi. Tanah dengan jumlah pukulan SPT $(N_1)_{60}$ <22 memiliki probabilitas yang besar terhadap terjadinya likuifaksi.

2.2.2 Klasifikasi Lanjut Potensi Likuifaksi

a. *Cyclic Stress Ratio (CSR)*

Cyclic Stress Ratio atau rasio tegangan siklik yang dapat dihitung berdasarkan metode Seed & Idriss (1967) pada Persamaan 2.1 berikut:

$$\mathrm{CSR}_{\mathrm{M},\sigma_o'} = 0.65\ \frac{\sigma_O}{\sigma_O'}\ \frac{a_{max}}{g}\ r_d \qquad (2.\ 1)$$

Keterangan dalam Persamaan 2.1:

0.65 = faktor untuk menghitung siklus tegangan yang menghasilkan kenaikan tegangan air pori yang harganya sama dengan getaran gempa bumi

σ_O = total tegangan akibat beban vertikal (tegangan *overburden*)

σ_O' = total tegangan efektif akibat beban vertikal

a_{max} = percepatan horizontal permukaan maksimum

r_d = faktor pengurang tegangan yang merupakan fungsi kedalaman z (Persamaan 2.2)

Nilai factor r_d dapat dihitung berdasarkan metode Blake (1996) pada Persamaan 2.2 berikut

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \, . \, M] \quad (2.\ 2)$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right) \quad (2.\ 3)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right) \quad (2.\ 4)$$

Keterangan dalam Persamaan 2.2 hingga Persamaan 2.4:

z = Kedalaman lapisan tanah yang ditinjau (meter)

b. *Cyclic Resistance Ratio (CRR)*

Nilai CRR pada tanah umumnya berkolerasi dengan harga N-SPT dan harga q_c pada CPT. Harga N-SPT juga berkorelasi dengan panjang rod, energi hammer, ukuran lubang bor, dan tegangan vertical efektif lapisan tanah tersebut.

Persamaan untuk menentukan nilai CRR hanya akan berlaku jika M = 7.5 dan σ_v'= 1 atm. Jika batasan tersebut tidak terpenuhi, maka diperlukan koreksi nilai CRR terhadap *Magnitude Scaling Factor* (MSF), dan tegangan vertikal efektif (dinyatakan dengan faktor K_σ)

Berikut langkah – langkah perhitungan nilai CRR:

i. Menentukan nilai $(N_1)_{60}$ yang dapat dihitung dengan metode Idriss & Boulanger (2014) pada Persamaan 2.5 berikut:

$$(N_1)_{60} = C_N N_{60} \quad (2.\ 5)$$

$$N_{60} = C_E C_R C_B C_S N_m \quad (2.6)$$

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_o}\right)^m \leq 1.7 \; ; m = 0.784 - 0.0768\sqrt{N_{60}} \quad (2.7)$$

Keterangan dalam Persamaan 2.5 hingga Persamaan 2.7:

C_N	=	Faktor koreksi terhadap tegangan *overburden*
C_E	=	Faktor akibat *energy hammer* (Tabel 2.6)
C_R	=	Faktor koreksi terhadap batang bor (Tabel 2.5)
C_B	=	Faktor koreksi terhadap diameter bor (Tabel 2.6)
C_S	=	Faktor koreksi terhadap metode *sampling* (Tabel 2.5)
N_m	=	Harga N-SPT
P_a	=	Tekanan atmosfir (1 atm)

Tabel 2. 5 Faktor Koreksi C_N, C_E, C_R, C_B, C_S untuk $(N_1)_{60}$

Factor	Equipment Variable	Term	Correction
Rod Length	< 3 m	CR	0.75
Rod Length	3 - 4 m	CR	0.8
Rod Length	4 - 6 m	CR	0.85
Rod Length	6 - 10 m	CR	0.95
Rod Length	10 - 30 m	CR	1.0
Sampling Method	Standard sampler	CS	1.0
Sampling Method	Sampler without liner	CS	1.1 - 1.3

(Robertson & Wride, 1998) dalam (Syafei, 2016)

Tabel 2. 6 Faktor Koreksi C_N, C_E, C_R, C_B, C_S untuk $(N_1)_{60}$ (Lanjutan)

Factor	Equipment Variable	Term	Correction
Overburden Pressure	-	CN	$\left(\frac{P_a}{\sigma'_{vo}}\right)^{0.5}$
Overburden Pressure	-	CN	CN < 1.7
Energy Ratio	Donut Hammer	CE	0.5 - 1.0
Energy Ratio	Automatic-trip Donut- type hammer	CE	0.8 - 1.3
Borehole Diameter	65 - 115 mm	CB	1.0
Borehole Diameter	130 mm	CB	1.03
Borehole Diameter	200 mm	CB	1.15

(Robertson &Wride, 1998) dalam (Syafei, 2016)

ii. Menentukan nilai $(N_1)_{60cs}$ yang dapat dihitung sesuai metode Idriss & Boulanger, 2014 pada Persamaan 2.8 dan Persamaan 2.9 berikut:

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \quad (2.\ 8)$$

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left[1.63 + \left(\frac{9.7}{FC + 0.01}\right) + \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right] \quad (2.\ 9)$$

FC = *Fine Content*

Harga $(N1)_{60cs}$ yang perlu dikoreksi hanya jika harga $(N1)_{60cs}$ < 37.5 karena pada rentang tersebut rawan terjadi likuifaksi.

iii. Menghitung Nilai CRR

Nilai CRR tanah bergantung pada durasi goyangan (yang berkorelasi dengan faktor skala pembesaran gempa, MSF) dan tegangan *overburden* efektif (K_σ). Menghitung nilai CRR dapat menggunakan metode pada Persamaan 2.10 berikut (Idriss, & Boulanger, 2014):

$$CRR_{M,\sigma'_v} = CRR_{M=7.5,\sigma'_v=1\ atm} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (2.10)$$

$$CRR_{M=7.5,\ \sigma'_v=1\ atm} = = \exp\left[\frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{25.4}\right)^4 - 2.8\right] \quad (2.11)$$

$$K_\sigma = 1 - \left(C_\sigma . \ln\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right)\right) \leq 1.1 \quad (2.12)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{18.9 - \left(2.55\sqrt{(N_1)_{60cs}}\right)} \leq 0.3 \quad (2.13)$$

$$MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8 \quad (2.14)$$

Keterangan dalam Persamaan 2.10 hingga Persamaan 2.14:

MSF	=	*Magnitude Scaling Factor*
M	=	Harga *magnitude* gempa yang ditinjau pada suatu lokasi
P_a	=	Tekanan atmosfer. 1 atm = 100 kPa

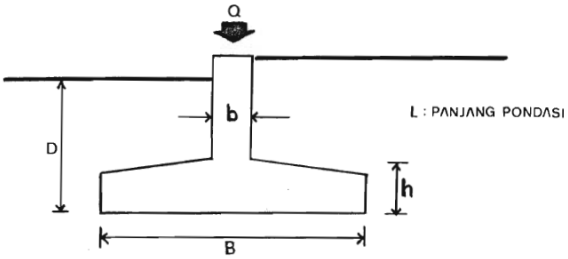
iv. Menentukan Harga *Safety Factor*
Syarat lapisan tanah tersebut berpotensi mengalami likuifaksi adalah SF < 1

$$SF = \frac{CRR_M}{CSR} \quad (2.\ 15)$$

2.3. Pondasi

2.3.1 Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal adalah pondasi yang memiliki rasio $\frac{D_f}{B} < 4$ seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2. 1 Pondasi Dangkal
(Wahyudi, 2012)

a. Perhitungan Daya Dungkul Pondasi Dangkal
Perhitungan daya dukung pondasi dangkal dapat menggunakan metode Terzaghi seperti pada Persamaan 2.16 berikut:

$$q_u = c\,N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q\,N_q\,F_{qs} F_{qd} F_{qi} + 0.5\,\gamma\,B\,N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (2.\ 16)$$

$$N_q = \left(\tan\left(45° + \frac{\phi}{2}\right)\right)^2 \times e^{\pi \tan \phi} \quad (2.17)$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \phi} \quad (2.18)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1)\tan(1.4\phi) \quad (2.19)$$

Faktor bentuk untuk *rectangular footing*:

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right) \quad (2.20)$$

$$F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)(\tan \phi) \quad (2.21)$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{B}{L}\right) \quad (2.22)$$

Jika pondasi berbentuk persegi atau lingkaran, maka:

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{N_q}{N_c}\right) \quad (2.23)$$

$$F_{qs} = 1 + (\tan \phi) \quad (2.24)$$

$$F_{\gamma s} = 0.6 \quad (2.25)$$

Faktor kedalaman untuk $\frac{D_f}{B} \leq 1$

$$F_{qd} = 1 + 2\tan \phi\,(1 - \sin \phi)^2 \left(\frac{D_f}{B}\right) \quad (2.26)$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_q \tan \phi} \quad (2.27)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (2.\ 28)$$

Jika $\frac{D_f}{B} \leq 1$ dan $\phi = 0$

$$F_{cd} = 1 + 0.4\left(\frac{D_f}{B}\right) \quad (2.\ 29)$$

Faktor kedalaman untuk $\frac{D_f}{B} \geq 1$

$$F_{qd} = 1 + 2\tan\phi\,(1 - \sin\phi)^2 \tan\left(\frac{D_f}{B}\right) \quad (2.\ 30)$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_q \tan\phi} \quad (2.\ 31)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (2.\ 32)$$

Jika $\frac{D_f}{B} \leq 1$ dan $\phi = 0$

$$F_{cd} = 1 + 0.4\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right) \quad (2.\ 33)$$

Faktor inklinasi

$$F_{ci} = \left(1 - \frac{\alpha}{90°}\right)^2 \quad (2.\ 34)$$

$$F_{qi} = \left(1 - \frac{\alpha}{90°}\right)^2 \quad (2.\ 35)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\alpha}{\phi}\right)^2 \quad (2.\ 36)$$

Keterangan dalam Persamaan 2.16 hingga Persamaan 2.36:

c	=	Kohesi tanah
γ	=	Berat volum tanah
q	=	$\gamma \times D_f$
D_f	=	Kedalaman pondasi
B	=	Lebar pondasi
N_c, N_q, N_γ	=	Faktor koefisien daya dukung
$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$	=	Faktor bentuk pondasi
$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$	=	Faktor kedalaman pondasi
$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$	=	Faktor inklinasi beban

b. Perhitungan Penurunan Pondasi Dangkal

Perhitungan penurunan pondasi dangkal dapat menggunakan metode berikut:

Settlement total	=	*Immediate settlement* + *consolidation primaire* + *secondaire settlement* + *settlement* akibat pergerakan lateral tanah

i. Perhitungan *Immediate Settlement*

Menurut Wahyudi (2012), perhitungan *immediate settlement* dari pondasi dangkal dapat menggunakan Persamaan 2.37 berikut:

$$S_i = C_f \times q \times B \times \frac{1-\mu^2}{Es} \qquad (2.\ 37)$$

Keterangan:

S_i	=	Penurunan segera
C_f	=	Koefisien bentuk pondasi (Tabel 2.9)
B	=	Lebar pondasi
μ	=	Angka Poisson (Tabel 2.8)
Es	=	Modulus elastisitas tanah (Tabel 2.8)
q	=	Beban merata

Tabel 2. 7 Harga Modulus Elastisitas dan *Poisson's Ratio* Untuk Berbagai Jenis Tanah

Type of Soil	Modulus of Elasticity, (Es) (MN/m^2)	Poisson's ratio μ_s
Loose sand	10 - 25	0.20 - 0.40
Medium dense sand	15 - 30	0.25 - 0.40
Dense sand	35 - 55	0.30 - 0.45
Silty sand	10 - 20	0.20 - 0.30
Sand and gravel	70 - 170	0.15 - 0.35
Soft clay	4 - 20	
Medium clay	20 - 40	0.20 - 0.50
Stiff Clay	40 - 100	

(Das B. , 2007)

Tabel 2. 8 Koefisien Bentuk Pondasi C_f

L/B	Pondasi Kaku	Pondasi *Flexible*	
		Di Tepi	Di Tengah
1	0.88	0.56	1.12
2	1.21	0.76	1.53
3	1.43	0.89	1.78
5	1.72	1.05	2.10
10	2.13	1.27	2.58

(Wahyudi, 2012)

Jenis – jenis pondasi dangkal:

a. Pondasi Cakar Ayam

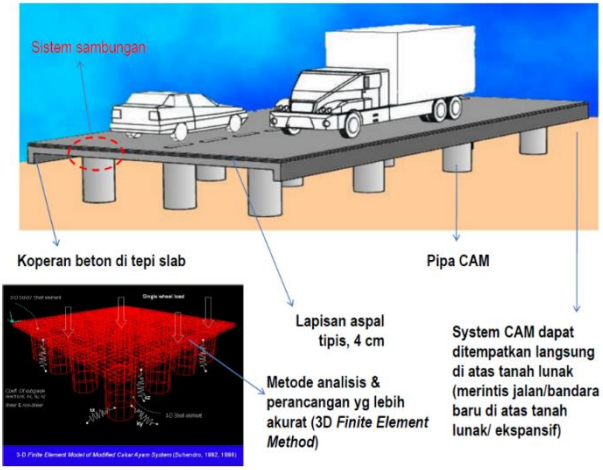
Pondasi cakar ayam diciptakan oleh Prof. Sedijatmo pada tahun 1962. Pondasi cakar ayam terdiri dari pelat beton setebal 10 – 30 cm yang disokong oleh pipa-pipa beton di bawahnya. Hubungan pipa-pipa beton dengan pelat beton tersebut adalah monolid. Pondasi ini bisa digunakan untuk gedung, jembatan, jalan raya, maupun landasan pacu lapangan terbang (*runway*). Bentuk pondasi cakar ayam dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Pondasi cakar ayam memiliki beberapa keuntungan sebagai berikut:

i. Tebal pelat beton sekitar 10 – 30 cm pada pondasi ini memiliki peran sebagai pengaku. Pelat beton tersebut memiliki kekuatan yang sama dengan *conventional rigid pavement* dengan tebal 60 – 80 cm
ii. Memiliki *bearing capacity* yang tinggi
iii. Defleksi yang kecil
iv. Rotasi pipa-pipa beton akibat momen dapat diatasi dengan *sub grade horizontal reaction of soil* (k_h)

Pondasi cakar ayam telah digunakan dalam beberapa proyek berikut:

i. Jalan Tol Sedyatmo
ii. Jalan Pantura (Indramayu – Pemanukan)
iii. Jalan Tol seksi 4 Makasar



Gambar 2. 2 Ilustrasi Pondasi Cakar Ayam

Perencanaan dimensi pondasi cakar ayam mengikuti alur sebagai berikut:

1. Menentukan beban yang akan digunakan
2. Menghitung daya dukung pondasi dengan Persamaan 2.16
3. Membuat asumsi awal dimensi pipa. Pada umumnya, dimensi pipa dan jarak antar pipa dibuat seragam
4. Menghitung luas dan jari-jari bidang kontak beban (R) dengan Persamaan 2.38 berikut
5. Menghitung tegangan geser pons (τ_{pons}) sesuai dengan mutu beton pelat yang akan digunakan. Perhitungan (τ_{pons}) dapat menggunakan Persamaan 2.39
6. Menghitung tegangan geser pons minimum $(\tau_{pons}\ \text{minim})$ dengan Persamaan 2.40
7. Tentukan tebal pelat (h_t)yang akan digunakan berdasarkan hasil perhitungan pada poin 6
8. Menghitung panjang pipa minimum dengan Persamaan 2.42
9. Menghitung penurunan pondasi yang akan terjadi dengan Persamaan 2.37

Berikut persamaan – persamaan yang digunakan:

$$R = \sqrt{\frac{A \times 4}{\pi}} \tag{2. 38}$$

$$\tau_{pons} = 0.97\sqrt{fc'} \tag{2. 39}$$

$$\tau_{pons}\ \text{minim} = \frac{3\ P}{\pi\ h_t(R + h_t)} \tag{2. 40}$$

$$y = \frac{1.5\ n\ q}{\gamma' K_p} \tag{2. 41}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{SF\ a^3\ y}{b}} \tag{2. 42}$$

$$K_p = \left[\tan\left(45° + \frac{\phi}{2}\right)\right]^2 \tag{2. 43}$$

Keterangan pada Persamaan 2.38 hingga Persamaan 2.43:

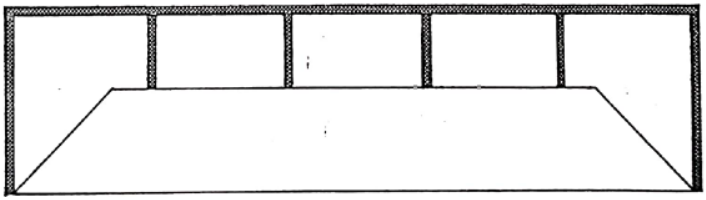
ϕ	=	Sudut geser tanah
R	=	Jari-jari bidang kontak beban terhadap pondasi
A	=	Luas bidang kontak beban terhadap pondasi
τ_{pons}	=	Tegangan geser pons material
P	=	Beban terpusat yang terjadi
h_t	=	Tebal pelat
n	=	Jumlah baris pipa
q	=	Tekanan lawan tanah
γ'	=	Berat volum efektif tanah
K_p	=	Koefisien tekanan tanah pasif
SF	=	Safety Factor
a, b	=	Jarak antar pipa
h	=	Panjang pipa

b. Pondasi Sarang Laba – Laba

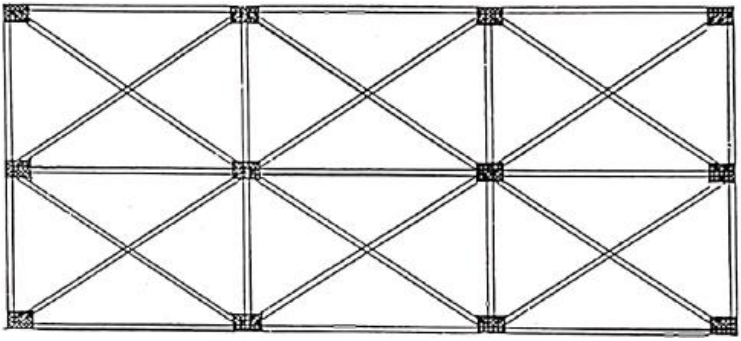
Pondasi sarang laba-laba merupakan pondasi dengan gabungan pelat dan rib yang membenuk segitiga sehingga terdapat rongga di tengah. Rongga tersebut diisi dengan lapisan tanah yang sudah dipadatkan. Gambaran bentuk pondasi sarang laba-laba seperti berikut:

i. Merupakan pelat beton tipis menerus yang dikakukan oleh rib-rib tegak tipis yang tinggi
ii. Rib-rib tegak pengaku yang penempatannya diatur sedemikian rupa sehingga susunan rib-rib tersebut membentuk segitiga yang rigid
iii. Rongga di antara rib dan pelat beton diisi dengan lapisan tanah yang sudah dipadatkan
iv. Dalam penggunaannya sebagai pondasi yang memikul beban kolom, maka susunan rib-rib diatur sehingga titik pertemuan rib-rib berimpit dengan titik kerja kolom

Ilustrasi pondasi sarang laba-laba dapat dilihat pada Gambar 2.3 hingga Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2. 3 Potongan Melintang Pondasi Sarang Laba – Laba



Gambar 2. 4 Tampak Atas Pondasi Sarang Laba – Laba

Perencanaan dimensi pondasi sarang laba-laba mengikuti alur sebagai berikut:

1. Menentukan beban maksimum dan minimum yang akan digunakan (Persamaan 2.38)
2. Menghitung daya dukung pondasi dengan Persamaan 2.16
3. Membuat asumsi awal tebal rib dan tinggi total pondasi
4. Menghitung jari-jari bidang kontak beban (R) dengan Persamaan 2.45 berikut
5. Mencari titik tengah dari pondasi serta momen inersianya
6. Menghitung tebal minimum rib dengan Persamaan 2.46
7. Menghitung beban maksimum yang terjadi pada pondasi sesuai area penyebaran beban dengan Persamaan 2.44

8. Kontrol beban yang bekerja terhadap daya dukung ijin pondasi

Berikut persamaan-persamaan yang digunakan:

$$q_{max,min} = \frac{Q}{A} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_x} \pm \frac{M_x \cdot y}{I_y} \quad (2.\ 44)$$

$$R = \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot q_{all}}} \quad (2.\ 45)$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{12 \times I_x}{2\pi R}} \quad (2.\ 46)$$

$$P_{max} = q_{max} \times (a + 3.4h_k + 1.3) \quad (2.\ 47)$$

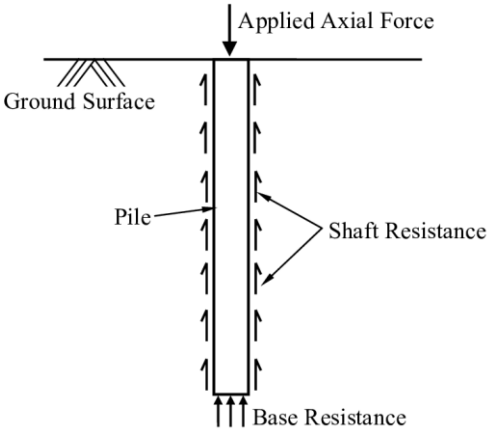
Keterangan dalam Persamaan 2.44 hingga Persamaan 2.47:

M_x, M_y	=	Momen pada sumbu x atau sumbu y
x, y	=	Jarak momen ke titik pusat beban pada pondasi
I_x, I_y	=	Momen inersia sumbu x atau sumbu y
R	=	Jari-jari bidang kontak beban dengan pondasi
q_{all}	=	Daya dukung ijin pondasi (SF = 3)
h_k	=	Tinggi pondasi atau tinggi rib
a	=	Panjang sisi kolom yang ditumpu

2.3.2 Pondasi Dalam

A. Daya Dukung Tunggal Pondasi Tiang

Pada Gambar 2.5 menjelaskan daya dukung pondasi dalam melalui mekanisme transfer beban pada pondasi tiang



Gambar 2. 5 Mekanisme Transfer Beban Pada Pondasi Tiang (Sumber: Load Transfer Mechanism of Axially Loaded Piles. https://www.researchgate.net/figure/1-Load-Transfer-Mechanism-of-Axially-Loaded-Piles_fig1_280716789. Diakses 28 Januari 2020)

Perhitungan daya dukung pondasi dalam dapat menggunakan data SPT yang telah dikoreksi. Berikut merupakan prosedur perhitungan daya dukung tiang dengan metode Meyerhof & Bazaraa serta Reese & Wright:

a. Metode Meyerhoof & Bazaraa

i. Koreksi Terhadap Muka Air Tanah

Khusus tanah pasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung yang berada di bawah muka air tanah dengan N>15:

- Terzaghi & Peck, 1960

$$N_1 = 15 + \frac{1}{2}(N - 15) \quad (2.\ 48)$$

- Bazaraa, 1967

$$N_1 = 0.6 \quad (2.\ 49)$$

Selanjutnya, dipilih harga N yang terkecil dari hasil perhitungan menggunakan Persamaan 2.48 dan Persamaan 2.49 tersebut. Untuk jenis tanah lempung, lanau, dan pasir kasar serta $N \geq 15$ tidak perlu dikoreksi. Jadi, $N_1 = N$

ii. Koreksi Terhadap *Overburden Pressure* Dari Tanah

Harga N_1 perlu dikoreksi lagi terhadap *overburden pressure* dari tanah dimana harga N tersebut didapatkan

- Bila $p_o \leq 7.5\ {}^{t}/_{m^2}$

$$N_2 = \frac{4N_1}{1 + 0.4P_o} \quad (2.\ 50)$$

- Bila $p_o > 7.5\ {}^{t}/_{m^2}$

$$N_2 = \frac{4N_1}{3.25 + 0.1P_o} \quad (2.\ 51)$$

Apabila p_o dalam satuan kPa atau kN/m^2, maka Persamaan 2.50 dan Persamaan 2.51 menjadi:

- Bila $p_o \leq 75$ kPa

$$N_2 = \frac{4N_1}{1 + 0.04P_o} \quad (2.\ 52)$$

- Bila $p_o > 75$ kPa

$$N_2 = \frac{4N_1}{3.25 + 0.01P_o} \quad (2.\ 53)$$

Harga N_2 harus $\leq 2N_1$. Apabila didapatkan harga $N_2 > 2N_1$, maka dibuat $N_2 = 2N_1$

iii. Daya Dukung Menggunakan Perumusan Meyerhof

Perhitungan daya dukung menggunakan perumusan Meyerhof dapat menggunakan Persamaan 2.54 berikut

$$Q_{ult} = C_n \times A_{ujung} + \sum Cl_i \times As_i \quad (2.\ 54)$$

Keterangan:

Cl_i	=	Hambatan geser selimut tiang pada segmen i
As_i	=	Luas selimut tiang pada segmen i $O_i \times h_i$
O_i	=	Keliling tiang
Cn_{ujung}	=	$40\overline{N}$
$\overline{N}$	=	Harga rata-rata N_2 pada 4D di bawah hingga 8D di atas ujung tiang
Cl_i	=	$\frac{N}{2}$ ton/m^2; untuk tanah lempung atau lanau $\frac{N}{5}$ ton/m^2; untuk tanah pasir

Selanjutnya, perlu dihitung daya dukung izin menggunakan Persamaan 2.55 berikut:

$$Q_{izin} = \frac{Q_{ult}}{SF}; SF = 3 \quad (2.\ 55)$$

b. Metode Reese & Wright

i. Daya dukung selimut tiang (Qs)

- Tanah non kohesif

$$Q_s(\text{ton}) = 0.32 \times N \times p \times \Delta l \text{ ; untuk } N_{SPT} < 53 \quad (2.\ 56)$$

$$Q_s(\text{ton}) = \left(\frac{N - 53}{450}\right) \times \frac{1}{0.3048^2} \times p \times \Delta l \text{ ; untuk } N_{SPT} \geq 53 \quad (2.\ 57)$$

- Tanah kohesif

$$Q_s = C_u \times \alpha \times p \times \Delta l \quad (2.\ 58)$$

ii. Daya dukung ujung tiang (Qp)

- Tanah non kohesif

$$Q_p = \frac{40}{0.3048^2} \times A_p; \text{untuk} N_{SPT} > 60 \quad (2.\ 59)$$

$$Q_p = \frac{2}{3} \times \frac{1}{0.3048^2} \times N \times A_p; \text{untuk } N_{SPT} \leq 60 \quad (2.\ 60)$$

- Tanah kohesif

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \quad (2.\ 61)$$

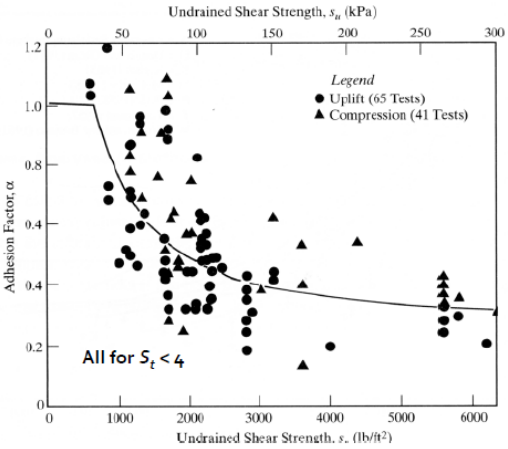
iii. Daya dukung ujung ultimate (Qu) dan daya dukung ijin (Qijin)

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.\ 62)$$

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{3} \quad (2.\ 63)$$

Dimana:

Q_p	=	Daya dukung ujung tiang
Q_s	=	Daya dukung selimut tiang
Q_u	=	Daya dukung ultimate tiang
C_u	=	Kohesi tanah t/m^2
A_p	=	Luas penampang tiang (m^2)
P	=	Keliling penampang tiang (m)
α	=	Koreksi factor adhesi menurut Kulhawy dan Reese & Wright Faktor adhesi menurut Reese & Wright untuk tiang bor adalah 0.55 Faktor adhesi menurut Kulhawy ditampilkan pada Gambar 2.6
N	=	Nilai N-SPT tanah
Δl	=	Kedalaman tiang yang ditinjau



Gambar 2. 6 Faktor Adhesi Menurut Kulhawy

B. Perhitungan daya dukung tiang kelompok

Perhitungan daya dukung tiang kelompok perlu dikoreksi terhadap efisiensi tiang dalam grup. Efisiensi tersebut dapat dihitung dengan 3 persamaan berikut

i. Seiler-Keeney *Formula*

$$E_{ff} = 1 - \left\{1 - \left[\left(\frac{36s}{75s^2 - 7}\right) \times \left(\frac{m + n - 2}{m + n - 1}\right)\right]\right\} + \frac{0.3}{m + n} \quad (2.\ 64)$$

ii. Converse – Labarre

$$C_e = 1 - \frac{\tan^{-1}\left(\frac{\Phi}{S}\right)}{90°} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \quad (2.\ 65)$$

iii. Los Angeles

$$C_e = 1 - \frac{B}{L} \times \frac{1}{\pi\, m\, n}\left[\begin{matrix} m(n-1) + n(m-1) + \\ \sqrt{2\,(m-1)\,(n-1)} \end{matrix}\right] \quad (2.66)$$

Keterangan pada Persamaan 2.64 hingga Persamaan 2.66:

S = Jarak antar pondasi tiang
m = Jumlah baris pondasi tiang dalam grup
n = Jumlah kolom pondasi tiang dalam grup
ϕ = Diameter pondasi tiang
B = Lebar grup tiang
L = Panjang grup tiang

C. Kontrol Beban Maksimum dan Minimum 1 Pondasi Tiang

Perhitungan besarnya beban maksimum 1 pondasi tiang dapat menggunakan Persamaan 2.67 berikut:

$$P_{max,min} = \frac{P_u}{n} \pm \frac{M_y . X_{max}}{\sum X^2} \pm \frac{M_x . Y_{max}}{\sum Y^2} \quad (2.67)$$

D. Kontrol Gaya Lateral Pada Pondasi Tiang

Pondasi tiang perlu dirancang untuk mampu menahan gaya lateral yang bekerja. Berikut prosedur kontrol gaya lateral pada pondasi tiang:

i. Menghitung Faktor Kekakuan Relatif

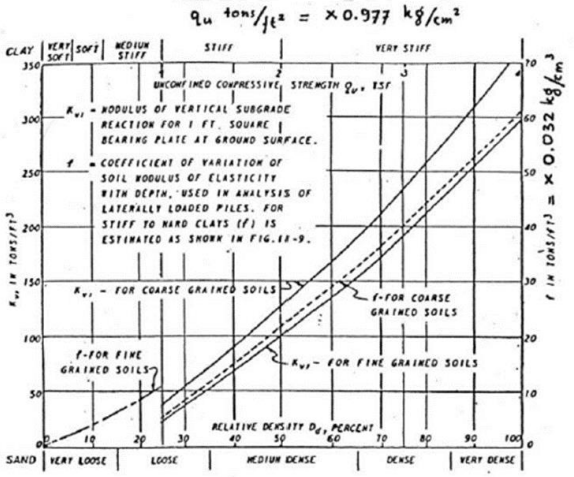
Faktor kekakuan relatif (T) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.68 berikut:

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{0.2} \quad (2.68)$$

Keterangan pada Persamaan 2.68:

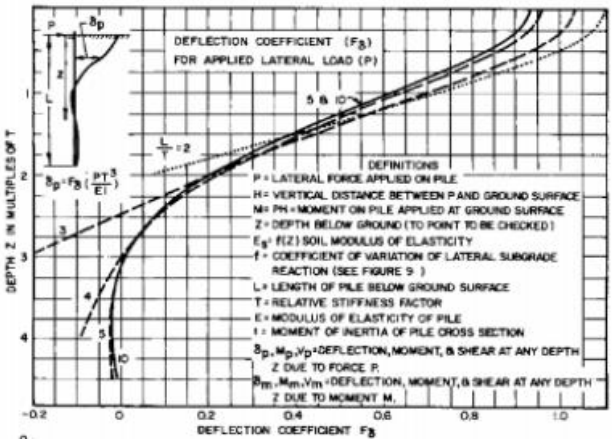
T = Faktor kekakuan relatif
E = Modulus elastisitas pondasi tiang
I = Momen inersia pondasi tiang

f = Koefisien variasi untuk pondasi tiang yang menerima beban lateral. Harga f didapat dari plotting grafik pada Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Koefisien Variasi Untuk Pondasi Tiang yang Menerima Beban Lateral (f)
(NAVFAC DM-7, 1971) dalam (Aini, 2017)

ii. Menentukan koefisien defleksi F_δ berdasarkan Gambar 2.8



Gambar 2. 8 Koefisien Defleksi F_δ
(NAVFAC DM-7, 1971) dalam (Aini, 2017)

iii. Menghitung Defleksi Tiang

Perhitungan defleksi dapat menggunakan Persamaan 2.69 berikut:

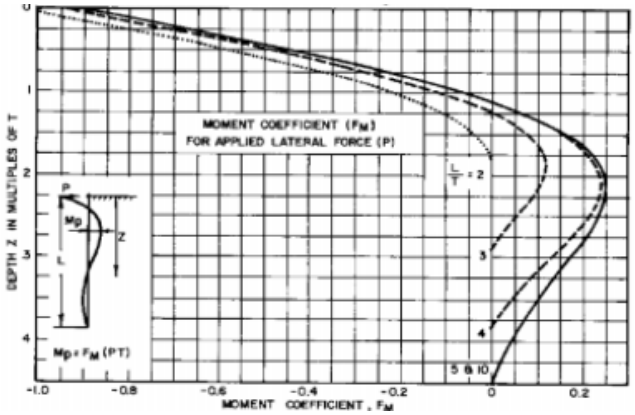
$$\delta_p = F_\delta \times \left(\frac{PT}{EI}\right)^3 \qquad (2.\ 69)$$

Keterangan:

F_δ = Koefisien defleksi (Gambar 2.8)
PT = Besar total gaya lateral yang bekerja
I = Momen inersia pondasi tiang
E = Modulus elastisitas tiang

Defleksi pondasi tiang yang terjadi (δ_p) harus tidak lebih dari 12mm untuk gempa rencana dan 25 mm untuk gempa kuat dalam kondisi tiang tunggal dan *free head* (SNI 8640:2017)

iv. Menentukan koefisien momen (F_M) berdasarkan Gambar 2.9



Gambar 2. 9 Koefien Momen (F_M) Pada Pondasi Tiang (NAVFAC DM-7, 1971) dalam (Aini, 2017)

v. Menghitung besar momen pada tiang

Perhitungan besar momen dapat menggunakan Persamaan 2.70 berikut:

$$M_p = F_M(PT) \qquad (2.\ 70)$$

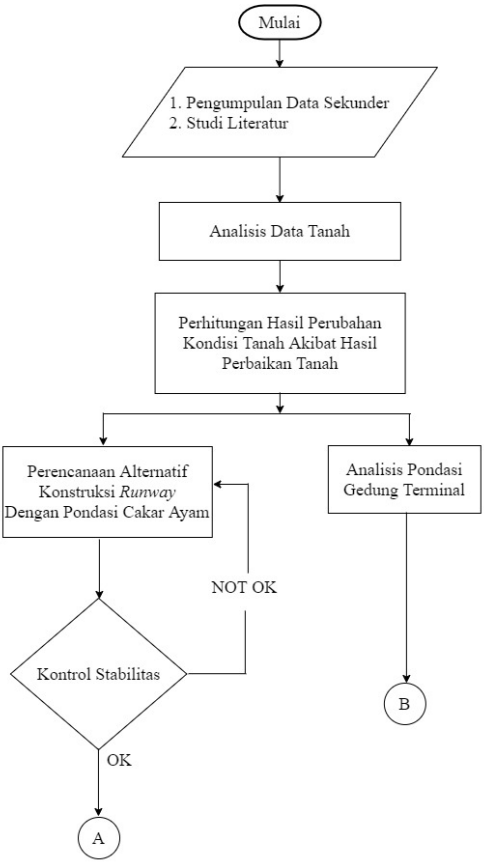
Keterangan:

F_M = Koefisien momen (Gambar 2.9)
PT = Besar total gaya lateral yang bekerja

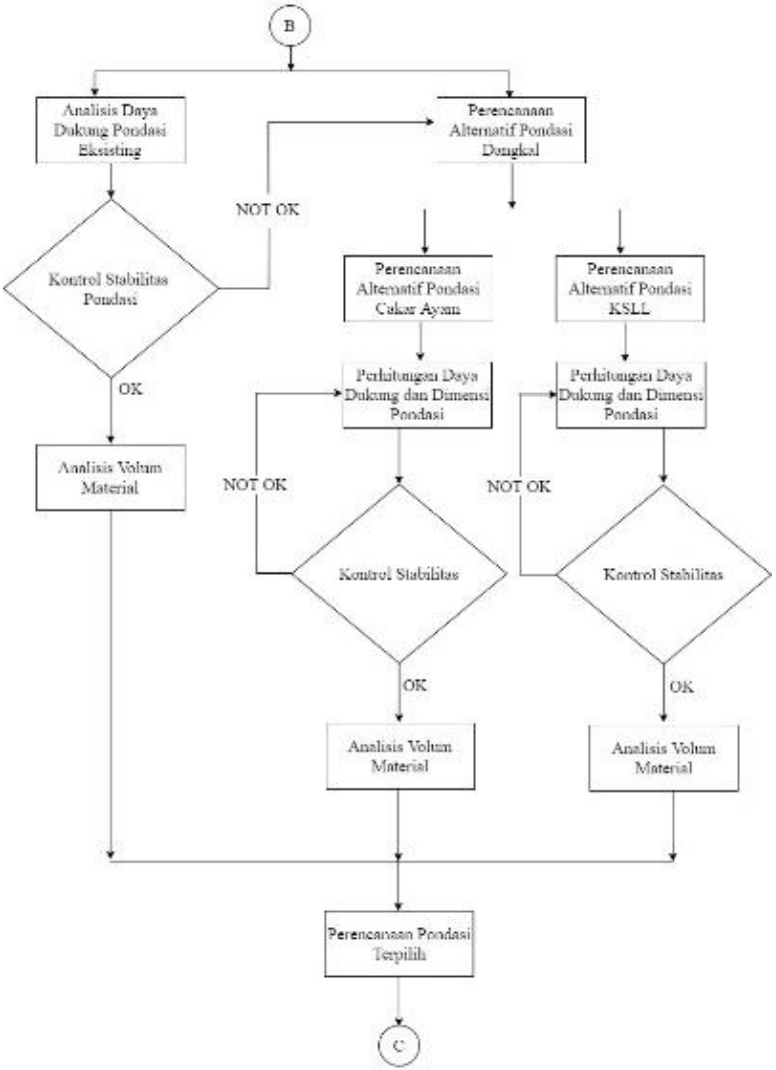
BAB III
METODOLOGI

3.1. Diagram Alir

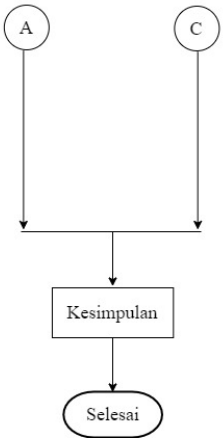
Berikut merupakan diagram alir pengerjaan Tugas Akhir ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

3.2. Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

Berdasarkan diagram alir di atas dapat dijabarkan metodologi yang dipakai dalam penyusunan tugas akhir berikut:

1. Pengumpulan Data Sekunder

Mengumpulkan data – data sekunder sebagai berikut:

a. Data tanah sekunder (data borlog SPT)
b. Data gempa (*PGA*)
c. Data *layout* perancangan bandara
d. Data struktural gedung terminal (reaksi maksimum yang dihasilkan oleh kolom)
e. Data perencanaan pondasi pada gedung terminal (denah pondasi, konfigurasi pondasi)
f. Data *cross section runway*

2. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mencari referensi teori yang relevan dengan rumusan masalah yang akan dipecahkan. Referensi ini dapat melalui buku, jurnal, prosiding, artikel, atau laporan penelitian sebelumnya.

Hasil yang diharapkan dari studi literatur ini adalah:

a. Teori korelasi parameter fisis tanah
b. Teori analisis klasifikasi lapisan tanah yang berpotensi likuifaksi
c. Teori perencanaan dan kontrol pondasi dangkal
d. Teori perencanaan dan kontrol pondasi dalam

3. Analisis Data Tanah

Analisis data tanah untuk menentukan jenis dan parameter fisis tanah yang belum diketahui pada hasil pengujian tanah. Parameter fisis tanah didapatkan dengan korelasi antara harga N-SPT di lapangan berdasarkan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3. Parameter fisis yang didapatkan adalah berat volum tanah (γ), sudut geser tanah (ϕ), *relative density* (Dr). Metode korelasi parameter fisis tanah yang digunakan merujuk pada sub bab 2.1.2.

Dalam analisis data tanah juga dilakukan klasifikasi lapisan likuifaksi berdasarkan metode Idriss & Boulanger (2014). Dalam analisis klasifikasi lapisan likuifaksi perlu menghitung CRR, CSR, dan SF_{liq}. Lapisan tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi jika $SF_{liq} = \frac{CRR_M}{CSR} < 1$. Metode klasifikasi lapisan likuifaksi yang digunakan merujuk pada sub bab 2.2.

4. Perhitungan Hasil Perbaikan Tanah Akibat Metode *Dynamic Compaction* dan *Rapid Impulse Compaction*

Perhitungan hasil perbaikan tanah berguna untuk menentukan parameter fisis tanah yang baru setelah dilakukan pemadatan dengan metode *dynamic compaction* dan *rapid impulse compaction* yang telah dilakukan. Parameter tersebut didapatkan dari hasil korelasi data N-SPT baru hasil pemadatan berdasarkan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3. Parameter fisis yang didapatkan adalah berat volum tanah (γ), sudut geser tanah (ϕ), *relative density* (Dr). Metode korelasi parameter fisis tanah yang digunakan merujuk pada sub bab 2.1.2. Di samping itu, perlu menganalisis kedalaman likuifaksi pada tanah yang sudah diperbaiki tersebut. Metode klasifikasi lapisan likuifaksi yang digunakan merujuk pada sub bab 2.2.

5. Perencanaan Alternatif Konstruksi *Runway* Dengan Pondasi Cakar Ayam

Dalam perencanaan alternatif konstruksi *runway* dengan pondasi cakar ayam dilakukan:

a. Perhitungan daya dukung pondasi
b. Perhitungan dimensi pelat beton dan pipa-pipa beton
c. Perhitungan penurunan pondasi

Metode yang digunakan pada tahapan ini merujuk pada sub bab 2.4.1

6. Kontrol Stabilitas Pondasi Cakar Ayam Pada *Runway*

Dalam tahapan tersebut dilakukan:

a. Kontrol stabilitas daya dukung tanah

b. Kontrol penurunan pondasi

7. Analisis Pondasi Eksisting

Analisis pondasi eksisting ditujukan untuk mengevaluasi apakah daya dukung pondasi eksisting yang direncanakan sudah kuat terhadap bahaya potensi likuifaksi dan beban aksial yang ditumpu. Hal ini disebabkan dalam perhitungan daya dukung pondasi yang berada pada lapisan likuifaksi tidak memerhatikan ketahanan *friction* pada tanah tersebut. Pondasi eksisting yang digunakan adalah pondasi *bored pile*, maka dalam analisis evaluasinya menggunakan metode pondasi dalam (Sub bab 2.4.2)

8. Kontrol Pondasi Eksisting

a. Kontrol daya dukung tanah akibat likuifaksi
b. Perbandingan daya dukung tanah menggunakan data tanah sebelum dan sesudah perbaikan
c. Kontrol defleksi pada pondasi tiang
d. Kontrol momen lateral pada pondasi tiang

Perhitungan ini berdasarkan metode pada sub bab 2.4.2.

9. Perencanaan Alternatif Pondasi Cakar Ayam Pada Gedung Terminal

Dalam perencanaan alternatif pondasi gedung terminal dengan pondasi cakar ayam dilakukan:

a. Perhitungan daya dukung pondasi
b. Perhitungan dimensi pelat beton dan pipa-pipa beton
c. Perhitungan penurunan pondasi

Metode yang digunakan pada tahapan ini merujuk pada sub bab 2.4.1

10. Perencanaan Alternatif Pondasi Sarang Laba-Laba Pada Gedung Terminal

Dalam perencanaan alternatif pondasi gedung terminal dengan pondasi sarang laba-laba dilakukan:

a. Perhitungan daya dukung pondasi
b. Perhitungan dimensi rib-rib beton
c. Perhitungan penurunan pondasi

Metode yang digunakan pada tahapan ini merujuk pada sub bab 2.4.1

11. Kontrol daya dukung pondasi dan *settlement* pondasi dangkal

Dalam tahapan ini menganalisis:

a. Kontrol stabilitas daya dukung tanah
b. Kontrol *settlement* pondasi

12. Analisis Volum Material

Analisis volum material dilakukan guna memilih alternatif yang akan digunakan. Analisis ini dibatasi dengan menghitung volum material tanpa memerhatikan volum dan biaya pekerja serta metode atau peralatan yang digunakan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV
ANALISIS DATA TANAH

4.1. Sumber Data Tanah

Seperti yang diketahui sebelumnya bahwa pada lokasi studi telah dilakukan perbaikan tanah. Metode yang digunakan adalah *Rapid Impulse Compaction* untuk gedung terminal dan *Dynamic Compaction* untuk *runway*. Data tanah yang digunakan adalah berupa data *bore log*. Hal ini dikarenakan dalam proyek yang dilakukan hanya bor dangkal sehingga hanya diketahui nilai N-SPT. Selanjutnya, dari hasil pengujian *bore log* dilakukan korelasi harga N-SPT untuk mendapatkan parameter-parameter fisis seperti sudut geser tanah, berat jenis tanah, kerapatan relatif. Data hasil pengujian *bore log* dapat dilihat pada Lampiran.

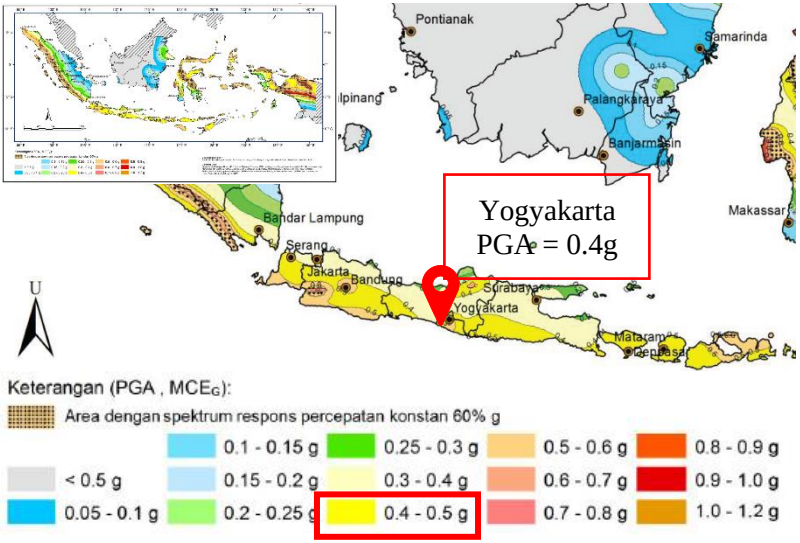
Lokasi perencanaan berada di Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta. Titik pengujian *bore log* pada area gedung terminal ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan pada area *runway* hanya terdapat satu titik uji. Hasil pengujian menunjukkan tanah didominasi oleh tanah pasir yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 yang menunjukkan grafik N-SPT pada seluruh titik pengujian *bore log*. Selain itu, pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa lokasi tersebut memiliki nilai PGA sebesar 0.4 g (SNI 1726:2012). Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis likuifaksi pada lokasi tersebut.

4.2. Analisis Data Tanah Sebelum Perbaikan Tanah

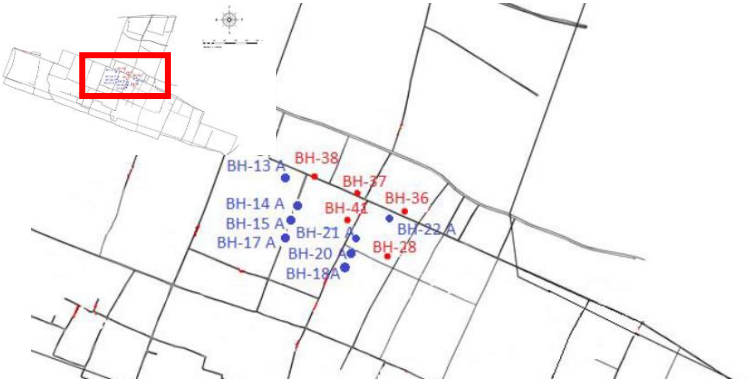
Data tanah yang didapatkan hanya berupa nilai N-SPT tanpa hasil uji laboratorium, maka untuk mendapatkan nilai parameter fisis tanah yang digunakan untuk merencanakan daya dukung Pondasi dilakukan tahapan sebagai berikut:

1. Membuat statigrafi tanah pada potongan-potongan titik penyelidikan tanah seperti pada Gambar 4.6
2. Membuat grafik gabungan antara N-SPT dan kedalaman untuk masing-masing potongan pada Gambar 4.7
3. Menetapkan lapisan yang homogen berdasarkan jenis tanah dan konsistensinya dari hasil poin 1 dan 2

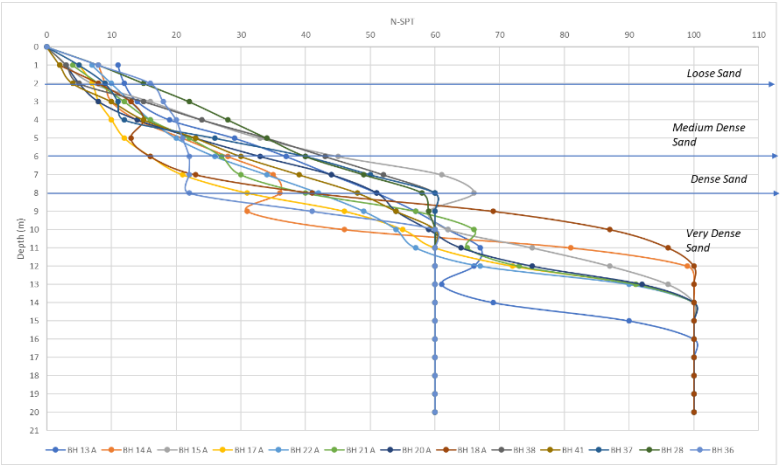
4. Mencari nilai N-SPT rata-rata untuk setiap lapisan tanah homogen
5. Mencari nilai koefisien variasi (COV), bila hasil pada point 4 kurang dari 20% maka nilai N-SPT rata-rata tersebut dapat digunakan sebagai nilai N-SPT pada kedalaman tersebut
6. Mencari parameter fisis lainnya yang dibutuhkan seperti berat jenis γ, sudut geser tanah ϕ, *relative density* (Dr), modulus elastisitas tanah E_s, *Poisson's ratio* ν untuk digunakan dalam perencanaan daya dukung pondasi.



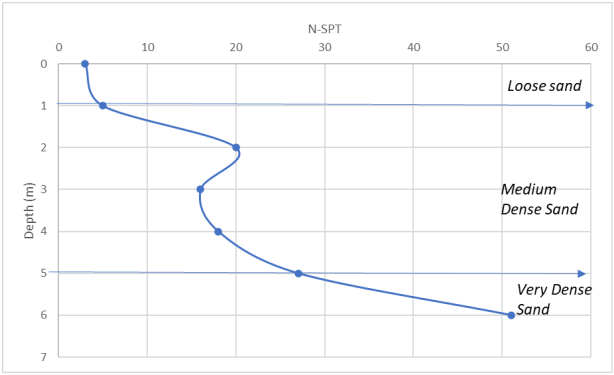
Gambar 4. 1 Peta PGA Lokasi
Sumber: SNI 1726:2012



Gambar 4. 2 Lokasi Titik Pengujian *Bore Log* Pada Gedung Terminal
Sumber: Dokumen Proyek



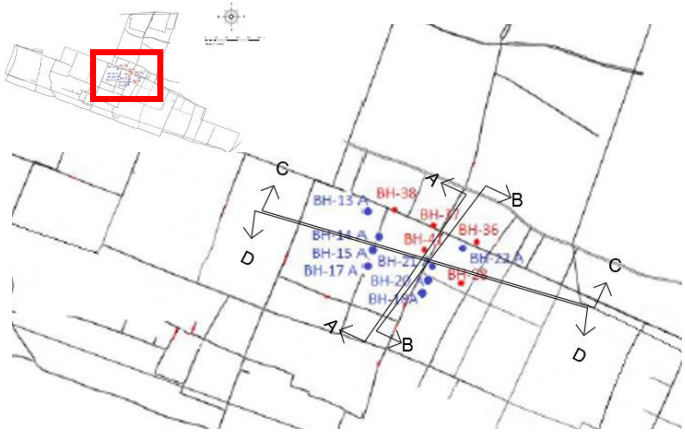
Gambar 4. 3 N-SPT Seluruh Titik Pengujian Pada Area Gedung Terminal



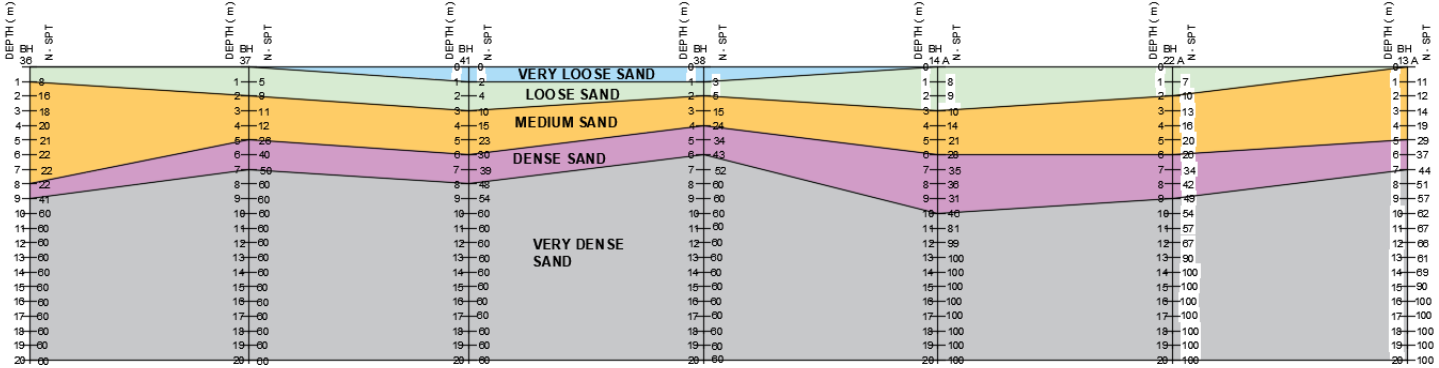
Gambar 4. 4 N-SPT Pada Area *Runway*

4.2.1 Analisis Data Tanah Pada Area Gedung Terminal

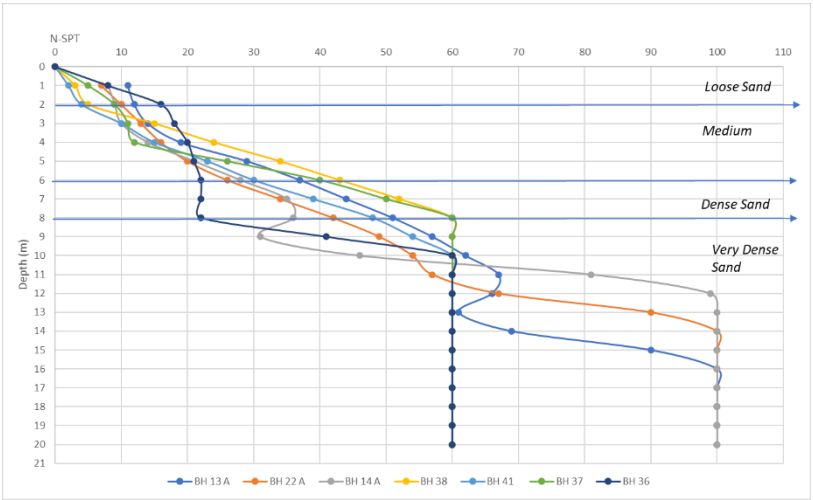
Pada area gedung terminal terdapat 13 titik uji *bore log*, maka dilakukan zonasi untuk menganalisis data tanah tersebut. Zonasi pada area gedung terminal dapat dilihat pada Gambar 4.5. Data tanah terdapat pada Lampiran. Berikut contoh perhitungan pada potongan C-C.



Gambar 4. 5 Rencana Zonasi Statigrafi Titik Uji *Bore Log* Pada Area Gedung Terminal



Gambar 4. 6 Statigrafi Tanah Potongan C-C



Gambar 4. 7 N-SPT Potongan C-C

Kelompok data yang terdapat pada zona potongan C-C adalah BH 36, BH 37, BH 41, BH 38, BH 14A, BH 22A, dan BH 13A. Berdasarkan statigrafi tanah pada Gambar 4.6 dan grafik N-SPT pada Gambar 4.7, dapat dilakukan analisis COV terhadap kelompok-kelompok data tersebut. Berikut merupakan contoh analisis pada kelompok data BH 14A, BH 22A, dan BH 13A.

1. Menghitung rata-rata N-SPT

Pada kedalaman 3-4 meter dan konsistensi *Medium*:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$

$$= \frac{10 + 14 + 13 + 16 + 14 + 19}{6}$$

$$= 14.333$$

2. Menghitung standar deviasi (s)
Pada kedalaman 3-4 meter dan konsistensi *Medium*:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$
$$= 2.749$$

3. Menghitung koefisien variasi (COV)

$$COV = \frac{s}{\bar{x}}$$
$$= \frac{2.749}{14.333}$$
$$= 19\%$$

Pada perhitungan di atas, nilai COV kurang dari 20%. Maka, kelompok data tersebut dinyatakan homogen.

4. Menghitung N-SPT gabungan
Pada poin 3 menyebutkan bahwa nilai COV < 20% dan lapisan pada kedalaman 3-4 meter dinyatakan homogen, maka untuk nilai N-SPT rata-rata pada kedalaman 3-4 meter = 14.333 ≈ 15. Pada Tabel 4.3 berikut merupakan hasil analisis COV pada BH 13A, BH 14A, dan BH 22A.

5. Menghitung korelasi parameter fisis
Korelasi parameter fisis tanah dilakukan berdasarkan korelasi parameter fisis pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 dengan nilai N-SPT gabungan. Korelasi statistik dilakukan dengan menetapkan nilai batas atas dan batas bawah untuk setiap parameter.

Tabel 4. 1 Korelasi Parameter Fisis Tanah Berdasarkan N-SPT ((Bowles, 1984) dalam (Kurniawan, 2017))

Cohesionless Soil / Soil Pulverulent					
N (*blows*)	0 - 3	4 - 10	11 - 30	31 - 50	>50
ɣ (kN/m^3)	-	12 - 16	14 - 18	16 - 20	18 - 23
φ (^{o})	-	25 - 32	28 - 36	30 - 40	>35
State	*Very Loose*	*Loose*	*Medium*	*Dense*	*Very Dense*
Dr (%)	0 - 15	15 - 35	35 - 65	65 - 85	85 - 100

Tabel 4. 2 Harga Modulus Elastisitas dan *Poisson's Ratio* Untuk Berbagai Jenis Tanah (Das B. , 2007)

Type of Soil	Modulus of Elasticity, (Es) (MN/m^2)	Poisson's ratio μ_s
Loose sand	10 - 25	0.20 - 0.40
Medium dense sand	15 - 30	0.25 - 0.40
Dense sand	35 - 55	0.30 - 0.45
Silty sand	10 - 20	0.20 - 0.30
Sand and gravel	70 - 170	0.15 - 0.35
Soft clay	4 - 20	
Medium clay	20 - 40	0.20 - 0.50
Stiff Clay	40 - 100	

Berikut contoh perhitungan korelasi parameter fisis tanah:

N-SPT rata-rata = 15

$$\gamma = \left(\frac{15-4}{50-4} \times (20-12)\right) + 12$$

$$= 14.783 \ {}^{\mathrm{kN}}/_{\mathrm{m}^3}$$

$$\phi = \left(\frac{15-4}{50-4} \times (40° - 25°)\right) + 25°$$

$$= 30.217$$

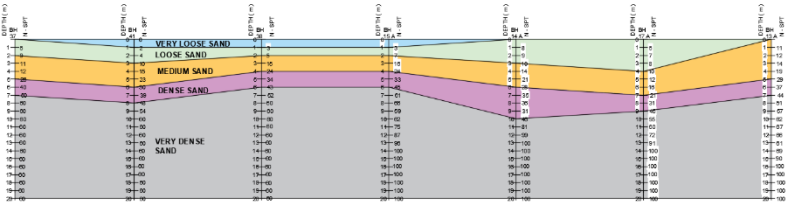
$$D_r = \frac{15-0}{50-0} \times (100-0)$$
$$= 40\%$$
$$E = \left(\frac{15-4}{50-4} \times (55-10)\right) + 10$$
$$= 25.652 \ {}^{MN}/_{m^2}$$
$$\nu = \left(\frac{15-4}{50-4} \times (0.45-0.2)\right) + 0.2$$
$$= 0.287$$

Hal yang sama dilakukan untuk semua zonasi dan kelompok data. Berikut merupakan rekapitulasi analisis COV dan korelasi parameter fisis pada setiap zonasi:

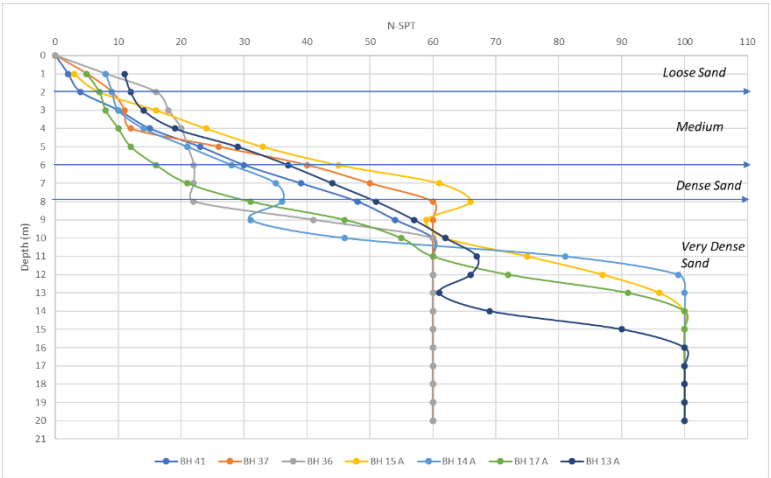
Tabel 4. 3 Hasil Analisis COV pada BH 13A, BH 14A, dan BH 22A

Depth (m)	BH 14 A			BH 22 A			BH 13 A			mean	stdev	CV	SPT Value	Jenis Tanah	Consistency
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency						
0	0	Pasir			Pasir			Pasir						Pasir	
1	8	Pasir	LOOSE	7	Pasir	LOOSE	11	Pasir	MEDIUM	9.5	1.708	18%	10	Pasir	LOOSE
2	9	Pasir	LOOSE	10	Pasir	LOOSE	12	Pasir	MEDIUM				10	Pasir	LOOSE
3	10	Pasir	LOOSE	13	Pasir	MEDIUM	14	Pasir	MEDIUM	14.33333	2.749	19%	15	Pasir	MEDIUM
4	14	Pasir	MEDIUM	16	Pasir	MEDIUM	19	Pasir	MEDIUM				15	Pasir	MEDIUM
5	21	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM	29	Pasir	MEDIUM	24.8	3.655	15%	24	Pasir	MEDIUM
6	28	Pasir	MEDIUM	26	Pasir	MEDIUM	37	Pasir	DENSE				27	Pasir	MEDIUM
7	35	Pasir	DENSE	34	Pasir	DENSE	44	Pasir	DENSE	42.11111	8.359	20%	43	Pasir	DENSE
8	36	Pasir	DENSE	42	Pasir	DENSE	51	Pasir	VERY DENSE				43	Pasir	DENSE
9	31	Pasir	DENSE	49	Pasir	DENSE	57	Pasir	VERY DENSE				43	Pasir	DENSE
10	46	Pasir	DENSE	54	Pasir	VERY DENSE	62	Pasir	VERY DENSE	61.16667	11.006	18%	62	Pasir	VERY DENSE
11	81	Pasir	VERY DENSE	57	Pasir	VERY DENSE	67	Pasir	VERY DENSE				62	Pasir	VERY DENSE
12	99	Pasir	VERY DENSE	67	Pasir	VERY DENSE	66	Pasir	VERY DENSE	94.14815	12.177	13%	95	Pasir	VERY DENSE
13	100	Pasir	VERY DENSE	90	Pasir	VERY DENSE	61	Pasir	VERY DENSE				95	Pasir	VERY DENSE
14	100	Pasir	VERY DENSE	100	Pasir	VERY DENSE	69	Pasir	VERY DENSE				95	Pasir	VERY DENSE
15	100	Pasir	VERY DENSE	100	Pasir	VERY DENSE	90	Pasir	VERY DENSE				95	Pasir	VERY DENSE
16	100	Pasir	VERY DENSE	100	Pasir	VERY DENSE	100	Pasir	VERY DENSE				95	Pasir	VERY DENSE
17	100	Pasir	VERY DENSE	100	Pasir	VERY DENSE	100	Pasir	VERY DENSE				95	Pasir	VERY DENSE
18	100	Pasir	VERY DENSE	100	Pasir	VERY DENSE	100	Pasir	VERY DENSE				95	Pasir	VERY DENSE
19	100	Pasir	VERY DENSE	100	Pasir	VERY DENSE	100	Pasir	VERY DENSE				95	Pasir	VERY DENSE
20	100	Pasir	VERY DENSE	100	Pasir	VERY DENSE	100	Pasir	VERY DENSE				95	Pasir	VERY DENSE

a. Potongan A-A



Gambar 4. 8 Statigrafi Data Tanah Potongan A-A



Gambar 4. 9 N-SPT Potongan A-A

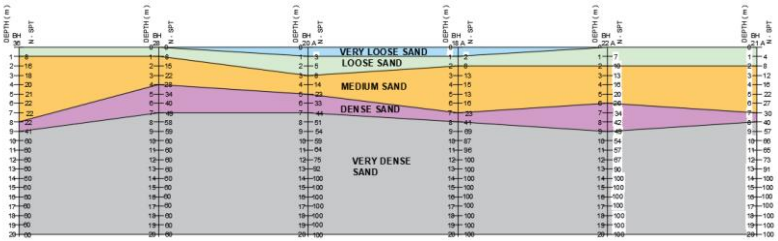
Tabel 4. 4 Hasil Analisis Gabungan BH 15A, BH 13A, BH 14A, BH 17A

Depth (m)	BH 15 A x 13 A x 14 A x 17 A			γ (kN/m^3)	ϕ	Dr %	E (MN/m2)	Poisson Ratio
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency					
0	0	Pasir	VERY LOOSE	12	25	0	10	0.2
1	3	Pasir	VERY LOOSE	12	25	6	10	0.2
2	8	Pasir	LOOSE	12.86957	26.63043	18	14.89130435	0.227173913
3	8	Pasir	LOOSE	12.86957	26.63043	18	14.89130435	0.227173913
4	10	Pasir	LOOSE	12.86957	26.63043	18	14.89130435	0.227173913
5	21	Pasir	MEDIUM	15.30435	31.19565	46	28.58695652	0.30326087
6	24	Pasir	MEDIUM	15.30435	31.19565	46	28.58695652	0.30326087
7	24	Pasir	MEDIUM	15.30435	31.19565	46	28.58695652	0.30326087
8	36	Pasir	DENSE	18.26087	36.73913	80	45.2173913	0.395652174
9	36	Pasir	DENSE	18.26087	36.73913	80	45.2173913	0.395652174
10	46	Pasir	DENSE	18.26087	36.73913	80	45.2173913	0.395652174
11	81	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
12	81	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
13	81	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
14	96	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
15	96	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
16	96	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
17	96	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
18	96	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
19	96	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
20	96	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45

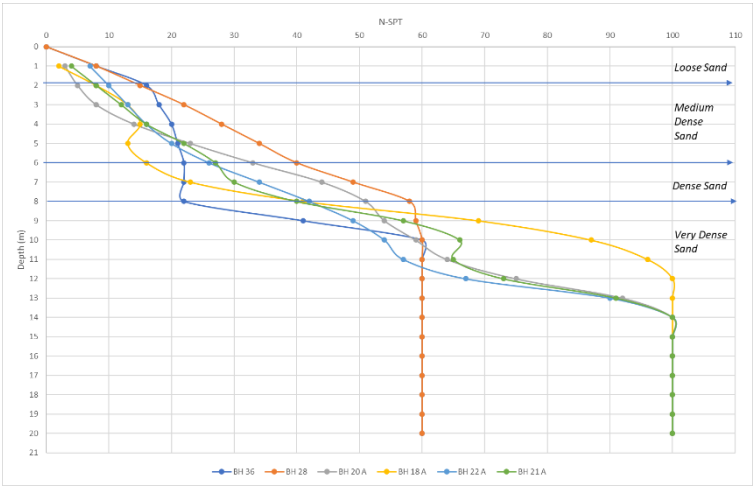
Tabel 4. 5 Hasil Analisis Gabungan BH 36, BH 41, BH 37

Depth (m)	BH 36 x 41 x 37			γ (kN/m^3)	ϕ	Dr %	E (MN/m2)	Poisson Ratio
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency					
0	0	Pasir	VERY LOOSE	12	25	0	10	0.2
1	2	Pasir	VERY LOOSE	12	25	4	10	0.2
2	10	Pasir	LOOSE	13.04348	26.95652	20	15.86957	0.232608696
3	10	Pasir	LOOSE	13.04348	26.95652	20	15.86957	0.232608696
4	17	Pasir	MEDIUM	15.13043	30.86957	44	27.6087	0.297826087
5	23	Pasir	MEDIUM	15.13043	30.86957	44	27.6087	0.297826087
6	26	Pasir	MEDIUM	15.13043	30.86957	44	27.6087	0.297826087
7	22	Pasir	MEDIUM	15.13043	30.86957	44	27.6087	0.297826087
8	22	Pasir	MEDIUM	15.13043	30.86957	44	27.6087	0.297826087
9	41	Pasir	DENSE	18.43478	37.06522	82	46.19565	0.401086957
10	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
11	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
12	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
13	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
14	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
15	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
16	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
17	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
18	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
19	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
20	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45

b. Potongan B-B



Gambar 4. 10 Statigrafi Data Tanah Potongan B-B



Gambar 4. 11 N-SPT Potongan B-B

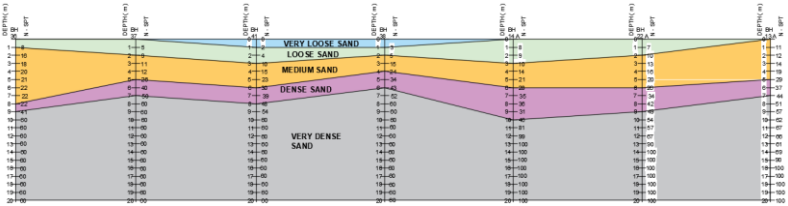
Tabel 4. 6 Hasil Analisis Gabungan BH 36 dan BH 28

Depth (m)	BH 36 x BH 28			γ (kN/m^3)	ϕ	Dr %	E (MN/m2)	Poisson Ratio
	SPT Values	Consistency	Jenis Tanah					
0	0	VERY LOOSE	Pasir	12	25	0	10	0.2
1	8	LOOSE	Pasir	12.696	26.304	16	13.913	0.222
2	18	MEDIUM	Pasir	14.957	30.543	42	26.6304	0.292
3	18	MEDIUM	Pasir	14.957	30.543	42	26.6304	0.292
4	24	MEDIUM	Pasir	14.957	30.543	42	26.6304	0.292
5	21	MEDIUM	Pasir	14.957	30.543	42	26.6304	0.292
6	22	MEDIUM	Pasir	14.957	30.543	42	26.6304	0.292
7	22	MEDIUM	Pasir	14.957	30.543	42	26.6304	0.292
8	58	VERY DENSE	Pasir	23.000	40.000	100	55.0000	0.450
9	58	VERY DENSE	Pasir	23.000	40.000	100	55.000	0.450
10	58	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
11	58	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
12	58	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
13	58	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
14	58	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
15	58	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
16	58	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
17	58	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
18	58	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
19	58	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
20	58	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45

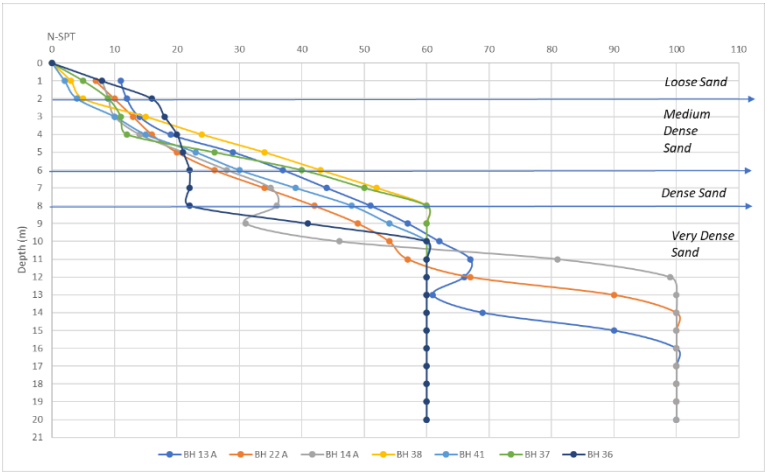
Tabel 4. 7 Hasil Analisis Gabungan BH 18A, BH 20A, BH 21A, BH 22A

Depth (m)	BH 18 A x 20 A x 21 A x 22 A			γ (kN/m^3)	ϕ	Dr %	E (MN/m2)	Poisson Ratio
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency					
0	0	Pasir	VERY LOOSE	12	25	0	10	0.2
1	3	Pasir	VERY LOOSE	12	25	6	10	0.2
2	10	Pasir	LOOSE	12.8696	26.6304	18	14.891	0.227
3	8	Pasir	LOOSE	12.8696	26.6304	18	14.891	0.227
4	15	Pasir	MEDIUM	15.478	31.522	48	29.5652	0.309
5	26	Pasir	MEDIUM	15.478	31.522	48	29.5652	0.309
6	26	Pasir	MEDIUM	15.478	31.522	48	29.5652	0.309
7	26	Pasir	MEDIUM	15.478	31.522	48	29.5652	0.309
8	54	Pasir	VERY DENSE	23.0000	40.0000	100	55.000	0.450
9	54	Pasir	VERY DENSE	23.0000	40.0000	100	55.000	0.450
10	94	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
11	94	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
12	94	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
13	94	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
14	94	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
15	94	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
16	94	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
17	94	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
18	94	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
19	94	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
20	94	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45

c. Potongan C-C



Gambar 4. 12 Statigrafi Data Tanah Potongan C-C



Gambar 4. 13 N-SPT Potongan C-C

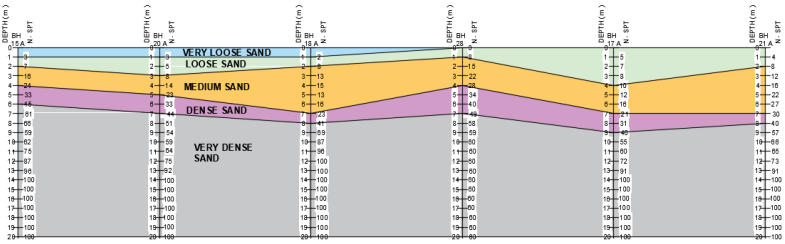
Tabel 4. 8 Hasil Analisis Gabungan BH 37 dan BH 41

Depth (m)	BH 37 x 41			ɣ (kN/m^3)	ϕ	Dr %	E (MN/m2)	Poisson Ratio
	SPT Values	Consistency	Jenis Tanah					
0	0	VERY LOOSE	Pasir	12	25	0	10	0.2
1	2	VERY LOOSE	Pasir	12	25	4	10	0.2
2	7	LOOSE	Pasir	13.0435	26.9565	20	15.870	0.233
3	12	MEDIUM	Pasir	14.2609	29.2391	34	22.717	0.271
4	12	MEDIUM	Pasir	14.261	29.239	34	22.717	0.271
5	25	MEDIUM	Pasir	14.261	29.239	34	22.717	0.271
6	40	DENSE	Pasir	18.261	36.739	80	45.217	0.396
7	40	DENSE	Pasir	18.261	36.739	80	45.217	0.396
8	60	VERY DENSE	Pasir	23.000	40.000	100	55.000	0.450
9	60	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
10	60	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
11	60	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
12	60	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
13	60	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
14	60	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
15	60	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
16	60	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
17	60	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
18	60	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
19	60	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
20	60	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45

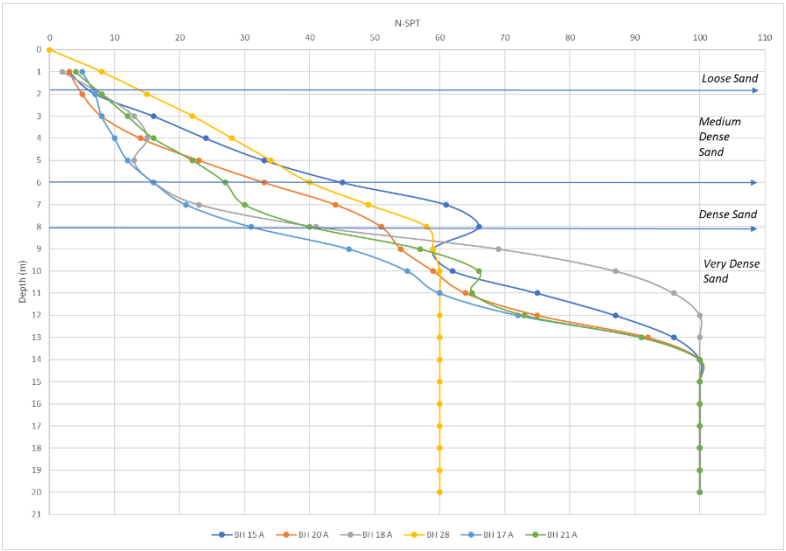
Tabel 4. 9 Hasil Analisis Gabungan BH 14A, BH 22A, BH 13A

Depth (m)	BH 14 A x 22 A x 13 A			ɣ (kN/m^3)	ϕ	Dr %	E (MN/m2)	Poisson Ratio
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency					
0	0	Pasir	VERY LOOSE	12	25	0	10	0.2
1	10	Pasir	LOOSE	13.0435	26.9565	20	15.870	0.233
2	10	Pasir	LOOSE	13.0435	26.9565	20	15.870	0.233
3	15	Pasir	MEDIUM	14.783	30.217	40	25.6522	0.287
4	15	Pasir	MEDIUM	14.783	30.217	40	25.6522	0.287
5	25	Pasir	MEDIUM	14.783	30.217	40	25.6522	0.287
6	25	Pasir	MEDIUM	14.783	30.217	40	25.6522	0.287
7	43	Pasir	DENSE	18.783	37.717	86	48.152	0.4120
8	43	Pasir	DENSE	18.783	37.717	86	48.152	0.4120
9	43	Pasir	DENSE	18.783	37.717	86	48.152	0.4120
10	62	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
11	62	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
12	95	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
13	95	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
14	95	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
15	95	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
16	95	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
17	95	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
18	95	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
19	95	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
20	95	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45

d. Potongan D-D



Gambar 4. 14 Statigrafi Data Tanah Potongan D-D



Gambar 4. 15 N-SPT Potongan D-D

Tabel 4. 10 Hasil Analisis Gabungan BH 15A, BH 18A, BH 20A, BH 21A, BH 22A

Depth (m)	BH 15 A x 18 A x 20 A x 21 A x 17 A			γ (kN/m^3)	ϕ	Dr %	E (MN/m2)	Poisson Ratio
	SPT Values	Consistency	Jenis Tanah					
0	0	VERY LOOSE	Pasir	12	25	0	10	0.2
1	3	VERY LOOSE	Pasir	12	25	6	10	0.2
2	9	LOOSE	Pasir	12.8696	26.6304	18	14.891	0.227
3	8	LOOSE	Pasir	12.8696	26.6304	18	14.891	0.227
4	10	LOOSE	Pasir	12.8696	26.6304	18	14.891	0.227
5	17	MEDIUM	Pasir	14.609	29.891	38	24.674	0.282
6	17	MEDIUM	Pasir	14.609	29.891	38	24.674	0.282
7	23	MEDIUM	Pasir	14.609	29.891	38	24.674	0.282
8	40	DENSE	Pasir	18.261	36.739	80	45.217	0.396
9	89	VERY DENSE	Pasir	23.000	40.000	100	55.000	0.450
10	89	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
11	89	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
12	89	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
13	89	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
14	89	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
15	89	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
16	89	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
17	89	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
18	89	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
19	89	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45
20	89	VERY DENSE	Pasir	23	40	100	55	0.45

Tabel 4. 11 Hasil Analisis BH 28

Depth (m)	BH 28			γ (kN/m^3)	ϕ	Dr %	E (MN/m2)	Poisson Ratio
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency					
0	0	Pasir	VERY LOOSE	12	25	0	10	0.2
1	8	Pasir	LOOSE	12.696	26.304	16	13.913	0.222
2	15	Pasir	MEDIUM	15.1304	30.8696	44	27.609	0.298
3	22	Pasir	MEDIUM	15.1304	30.8696	44	27.609	0.298
4	28	Pasir	MEDIUM	15.1304	30.8696	44	27.609	0.298
5	34	Pasir	DENSE	18.435	37.065	82	46.196	0.401
6	40	Pasir	DENSE	18.435	37.065	82	46.196	0.401
7	49	Pasir	DENSE	18.435	37.065	82	46.196	0.401
8	58	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
9	59	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
10	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
11	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
12	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
13	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
14	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
15	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
16	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
17	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
18	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
19	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45
20	60	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45

4.2.2 Analisis Data Tanah Pada Area *Runway*

Pada area *runway* hanya terdapat satu titik pengujian *bore log*, maka hanya perlu dilakukan analisis korelasi N-SPT untuk mendapatkan parameter fisis tanah. Berikut pada merupakan contoh perhitungan korelasi parameter fisis pada data tanah area *runway*:

- Kedalaman 2-5 meter dengan konsistensi *medium sand*:

N-SPT rata-rata $= \frac{20 + 16 + 18 + 27}{4}$

$= 21$

$\gamma = \left(\frac{21 - 4}{50 - 4} \times (20 - 12)\right) + 12$

$= 14.957 \ {}^{\mathrm{kN}}/_{\mathrm{m}^3}$

$\phi = \left(\frac{21 - 4}{50 - 4} \times (40° - 25°)\right) + 25°$

$= 30.543$

$D_r = \frac{21 - 0}{50 - 0} \times (100 - 0)$

$= 42\%$

$E = \left(\frac{21 - 4}{50 - 4} \times (55 - 10)\right) + 10$

$= 26.630 \ {}^{\mathrm{MN}}/_{\mathrm{m}^2}$

$\nu = \left(\frac{21 - 4}{50 - 4} \times (0.45 - 0.2)\right) + 0.2$

$= 0.292$

Berikut pada Tabel 4.12 menunjukkan rekapitulasi hasil korelasi parameter fisis pada data tanah area *runway*.

Tabel 4. 12 Hasil Analisis Korelasi Parameter Fisis pada Data Tanah Area *Runway*

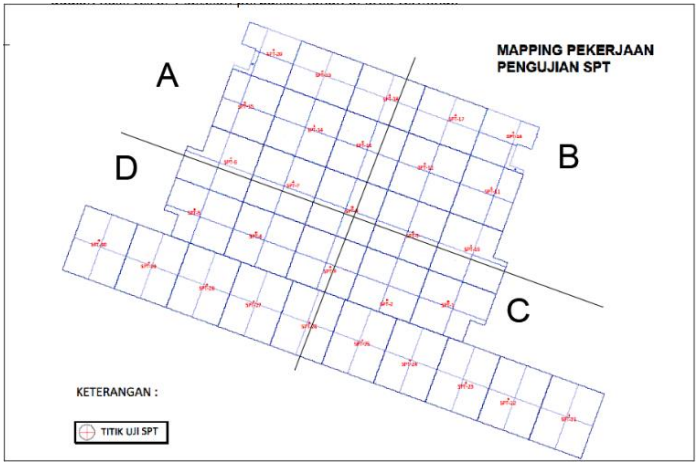
Depth (m)	N-SPT	Jenis Tanah	Consistency	γ (kN/m3)	ϕ (°)	Dr (%)	E (MN/m2)	Poisson ratio
0	3	Pasir	VERY LOOSE	12	25	6	10	0.2
1	5	Pasir	LOOSE	12.174	25.326	10	10.978	0.205
2	20	Pasir	MEDIUM	14.957	30.543	42	26.630	0.292
3	16	Pasir	MEDIUM	14.957	30.543	42	26.630	0.292
4	18	Pasir	MEDIUM	14.957	30.543	42	26.630	0.292
5	27	Pasir	MEDIUM	14.957	30.543	42	26.630	0.292
6	51	Pasir	VERY DENSE	23	40	100	55	0.45

4.3. Analisis Data Tanah Sesudah Perbaikan Tanah

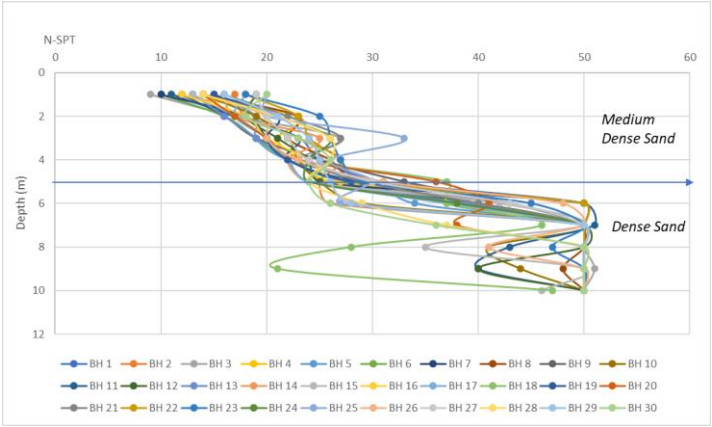
Perbaikan tanah dilakukan untuk mengurangi potensi likuifaksi yang akan terjadi. Perbaikan tanah dilakukan dengan cara memadatkan tanah dengan metode *Rapid Impulse Compaction* untuk area gedung terminal serta *Dynamic Compaction* untuk area *runway*. Perbaikan tanah ini berguna untuk meningkatkan kepadatan tanah. Apabila kepadatan tanah meningkat, parameter fisis tanah, seperti berat jenis tanah γ, kerapatan relatif (Dr), sudut geser ϕ, modulus elastisitas (E), dan Poisson's Ratio ν, akan meningkat. Rekapitulasi data borlog tanah setelah pemadatan dapat dilihat pada Lampiran.

4.3.1 Analisis Data Tanah Pada Area Gedung Terminal

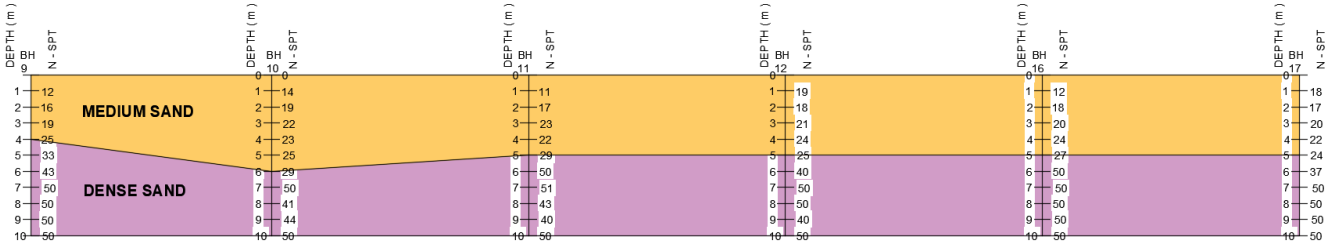
Area gedung terminal terdapat 30 titik uji *bore log*, maka dilakukan zonasi untuk menganalisis data tanah tersebut. Zonasi pada area gedung terminal dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan grafik N-SPT untuk titik-titik tersebut pada Gambar 4.17. Data tanah setiap titik terdapat pada Lampiran. Berikut merupakan contoh analisis data tanah pada zona B.



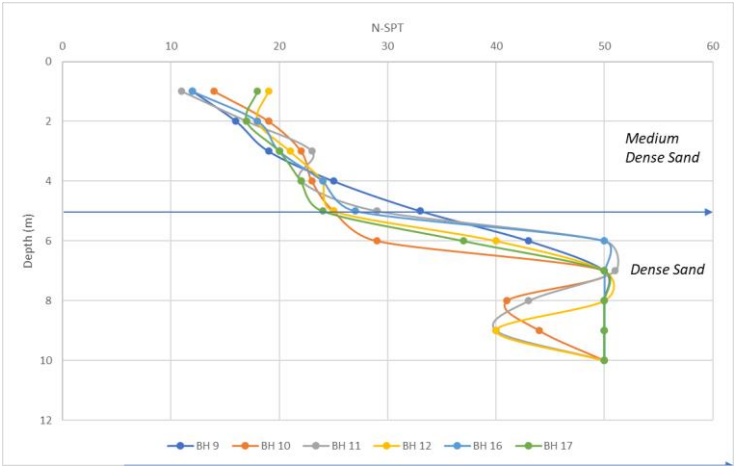
Gambar 4. 16 Rencana Zonasi Statigrafi Titik Uji *Bore Log* Setelah Pemadatan



Gambar 4. 17 N-SPT Seluruh Titik Uji *Bore Log* Setelah Pemadatan



Gambar 4. 18 Statigrafi Tanah Pada Zona B



Gambar 4. 19 N-SPT Zona B

Kelompok data yang terdapat pada zona B adalah BH 9, BH 10, BH 11, BH 12, BH 16, dan BH 17. Berdasarkan statigrafi tanah pada Gambar 4.18 dan grafik N-SPT pada Gambar 4.19, maka dapat dilakukan analisis COV terhadap kelompok-kelompok data tersebut.

1. Menghitung rata-rata N-SPT

Pada kedalaman 1-3 meter dan konsistensi *Medium*:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$
$$= 17.5556$$

2. Menghitung standar deviasi (s)

Pada kedalaman 3-4 meter dan konsistensi *Medium*:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$
$$= 3.33703$$

3. Menghitung koefisien variasi (COV)

$$COV = \frac{s}{\bar{x}}$$
$$= \frac{3.33703}{17.5556}$$
$$= 19\%$$

Pada perhitungan di atas, nilai COV kurang dari 20%. Maka, kelompok data tersebut dinyatakan homogen.

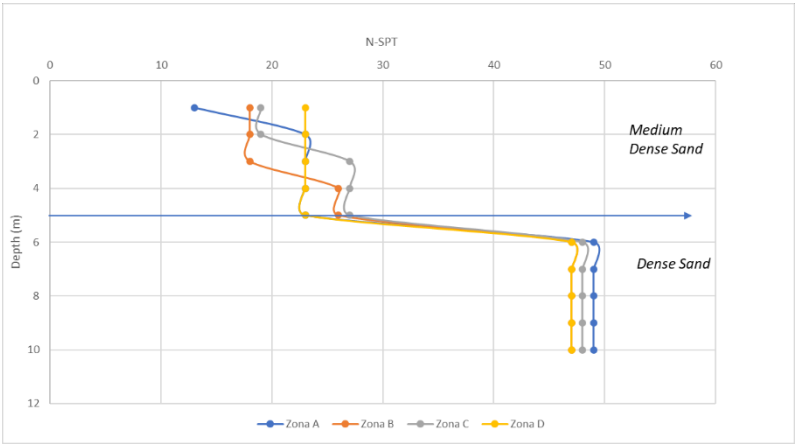
4. Menghitung N-SPT gabungan

Pada poin 3 menyebutkan bahwa nilai COV < 20% dan lapisan pada kedalaman 3-4 meter dinyatakan homogen, maka untuk nilai N-SPT rata-rata pada kedalaman 3-4 meter = 17.5556 ≈ 18. Tabel 4.13 berikut merupakan hasil analisis COV pada zona B.

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Analisis Data Tanah Zona B

Depth (m)	SPT Value	Consistency	Jenis Tanah
1	18	MEDIUM	Pasir
2	18	MEDIUM	Pasir
3	18	MEDIUM	Pasir
4	26	MEDIUM	Pasir
5	26	MEDIUM	Pasir
6	47	DENSE	Pasir
7	47	DENSE	Pasir
8	47	DENSE	Pasir
9	47	DENSE	Pasir
10	47	DENSE	Pasir

Setelah dilakukan analisis COV pada semua zona, hasil-hasil analisis tersebut dapat ditunjukkan dalam grafik N-SPT seperti pada Gambar 4.20 serta tabel rekapitulasi pada Tabel 4.14. Dari Tabel 4.14 diketahui bahwa N-SPT tiap zona memiliki nilai yang berdekatan. Maka, dilakukan analisis COV kembali untuk mendapatkan N-SPT gabungan dari seluruh zona. Rekapitulasi hasil analisis CV untuk seluruh zona ditunjukkan pada Tabel 4.15 berikut.



Gambar 4. 20 N-SPT Gabungan Seluruh Zona

Tabel 4. 14 Hasil Rekapitulasi Analisis COV Untuk Seluruh Zona Pada Area Gedung Terminal

Depth (m)	ZONA A			ZONA B			ZONA C			ZONA D		
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency
1	13	Pasir	MEDIUM	18	Pasir	MEDIUM	19	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM
2	23	Pasir	MEDIUM	18	Pasir	MEDIUM	19	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM
3	23	Pasir	MEDIUM	18	Pasir	MEDIUM	27	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM
4	23	Pasir	MEDIUM	26	Pasir	MEDIUM	27	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM
5	23	Pasir	MEDIUM	26	Pasir	MEDIUM	27	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM
6	49	Pasir	DENSE	47	Pasir	DENSE	48	Pasir	DENSE	47	Pasir	DENSE
7	49	Pasir	DENSE	47	Pasir	DENSE	48	Pasir	DENSE	47	Pasir	DENSE
8	49	Pasir	DENSE	47	Pasir	DENSE	48	Pasir	DENSE	47	Pasir	DENSE
9	49	Pasir	DENSE	47	Pasir	DENSE	48	Pasir	DENSE	47	Pasir	DENSE
10	49	Pasir	DENSE	47	Pasir	DENSE	48	Pasir	DENSE	47	Pasir	DENSE

Tabel 4. 15 Hasil Rekapitulasi Analisis Koefisien Variasi Gabungan Seluruh Zona Pada Area Gedung Terminal

Depth (m)	Gabungan Semua Zona		
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency
1	23	Pasir	MEDIUM
2	23	Pasir	MEDIUM
3	23	Pasir	MEDIUM
4	23	Pasir	MEDIUM
5	23	Pasir	MEDIUM
6	48	Pasir	DENSE
7	48	Pasir	DENSE
8	48	Pasir	DENSE
9	48	Pasir	DENSE
10	48	Pasir	DENSE

5. Menghitung korelasi parameter fisis tanah

Korelasi parameter fisis tanah dilakukan berdasarkan korelasi parameter fisis pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 dengan nilai N-SPT gabungan. Korelasi statistik dilakukan dengan menetapkan nilai batas atas dan batas bawah untuk setiap parameter. Berikut contoh perhitungan korelasi parameter fisis tanah untuk kedalaman 1-5 dengan konsistensi *Medium Dense Sand.*

N-SPT rata-rata $= 23$

$\gamma = \left(\frac{23-4}{50-4} \times (20-12)\right) + 12$

$= 15.30\ {}^{\mathrm{kN}}/_{\mathrm{m}^3}$

$\phi = \left(\frac{23-4}{50-4} \times (40° - 25°)\right) + 25°$

$= 31.20$

$$D_r = \frac{23-0}{50-0} \times (100-0)$$
$$= 46\%$$
$$E = \left(\frac{23-4}{50-4} \times (55-10)\right) + 10$$
$$= 28.587\ {}^{MN}/_{m^2}$$
$$\nu = \left(\frac{23-4}{50-4} \times (0.45-0.2)\right) + 0.2$$
$$= 0.303$$

Hal yang sama dilakukan untuk semua konsistensi tanah. Pada Tabel 4.16 berikut merupakan rekapitulasi analisis COV dan korelasi parameter fisis untuk data tanah setelah perbaikan tanah.

Tabel 4. 16 Rekapitulasi Hasil Korelasi Parameter Fisis Untuk Data Tanah Area Gedung Terminal

Depth (m)	Gabungan Semua Zona			ɣ (kN/m^3)	ϕ	Dr %	E (MN/m2)	Poisson Ratio
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency					
1	23	Pasir	MEDIUM	15.30	31.20	46	28.587	0.303
2	23	Pasir	MEDIUM	15.30	31.20	46	28.587	0.303
3	23	Pasir	MEDIUM	15.30	31.20	46	28.587	0.303
4	23	Pasir	MEDIUM	15.30	31.20	46	28.587	0.303
5	23	Pasir	MEDIUM	15.30	31.20	46	28.587	0.303
6	48	Pasir	DENSE	19.65	39.35	96	53.043	0.439
7	48	Pasir	DENSE	19.65	39.35	96	53.043	0.439
8	48	Pasir	DENSE	19.65	39.35	96	53.043	0.439
9	48	Pasir	DENSE	19.65	39.35	96	53.043	0.439
10	48	Pasir	DENSE	19.65	39.35	96	53.043	0.439

4.3.2 Analisis Data Tanah Pada Area *Runway*

Pada area *runway* hanya terdapat satu titik pengujian *bore log*, maka hanya perlu dilakukan analisis korelasi N-SPT untuk mendapatkan parameter fisis tanah. Pada Tabel 4.17 merupakan rekapitulasi korelasi parameter fisis tanah dengan N-SPT. Berikut pada merupakan contoh perhitungan korelasi parameter fisis pada data tanah area *runway*:

- Kedalaman 1-2 meter dengan konsistensi tanah *Medium Dense Sand*

N-SPT rata-rata $= \frac{19 + 29}{2}$

$= 24$

$\gamma = \left(\frac{24 - 4}{50 - 4} \times (20 - 12)\right) + 12$

$= 15.478 \ {}^{\mathrm{kN}}/_{\mathrm{m}^3}$

$\phi = \left(\frac{24 - 4}{50 - 4} \times (40° - 25°)\right) + 25°$

$= 31.522$

$D_r = \frac{24 - 0}{50 - 0} \times (100 - 0)$

$= 48\%$

$E = \left(\frac{24 - 4}{50 - 4} \times (55 - 10)\right) + 10$

$= 29.565 \ {}^{\mathrm{MN}}/_{\mathrm{m}^2}$

$\nu = \left(\frac{24 - 4}{50 - 4} \times (0.45 - 0.2)\right) + 0.2$

$= 0.309$

Tabel 4. 17 Rekapitulasi Hasil Korelasi Parameter Fisis Untuk Data Tanah Area *Runway*

Depth (m)	N-SPT	Consistency	ɣ (kN/m3)	ϕ (°)	Dr (%)	E (MN/m2)	Poisson ratio
0	6	LOOSE	12.348	25.652	12	11.957	0.211
1	19	MEDIUM	15.478	31.522	48	29.565	0.309
2	29	MEDIUM	15.478	31.522	48	29.565	0.309
3	31	DENSE	16.870	34.130	64	37.391	0.352
4	31	DENSE	16.870	34.130	64	37.391	0.352
5	34	DENSE	16.870	34.130	64	37.391	0.352

4.4. Perubahan Parameter Tanah Akibat Perbaikan Tanah

Pihak proyek telah melakukan perbaikan tanah pada area gedung terminal dan *runway* dengan metode yang berbeda. Metode *Rapid Impulse Compaction* dilakukan pada area gedung terminal dan metode *Dynamic Compaction* dilakukan pada area *runway*. Sub bab sebelumnya telah menganalisis parameter tanah pada kondisi sebelum dan sesudah perbaikan. Sub bab ini akan menjelaskan perubahan parameter tanah akibat perbaikan tanah yang dilakukan. Contoh perhitungan berikut menggunakan data pada gedung terminal.

Data tanah sebelum perbaikan = Gabungan BH 14A, BH 22A, dan BH 13A (Tabel 4.9)

Data tanah sesudah perbaikan = Tabel 4.16

Kedalaman yang ditinjau = -3.00m

$$\text{N-SPT} = \frac{(N_{seesudah} - N_{sebelum})}{N_{sebelum}} \times 100\%$$

$$= \frac{(23 - 15)}{15} \times 100\%$$

$$= 53.33\%$$

$$\gamma = \frac{(\gamma_{sesudah} - \gamma_{sebelum})}{\gamma_{sebelum}} \times 100\%$$
$$= \frac{(15.304 - 14.783)}{14.783} \times 100\%$$
$$= 3.53\%$$

$$\phi = \frac{(\phi_{sesudah} - \phi_{sebelum})}{\phi_{sebelum}} \times 100\%$$
$$= \frac{(31.196 - 30.217)}{30.217} \times 100\%$$
$$= 3.24\%$$

$$D_r = \frac{(D_{r_{sesudah}} - D_{r_{sebelum}})}{D_{r_{sebelum}}} \times 100\%$$
$$= \frac{(46 - 40)}{40} \times 100\%$$
$$= 15\%$$

$$E = \frac{(E_{sesudah} - E_{sebelum})}{E_{sebelum}} \times 100\%$$
$$E = \frac{(28.587 - 25.652)}{25.652} \times 100\%$$
$$= 11.44\%$$

$$\nu = \frac{(\nu_{sesudah} - \nu_{sebelum})}{\nu_{sebelum}} \times 100\%$$
$$\nu = \frac{(0.303 - 0.287)}{0.287} \times 100\%$$
$$= 5.68\%$$

Hal tersebut juga dilakukan pada data tanah area *runway*. Setelah membandingkan data tanah setelah perbaikan dengan semua data tanah sebelum perbaikan untuk seluruh kedalaman, didapatkan rata-rata kenaikan setiap parameter seperti pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.19.

Tabel 4. 18 Prosentase Perubahan Setiap Parameter Akibat Perbaikan Tanah pada Gedung Terminal

SPT Values	ɣ	ϕ	Dr	E	Poisson Ratio
101.51%	5.86%	9.88%	102.08%	45.88%	18.32%

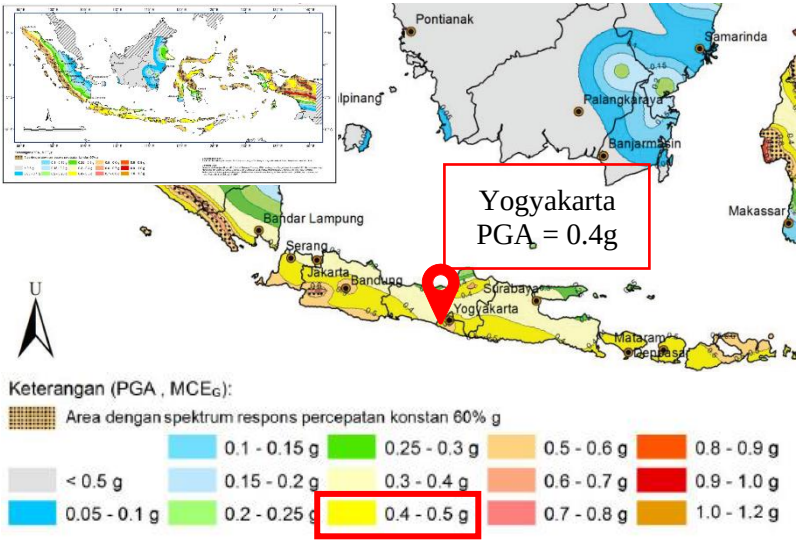
Tabel 4. 19 Prosentase Perubahan Setiap Parameter Akibat Perbaikan Tanah pada *Runway*

N-SPT	ɣ	φ	Dr	E	Poisson ratio
102.82%	11.98%	10.92%	108.57%	53.52%	20.44%

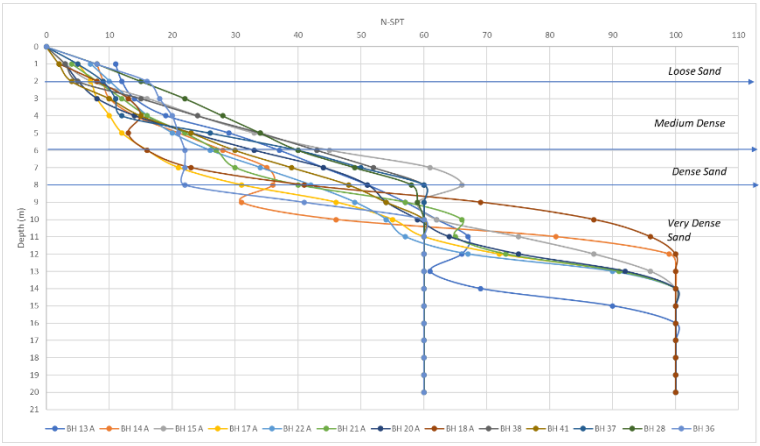
"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V
ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI

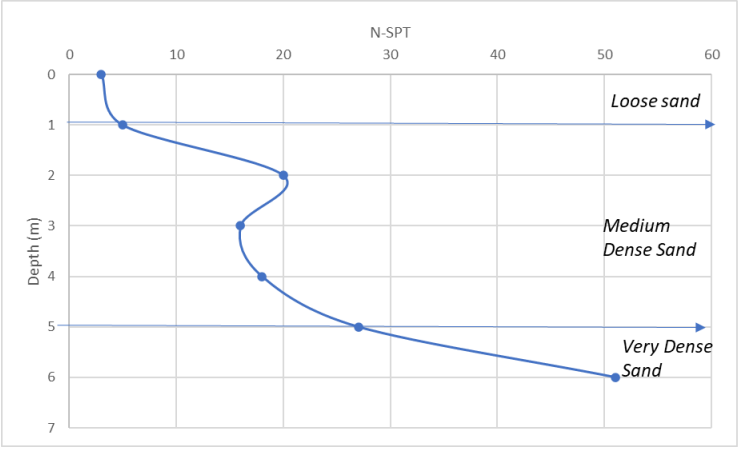
Lokasi perencanaan berada di Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta. Menurut SNI 1726:2012 pada Gambar 5.1 menyatakan bahwa Kabupaten Kulon Progo memiliki PGA sebesar 0.4 g. Di samping itu, dari hasil pengujian *bore log* pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 menyatakan bahwa tanah di lokasi tersebut didominasi oleh tanah pasir. Seperti halnya dijelaskan pada Sub Bab 2.2.1 bahwa fenomena likuifaksi hanya terjadi pada jenis tanah berbutir yang jenuh serta memiliki potensi rawan gempa. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis potensi likuifaksi pada lokasi tersebut. Akibat dari potensi likuifaksi tersebut, pihak proyek telah melakukan perbaikan tanah dengan metode pemadatan tanah. Metode yang digunakan adalah *Rapid Impulse Compaction* untuk gedung terminal dan *Dynamic Compaction* untuk *runway*.



Gambar 5. 1 Peta PGA Lokasi
Sumber: SNI 1726:2012



Gambar 5. 2 N-SPT Pada Area Gedung Terminal



Gambar 5. 3 N-SPT Pada Area *Runway*

5.1. Analisis Potensi Likuifaksi Pada Data Tanah Sebelum Pemadatan

5.1.1 Analisis Awal

Analisis likuifaksi awal yaitu analisis likuifaksi berdasarkan aspek *relative density* dan harga N-SPT. Analisis ini dilakukan berdasarkan pada Sub Bab 2.2.1 dan pada Tabel 5.1. Pada lokasi kasus, nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) diketahui sebesar 0.4g. Namun, dikarenakan pada Tabel 5.1 hanya meninjau PGA hingga 0.25g, maka analisis ini mengacu pada PGA 0.25g dengan batas minimum untuk potensi likufaksi Dr > 70%. Di samping itu, harga N-SPT minimum untuk potensi likuifaksi sebesar 22. Berikut merupakan hasil analisis awal untuk potensi likuifaksi untuk setiap area:

Tabel 5. 1 Potensi Likuifaksi Berdasarkan *Relative Density*

Max Ground Acceleration	**Liquefiable**	**Liquefiable Based on Soil Types and Earthquake Magnitude**	**Liquefaction Unlikely**
0.1 g	Dr < 33%	33% < Dr < 54%	Dr > 54%
0.15 g	Dr < 48%	48% < Dr < 73%	Dr > 73%
0.2 g	Dr < 60%	60% < Dr < 85%	Dr > 85%
0.25 g	Dr < 70%	70% < Dr < 92%	Dr > 92%

(Seed & Idriss, 1971) dalam (Gumelar, 2019)

A. Analisis Pada Data Tanah Area Gedung Terminal

Rekapitulasi analisis awal likuifaksi setiap data tanah pada gedung terminal dapat dilihat pada Tabel 5.2 hingga Tabel 5.9.

i. Potongan A-A

Tabel 5. 2 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 15A, BH 13A, BH 14A, BH 17A

Depth (m)	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency	Dr %	Aspek Dr	Aspek N-SPT
0	0	Pasir	VERY LOOSE	0	Likuifaksi	Likuifaksi
1	3	Pasir	VERY LOOSE	6	Likuifaksi	Likuifaksi
2	8	Pasir	LOOSE	18	Likuifaksi	Likuifaksi
3	8	Pasir	LOOSE	18	Likuifaksi	Likuifaksi
4	10	Pasir	LOOSE	18	Likuifaksi	Likuifaksi
5	21	Pasir	MEDIUM	46	Likuifaksi	Likuifaksi
6	24	Pasir	MEDIUM	46	Likuifaksi	Aman
7	24	Pasir	MEDIUM	46	Likuifaksi	Aman
8	36	Pasir	DENSE	80	Aman	Aman
9	36	Pasir	DENSE	80	Aman	Aman
10	46	Pasir	DENSE	80	Aman	Aman
11	81	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
12	81	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
13	81	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
14	96	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
15	96	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
16	96	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
17	96	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
18	96	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
19	96	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
20	96	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman

Tabel 5. 3 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 36, BH 41, BH 37

Depth (m)	BH 36 x 41 x 37			Dr %	Aspek Dr	Aspek N-SPT
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency			
0	0	Pasir	VERY LOOSE	0	Likuifaksi	Likuifaksi
1	2	Pasir	VERY LOOSE	4	Likuifaksi	Likuifaksi
2	10	Pasir	LOOSE	20	Likuifaksi	Likuifaksi
3	10	Pasir	LOOSE	20	Likuifaksi	Likuifaksi
4	17	Pasir	MEDIUM	44	Likuifaksi	Likuifaksi
5	23	Pasir	MEDIUM	44	Likuifaksi	Aman
6	26	Pasir	MEDIUM	44	Likuifaksi	Aman
7	22	Pasir	MEDIUM	44	Likuifaksi	Aman
8	22	Pasir	MEDIUM	44	Likuifaksi	Aman
9	41	Pasir	DENSE	82	Aman	Aman
10	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
11	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
12	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
13	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
14	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
15	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
16	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
17	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
18	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
19	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
20	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman

ii. Potongan B-B

Tabel 5. 4 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 18A, BH 20A, BH 21A, BH 22A

Depth (m)				Dr %	Aspek Dr	Aspek N-SPT
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency			
0	0	Pasir	VERY LOOSE	0	Likuifaksi	Likuifaksi
1	3	Pasir	VERY LOOSE	6	Likuifaksi	Likuifaksi
2	10	Pasir	LOOSE	18	Likuifaksi	Likuifaksi
3	8	Pasir	LOOSE	18	Likuifaksi	Likuifaksi
4	15	Pasir	MEDIUM	48	Likuifaksi	Likuifaksi
5	26	Pasir	MEDIUM	48	Likuifaksi	Aman
6	26	Pasir	MEDIUM	48	Likuifaksi	Aman
7	26	Pasir	MEDIUM	48	Likuifaksi	Aman
8	54	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
9	54	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
10	94	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
11	94	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
12	94	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
13	94	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
14	94	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
15	94	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
16	94	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
17	94	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
18	94	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
19	94	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
20	94	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman

Tabel 5. 5 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 36 dan BH 28

Depth (m)	BH 36 x BH 28			Dr %	Aspek Dr	Aspek N-SPT
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency			
0	0	Pasir	VERY LOOSE	0	Likuifaksi	Likuifaksi
1	8	Pasir	LOOSE	16	Likuifaksi	Likuifaksi
2	18	Pasir	MEDIUM	42	Likuifaksi	Likuifaksi
3	18	Pasir	MEDIUM	42	Likuifaksi	Likuifaksi
4	24	Pasir	MEDIUM	42	Likuifaksi	Aman
5	21	Pasir	MEDIUM	42	Likuifaksi	Likuifaksi
6	22	Pasir	MEDIUM	42	Likuifaksi	Aman
7	22	Pasir	MEDIUM	42	Likuifaksi	Aman
8	58	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
9	58	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
10	58	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
11	58	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
12	58	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
13	58	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
14	58	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
15	58	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
16	58	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
17	58	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
18	58	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
19	58	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
20	58	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman

iii. Potongan C-C

Tabel 5. 6 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 14A, BH 22A, BH 13A

Depth (m)	BH 14 A x 22 A x 13 A			Dr %	Aspek Dr	Aspek N-SPT
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency			
0	0	Pasir	VERY LOOSE	0	Likuifaksi	Likuifaksi
1	10	Pasir	LOOSE	20	Likuifaksi	Likuifaksi
2	10	Pasir	LOOSE	20	Likuifaksi	Likuifaksi
3	15	Pasir	MEDIUM	40	Likuifaksi	Likuifaksi
4	15	Pasir	MEDIUM	40	Likuifaksi	Likuifaksi
5	25	Pasir	MEDIUM	40	Likuifaksi	Aman
6	25	Pasir	MEDIUM	40	Likuifaksi	Aman
7	43	Pasir	DENSE	86	Aman	Aman
8	43	Pasir	DENSE	86	Aman	Aman
9	43	Pasir	DENSE	86	Aman	Aman
10	62	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
11	62	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
12	95	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
13	95	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
14	95	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
15	95	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
16	95	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
17	95	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
18	95	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
19	95	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
20	95	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman

Tabel 5. 7 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 37 dan BH 41

Depth (m)	BH 37 x 41			Dr %	Aspek Dr	Aspek N-SPT
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency			
0	0	Pasir	VERY LOOSE	0	Likuifaksi	Likuifaksi
1	2	Pasir	VERY LOOSE	4	Likuifaksi	Likuifaksi
2	7	Pasir	LOOSE	20	Likuifaksi	Likuifaksi
3	12	Pasir	MEDIUM	34	Likuifaksi	Likuifaksi
4	12	Pasir	MEDIUM	34	Likuifaksi	Likuifaksi
5	25	Pasir	MEDIUM	34	Likuifaksi	Aman
6	40	Pasir	DENSE	80	Aman	Aman
7	40	Pasir	DENSE	80	Aman	Aman
8	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
9	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
10	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
11	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
12	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
13	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
14	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
15	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
16	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
17	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
18	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
19	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
20	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman

iv. Potongan D-D

Tabel 5. 8 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Gabungan BH 15A, BH 18A, BH 20A, BH 21A, BH 17A

Depth (m)				Dr %	Aspek Dr	Aspek N-SPT
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency			
0	0	Pasir	VERY LOOSE	0	Likuifaksi	Likuifaksi
1	3	Pasir	VERY LOOSE	6	Likuifaksi	Likuifaksi
2	9	Pasir	LOOSE	18	Likuifaksi	Likuifaksi
3	9	Pasir	LOOSE	18	Likuifaksi	Likuifaksi
4	9	Pasir	LOOSE	18	Likuifaksi	Likuifaksi
5	19	Pasir	MEDIUM	38	Likuifaksi	Likuifaksi
6	19	Pasir	MEDIUM	38	Likuifaksi	Likuifaksi
7	19	Pasir	MEDIUM	38	Likuifaksi	Likuifaksi
8	40	Pasir	DENSE	80	Aman	Aman
9	89	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
10	89	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
11	89	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
12	89	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
13	89	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
14	89	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
15	89	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
16	89	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
17	89	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
18	89	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
19	89	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
20	89	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman

Tabel 5. 9 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada BH 28

Depth (m)	BH 28			Dr %	Aspek Dr	Aspek N-SPT
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency			
0	0	Pasir	VERY LOOSE	0	Likuifaksi	Likuifaksi
1	8	Pasir	LOOSE	16	Likuifaksi	Likuifaksi
2	22	Pasir	MEDIUM	44	Likuifaksi	Aman
3	22	Pasir	MEDIUM	44	Likuifaksi	Aman
4	22	Pasir	MEDIUM	44	Likuifaksi	Aman
5	41	Pasir	DENSE	82	Aman	Aman
6	41	Pasir	DENSE	82	Aman	Aman
7	41	Pasir	DENSE	82	Aman	Aman
8	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
9	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
10	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
11	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
12	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
13	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
14	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
15	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
16	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
17	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
18	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
19	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman
20	60	Pasir	VERY DENSE	100	Aman	Aman

B. Analisis Pada Data Tanah Area *Runway*

Di samping itu, hasil analisis awal potensi likuifaksi pada area *runway* dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5. 10 Hasil Analisis Awal Likuifaksi Pada Area *Runway*

Depth (m)	N-SPT	Jenis Tanah	Consistency	Analisis Awal	
				Aspek Dr	Aspek N-SPT
0	3	Pasir	VERY LOOSE	Likuifaksi	Likuifaksi
1	5	Pasir	LOOSE	Likuifaksi	Likuifaksi
2	20	Pasir	MEDIUM	Likuifaksi	Likuifaksi
3	16	Pasir	MEDIUM	Likuifaksi	Likuifaksi
4	18	Pasir	MEDIUM	Likuifaksi	Likuifaksi
5	27	Pasir	MEDIUM	Likuifaksi	Aman
6	51	Pasir	VERY DENSE	Aman	Aman

5.1.2 Analisis Lanjut

Analisis lanjut likuifaksi berdasarkan dari data tegangan *overburden* kemudian dihitung CRR dan CSR. Berikut adalah contoh perhitungan untuk kedalaman 3-4 meter pada data tanah

area gedung terminal (gabungan BH 14A, BH 22A, dan BH 13A pada potongan C-C):

$a_{max} = 0.4g$
$z = 1.5\ m$
$M = 8$
$P_a = 1\ atm$
$= 101.325\ {}^{kN}/_{m^2}$

N-SPT $= 15$
$\gamma = 14.78\ {}^{kN}/_{m^3}$
$\sigma_o = \sum(\gamma \times z)$
$\sigma_o = \left(12\ {}^{kN}/_{m^3} \times 1m\right) + \left(13.04\ {}^{kN}/_{m^3} \times 2m\right) + \left(14.78\ {}^{kN}/_{m^3} \times 0.5m\right)$
$\sigma_o = 45.4783\ {}^{kN}/_{m^2}$
$\sigma'_o = \sigma_o - \sigma_w$
$= \left(45.4783\ {}^{kN}/_{m^2}\right) - \left(10\ {}^{kN}/_{m^3} \times 3.5\ m\right)$
$= 10.4783\ {}^{kN}/_{m^2}$
$\alpha(z) = -1.102 - 1.126\ \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$
$= -1.102 - 1.126\ \sin\left(\frac{3.5}{11.73} + 5.133\right)$
$= -1.186$
$\beta(z) = 0.106 + 0.118\ \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$
$= 0.106 + 0.118\ \sin\left(\frac{3.5}{11.28} + 5.142\right)$
$= 0.11721$
$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z).M]$
$= \exp[(-1.1186) + (0.11721).8]$
$= 0.83453$

$$CSR = 0.6 \times \left(\frac{\sigma_o}{\sigma_o'}\right) \times \frac{a_{max}}{g} \times r_d$$

$$CSR = 0.6 \times \left(\frac{45.4783\ {}^{kN}/_{m^2}}{10.4783\ {}^{kN}/_{m^2}}\right) \times \frac{4g}{g} \times 0.83453$$

$CSR = 0.8693$

$N_m = 15$

$C_E = 1$

$C_R = 1$

$C_B = 1$

$C_S = 1$

$N1_{60} = N_m C_E C_R C_B C_S$

$= 15$

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma_o'}\right)^m \leq 1.7$$

$$C_N = \left(\frac{101.325\ {}^{kN}/_{m^2}}{10.4783\ {}^{kN}/_{m^2}}\right)^{\left(0.784-\left(0.0768\sqrt{15}\right)\right)} \leq 1.7$$

$C_N = 3.016 \leq 1.7$

Karena nilai C_N melebihi 1.7, maka diambil nilai $C_N = 1.7$

$(N_1)_{60} = N1_{60} \times C_N$

$= 15 \times 1.7$

$= 25.5$

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right]$$

Dikarenakan tidak ada data FC maka diasumsikan FC = 0.05, dimana dengan nilai tersebut berpotensi terjadi likuifaksi

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left[1.63 + \frac{9.7}{0.05 + 0.01} - \left(\frac{15.7}{0.05 + 0.01}\right)^2\right]$$

$= 0$

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$$
$$(N_1)_{60cs} = 25.5 + 0$$
$$(N_1)_{60cs} = 25.5$$
$$C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60}}} \leq 0.3$$
$$= \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{25.5}} \leq 0.3$$
$$= 0.16604$$
$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln\left(\frac{\sigma'_o}{P_a}\right) \leq 1.1$$
$$K_\sigma = 1 - 0.0761 \ln\left(\frac{10.4783\ {}^{kN}/_{m^2}}{101.325\ {}^{kN}/_{m^2}}\right) \leq 1.1$$
$$K_\sigma \quad 1.377 \leq 1.1; \text{maka diambil } K_\sigma = 1.1$$
$$MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8$$
$$= 6.9 \exp\left(\frac{-8}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8$$
$$= 0.87581$$
$$CRR_M = \exp\left[\left(\frac{(N_1)_{60}}{14.1}\right) + \left(\frac{(N_1)_{60}}{126}\right)^2 + \left(\frac{(N_1)_{60}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60}}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$
$$= \exp\left[\left(\frac{25.5}{14.1}\right) + \left(\frac{25.5}{126}\right)^2 + \left(\frac{25.5}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{25.5}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$
$$= 0.30235$$
$$CRR = CRR_M . MSF . K_\sigma$$
$$= 0.30235 . 0.87581 . 1.1$$
$$= 0.29128$$

$$SF = \frac{CRR}{CSR}$$

$$SF = \frac{0.29128}{0.8693}$$

$$SF = 0.33507$$

Karena SF<1 maka pada kedalaman ini berpotensi likuifaksi.

Setelah dilakukan analisis awal dan lanjutan untuk potensi likuifaksi, maka dapat diketahui kedalaman potensi likuifaksi di setiap titik. Berikut rekapitulasi kedalaman potensi likuifaksi berdasarkan analisis lanjut pada setiap zona pada area gedung terminal dan *runway*:

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Analisis Lanjut Pada Area *Runway*

Range of Depth (m)			SPT Value	Jenis Tanah	Consistency	z (m	ɣ (kN/m^3)	SF liq	STATUS
0	-	1	3	Pasir	VERY LOOSE	0.5	12.00	0.069473	Likuifaksi
1	-	2	5	Pasir	LOOSE	1.5	12.17	0.088521	Likuifaksi
2	-	3	21	Pasir	MEDIUM	2.5	14.96	1.301797	Aman
3	-	4	21	Pasir	MEDIUM	3.5	14.96	1.543095	Aman
4	-	5	21	Pasir	MEDIUM	4.5	14.96	1.667365	Aman
5	-	6	21	Pasir	MEDIUM	5.5	14.96	1.743229	Aman
6	-	7	51	Pasir	VERY DENSE	6.5	23.00	6.64E+20	Aman

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil Analisis Lanjut Pada Area Gedung Terminal

Depth (m)	Analisis Lanjutan	Depth (m)	Analisis Lanjutan
0	Likuifaksi	11	Aman
1	Likuifaksi	12	Aman
2	Likuifaksi	13	Aman
3	Likuifaksi	14	Aman
4	Likuifaksi	15	Aman
5	Aman	16	Aman
6	Aman	17	Aman
7	Aman	18	Aman
8	Aman	19	Aman
9	Aman	20	Aman
10	Aman		

Berdasarkan analisis awal dan lanjut potensi likuifaksi, maka dapat diketahui kedalaman potensi likuifaksi. Berikut pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.14 merupakan rekapitulasi kedalaman potensi likufaksi pada area *runway* dan gedung terminal:

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Hasil Kedalaman Potensi Likuifaksi Pada Area *Runway*

Depth (m)	Analisis Awal	Analisis Lanjut	Kesimpulan
0	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
1	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
2	Likuifaksi	Aman	Aman
3	Likuifaksi	Aman	Aman
4	Likuifaksi	Aman	Aman
5	Likuifaksi	Aman	Aman
6	Aman	Aman	Aman

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Hasil Kedalaman Potensi Likuifaksi Pada Area Gedung Terminal

Depth (m)	Analisis Awal	Analisis Lanjut	Kesimpulan
0	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
1	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
2	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
3	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
4	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
5	Aman	Aman	Aman
6	Aman	Aman	Aman
7	Aman	Aman	Aman
8	Aman	Aman	Aman
9	Aman	Aman	Aman
10	Aman	Aman	Aman

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Kedalaman Potensi Likuifaksi Pada Area Gedung Terminal (Lanjutan)

Depth (m)	Analisis Awal	Analisis Lanjut	Kesimpulan
11	Aman	Aman	Aman
12	Aman	Aman	Aman
13	Aman	Aman	Aman
14	Aman	Aman	Aman
15	Aman	Aman	Aman
16	Aman	Aman	Aman
17	Aman	Aman	Aman
18	Aman	Aman	Aman
19	Aman	Aman	Aman
20	Aman	Aman	Aman

5.2. Analisis Potensi Likuifaksi Pada Data Tanah Sesudah Pemadatan

5.2.1 Analisis Awal

Analisis likuifaksi awal yaitu analisis likuifaksi berdasarkan aspek *relative density* dan harga N-SPT. Analisis ini dilakukan berdasarkan pada Sub Bab 2.2.1 dan Tabel 5.1. Pada lokasi kasus, nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) diketahui sebesar 0.4g. Namun, dikarenakan pada Tabel 5.1 hanya meninjau PGA hingga 0.25g, maka analisis ini mengacu pada PGA 0.25g dengan batas minimum untuk potensi likufaksi Dr > 70%. Di samping itu, harga N-SPT minimum untuk potensi likuifaksi sebesar 22. Berikut pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 merupakan rekapitulasi kedalaman potensi likuifaksi pada area *runway* dan gedung terminal.

Tabel 5. 16 Hasil Analisis Awal Potensi Likuifaksi Pada Area *Runway*

Depth (m)	N-SPT	Jenis Tanah	Consistency	Dr (%)	Analisis Awal	
					Aspek Dr	Aspek N-SPT
0	6	Pasir	LOOSE	12	Likuifaksi	Likuifaksi
1	24	Pasir	MEDIUM	48	Likuifaksi	Aman
2	24	Pasir	MEDIUM	48	Likuifaksi	Aman
3	32	Pasir	DENSE	64	Likuifaksi	Aman
4	32	Pasir	DENSE	64	Likuifaksi	Aman
5	32	Pasir	DENSE	64	Likuifaksi	Aman

Tabel 5. 17 Hasil Analisis Awal Potensi Likuifaksi Pada Area Gedung Terminal

Depth (m)	Gabungan Semua Zona		Jenis Tanah	Dr %	Analisis Awal	
	SPT Values	Consistency			Aspek Dr	Aspek N-SPT
1	23	MEDIUM	Pasir	46	Likuifaksi	Aman
2	23	MEDIUM	Pasir	46	Likuifaksi	Aman
3	23	MEDIUM	Pasir	46	Likuifaksi	Aman
4	23	MEDIUM	Pasir	46	Likuifaksi	Aman
5	23	MEDIUM	Pasir	46	Likuifaksi	Aman
6	48	DENSE	Pasir	96	Aman	Aman
7	48	DENSE	Pasir	96	Aman	Aman
8	48	DENSE	Pasir	96	Aman	Aman
9	48	DENSE	Pasir	96	Aman	Aman
10	48	DENSE	Pasir	96	Aman	Aman

5.2.2 Analisis Lanjut

Analisis lanjut likuifaksi berdasarkan dari data tegangan *overburden* kemudian dihitung CRR dan CSR. Berikut adalah contoh perhitungan untuk kedalaman 1-2 meter pada data tanah area gedung terminal:

a_{max} = 0.4g
z = 1.5 m
M = 8
P_a = 1 atm
= $101.325\ {}^{kN}/_{m^2}$

N-SPT = 23
γ = $15.30\ {}^{kN}/_{m^3}$
σ_o = $\gamma \times z$
= $15.30\ {}^{kN}/_{m^3} \times 1.5\ m$
= $22.9565\ {}^{kN}/_{m^2}$
σ'_o = $\gamma_{sat} \times z$
= $\left(15.30\ {}^{kN}/_{m^2} - 10\ {}^{kN}/_{m^2}\right) \times 1.5\ m$
= $7.957\ {}^{kN}/_{m^2}$
$\alpha(z)$ = $-1.102 - 1.126\ \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$
= $-1.102 - 1.126\ \sin\left(\frac{1.5}{11.73} + 5.133\right)$
= -1.1152
$\beta(z)$ = $0.106 + 0.118\ \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$
= $0.106 + 0.118\ \sin\left(\frac{1.5}{11.28} + 5.142\right)$
= 0.11685
r_d = $\exp[\alpha(z) + \beta(z).M]$
= $\exp[(-1.1152) + (0.11685).8]$
= 0.83489
CSR = $0.6 \times \left(\frac{\sigma_o}{\sigma'_o}\right) \times \frac{a_{max}}{g} \times r_d$
CSR = $0.6 \times \left(\frac{22.9565\ {}^{kN}/_{m^2}}{7.957\ {}^{kN}/_{m^2}}\right) \times \frac{4g}{g} \times 0.83489$

CSR = 0.57813

N_m = 23

C_E = 1

C_R = 1

C_B = 1

C_S = 1

$N1_{60} = N_m C_E C_R C_B C_S$

= 23

$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_o}\right)^m \leq 1.7$

$C_N = \left(\frac{101.325\ kN/m^2}{7.957\ kN/m^2}\right)^{\left(0.784-\left(0.0768\sqrt{8}\right)\right)} \leq 1.7$

$C_N = 5.68005 \leq 1.7$

Karena nilai C_N melebihi 1.7, maka diambil nilai

$C_N = 1.7$

$(N_1)_{60} = N1_{60} \times C_N$

$= 23 \times 1.7$

$= 39.1$

$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right]$

Dikarenakan tidak ada data FC maka diasumsikan FC = 0.05, dimana dengan nilai tersebut berpotensi terjadi likuifaksi

$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left[1.63 + \frac{9.7}{0.05 + 0.01} - \left(\frac{15.7}{0.05 + 0.01}\right)^2\right]$

$= 0$

$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60cs} = 39.1 + 0$

$(N_1)_{60cs} = 39.1$

$C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60}}} \leq 0.3$

$$C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{39.1}} \leq 0.3$$
$$= 0.33843$$
$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln\left(\frac{\sigma'_o}{P_a}\right) \leq 1.1$$
$$= 1 - 0.0761 \ln\left(\frac{7.957\ {}^{kN}/_{m^2}}{101.325\ {}^{kN}/_{m^2}}\right) \leq 1.1$$
$1.7633 \leq 1.1$; maka diambil $K_\sigma = 1.1$
$$MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8$$
$$= 6.9 \exp\left(\frac{-8}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8$$
$$= 0.87581$$
$$CRR_M = \exp\left[\left(\frac{(N_1)_{60cs}}{14.1}\right) + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{126}\right)^2 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$
$$= \exp\left[\left(\frac{39.1}{14.1}\right) + \left(\frac{39.1}{126}\right)^2 + \left(\frac{39.1}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{39.1}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$
$$= 3.11712$$
$$CRR = CRR_M . MSF . K_\sigma$$
$$= 3.11712 . 0.87581 . 1.1$$
$$= 3.00302$$

$$SF = \frac{CRR}{CSR}$$
$$SF = \frac{3.00302}{0.578131}$$
$$= 5.1944$$

Karena SF>1 maka pada kedalaman ini tidak berpotensi likuifaksi.

Setelah dilakukan analisis awal dan lanjutan untuk potensi likuifaksi, maka dapat diketahui kedalaman potensi likuifaksi di setiap titik. Berikut Tabel 5.18 dan Tabel 5.19 merupakan tabel rekapitulasi kesimpulan kedalaman potensi likuifaksi berdasarkan analisis awal dan lanjut pada area gedung terminal dan *runway*:

Tabel 5. 18 Hasil Kesimpulan Kedalaman Potensi Likuifaksi Pada Area Gedung Terminal

Depth (m)	Gabungan Semua Zona		Jenis Tanah	Dr %	Analisis Awal		Analisis Lanjut	Kesimpulan
	SPT Values	Consistency			Aspek Dr	Aspek N-SPT		
1	23	MEDIUM	Pasir	46	Likuifaksi	Aman	Aman	Aman
2	23	MEDIUM	Pasir	46	Likuifaksi	Aman	Aman	Aman
3	23	MEDIUM	Pasir	46	Likuifaksi	Aman	Aman	Aman
4	23	MEDIUM	Pasir	46	Likuifaksi	Aman	Aman	Aman
5	23	MEDIUM	Pasir	46	Likuifaksi	Aman	Aman	Aman
6	48	DENSE	Pasir	96	Aman	Aman	Aman	Aman
7	48	DENSE	Pasir	96	Aman	Aman	Aman	Aman
8	48	DENSE	Pasir	96	Aman	Aman	Aman	Aman
9	48	DENSE	Pasir	96	Aman	Aman	Aman	Aman
10	48	DENSE	Pasir	96	Aman	Aman	Aman	Aman

Tabel 5. 19 Hasil Kesimpulan Kedalaman Potensi Likuifaksi Pada Area *Runway*

Depth (m)	N-SPT	Jenis Tanah	Consistency	Dr (%)	Analisis Awal		Analisis Lanjut	Kesimpulan
					Aspek Dr	Aspek N-SPT		
0	6	Pasir	LOOSE	12	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
1	24	Pasir	MEDIUM	48	Likuifaksi	Aman	Aman	Aman
2	24	Pasir	MEDIUM	48	Likuifaksi	Aman	Aman	Aman
3	32	Pasir	DENSE	64	Likuifaksi	Aman	Aman	Aman
4	32	Pasir	DENSE	64	Likuifaksi	Aman	Aman	Aman
5	32	Pasir	DENSE	64	Likuifaksi	Aman	Aman	Aman

Selanjutnya, dilakukan rekapitulasi perbandingan kedalaman potensi likuifaksi pada kedua area menggunakan kondisi sebelum dan sesudah perbaikan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui perbedaan kondisi tanah akibat proses perbaikan tanah. Tabel rekapitulasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.20 dan Tabel 5.21.

Tabel 5. 20 Rekapitulasi Perbandingan Kedalaman Likuifaksi pada Kondisi Sebelum dan Sesudah Dipadatkan untuk Area Gedung Terminal

Range of Depth (m)	Rekapitulasi Kedalaman Likuifaksi	
	Kondisi Sebelum Pemadatan	Kondisi Sesudah Pemadatan
0	Likuifaksi	Aman
1	Likuifaksi	Aman
2	Likuifaksi	Aman
3	Likuifaksi	Aman
4	Likuifaksi	Aman
5	Aman	Aman
6	Aman	Aman
7	Aman	Aman
8	Aman	Aman
9	Aman	Aman
10	Aman	Aman
11	Aman	-
12	Aman	-
13	Aman	-
14	Aman	-
15	Aman	-
16	Aman	-
17	Aman	-
18	Aman	-
19	Aman	-

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Perbandingan Kedalaman Likuifaksi pada Kondisi Sebelum dan Sesudah Dipadatkan untuk Area *Runway*

Range of Depth (m)	Rekapitulasi Kedalaman Likuifaksi	
	Kondisi Sebelum Pemadatan	Kondisi Sesudah Pemadatan
0	Likuifaksi	Likuifaksi
1	Likuifaksi	Aman
2	Aman	Aman
3	Aman	Aman
4	Aman	Aman
5	Aman	Aman

Keterangan:
- = tidak ditemukan data

Tabel 5.20 dan Tabel 5.21 menunjukan adanya perbedaan kedalaman likuifaksi pada kondisi sebelum dan sesudah pemadatan. Berdasarkan tabel tersebut, tidak dijumpai kedalaman yang berpotensi likuifaksi pada area gedung terminal. Sebaliknya, kedalaman yang berpotensi likuifaksi masih dijumpai pada are *runway* sedalam 1 meter. Potensi likuifaksi ini perlu dihilangkan. Oleh karena itu, untuk menghilangkan potensi likuifaksi tersebut digunakan metode substitusi tanah yang berpotensi likuifaksi dengan tanah urugan yang bagus.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI
STRUKTUR ATAS GEDUNG TERMINAL

6.1. Data Struktur Atas

Data struktur atas dibutuhkan dalam perencanaan pondasi. Dalam hal ini tidak dilakukan permodelan dan analisis struktur ulang dikarenakan menggunakan data struktur sekunder dari proyek. Data yang digunakan untuk perencanaan pondasi yaitu berupa reaksi tumpuan akibat analisis struktur atas gedung terminal. Pada analisis struktur atas gedung terminal dibagi menjadi 2, yaitu gedung terminal tengah serta gedung *boarding* kiri dan kanan.

6.2. Referensi Desain Struktur Atas

Perencanaan struktur atas berdasarkan referensi desain struktur berikut:

1. SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
2. SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
3. SNI 1729:2015 tentang Tata Cara Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung
4. SNI 1727:2013 tentang Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung
5. FEMA P646: *Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis*

6.3. Data Bangunan

1.	Tipe bangunan	=	Gedung Terminal Bandara
2.	Lokasi	=	Kabupaten Kulon Progo, DI Yogyakarta
3.	Ketinggian lantai	:	
	Lantai basement	=	4 m
	Lantai dasar	=	6 m
	Lantai mezzanine	=	6 m
	Lantai keberangkatan	=	12 m

4.	Mutu material		
a.	Mutu beton (fc')	:	
	Pondasi *bored pile*	=	35 MPa
	Struktur *pile cap*	=	35 MPa
	Struktur kolom	=	35 MPa
	Struktur balok dan *slab*	=	35 MPa
b.	Tulangan	=	BJTD 40 dengan fy $4000\ ^{kg}/_{cm^2}$
c.	Struktur baja	=	Mutu SS-400 dengan fy 240 MPa
d.	*Steel Deck*	=	*Grade Leleh* minimal 320 MPa
e.	Baut	:	
	Baut mutu tinggi	=	ASTM A325
	Baut biasa	=	ASTM A-307
	Baut angkur	=	ASTM F-1554

6.4. Pembebanan Struktur

Pembebanan yang digunakan mengacu pada peraturan pembebanan dalam SNI 1727:2013 (Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung) dan SNI 1726:2012 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung). Pada sub bab berikut ini akan menjabarkan beban-beban yang diperhitungkan:

6.4.1 Beban Mati

Beban mati yang diperhitungkan sebagai berikut:

1.	Berat jenis beton	=	$2400\ ^{kg}/_{m^3}$
2.	Pelat lantai	:	Menggunakan pelat lantai dengan tebal 140 mm untuk semua lantai
3.	Beban *finishing* lantai (tebal 50 mm)	=	$110\ ^{kg}/_{m^2}$
4.	Beban Dinding Hebel tebal 100mm dengan	=	$100\ ^{kg}/_{m^2}$

	finishing plester untuk 2 sisi		
5.	Beban *Curtain Wall* dengan tebal total 15.2 mm	=	$60\ {}^{kg}/_{m^2}$
6.	Beban dinding kaca partisi interior atau *railing* kaca tebal 12 mm + rangka	=	$55\ {}^{kg}/_{m^2}$
7.	Beban plafon	=	$10\ {}^{kg}/_{m^2}$
8.	Beban *mechanical and electrical* (ME) termasuk *ducting*	=	$15\ {}^{kg}/_{m^2}$
9.	Beban *equipment* ME di ruang ME	=	$600\ {}^{kg}/_{m^2}$, kecuali ada ketentuan lain sesuai spesifikasi beban dalam brosur *equipment* yang digunakan
10.	Beban ruang AHU	=	$600\ {}^{kg}/_{m^2}$
11.	Beban SCP	=	$800\ {}^{kg}/_{m^2}$
12.	Beban *conveyor*	=	$200\ {}^{kg}/_{m^2}$
13.	Beban ruang server	=	$800\ {}^{kg}/_{m^2}$
14.	Beban BHS	=	$1000\ {}^{kg}/_{m^2}$
15.	Beban partisi sebagai beban merata pada pelat	=	$200\ {}^{kg}/_{m^2}$
16.	Beban panel partisi ringan antar ruangan	=	$50\ {}^{kg}/_{m^2}$

6.4.2 Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan perlu disesuaikan dengan fungsi dari masing-masing ruangan sesuai pada Tabel 4-1 dalam SNI 1727:2013. Berikut beban hidup yang diperhitungkan:

1.	Beban hidup ruang kantor	=	$250\ {}^{kg}/_{m^2}$
2.	Beban hidup ruang pertemuan	=	$489\ {}^{kg}/_{m^2}$
3.	Beban hidup restoran atau kantin	=	$489\ {}^{kg}/_{m^2}$
4.	Beban hidup Bank atau ATM	=	$489\ {}^{kg}/_{m^2}$
5.	Beban hidup gudang	=	$489\ {}^{kg}/_{m^2}$
6.	Beban hidup parkir	=	$500\ {}^{kg}/_{m^2}$
7.	Beban hidup di lobi lift, hall, ruang tunggu, dan koridor di lantai 1	=	$489\ {}^{kg}/_{m^2}$
8.	Beban hidup koridor di atas lantai 1	=	$390\ {}^{kg}/_{m^2}$
9.	Beban hidup tangga dan jalur evakuasi	=	$489\ {}^{kg}/_{m^2}$
10.	Beban hidup ruang istirahat atau ruang tunggu supir	=	$300\ {}^{kg}/_{m^2}$
11.	Beban hidup ruang pelayanan atau ruang staf	=	$250\ {}^{kg}/_{m^2}$
12.	Beban hidup *pantry*	=	$400\ {}^{kg}/_{m^2}$
13.	Beban hidup toilet	=	$196\ {}^{kg}/_{m^2}$
14.	Beban hidup ruang ME (*personil maintenance)*	=	$100\ {}^{kg}/_{m^2}$
15.	*Construction load* di lantai keberangkatan	=	$1000\ {}^{kg}/_{m^2}$, hanya selama pembangunan atap saja
16.	Beban hidup konsesi	=	$489\ {}^{kg}/_{m^2}$

17.	Beban hidup *kerb side*	=	$500\ ^{kg}/_{m^2}$
18.	Beban hidup *Loading Dock* di basement	=	$600\ ^{kg}/_{m^2}$
19.	Beban tsunami	:	Mengacu pada FEMA P646
20.	Beban angin	:	Mengacu SNI 1727:2013

6.4.3 Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan berdasarkan fungsi *response spectrum* pada wilayah gempa untuk Yogyakarta dan mengacu pada SNI 1726:2012. Data-data beban gempa yang digunakan sebagai berikut:

1.	Lokasi	=	Yogyakarta
2.	Kategori resiko	=	IV
3.	Faktor keutaman gempa	=	1.5
4.	Sistem struktur	=	SRPMK
5.	Kelas situs	=	Tanah sedang (SD)
6.	Faktor modifikasi respons	=	8
7.	MCE-R untuk periode pendek (T = 0.2 s), S_s	=	0.882
8.	MCE-R untuk periode 1 detik (T = 1 s), S_1	=	0.363
9.	Koefisien situs untuk periode pendek, F_a	=	1.1472
10.	Koefisien situs untuk periode 1 detik, F_v	=	1.674

6.4.4 Kombinasi Beban

Kombinasi beban digunakan untuk mendapatkan gaya-gaya maksimum saat beban bekerja. Berikut merupakan kombinasi beban yang digunakan untuk mendesain struktur atas:

1. 1.4D
2. 1.2D + 1.6L + 0.5LR
3. 1.2D + 1.6LR + 0.5L
4. 1.2D + 1.6 LR ± 0.5W

5. $1.2D \pm 1.0W + 1.0L + 0.5LR$
6. $(1.2 + 0.2\ S_{DS})\ D + 0.5\ L \pm \rho(E_X \pm 0.3E_Y)$
7. $(1.2 + 0.2\ S_{DS})\ D + 0.5\ L \pm \rho(E_Y \pm 0.3E_X)$
8. $0.9D \pm 1.0W$
9. $(0.9 - 0.2\ S_{DS})\ D \pm \rho(E_X \pm 0.3E_Y)$
10. $(0.9 - 0.2\ S_{DS})\ D \pm \rho(E_Y \pm 0.3E_X)$
11. $1.2D + 1.2T + 0.5L$
12. $1.2D + 1.6L + 1.0T$
13. $1.2D + 1.0Ts + 1.0L_{ref} + 0.25L$
14. $0.9D + 1.0Ts$

Namun, kombinasi beban tersebut tidak digunakan untuk mendesain struktur bawah. Perencanaan struktur bawah mengikuti kombinasi beban dalam SNI 1726:2012 pasal 4.2.3, yaitu:

1. Kondisi servis
   $1.0D + 1.0L$
   $1.0\ SW + 1.0\ UPN$
   $1.0\ SW + 0.75\ UPB$
2. Kondisi Gempa Desain
   $1.0D \pm 0.6W_X$
   $1.0D \pm 0.6W_Y$
   $1.0D + 0.75\ (L + LR) \pm 0.45W_X$
   $1.0D + 0.75\ (L + LR) \pm 0.45\ W_Y$
   $0.6D \pm 0.6W_X + 0.75\ UPB$
   $0.6D \pm 0.6\ W_Y + 0.75\ UPB$
   $(1.0 + 0.14\ S_{DS})\ D \pm 0.63\ \rho(E_X \pm 0.3E_Y)$
   $(1.0 + 0.14\ S_{DS})\ D \pm 0.63\ \rho(E_Y \pm 0.3E_X)$
   $(1.0 + 0.105\ S_{DS})\ D + 0.75\ (L + LR) \pm 0.4725\ \rho(E_X \pm 0.3E_Y)$
   $(1.0 + 0.105\ S_{DS})\ D + 0.75\ (L + LR) \pm 0.4725\ \rho(E_Y \pm 0.3E_X)$
   $0.6D \pm 0.63\ \rho(E_X \pm 0.3E_Y) + 0.6\ UPN$
   $0.6D \pm 0.63\ \rho(E_Y \pm 0.3E_X) + 0.6\ UPN$
3. Kondisi Gempa Ultimit
   $(1.0 + 0.14\ S_{DS})D \pm 0.63\ \Omega_o(E_X \pm 0.3E_Y)$

$(1.0 + 0.14\ S_{DS})D \pm 0.63\ \Omega_o(E_Y \pm 0.3E_X)$
$(1.0 + 0.105\ S_{DS})D + 0.75\ (L + LR) \pm 0.4725\ \Omega_o(E_X \pm 0.3E_Y)$
$(1.0 + 0.105\ S_{DS})D + 0.75\ (L + LR) \pm 0.4725\ \Omega_o(E_Y \pm 0.3E_X)$
$0.6D \pm 0.63\ \Omega_o(E_X \pm 0.3E_Y) + 0.6$ UPN
$0.6D \pm 0.63\ \Omega_o(E_Y \pm 0.3E_X) + 0.6$ UPN

Keterangan:

D	=	Beban mati
SW	=	Beban berat sendiri
SIDL	=	Beban mati tambahan
L	=	Beban hidup
ρ	=	Faktor redudansi
W	=	Beban angin
UPN	=	Beban muka air normal
UPB	=	Beban muka air banjir
E	=	Beban gempa
LR	=	Beban atap
S_{DS}	=	Parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek

6.5. Data Hasil Analisis Struktur Atas

Data hasil analisis struktur atas yang didapatkan berupa gaya-gaya reaksi maksimum yang terjadi pada seluruh perletakan dengan berbagai kombinasi beban yang digunakan. Denah titik-titik perletakkan terdapat pada Lampiran. Pada perencanaan pondasi digunakan kombinasi beban dengan kondisi servis. Berikut merupakan rekapitulasi dari gaya-gaya reaksi maksimum:

6.5.1 Struktur Gedung Terminal Tengah

Struktur gedung terminal tengah terbagi menjadi 4 area, yaitu *basement, freestanding,* lantai dasar, dan *ramp*. Rekapitulasi gaya-gaya maksimum yang terjadi pada gedung terminal tengah dapat dilihat pada Tabel 6.1 hingga Tabel 6.4.

Tabel 6. 1 Reaksi Perletakan Kondisi Servis Pada Basement

Konfigurasi	Joint	FX	FY	FZ	MZ	MY
		kN	kN	kN	kNm	kNm
2	916	2721.78	-6.68	148.23	-102.41	-4557.3
2	950	1561.69	-8.44	70.01	-542.81	-2404.67
3	305	13523.72	71.69	-92.29	-152.6	-125.34
3	1102	3211.5	693.77	210.16	-176.21	-81.13
3	155	13425.27	9.89	664.97	-65.22	285.57
3	1000	4875.95	-77.21	547.11	201.09	339.94
3	1063	8968.32	-548.11	-2.9	894.17	-27.09
4	300	17854.52	42.16	38.54	-104.09	-9.13
4	1103	8210.42	-932.03	7.75	1429.76	81.93
4	396	9581.44	-348.79	-748.38	133.176	-676.85
4	374	10144.97	56.56	-734.29	-61.24	-691.27
4	1103	8210.42	-932.03	7.75	1429.76	81.93
5	345	21093.75	143.52	-50.79	-267.4	-53.12
5	1101	6765.92	1655.91	-52.4	-710.52	-199.75
5	386	10472.73	-283.26	-573.5	54.37	-365.41
5	299	16035.54	-24.31	-406.09	-10.7	-397.81
5	1056	9456.15	-1134.72	-0.37	1396.69	20.67

Sumber: Dokumen Proyek

Tabel 6. 2 Reaksi Perletakan Kondisi Servis Pada *Freestanding*

Konfigurasi	Joint	FX	FY	FZ	MZ	MY
		kN	kN	kN	kNm	kNm
2	1652	9340.52	-57.53	292.71	97.33	535.98
2	1747	8246.83	-336.91	349.12	595.78	632.35
2	2289	3099.98	-9.91	58.78	210.75	1189.83
2	1653	6020.18	321.12	-5.79	-1249.12	-35.27
3	1665	10590.86	1.42	-56.85	-8.84	-241.8
3	1753	9642.78	-648.24	144.55	1177.3	251
3	1743	9254.03	-40.65	-318.93	37.66	-569
3	2331	3592.54	134.07	118.46	-2837.97	2497.89
4	1769	12900.8	21.97	-201.6	-79.21	-392.78
4	1771	7041.66	-41.85	135.03	145.32	511.42
4	1745	11269.74	1.15	1156.87	-4.91	2162.28
6	1574	6125.47	0.26	-1561.79	-2.44	-1817.23

Sumber: Dokumen Proyek

Tabel 6. 3 Reaksi Perletakan Kondisi Servis Pada Lantai Dasar

Konfigurasi	Joint	FX	FY	FZ	MZ	MY
		kN	kN	kN	kNm	kNm
2	1697	9855.14	1.95	-4.47	-17.13	-28.32
2	1585	8016.76	-94.24	-16.15	-113.97	-41.74
2	1699	7592.42	-20.74	-64.57	46.54	-247.74
2	1723	7651.76	32.45	-8.24	259.61	-29.36
3	1737	13861.57	35.28	13.47	-81.83	2.65
3	1686	12369.23	-534.72	-15.84	925.52	-55.43
3	1663	9801.38	15.05	378.06	-31.61	663.25
3	1639	9794.82	-9.06	369.08	13.72	664.29
4	1662	14662	21.6	-48.73	-60.63	-110.28
4	1338	10915.41	470.16	-100.44	-864.14	-202.98
4	1651	10836.54	8.88	389.06	-21.37	662.69
4	1721	10993.01	-458.32	-92.67	827.27	-182.01
5	1649	13990.05	235.78	-52.96	-436.75	-147.95
5	1727	11938.07	-304.89	-1.69	476.83	-39.75
5	1611	13633.28	17.97	236.1	-58.02	469.51
5	1568	11701.04	-201.12	-141.44	558.48	-1560.34
6	1587	12170	154.41	-156.03	-377.66	-284.32

Sumber: Dokumen Proyek

Tabel 6. 4 Reaksi Perletakan Kondisi Servis Pada *Ramp*

Konfigurasi	Joint	FX	FY	FZ	MZ	MY
		kN	kN	kN	kNm	kNm
1	1784	1790.16	-12.36	-18.57	7.86	-18.21
1	1785	980.66	26.44	-13.02	-17.37	-13.85
1	1790	517.31	5.72	76.4	0.18	66.82
1	1791	701.68	7.35	-49.22	-19.76	-97.42
1	1797	949.05	15.79	-2.79	-30.09	-7.2
2	1778	2205.11	-41.83	-10.77	-22.68	-1.92
2	1779	1425.24	59.15	-18.98	0.55	-8.58
2	1789	1327.4	-2.95	130.16	8.57	115.17
2	1775	968.08	6.83	-85.18	25.61	285.99
2	1793	968.06	-6.64	-85.71	-26.48	285.48

Sumber: Dokumen Proyek

6.5.2 Struktur Gedung Boarding

Rekapitulasi gaya-gaya maksimum yang terjadi pada gedung boarding dapat dilihat pada Tabel 6.5 hingga Tabel 6.6.

Tabel 6. 5 Reaksi Perletakan Kondisi Servis Pada Boarding Kanan

Konfigurasi	Joint	FX	FY	FZ	MZ	MY
		kN	kN	kN	kNm	kNm
3	1234	11580.6	-76.83	164.73	365.02	16.12
3	519	9250.51	-117.16	207.81	451.81	95.42
3	516	10735.45	-77	-350.65	288.02	-659.19
3	529	9538.11	21.95	71.61	-801.72	717.73
3	526	10207.83	-65.12	-309.45	935.45	-436.07
4	527	14848.12	-43.15	43.93	300.21	48.22
4	521	12333.05	446.1	-633.24	-983.51	-480.93
4	134	10435.82	59.27	-5.16	-51.87	3383.29
4	165	7273.85	311.6	7.53	3158.89	-335.98
5	107	14023.94	-265.14	12.98	-634.17	-2524.81
5	108	13941.33	-115.91	-131.57	688.49	-140.74
6	1232	14864.39	39.86	-39.39	701.05	-30.87
6	163	9894.16	981.2	40.66	831.97	-1507.69
6	164	9023.66	601.07	-182.04	3441.86	18.57
6	162	7585.91	869.49	26.46	-654.41	1523.71
6	161	7609.22	57.23	55.78	3654.71	375.24

Sumber: Dokumen Proyek

Tabel 6. 6 Reaksi Perletakan Kondisi Servis Pada Boarding Kiri

Konfigurasi	Joint	FX	FY	FZ	MZ	MY
		kN	kN	kN	kNm	kNm
3	10	10031.91	205.61	-51.16	-590.11	636.82
3	9	9945.92	205.82	55.95	-580.65	-154.01
3	23	7728.86	136.02	267.91	-505.03	745.86
3	468	8532.9	-33.44	82.42	544.1	1005.54
4	181	15846.21	-51.77	-489.86	-13.96	-525.13
4	6	14106.97	347.57	42.25	-711.3	1614.18
4	193	15828.4	-15.58	-497.85	-34.38	-541.99
4	263	6937.91	-333.18	98.52	-2517.77	-79.16
5	229	17849.34	-13.36	165.47	-38.35	-500.72
5	45	16773.1	-347.37	23.53	1886.81	-451.1
5	44	16630.77	-42.61	-497.51	127.77	-483.09
5	46	14247.89	-11.53	4.56	121.87	-1156.9
6	245	14975.39	120.48	158.47	-15.01	-851.64
6	237	11516.38	-957.54	-26.68	-697.27	-484.47
6	152	14726.26	181.25	160.51	-648.27	-365.21
7	1	16326.23	255.68	32.56	-146.87	1932.53
7	217	10254.97	-1324.54	-66.14	1099.73	-57.05
7	216	7781.23	-279.99	111.88	-2578.42	394.41
7	250	9448.82	-520.31	40.2	-3741.01	-59.88

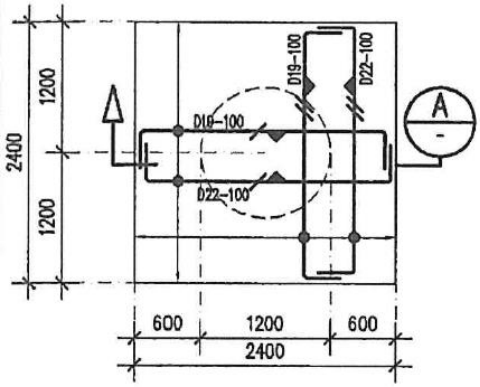
Sumber: Dokumen Proyek

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB VII
EVALUASI PONDASI EKSISTING PADA GEDUNG TERMINAL

7.1. Gambaran Umum

Perencanaan pondasi digunakan untuk dapat menyalurkan beban-beban dari bangunan di atasnya ke dalam tanah. Pondasi yang digunakan pada gedung terminal adalah *bored pile* dengan diameter 1200mm dan panjang tiang 26 m (khusus untuk area *ramp* memiliki panjang tiang 10 m). Contoh *layout* pondasi yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 7.1, Gambar 7.6. dan Gambar 7.7. Detail perencanaan pondasi gedung terminal eksisting terdapat pada Lampiran.



Gambar 7. 1 Detail Pondasi Tipe P1
Sumber: Dokumen Proyek

7.2. Perhitungan Daya Dukung Tiang

Perhitungan daya dukung pondasi dalam dilakukan untuk mengetahui besar daya dukung yang dipengaruhi oleh karakteristik tanah di tiap kedalaman. Perhitungan daya dukung membutuhkan nilai N-SPT dan berat jenis tanah. Dalam sub bab ini dilakukan perhitungan daya dukung dengan dua metode, yaitu metode Meyerhof & Bazaara dan metode Reese &Wright. Di samping itu,

dilakukan perhitungan daya dukung tiang pada data tanah sesudah dan sebelum perbaikan tanah untuk mengetahui perbedaannya.

7.2.1 Metode Meyerhof & Bazaara

A. Data Tanah Sebelum Perbaikan Tanah

Contoh perhitungan berikut menggunakan data gabungan BH 14A, BH 13A, dan BH 22A. Berikut merupakan contoh perhitungan daya dukung tiang pada kedalaman 1 meter:

Diameter tiang (D) = 1200 mm = 1.2 m
Luas tiang (A_p) = $\pi D^2 = 1.131 m^2$
Keliling tiang (P) = $\pi D = 3.77$ m
N-SPT = 10
Jenis tanah = Pasir
γ = $13\ {}^{kN}/_{m^3} = 1.3\ {}^{t}/_{m^3}$

Koreksi N-SPT terhadap muka air tanah

N_1 Terzaghi : N < 15, maka N1 = 10
N_1 Bazaraa : N < 15, maka N1 = 10
N_1 pakai = 10

$$\sigma_o' = \gamma' \times z$$
$$= \left(1.3\ {}^{t}/_{m^3} - 1\ {}^{t}/_{m^3}\right) \times \frac{1\ m}{2}$$
$$= 0.15\ {}^{t}/_{m^2}$$

Koreksi N-SPT terdadap tegangan overburden

$$\sigma_o' < 7.5\ {}^{t}/_{m^2}$$
$$N_2 = \frac{4 \times N_{1\ pakai}}{1 + 0.4 \times \sigma'_o}$$
$$= \frac{4 \times 10}{1 + (0.4 \times 0.15)}$$
$$= 37.7$$
$$2N_1 = 20$$
$$N_{2\ pakai} = 20$$
$$4D = 4 \times 1.2\ m$$
$$4D = 4.8\ m \approx 5\ m$$
$$8D = 8 \times 1.2\ m$$

8D = 9.6 m ≈ 10 m

Nilai N rata-rata dari 8D ke atas hingga 4D ke bawah ($\overline{N}$) = 22.000

Qp = $40 \times \overline{N} \times A_p$

Qp = $40 \times 22.000 \times 1.131 m^2$

= 995.26 t

Rs_i = Dianggap 0 karena pada kedalaman ini berpotensi likuifaksi (SNI 8640:2017)

Pult = Qp

= 995.26 t

$P_{ijin} = \frac{P_{ult}}{3}$

$= \frac{995.26\ t}{3}$

= 331.75 t

Contoh perhitungan di atas adalah contoh perhitungan daya dukung pada kedalaman yang berpotensi likuifaksi. Namun, apabila pada kedalaman tersebut tidak berpotensi likuifaksi maka daya dukung selimut (Rs_i) tetap diperhitungkan. Berikut merupakan contoh perhitungan daya dukung pada kedalaman 28 meter, dimana tidak berpotensi likuifaksi:

Diameter tiang (D) = 1200 mm = 1.2 m

Luas tiang (A_p) = $\pi D^2 = 1.131 m^2$

Keliling tiang (P) = $\pi D = 3.77$ m

N-SPT = 95

Jenis tanah = Pasir

γ = $23\ {}^{kN}/_{m^3} = 2.3\ {}^{t}/_{m^3}$

Koreksi N-SPT terhadap muka air tanah:

N_1 Terzaghi : N > 15, maka:

$N_1 = 15 + [0.5 \times (95 - 15)] = 55$

N_1 Bazaraa : N > 15, maka $N_1 = 0.6 \times 95 = 57$

N_1 pakai = 55

$\sigma_o{}'$ = $\gamma' \times z$

$$\sigma_o' = \left\{\left(1.3\,{}^{t}/_{m^3} - 1\,{}^{t}/_{m^3}\right) \times 2.75\text{m}\right\} + \left\{\left(1.48\,{}^{t}/_{m^3} - 1\,{}^{t}/_{m^3}\right) \times 4\text{ m}\right\} + \left\{\left(1.8\,{}^{t}/_{m^3} - 1\,{}^{t}/_{m^3}\right) \times 5\text{ m}\right\} + \left\{\left(2.3\,{}^{t}/_{m^3} - 1\,{}^{t}/_{m^3}\right) \times 18\text{ m}\right\} + \left\{\left(2.3\,{}^{t}/_{m^3} - 1\,{}^{t}/_{m^3}\right) \times \frac{0.25}{2}\text{ m}\right\}$$

$$\sigma_o' = 28.95\,{}^{t}/_{m^2}$$

Koreksi N-SPT terdadap tegangan overburden:

$$\sigma_o' > 7.5\,{}^{t}/_{m^2}$$

$$N_2 = \frac{4 \times N_{1\text{ pakai}}}{3.25 + 0.1 \times \sigma'_o} = \frac{4 \times 55}{3.25 + (0.1 \times 28.95)} = 35.8$$

$$2N_1 = 110$$

$$N_{2\text{ pakai}} = 35.8$$

$$4D = 4 \times 1.2\text{ m}$$

$$4D = 4.8\text{ m} \approx 5\text{ m}$$

$$8D = 8 \times 1.2\text{ m}$$

$$8D = 9.6\text{ m} \approx 10\text{ m}$$

Nilai N rata-rata dari 8D ke atas hingga 4D ke bawah ($\bar{N}$) = 38.174

$$Qp = 40 \times \bar{N} \times A_p$$

$$Qp = 40 \times 38.174 \times 1.131\text{m}^2 = 1732.33\text{ t}$$

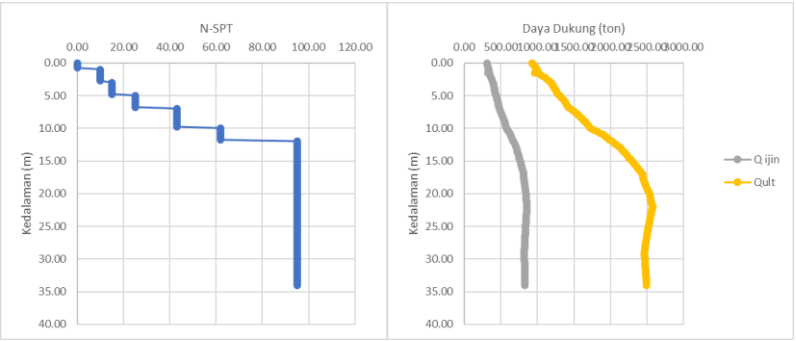
$$Cl_i = \frac{N_{2\text{ pakai}}}{5} = \frac{35.8}{5} = 7.16\ {}^{t}/_{m^2}$$

$$Rs_{28\text{ m}} = Cl_i \times P \times h_i$$

$$Rs_{28\text{ m}} = 7.16\,{}^{t}/_{m^3} \times 3.77\text{ m} \times 0.25\text{ m}$$

$$
\begin{aligned}
Rs_{28\ m} &= 6.75\ t \\
Qs &= \Sigma Rs_{27.75\ m} + Rs_{28\ m} \\
Qs &= 742.66\ t + 6.75\ t \\
Qs &= 749.41\ t \\
Pult &= Qp + Qs \\
&= 1726.97\ t + 749.41\ t \\
&= 2476.38\ t \\
P_{ijin} &= \frac{P_{ult}}{3} \\
&= \frac{2476.38\ t}{3} \\
&= 825.46\ t
\end{aligned}
$$

Pada Gambar 7.2 berikut merupakan grafik rekapitulasi perhitungan daya dukung menggunakan data tanah sebelum perbaikan.



Gambar 7. 2 Daya Dukung Tiang Diameter 1.2m Menggunakan Data Tanah Sebelum Perbaikan

B. Data Tanah Sesudah Perbaikan Tanah

Berikut merupakan contoh perhitungan daya dukung tiang pada kedalaman 28 meter:

Diameter tiang (D) = 1200 mm = 1.2 m
Luas tiang (A_p) = $\pi D^2 = 1.131 m^2$
Keliling tiang (P) = $\pi D = 3.77$ m

N-SPT = 48
Jenis tanah = Pasir
γ = $19.7\ {}^{kN}/_{m^3} = 1.97\ {}^{t}/_{m^3}$

Koreksi N-SPT terhadap muka air tanah:

N_1 Terzaghi : N > 15, maka:
$N_1 = 15 + [0.5 \times (48 - 15)] = 31.5$

N_1 Bazaraa : N > 15, maka $N_1 = 0.6 \times 48 = 28.8$

N_1 pakai = 28.8

$$\sigma_o' = \gamma' \times z$$
$$= \left\{\left(1.53\ {}^{t}/_{m^3} - 1\ {}^{t}/_{m^3}\right) \times 5\ m\right\} +$$
$$= \left\{\left(1.97\ {}^{t}/_{m^3} - 1\ {}^{t}/_{m^3}\right) \times 22.75\ m\right\} +$$
$$\left\{\left(1.97\ {}^{t}/_{m^3} - 1\ {}^{t}/_{m^3}\right) \times \frac{0.25}{2}\ m\right\}$$
$$= 24.73\ {}^{t}/_{m^2}$$

Koreksi N-SPT terdadap tegangan overburden:

σ_o' > $7.5\ {}^{t}/_{m^2}$

$$N_2 = \frac{4 \times N_{1\ pakai}}{3.25 + 0.1 \times \sigma'_o}$$
$$= \frac{4 \times 55}{3.25 + (0.1 \times 24.73)}$$
$$= 20.13$$

$2N_1$ = 57.6
$N_{2\ pakai}$ = 20.13
4D = 4 × 1.2 m
4D = 4.8 m ≈ 5 m

$8D = 8 \times 1.2\ m$

$8D = 9.6\ m \approx 10\ m$

Nilai N rata-rata dari 8D ke atas hingga 4D ke bawah ($\bar{N}$) = 21.142

$Qp = 40 \times \bar{N} \times A_p$

$Qp = 40 \times 21.142 \times 1.131 m^2$

$= 956.46\ t$

$Cl_i = \frac{N_{2\ pakai}}{5}$

$= \frac{20.13}{5} = 4.03\ {}^{t}/_{m^2}$

$Rs_{28\ m} = Cl_i \times P \times h_i$

$Rs_{28\ m} = 4.02\ {}^{t}/_{m^3} \times 3.77\ m \times 0.25\ m$

$= 3.79\ t$

$Qs = \Sigma Rs_{27.75\ m} + Rs_{28\ m}$

$= 578.81\ t + 3.79\ t$

$= 582.6\ t$

$Pult = Qp + Qs$

$= 956.46\ t + 582.6\ t$

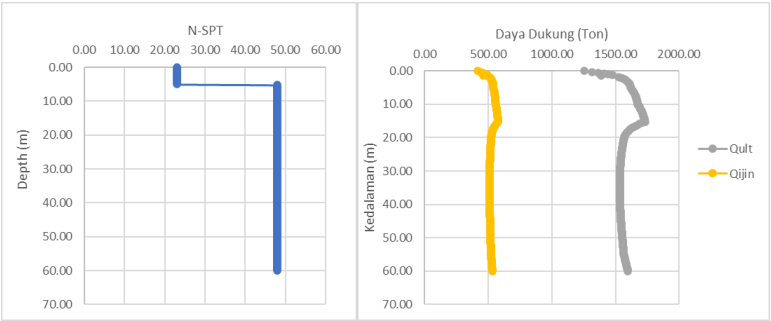
$= 1539.06\ t$

$P_{ijin} = \frac{P_{ult}}{3}$

$= \frac{1539.06\ t}{3}$

$= 513.02\ t$

Pada Gambar 7.3 berikut merupakan grafik rekapitulasi perhitungan daya dukung menggunakan data tanah sesudah perbaikan.



Gambar 7. 3 Daya Dukung Tiang Diameter 1.2m Menggunakan Data Tanah Sesudah Perbaikan

7.2.2 Metode Reese & Wright

A. Data Tanah Sebelum Perbaikan

Contoh perhitungan berikut menggunakan data gabungan BH 14A, BH 13A, dan BH 22A. Berikut merupakan contoh perhitungan daya dukung tiang pada kedalaman 28 meter:

Diameter tiang (D) = 1200 mm = 1.2 m

Luas tiang (A_p) = $\pi D^2 = 1.131 m^2$

Keliling tiang (P) = $\pi D = 3.77$ m

N-SPT = 95

Jenis tanah = Pasir (tanah non kohesif)

N-SPT > 60

$$Qp = \frac{40}{0.3048^2} \times A_p$$

$$= \frac{40}{0.3048^2} \times 1.131 m^2$$

$$= 486.948 \text{ t}$$

N-SPT > 53

Kedalaman likuifaksi = 4m

$$Qs_{z=28m} = \left(\frac{N - 53}{450}\right) \times \frac{1}{0.3048^2} \times p \times \Delta l$$

$$Qs_{z=28m} = \left(\frac{95 - 53}{450}\right) \times \frac{1}{0.3048^2} \times 3.77 m \times 0.25 m$$

$Qs_{z=28m}$ = 0.947 t

ΣQ_s = $\Sigma Qs_{27.75m} + Qs_{28.m}$

= 291.733 t + 0.947 t

= 292.68 t

Qu = Qp + Qs

= 486.948 t + 292.68 t

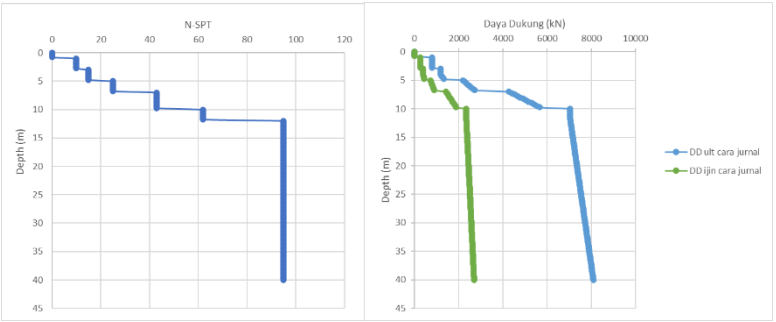
= 779.628 t

$Qijin = \frac{Q_u}{3}$

$= \frac{779.628\ t}{3}$

Qijin = 259.876 t

Pada Gambar 7.4 berikut merupakan grafik rekapitulasi perhitungan daya dukung menggunakan data tanah sebelum perbaikan.



Gambar 7. 4 Daya Dukung Tiang Diameter 1.2m Menggunakan Data Tanah Sebelum Perbaikan

Namun, perencanaan proyek menggunakan formula yang berbeda. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan menggunakan formula tersebut. Berikut contoh perhitungan pada kedalaman 28m:

Diameter tiang (D) = 1200 mm = 1.2 m
Luas tiang (A_p) = $\pi D^2 = 1.131 m^2$
Keliling tiang (P) = $\pi D = 3.77$ m
N-SPT = 95
Jenis tanah = Pasir (tanah non kohesif)

$Qp_1 = \frac{40}{3} \times N \times \frac{L}{D} \times A_p$
$= \frac{40}{3} \times 95 \times \frac{26m}{1.2m} \times 1.131 m^2$
= 31038.9 kN

$Qp_2 = \frac{400}{3} \times N \times A_p$
$= \frac{400}{3} \times 95 \times 1.131 m^2$
= 14325.7kN

$Qp_3 = \frac{40}{3} \times 50 \times \frac{L}{D} \times A_p$
$= \frac{40}{3} \times 50 \times \frac{26m}{1.2m} \times 1.131 m^2$
= 16336.3 kN

$Qp_4 = \frac{12000}{3} \times A_p$
$= \frac{12000}{3} \times 1.131 m^2$
= 4523.89 kN

Nilai Qp diambil terkecil, Qp = 4523.89 kN
Kedalaman likuifaksi = 4m

$Qs_{z=28m} = 2 \times N \times p \times \Delta l$
$Qs_{z=28m} = 2 \times 95 \times 3.77m \times 0.25m$
$Qs_{z=28m} = 179.071$ kN
$\Sigma Q_s = \Sigma Qs_{27.75m} + Qs_{28.m}$
ΣQ_s = 13829.919 kN + 179.071 kN

ΣQ_s = 14008.99kN

Qu = Qp + Qs

= 4523.89 kN + 14008.99 kN

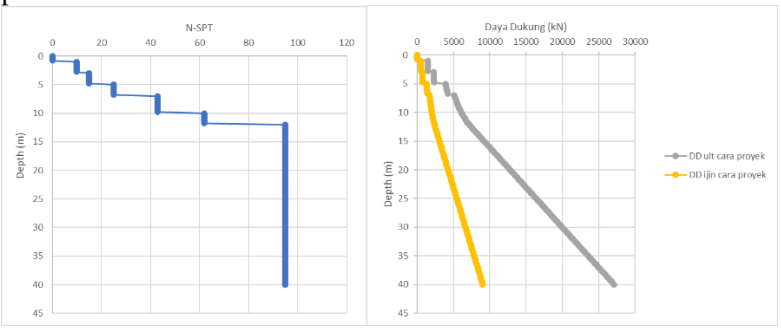
= 18532.883 kN

Qijin = $\frac{Q_u}{3}$

= $\frac{18532.883\ kN}{3}$

Qijin = 6177.628 kN

Pada Gambar 7.5 berikut merupakan grafik rekapitulasi perhitungan daya dukung menggunakan data tanah sebelum perbaikan.



Gambar 7. 5 Daya Dukung Tiang Diameter 1.2m Menggunakan Data Tanah Sebelum Perbaikan

B. Data Tanah Sesudah Perbaikan

Diameter tiang (D) = 1200 mm = 1.2 m
Luas tiang (A_p) = $\pi D^2 = 1.131 m^2$
Keliling tiang (P) = $\pi D = 3.77$ m
N-SPT = 48
Jenis tanah = Pasir (tanah non kohesif)

N-SPT < 60

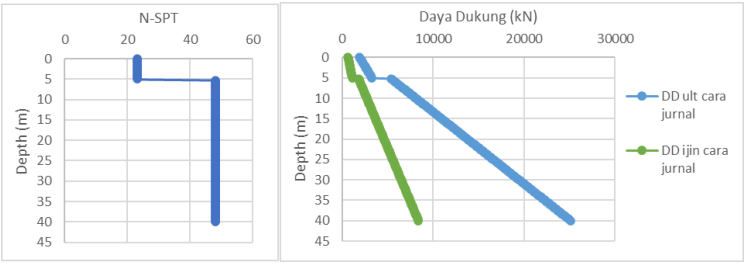
$$Qp = \frac{2}{3} \times \frac{1}{0.3048^2} \times N \times A_p$$
$$= \frac{2}{3} \times \frac{1}{0.3048^2} \times 48 \times 1.131 m^2$$
$$= 389.558 \text{ t}$$

N-SPT < 53

$$Qs = 0.32 \times N \times p \times \Delta l$$
$$= 0.32 \times 48 \times 3.77 m \times 28 m$$
$$= 1477.504 \text{ t}$$

$$Qu = Qp + Qs$$
$$= 389.558 \text{ t} + 1477.504 \text{ t}$$
$$= 1867.062 \text{ t}$$

$$Qijin = \frac{Q_u}{3}$$
$$= \frac{187.062 \text{ t}}{3}$$
$$Qijin = 622.354 \text{ t}$$



Gambar 7. 6 Grafik Daya Dukung Tiang Diameter 1.2m Menggunakan Data Tanah Sesudah Perbaikan

Namun, perencanaan proyek menggunakan formula yang berbeda. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan menggunakan formula tersebut. Berikut contoh perhitungan pada kedalaman 28m:

Diameter tiang (D) = 1200 mm = 1.2 m
Luas tiang (A_p) = $\pi D^2 = 1.131 m^2$
Keliling tiang (P) = $\pi D = 3.77$ m
N-SPT = 48
Jenis tanah = Pasir (tanah non kohesif)

$$Qp_1 = \frac{40}{3} \times N \times \frac{L}{D} \times A_p$$
$$= \frac{40}{3} \times 48 \times \frac{26m}{1.2m} \times 1.131m^2$$
$$= 15682.8 \text{ kN}$$

$$Qp_2 = \frac{400}{3} \times N \times A_p$$
$$= \frac{400}{3} \times 48 \times 1.131m^2$$
$$= 7238.23 \text{ kN}$$

$$Qp_3 = \frac{40}{3} \times 50 \times \frac{L}{D} \times A_p$$
$$= \frac{40}{3} \times 50 \times \frac{26m}{1.2m} \times 1.131m^2$$
$$= 16336.3 \text{ kN}$$

$Qp_4 = \frac{12000}{3} \times A_p$

$= \frac{12000}{3} \times 1.131 m^2$

$= 4523.89$ kN

Nilai Qp diambil terkecil, Qp = 4523.89 kN

Kedalaman likuifaksi = 4m

$Qs_{z=28m} = 2 \times N \times p \times \Delta l$

$Qs_{z=28m} = 2 \times 48 \times 3.77m \times 0.25m$

$Qs_{z=28m} = 90.478$ kN

$\Sigma Q_s = \Sigma Qs_{27.75m} + Qs_{28.m}$

$= 9143.92$ kN + 90.478 kN

$= 9234.497$ kN

$Qu = Qp + Qs$

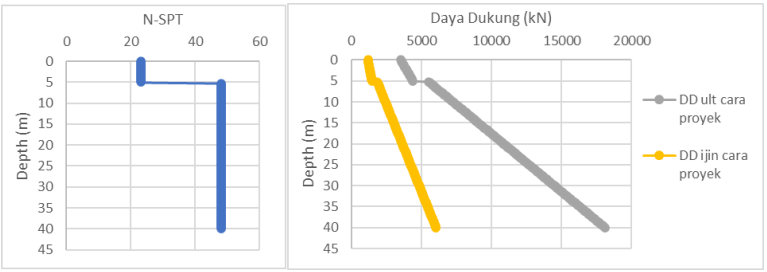
$= 4523.89$ kN + 9234.497 kN

$= 13758.291$ kN

$Qijin = \frac{Q_u}{3}$

$= \frac{13758.291 \text{ kN}}{3}$

$Qijin = 4586.097$ kN



Gambar 7. 7 Daya Dukung Tiang Diameter 1.2m Menggunakan Data Tanah Sesudah Perbaikan

Setelah dilakukan perhitungan seperti contoh tersebut, maka hasil-hasil perhitungan tersebut dapat direkapitulasi pada Tabel 7.1 berikut:

Tabel 7. 1 Hasil Rekapitulasi Daya Dukung Tiang

No	Data Tanah yang Digunakan	Kedalaman yang Ditinjau (m)	Kondisi	Metode Perhitungan	Hasil Perhitungan Daya Dukung (ton)			
					Selimut Tiang	Ujung Tiang	Daya Dukung Ultimit (P_{ult})	Daya Dukung Ijin (P_{ijin}) (SF = 3)
1	Data Tanah Sebelum Perbaikan (Gabungan BH 14A, BH 13A, BH 22A pada Pot. C-C)	1	Likuifaksi	Meyerhof & Bazaara	0.000	995.257	995.257	331.752
2		28	Tidak Likuifaksi		749.406	1726.969	2476.375	825.458
3		1	Likuifaksi	Reese & Wright (Formula dari Proyek)	0.000	153.769	153.769	51.256
4		28	Tidak Likuifaksi		1428.512	461.306	1889.819	629.9395
5		1	Likuifaksi	Reese & Wright	0.000	81.158	81.158	27.053
6		28	Tidak Likuifaksi		292.6801	486.948	779.628	259.876
7	Data Tanah Sesudah Perbaikan	28	Tidak Likuifaksi	Meyerhof & Bazaara	582.5997	956.461	1539.0604	513.0201
8		28	Tidak Likuifaksi	Reese & Wright (Formula dari Proyek)	941.642	461.306	1402.948	467.649
9		28	Tidak Likuifaksi	Reese & Wright	1477.504	389.558	1867.062	622.354

Berdasarkan pada Tabel 7.1 tersebut, digunakan daya dukung tiang dengan data tanah sesudah perbaikan. Hal ini dikarenakan untuk menghindari potensi likuifaksi yang akan terjadi.

7.3. Analisis Evaluasi Pondasi Eksisting

Berikut contoh perhitungan analisis evaluasi pondasi eksisting pada area lantai dasar gedung terminal tengah:

Joint = 1662
Jumlah tiang (n) = 4
Diameter tiang, D = 1.2 m
Luas penampang tiang, A_p = 1.131 m^2
Keliling penampang tiang, P = 3.77 m
P aksial = 1466.2 t
$N\text{-}SPT_{z=28m}$ = 48
Dr = 96%
fc' = 35 MPa
Modulus Elastisitas, E_{tiang} = $40558.5996\ {}^{t}/_{m^2}$
Momen Inersia, I_{tiang} = $0.102 m^4$

$\lambda_{beton} = 1$

$f_r = 0.62 \times \lambda \times (fc'^{0.5})$
$= 0.62 \times 1 \times (35^{0.5})$
$= 3.66797$ MPa
$= 366.797\ {}^{t}/_{m^2}$

$y_t = 0.5D$
$= 0.6$ m

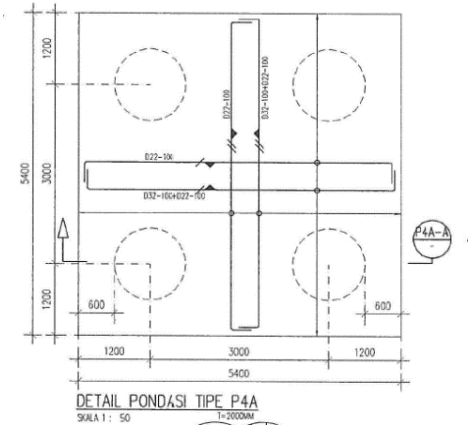
$$M_{crack} = \frac{f_r \times I}{y_t}$$

$$M_{crack} = \frac{366.797\ {}^{t}/_{m^2} \times 0.102 m^4}{0.6m}$$

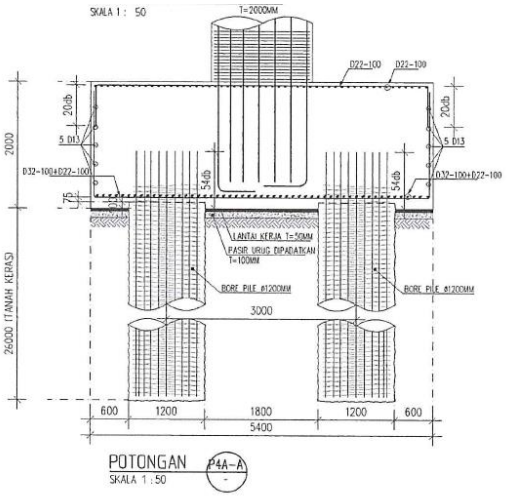
$M_{crack} = 62.2256$ t.m
$L_{tiang} = 26m$

7.3.1 Kontrol Kapasitas Aksial Satu Tiang

Gambar 7.9 dan Gambar 7.10 menunjukkan konfigurasi tiang pada join 1662. Berikut merupakan contoh perhitungan kontrol kapasitas aksial:



Gambar 7. 8 Detail Pondasi Konfigurasi 4x4 Tipe P4A
Sumber: Dokumen Proyek



Gambar 7. 9 Potongan A Pada Detail Pondasi Tipe P4A
Sumber: Dokumen Proyek

$\frac{P}{n}$ = $\frac{1466.2\ t}{4} = 366.55\ t$

ΣM_x = 6.063 t.m

ΣM_y = 11.028 t.m

x = 2.122 m

y = 2.122 m

m = 2

n = 2

$\frac{\sum M_x \times y}{\sum y^2}$ = 2.5995 t

$\frac{\sum M_y \times x}{\sum x^2}$ = 1.429 t

$P_{max,min}$ = $\frac{P}{n} \pm \frac{\sum M_x \times y}{\sum y^2} \pm \frac{\sum M_y \times x}{\sum x^2}$

P_{max} = $366.55\ t + 1.429\ t + 2.5595\ t$

P_{max} = 370.579 t

P_{min} = $366.55\ t - 2.5595\ t - 1.429\ t$

= 362.521 t

Kontrol dengan metode Meyerhof & Bazaraa

Pijin = 511.17 t

SF = $\frac{P_{ijin}}{P_{max}}$

= $\frac{513.02t}{370.579t}$

= 1.384

SF > 1; OK

Kontrol dengan metode Reese & Wright

Pijin = 622.354 t

SF = $\frac{P_{ijin}}{P_{max}}$

SF = $\frac{622.354t}{370.579t}$

SF = 1.679

SF > 1; OK

7.3.2 Kontrol Kapasitas Aksial Grup

Efisiensi dengan Seiler-Keeney Formula

$$E_{ff} = 1 - \left\{1 - \left[\left(\frac{36s}{75s^2 - 7}\right) \times \left(\frac{m + n - 2}{m + n - 1}\right)\right]\right\} + \frac{0.3}{m + n}$$

$$= 1 - \left\{1 - \left[\left(\frac{36 \times 3m}{75(3m^2) - 7}\right) \times \left(\frac{2 + 2 - 2}{2 + 2 - 1}\right)\right]\right\} + \frac{0.3}{2 + 2}$$

$$= 0.18278$$

Efisiensi dengan metode Converse Labarre

$$C_e = 1 - \frac{\tan^{-1}\left(\frac{D}{S}\right)}{90°} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$C_e = 1 - \frac{\tan^{-1}\left(\frac{1.2m}{3n}\right)}{90°} \times \left(2 - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\right)$$

$$= 0.75776$$

Efisiensi dengan metode Los Angeles

$$C_e = 1 - \frac{B}{L} \times \frac{1}{\pi mn}\left[\begin{matrix} m(n+1) + n(n-1) + \\ \sqrt{2(m-1)(n-1)} \end{matrix}\right]$$

$$= 1 - \frac{4.2m}{26m} \times \frac{1}{\pi \times 2 \times 2}\left[\begin{matrix} 2(2+1) + 2(2-1) + \\ \sqrt{2(2-1)(2-1)} \end{matrix}\right]$$

$$= 0.9304$$

Efisiensi grup minimum, $E_{ff} = 0.18278$

Kontrol dengan metode Meyerhof & Bazaraa

Pijin = 513.02 t

Pijin grup $= P_{ijin} \times E_{ff} \times n$

$= 513.02\ t \times 0.18278 \times 4$

$= 375.088$ t

$$SF = \frac{P_{ijin\ grup}}{P_{max}}$$

$$= \frac{375.088\ t}{370.579\ t}$$

SF = 1.012> 1; OK

Kontrol dengan metode Reese & Wright

Pijin = 622.354 t

Pijin grup = $P_{ijin} \times E_{ff} \times n$

= $622.354\ t\ t \times 0.18278 \times 4$

= 455.026 t

SF = $\frac{P_{ijin\ grup}}{P_{max}}$

= $\frac{455.026\ t}{370.579\ t}$

= 1.23 > 1; OK

7.3.3 Kontrol Defleksi Lateral

P lateral = 2.16 t

$\frac{P_{lateral}}{n}$ = $\frac{2.16\ t}{4} = 0.54\ t$

f = $58\ {}^{t}/_{ft^3}$ (Gambar 7.11)

= $1.856\ {}^{kg}/_{cm^3}$

T = $\sqrt[5]{\left(\frac{E_{tiang} \times I_{tiang}}{f}\right)}$

T = $\sqrt[5]{\left(\frac{4055.86\ {}^{kg}/_{cm^2} \times 10178760.2 cm^4}{1.856\ {}^{kg}/_{cm^3}}\right)}$

T = 117.338 cm = 1.173 m

$\frac{L}{T}$ = $\frac{26\ m}{1.173\ m}$

= 22.158

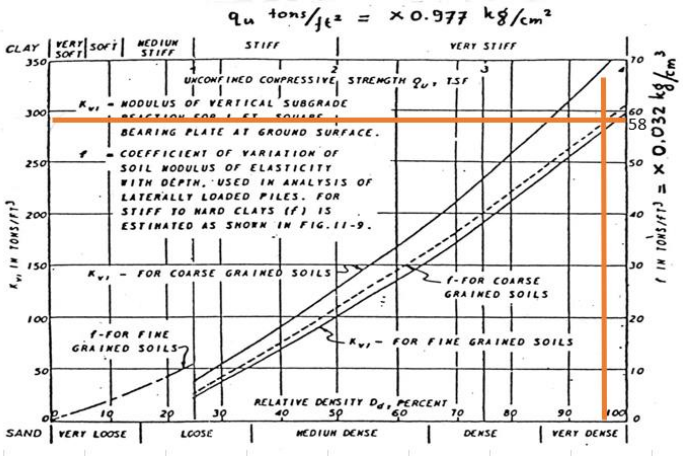
Fδ = 0.945 (Gambar 7.12)

δP = $F\delta \times \left(\frac{P \times T}{E_{tiang} \times I_{tiang}}\right)^3$

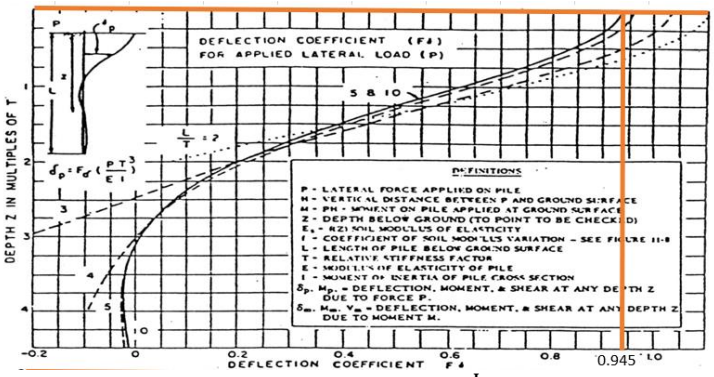
$$\delta P = 0.945 \times \left(\frac{0.54\ \text{t} \times 1.173\ \text{m}}{40558.5996\ {}^{\text{t}}/_{\text{m}^2} \times 0.102\text{m}^4} \right)^3$$

$$\delta P = 0.0001997\ \text{m}$$

$$\delta P < 0.012\ \text{m; OK}$$



Gambar 7. 10 Hasil Plot Grafik Dr-f



Gambar 7. 11 Hasil Plot Grafik $\frac{L}{T}$ dengan Fδ

7.3.4 Kontrol Momen Lateral

M lateral = 6.063 t.m
M_{crack} = 62.2256 t.m
Kontrol = M lateral < M_{crack} ; OK

Berikut pada Tabel 7.2 dan Tabel 7.3 merupakan rekapitulasi hasil evaluasi pondasi tiang pada joint 1662.

Tabel 7. 2 Rekapitulasi Hasil Evaluasi Pondasi Joint 1662

Joint	N pondasi	P aksial	P aksial / n	Pmax	Pmin	P 1 tiang	
						Meyerhof Bazara	Reese & Wright
	(buah)	ton	ton	ton	ton	Ket	Ket
1662	4	1466.2	366.55	370.5787	362.5213	OK	OK

Tabel 7. 3 Rekapitulasi Hasil Evaluasi Pondasi Joint 1662 (Lanjutan)

Joint	N pondasi	P aksial	P aksial / n	Pmax	Pmin	Grup		Kontrol Lateral	
						Meyerhof Bazara	Reese & Wright	Defleksi Lateral	Momen Lateral
	(buah)	ton	ton	ton	ton	Ket	Ket	Ket	Kontrol M lateral < Mcrack
1662	4	1466.2	366.55	370.5787	362.5213	OK	OK	OK	OK

BAB VIII
PERENCANAAN ALTERNATIF PONDASI DANGKAL

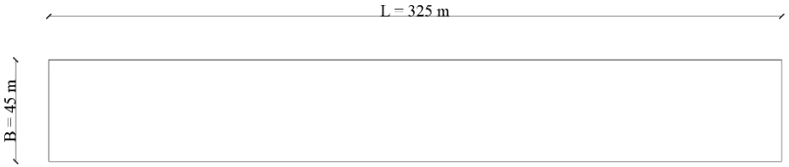
8.1. Perencanaan Pada *Runway*

Perencanaan alternatif pondasi dangkal pada runway yang digunakan adalah pondasi cakar ayam modifikasi. Pondasi tersebut berupa pelat tipis dan pipa-pipa yang dibuat komposit. Kriteria yang digunakan dalam perencanaan sebagai berikut:

1. Berat volum beton bertulang = $24\ {}^{kN}/_{m^3}$
2. Mutu beton (fc') = 35 MPa
3. Mutu tulangan baja (fy) = 400 MPa
4. Modulus elastisitas beton = $405586\ {}^{kN}/_{m^2}$

8.1.1 Daya Dukung Pondasi

Pondasi direncanakan dengan dimensi sesuai dengan dimensi *runway* yaitu 45m x 325m dan pada kedalaman 2m. Berikut perhitungan daya dukung pondasi:



Gambar 8. 1 Sketsa Tampak Atas Dimensi Pondasi Cakar Ayam di *Runway*

Data tanah yang digunakan	=	Data tanah sesudah perbaikan pada kedalaman 1-3 m
Kondisi	=	Long term
Level M.A.T	=	±0.00 m

γ_{sat} = $15.478\ {}^{kN}/_{m^3}$

$$\gamma' = 5.478\ {}^{kN}/_{m^3}$$

$$\phi = 31.522°$$

$$\phi' = \tan^{-1}\left[\left(\frac{2}{3}\right) \times (\tan\phi)\right]$$

$$= \tan^{-1}\left[\left(\frac{2}{3}\right) \times (\tan 31.522°)\right]$$

$$= 22.238°$$

$$N_q = \left(\tan\left(45° + \frac{\phi'}{2}\right)\right)^2 \times e^{\pi \tan \phi'}$$

$$N_q = \left(\tan\left(45° + \frac{22.238°}{2}\right)\right)^2 \times e^{\pi \tan 22.238°}$$

$$= 8.013$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \phi'}$$

$$= \frac{8.013 - 1}{\tan 22.238°}$$

$$= 17.152$$

$$N_\gamma = (N_q - 1)\tan(1.4\phi)$$

$$= (8.013 - 1)\tan(1.4 \cdot 22.238°)$$

$$= 4.236$$

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right)$$

$$= 1 + \left(\frac{45m}{325m}\right)\left(\frac{8.013}{17.152}\right)$$

$$= 1.065$$

$$F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)(\tan \phi')$$

$$F_{qs} = 1 + \left(\frac{45m}{325m}\right)(\tan 31.522°)$$

$$= 1.057$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{B}{L}\right)$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{45m}{325m}\right)$$

$$F_{\gamma s} = 0.945$$

$$F_{qd} = 1 + 2\tan\phi'(1-\sin\phi')^2\left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$= 1 + 2\tan 22.238°(1-\sin 22.238°)^2\left(\frac{2m}{45m}\right)$$

$$= 1.014$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1-F_{qd}}{N_q \tan\phi'}$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1-1.014}{8.013\tan\phi'}$$

$$= 1.018$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

$$F_{ci} = 1$$

$$F_{qi} = 1$$

$$F_{\gamma i} = 1$$

$$q_u = c\,N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q\,N_q\,F_{qs} F_{qd} F_{qi} +$$

$$0.5\,\gamma\,B\,N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

$$0 \cdot 17.152 \cdot 1.065 \cdot 1.018 \cdot 1 +$$

$$= \left(5.478\,{}^{kN}/_{m^3} \cdot 2m\right) \cdot 8.013 \cdot 1.057 \cdot 1.014 \cdot 1 +$$

$$0.5 \cdot 45m \cdot 4.236 \cdot 0.945 \cdot 1 \cdot 1$$

$$q_u = 587.319\,{}^{kN}/_{m^2}$$

$$q_{ijin} = \frac{q_u}{SF}$$

$$q_{ijin} = \frac{587.319\,{}^{kN}/_{m^2}}{3}$$

$$= 195.773\ {}^{kN}/_{m^2} = 19.963\,{}^{t}/_{m^2}$$

8.1.2 Perencanaan Dimensi

Perencanaan dimensi pondasi pada *runway* mempertimbangkan pada beban yang akan diterima. Beban yang digunakan adalah

beban pesawat yang memiliki berat terbesar, yaitu pesawat Boeing 747-300. Berikut perhitungan perencanaan dimensi pondasi:

1. Beban pesawat = 63503 kg
2. *Contact stress* = $13\ {}^{kg}/_{cm^2}$
3. Beban 1 roda = 20900 kg
4. Mutu beton pelat (fc') = $356.902\ {}^{kg}/_{cm^2}$
5. Material pipa = Baja
6. Diameter pipa = 1.2 m
7. Jarak antar pipa = 2.5 m
8. Tebal pipa = 80 mm
9. Banyak baris pipa = 18
10. Banyak kolom pipa = 130

P (*dual wheel*) = 95% × W
= 95% × 63503 kg
= 60327.9 kg

$P_{1\ roda} = \frac{P\ (dual\ wheel)}{4}$

$= \frac{60327.9\ kg}{4}$

= 15082 kg

Lebar roda = 16 in
Lebar roda = 40.64 cm
Jarak roda = 30.5 in
= 77.47 cm

$X = \frac{P_{1\ roda}}{\text{main gear pressure}} \times \frac{1}{\text{lebar roda}}$

$= \frac{15082\ kg}{13\ {}^{kg}/_{cm^2}} \times \frac{1}{40.64\ cm}$

= 28.547 cm

S = Lebar roda + Jarak antar roda
S = 40.64 cm + 77.47 cm
S = 118.11 cm

B = 4(S)+ 0.3
= $4(118.11\ \text{cm}) + 0.3$
= 472.74 cm

Beban pesawat (q) = $\dfrac{\text{P } (dual\ wheel)}{[5(\text{s}) + (\text{s} - \text{d})] \times [4(\text{s}) + \text{x}]}$

= $\dfrac{60327.9\ \text{kg}}{[5(118.11\ \text{cm}) + (118.11\ \text{cm} - 77.47\ \text{cm})]} \times \dfrac{1}{[4(118.11\ \text{cm}) + 28.457\ \text{cm}]}$

= $0.191\ {}^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2}$

A = $[5(\text{s}) + (\text{s} - \text{d})] \times [4(\text{s}) + \text{x}]$
= $[5(118.11\ \text{cm}) + (118.11\ \text{cm} - 77.47\ \text{cm})] \times [4(118.11\ \text{cm}) + 28.457\ \text{cm}]$
= 316218 cm^2

Diameter bidang kontak, R = $\sqrt{\dfrac{\text{A} \times 4}{\pi}}$

R = $\sqrt{\dfrac{316218\text{cm}^2 \times 4}{\pi}}$

R = 634.524 cm

$\tau_{pons} = 0.97\sqrt{fc'}$

$= 0.97\sqrt{356.902\ {}^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2}}$

$\tau_{pons} = 18.3251\ {}^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2}$

τ_{pons} minim = $\dfrac{3\ \text{P}}{\pi h_t(\text{R} + h_t)}$

$18.3251\ {}^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2} = \dfrac{3 \cdot 63503\ \text{kg}}{\pi h_t(634.524\ \text{cm} + h_t)}$

$18.3251\ {}^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2} = 190509\ {}^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2} \times (1993.42h_t + \pi {h_t}^2)$

$0 = 57.57{h_t}^2 + 36529.6h_t$

-190509

h_{t_1} = 5.173 cm

h_{t_2} = -639.7 cm

h_t minimum = 5.173 cm

Maka, digunakan tebal pelat (h_t)sebesar 0.30 m

$$K_p = \left(\tan\left(45° + \frac{\phi'}{2}\right)\right)^2$$

$$K_p = \left(\tan\left(45° + \frac{22.238°}{2}\right)\right)^2$$

$$= 2.218$$

$$y = \frac{1.5 \cdot n \cdot q}{\gamma \cdot K_p}$$

$$= \frac{1.5 \cdot 18 \cdot 1\,{}^{t}/_{m^2}}{0.559\,{}^{t}/_{m^3} \cdot 2.218}$$

$$= 21.793 \text{ m}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{SF \cdot a^3 \cdot y}{b}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 2.5m^3 \cdot 21.793 \text{ m}}{2.5m}}$$

$$= 9.477 \text{ m}$$

Maka, panjang pipa (h) yang digunakan adalah 10 m

8.1.3 Perhitungan Settlement

$\frac{L}{B}$ = $\frac{325 \text{ m}}{45 \text{ m}} = 7.222$

C_f = 1.902

E_s = $29.5652\ {}^{MN}/_{m^2} = 3014.81\,{}^{t}/_{m^2}$

ν = 0.3087

q = $0.191\,{}^{kg}/_{cm^2} = 1.908\,{}^{t}/_{m^2}$

$$S_i = C_f \times q \times B \times \frac{1-\nu^2}{E_s}$$

$$= 1.902 \times 1.908\ {}^{t}/_{m^2} \times 45\ m \times \frac{1-0.3087^2}{3014.81\ {}^{t}/_{m^2}}$$

$$= 0.049\ m = 4.9\ cm$$

8.2. Perencanaan Pada Gedung Terminal

Gedung terminal setinggi 3 lantai dan 1 basement seperti pada Gambar 8.2. Alternatif perencanaan pondasi dangkal pada gedung terminal adalah konstruksi sarang laba-laba dan pondasi cakar ayam modifikasi. Perencanaan pondasi pada gedung terminal menggunakan beban-beban pada setiap kolom yang ada. Namun, pada data hanya didapatkan beban kolom maksimum di setiap konfigurasi pondasi eksisting. Maka, beban-beban setiap kolom dianalogikan akan memiliki beban yang sama jika memiliki tipe konfigurasi pondasi eksisting yang sama. Di samping itu, digunakan kriteria perencanaan sebagai berikut:

1. Berat volum beton bertulang = $24\ {}^{kN}/_{m^3}$
2. Mutu beton (fc') = 35 MPa
3. Mutu tulangan baja (fy) = 400 MPa
4. Modulus elastisitas beton = $405586\ {}^{kN}/_{m^2}$

8.2.1 Perhitungan Beban dan Tegangan Kontak

Beban-beban pada setiap kolom di gedung terminal diasumsikan dengan menganalogikan kolom dengan konfigurasi pondasi yang sama akan memiliki beban yang sama. Hal ini dikarenakan hanya terdapat rekapitulasi beban maksimum dari proyek. Berikut contoh perhitungan beban dan tegangan kontak pada *section* B:

Total beban (Q_i) = 505804.24 kN

Luas Pondasi = $4500 m^2$

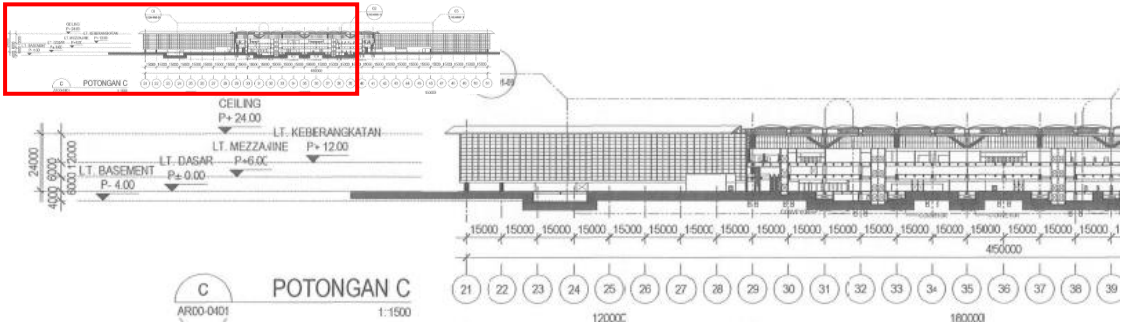
$$Ix = \frac{1}{12} \times l \times b^3$$

$$Ix = \frac{1}{12} \times 75m \times 60m^3$$
$$= 1350000m^4$$
$$Iy = \frac{1}{12} \times b \times l^3$$
$$= \frac{1}{12} \times 60m \times 75m^3$$
$$= 2109375m^4$$
$$X' = \frac{\sum_{i=0}^{n}(Q_i \times x_i)}{\sum Q_i}$$
$$X' = \frac{12558451\ kNm}{505804.24\ kN}$$
$$= 24.829\ m$$
$$Y' = \frac{\sum_{i=0}^{n}(Q_i \times y_i)}{\sum Q_i}$$
$$Y' = \frac{9084975.15\ kNm}{505804.24\ kN}$$
$$Y' = 17.961\ m$$
$$e_x = X' - \frac{l}{2}$$
$$= 24.829\ m - \frac{75m}{2}$$
$$e_x = -12.671\ m$$
$$e_y = Y' - \frac{b}{2}$$
$$= 17.961m - \frac{60m}{2}$$
$$e_y = -12.039\ m$$
$$Mx = Q \times e_y$$
$$= 505804.24kN \times 12.039m$$
$$= 6089152.05\ kNm$$
$$My = Q \times e_x$$
$$= 505804.24kN \times 12.671m$$
$$= 6409207.95\ kNm$$

$$q_{max,min} = \frac{Q}{A} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x}$$

$$= \frac{505804.24\text{kN}}{4500\text{m}^2} \pm \frac{6409207.95\text{kNm} \cdot x}{2109375\text{m}^4} \pm \frac{6089152.05\text{kNm} \cdot y}{1350000\text{m}^4}$$

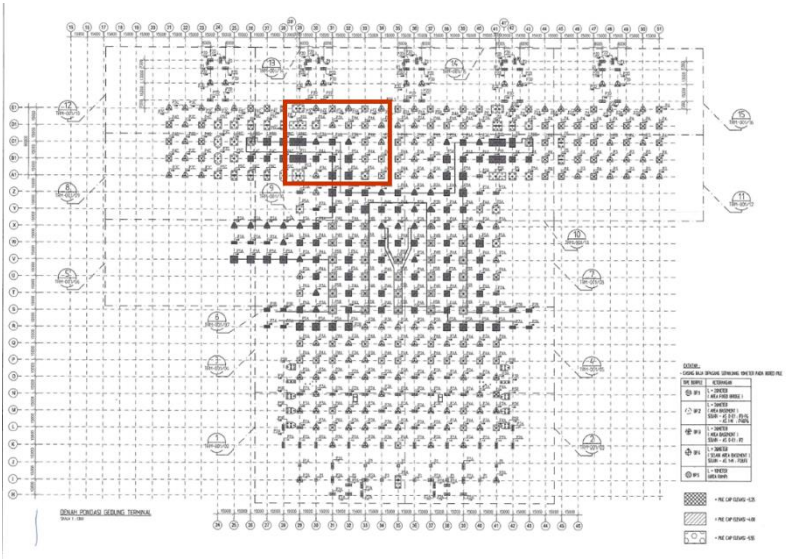
$$q_{max} = 361.657 \ {}^{\text{kN}}/_{\text{m}^2}$$



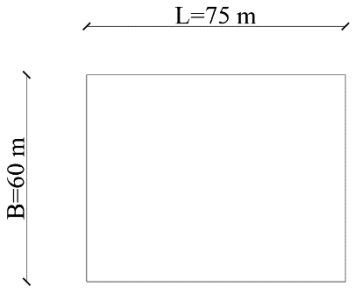
Gambar 8. 2 Potongan Memanjang Gedung Terminal

8.2.2 Daya Dukung Pondasi

Perencanaan alternatif pondasi dangkal dilakukan dengan membagi gedung terminal menjadi beberapa *section* untuk mempermudah perhitungan. Pembagian *section* dapat dilihat pada Lampiran. Letak *section* B dapat dilihat pada Gambar 8.3. Perhitungan ini mengasumsikan bahwa dimensi dan kedalam pondasi, baik pondasi cakar ayam dan KSLL, dianggap sama. Sketsa dimensi pondasi dangkal tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.4. Berikut contoh perhitungan daya dukung pada *section* B:



Gambar 8. 3 Letak *Section* B Pada Gedung Terminal



Gambar 8. 4 Sketsa Dimensi Pondasi Dangkal Gedung Terminal

Data tanah yang digunakan	=	Data tanah sesudah perbaikan pada kedalaman 4 m
Kondisi	=	Long term
Level M.A.T	=	±0.00 m
Letak As *Section*	=	[(29-34);(A1-E1)]

$\gamma_{sat} = 15.30\ {}^{kN}/_{m^3}$

$\gamma' = 5.30\ {}^{kN}/_{m^3}$

$\phi = 31.20°$

$\phi' = \tan^{-1}\left[\left(\frac{2}{3}\right) \times (\tan \phi)\right]$

$\phi' = \tan^{-1}\left[\left(\frac{2}{3}\right) \times (\tan 31.20°)\right]$

$= 21.983°$

$N_q = \left(\tan\left(45° + \frac{\phi'}{2}\right)\right)^2 \times e^{\pi \tan \phi'}$

$= \left(\tan\left(45° + \frac{21.983°}{2}\right)\right)^2 \times e^{\pi \tan 21.983°}$

$= 7.808$

$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \phi'}$

$N_c = \frac{7.808 - 1}{\tan 21.983°}$

$N_c = 14.387$

$$
\begin{aligned}
N_\gamma &= \left(N_q - 1\right)\tan(1.4\phi) \\
&= (7.808 - 1)\tan(1.4 \cdot 21.983°) \\
&= 4.054 \\
F_{cs} &= 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right) \\
&= 1 + \left(\frac{45m}{325m}\right)\left(\frac{7.808}{14.387}\right) \\
&= 1.434 \\
F_{qs} &= 1 + \left(\frac{B}{L}\right)(\tan\phi') \\
F_{qs} &= 1 + \left(\frac{60m}{75m}\right)(\tan 21.983°) \\
&= 1.323 \\
F_{\gamma s} &= 1 - 0.4\left(\frac{B}{L}\right) \\
&= 1 - 0.4\left(\frac{60m}{75m}\right) \\
&= 0.68 \\
F_{qd} &= 1 + 2\tan\phi'(1 - \sin\phi')^2\left(\frac{D_f}{B}\right) \\
&= 1 + 2\tan 21.983°(1 - \sin 21.983°)^2\left(\frac{4m}{60m}\right) \\
&= 1.021 \\
F_{cd} &= F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_q \tan\phi'} \\
&= F_{qd} - \frac{1 - 1.021}{7.808\tan 21.983°} \\
&= 1.028 \\
F_{\gamma d} &= 1 \\
F_{ci} &= 1 \\
F_{qi} &= 1 \\
F_{\gamma i} &= 1 \\
q_u &= c\,N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q\,N_q\,F_{qs} F_{qd} F_{qi} +
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
q_u &= 0.5\,\gamma\,B\,N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \\
&= 0 \cdot 14.387 \cdot 1.434 \cdot 1.028 \cdot 1 + \\
&\quad \left(5.3\,{}^{kN}/_{m^3} \cdot 4m\right) \cdot 7.808 \cdot 1.323 \cdot 1.021 \cdot 1 + \\
&\quad 0.5 \cdot 60m \cdot\ 4.054 \cdot 0.68 \cdot 1 \cdot 1 \\
q_u &= 306.477\,{}^{kN}/_{m^2} \\
SF &= \frac{q_u}{q_{max}} \\
&= \frac{306.477\,{}^{kN}/_{m^2}}{361.657\,{}^{kN}/_{m^2}} \\
&= 0.847
\end{aligned}
$$

8.2.3 Perhitunggan Settlement

Perhitungan settlement berikut mengasumsikan dimensi (B x L) dan kedalaman pondasi untuk pondasi cakar ayam dan KSLL adalah sama. Berikut contoh perhitungan settlement untuk *section* B:

$$
\begin{aligned}
\nu &= 0.303 \\
E_s &= 28586.96\,{}^{kN}/_{m^2} \\
\frac{L}{B} &= \frac{75m}{60m} = 1.25 \\
C_f &= 0.963 \\
S_i &= q \times B \times C_f \times \frac{1-\nu^2}{E_s} \\
S_i &= 361.657\,{}^{kN}/_{m^2} \times 60\ m \times 0.963 \times \\
&\quad \frac{1-0.303^2}{28587\,{}^{kN}/_{m^2}} \\
S_i &= 0.663\ m = 66.3\ cm \\
S\ max &= 15 + \frac{B\ (cm)}{600}
\end{aligned}
$$

$$S\ max = 15 + \frac{6000}{600}$$
$$= 25\ cm$$
$S_i > S\ max$; Not OK

Hasil perhitungan pada Sub Bab 8.2.2 dan Sub Bab 8.2.3 menunjukkan bahwa SF<1 dan *settlement* yang terjadi melebihi *settlement* maksimum. Hal tersebut didukung dengan hasil rekapitulasi untuk seluruh *section* pada Tabel 8.1. Oleh karena itu, alternatif perencanaan pondasi dangkal, baik pondasi cakar ayam dan KSLL, untuk gedung terminal tidak dapat digunakan karena SF *bearing capacity* kurang dari satu (1) dan *settlement* yang terjadi melebihi *settlement* maksimum.

Tabel 8. 1 Hasil Rekapitulasi Perhitungan SF dan *Settlement* Pondasi Dangkal Untuk Seluruh *Section* Pada Gedung Terminal

No.	Section	Kedalaman Pondasi (m)	Dimensi Pondasi (m)		SF terjadi	Kontrol SF	Settlement terjadi (cm)	Settlement max (cm)	Kontrol Settlement
			B	L					
1	A	4	60	105	0.903	Not OK	77.088	32.5	Not OK
2	B	4	60	75	0.847	Not OK	66.341	25	Not OK
3	C	4	60	75	0.965	Not OK	58.240	27.5	Not OK
4	D	4	30	60	0.570	Not OK	51.774	25	Not OK
5	E	2	60	105	0.650	Not OK	65.085	32.5	Not OK
6	F	4	30	45	0.950	Not OK	27.630	22.5	Not OK
7	G	4	90	180	0.971	Not OK	123.965	45	Not OK
8	H	4	15	30	1.634	OK	8.477	20	OK
9	I	4	15	30	0.446	Not OK	31.044	20	Not OK
10	J	4	15	30	0.555	Not OK	24.950	20	Not OK
11	K	4	15	30	0.518	Not OK	26.750	20	Not OK
12	L	4	15	30	0.297	Not OK	46.568	20	Not OK
13	M	4	15	15	5.588	OK	2.029	17.5	OK
14	N	4	60	75	1.031	OK	54.506	27.5	Not OK
15	O	4	60	90	0.948	Not OK	63.817	30	Not OK
16	P	4	15	30	0.884	Not OK	15.664	20	OK
17	Q	4	15	30	0.715	Not OK	19.360	20	OK
18	R	4	15	30	0.704	Not OK	19.667	20	OK
19	S	4	15	30	0.735	Not OK	18.847	20	OK
20	T	4	15	30	0.764	Not OK	18.128	20	OK

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB IX
KESIMPULAN

9.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis data maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Lapisan tanah yang berpotensi likuifaksi pada tanah sebelum perbaikan adalah sebagai berikut:
   a. Area *Runway*: Elevasi ±0.0 m hingga -1.00 m
   b. Area gedung terminal: Elevasi ±0.0 m hingga -4.00 m

   Sedangkan, lapisan tanah yang berpotensi likuifaksi pada tanah sesudah perbaikan adalah sebagai berikut:
   a. Area *Runway*: sedalam 1 meter
   b. Area gedung terminal: Tidak ditemukan potensi likuifaksi
2. Perbaikan tanah pada area *runway* belum sepenuhnya menghilangkan potensi likufaksi. Namun, perbaikan tanah pada area gedung terminal telah sepenuhnya menghilangkan potensi likuifaksi
3. Tidak semua pondasi eksisting memiliki hasil evaluasi yang memuaskan dari segi beban aksial, momen lateral.
4. Perencanaan pondasi dangkal dengan tipe pondasi cakar ayam pada area *runway* memiliki dimensi 325m x 45 m yang disesuaikan dengan area *runway* eksisting. Pondasi tersebut diletakkan pada kedalaman -2 m serta memiliki tebal pelat sebesar 0.30 m dan panjang pipa sebesar 10m.
5. Perencanaan alternatif pondasi dangkal, baik pondasi cakar ayam dan KSLL, pada area gedung terminal tidak dapat dilakukan karena memiliki SF *bearing capacity* yang kurang dari satu (1) yang ditentukan serta *settlement* yang terjadi melebihi *settlement* maksimum. Pada Tabel 9.1 berikut merupakan rekapitulasi SF *bearing capacity* dan *settlement* pada alternatif pondasi dangkal gedung terminal.

Tabel 9. 1 Rekapitulasi SF *Bearing Capacity* dan *Settlement* Pondasi Dangkal Untuk Seluruh *Section* Pada Gedung Terminal

No.	Section	Kedalaman Pondasi (m)	Dimensi Pondasi (m)		SF terjadi	Kontrol SF	Settlement terjadi (cm)	Settlement max (cm)	Kontrol Settlement
			B	L					
1	A	4	60	105	0.903	Not OK	77.088	32.5	Not OK
2	B	4	60	75	0.847	Not OK	66.341	25	Not OK
3	C	4	60	75	0.965	Not OK	58.240	27.5	Not OK
4	D	4	30	60	0.570	Not OK	51.774	25	Not OK
5	E	2	60	105	0.650	Not OK	65.085	32.5	Not OK
6	F	4	30	45	0.950	Not OK	27.630	22.5	Not OK
7	G	4	90	180	0.971	Not OK	123.965	45	Not OK
8	H	4	15	30	1.634	OK	8.477	20	OK
9	I	4	15	30	0.446	Not OK	31.044	20	Not OK
10	J	4	15	30	0.555	Not OK	24.950	20	Not OK
11	K	4	15	30	0.518	Not OK	26.750	20	Not OK
12	L	4	15	30	0.297	Not OK	46.568	20	Not OK
13	M	4	15	15	5.588	OK	2.029	17.5	OK
14	N	4	60	75	1.031	OK	54.506	27.5	Not OK
15	O	4	60	90	0.948	Not OK	63.817	30	Not OK
16	P	4	15	30	0.884	Not OK	15.664	20	OK
17	Q	4	15	30	0.715	Not OK	19.360	20	OK
18	R	4	15	30	0.704	Not OK	19.667	20	OK
19	S	4	15	30	0.735	Not OK	18.847	20	OK
20	T	4	15	30	0.764	Not OK	18.128	20	OK

9.2. Saran

1. Berdasarkan poin 2.a pada Sub Bab 9.1, perlu dilakukan metode perbaikan tanah tambahan pada area *runway*, yaitu dengan substitusi material tanah pada kedalaman yang berpotensi likuifaksi dengan material tanah sirtu yang memiliki parameter fisis lebih baik dan tidak memiliki potensi likuifaksi. Tanah yang perlu disubstitusi sedalam 1 meter.
2. Pondasi dangkal, baik pondasi cakar ayam maupun KSLL, pada gedung terminal tidak bisa dilaksanakan karena terjadi *failure* dari segi *bearing capacity*. Oleh karena itu, disarankan menggunakan pondasi dalam

DAFTAR PUSTAKA

Aini, H. (2017). *Alternatif Perencanaan pondasi Pada Pembangunan Apartemen 10 Lantai di Kawasan Gunung Anyar Surabaya.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Badan Pusat Statistik Provinsi DI Yogyakarta. (2016). *Jumlah Penumpang Pesawat Udara di Bandara Adi Sutjipto 2016.* Badan Pusat Statistik Provinsi DI Yogyakarta.

Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 1726:2012.* Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8640:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik.* Badan Standardisasi Nasional.

Boulanger, R., & Idriss, I. (2014). *CPT and SPT Based Liquefaction Triggering Procedures.* University of California.

Das, B. (2007). *Fundamentals of Geotechnical Engineering.*

Das, B. M. (n.d.). *Principles of Foundation Engineering Second Edition.* Southern Illinois University at Carbondale.

Das, B., Mochtar, N., & Mochtar, I. (1995). *Mekanika Tanah I Jilid 1* . Erlangga.

Das, B., Mochtar, N., & Mochtar, I. (1995). *Mekanika Tanah II Jilid II* . Erlangga.

Dharmawansyah, D. (2010). *Alternatif Perkuatan Lereng Pada Ruas Jalan Trenggalek - Ponorogo KM 23+650.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Eko, S., Adrin, T., & Dwi, S. (2009). Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data CPT dan N-SPT di Daerah Patalan Bantul, Yogyakarta. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan Jilid 19*, 85-97.

Gumelar, D. A. (2019). *Perbandingan Pondasi Bangunan Bertingkat Untuk Pondasi Dangkal Dengan Perbaikan Tanah dan Pondasi Dalam Tanpa Perbaikan Tanah Pada Tanah yang Berpotensi Terjadi Likuifaksi di Kabupaten Cilacap.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Haryono, R., & Maulana, T. (2007). *Analisis Penggunaan Struktur Pondasi Sarang Laba-Laba Pada Gedung BNI '46 Wilayah 05 Semarang.* Semarang: Universitas Diponegoro.

Ismail, S. (2006). *Pondasi Cakar Ayam: Menjabarkan Teori Prof. Sedijatmo.* Jakarta: PT. Perca.

Kementerian PU. (2020, Januari 4). Retrieved from http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/result/?t=eyJsb2NhdGlvbiI6eyJsYXQiOiItNy45MDEyMjU2IiwibG5nIjoiMTEwLjA1ODMxNjcifSwicmVzdWx0Ijp7IkIiOnsicGdhIjowLjQwMTMzOTYzNjY5MTk5LCJwc2EiOjAuNDAxLCJzcyI6MC44NzksInMxIjowLjM2MywiZmEiOjEsImZ2Ijo

Kurniawan, D. (2017). *Perencanaan Dinding Penahan Tanah Pada Basement Midtown Point and Ibis Styles Hotel Jakarta*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Lastiasih, Y., Irsyam, M., Sidi, I., & Toha, F. (2013). Reabilitas Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Berdasarkan Formula Reese & Wright dan Usulan Load Resistance Factor Design dalam Perencanaan Pondasi Tiang Bor Studi Kasus Proyek Jakarta. *Jurnal MKTS*.

Okpatiasari, P., Tiara, L., Prabandiyani, S., & Hardiyati, S. (2018). Analisis Geotek pada Taxiway di Proyek Pengembangan Bandara Ahmad Yani Semarang.

PT. PP KSO NYIA. (2018). *Laporan Perhitungan Fondasi Terminal Bandara Kulon Progo.* Kulon Progo: PT. PP KSO NYIA.

PT. PP KSO NYIA. (n.d.). *Laporan Struktur Atas Gedung Terminal (Boarding Kiri Kanan) Bandara Kulon Progo Yogyakarta.* Kulon Progo: PT. PP KSO NYIA.

PT. PP KSO NYIA. (n.d.). *Laporan Struktur Atas Gedung Terminal Tengah Bandara Kulon Progo Yogyakarta.* Kulon Progo: PT. PP KSO NYIA.

Rahardjo, P. (n.d.). *Buku Manual Pondasi Tiang.* Universitas Katolik Parahyangan.

Research Gate. (2020). *Load Transfer Mechanism of Axially Loaded Piles*. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/1-Load-Transfer-Mechanism-of-Axially-Loaded-

Ryantori, & Sutjipto. (1984). *Konstruksi Sarang Laba-Laba. Sistim Konstruksi Bangunan Bawah Tepat Guna Untuk Bangunan Bertingkat Tanggung (3 s/d 8 Lantai).* Surabaya: Dasa Guna.

Syafei, M. (2016). *Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Dengan Memperhitungkan Pengaruh Likuifaksi Pada Proyek Pembangunan Hotel di Lombok.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

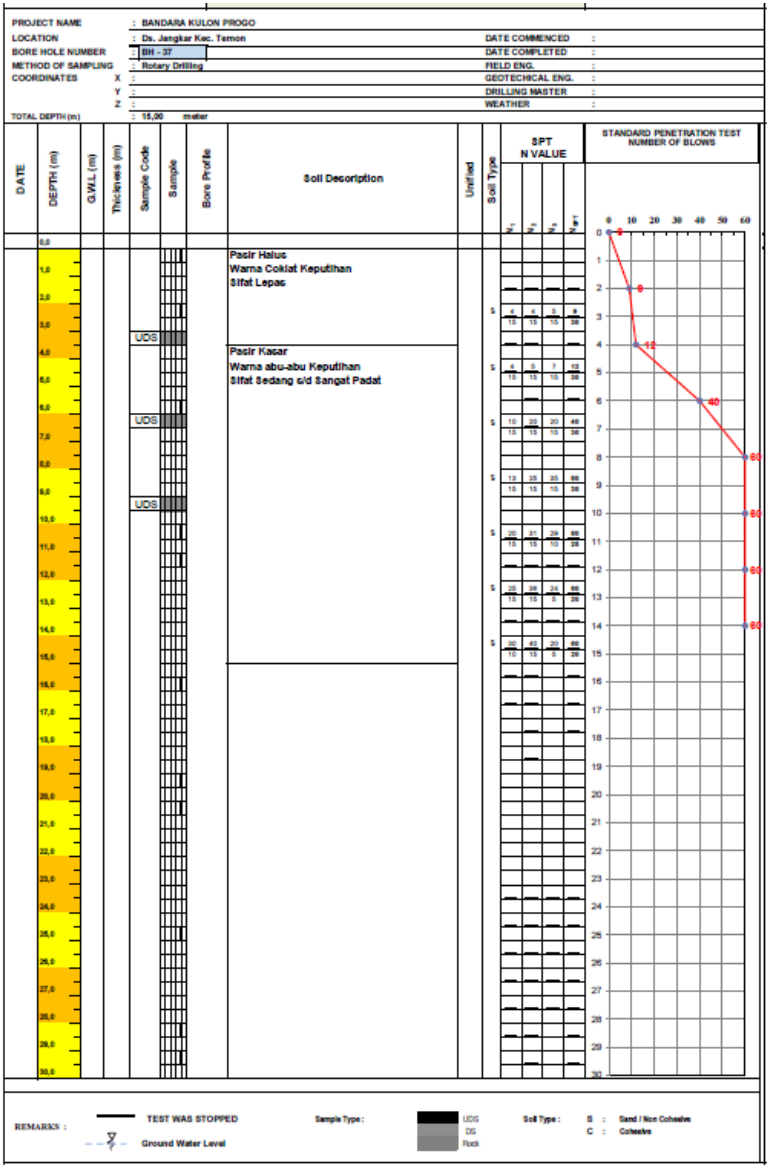
Thedy. (2016). *Studi Desain Pondasi Tiang Bor dan Diaphragm Wall Gedung World Financial Tower Lingkar Mega Kuningan Jakarta Selatan.* Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Wahyudi, H. (1999). *Daya Dukung Pondasi Dalam.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

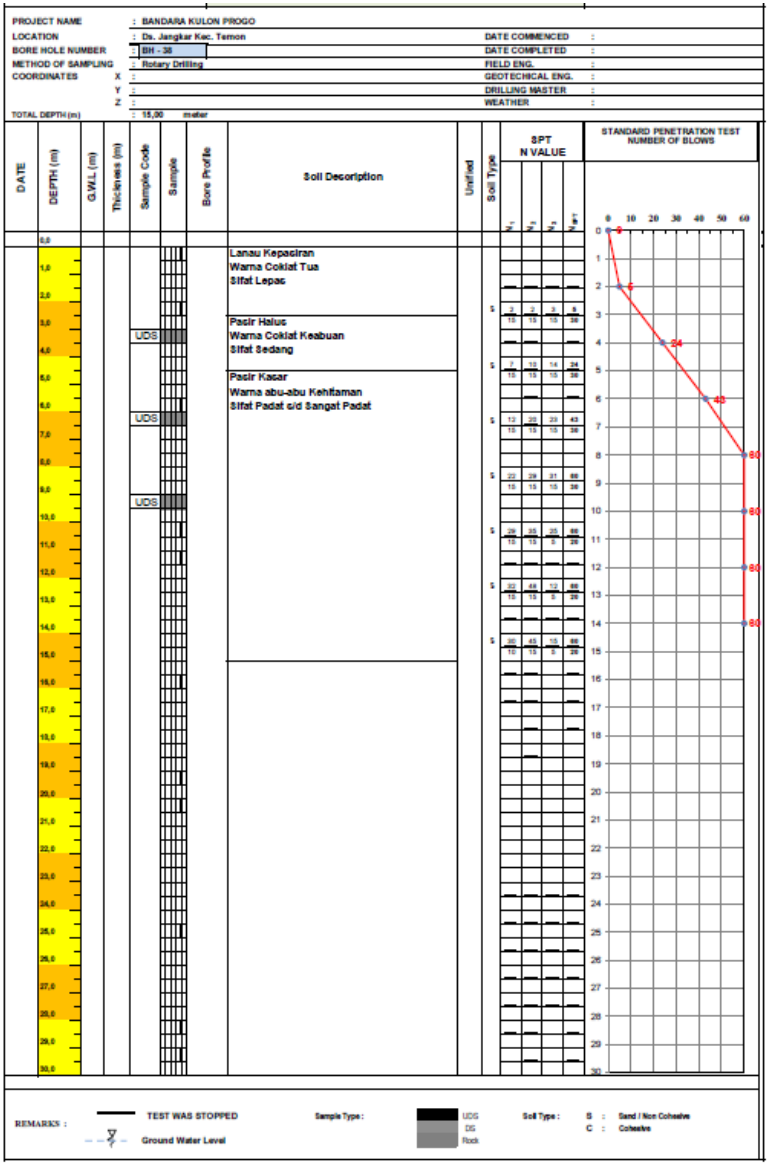
Wahyudi, H. (2012). *Daya Dukung Pondasi Dangkal*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Halaman ini sengaja dikosongkan

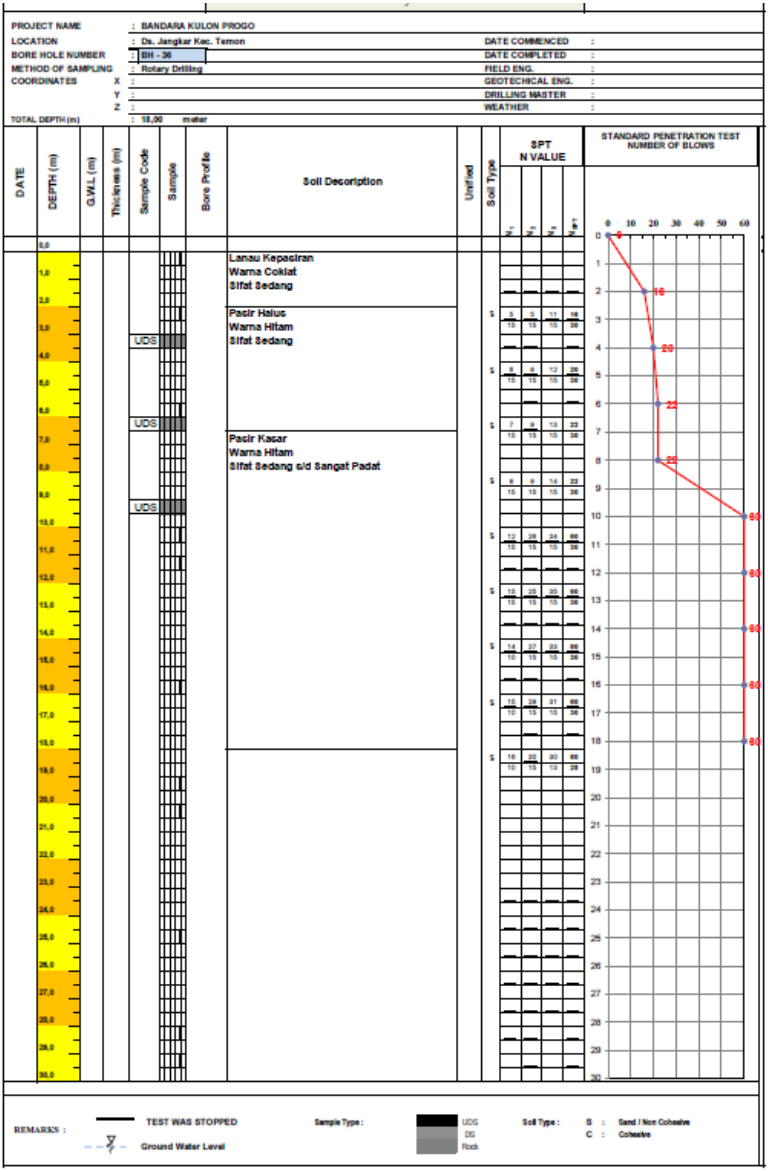
LAMPIRAN



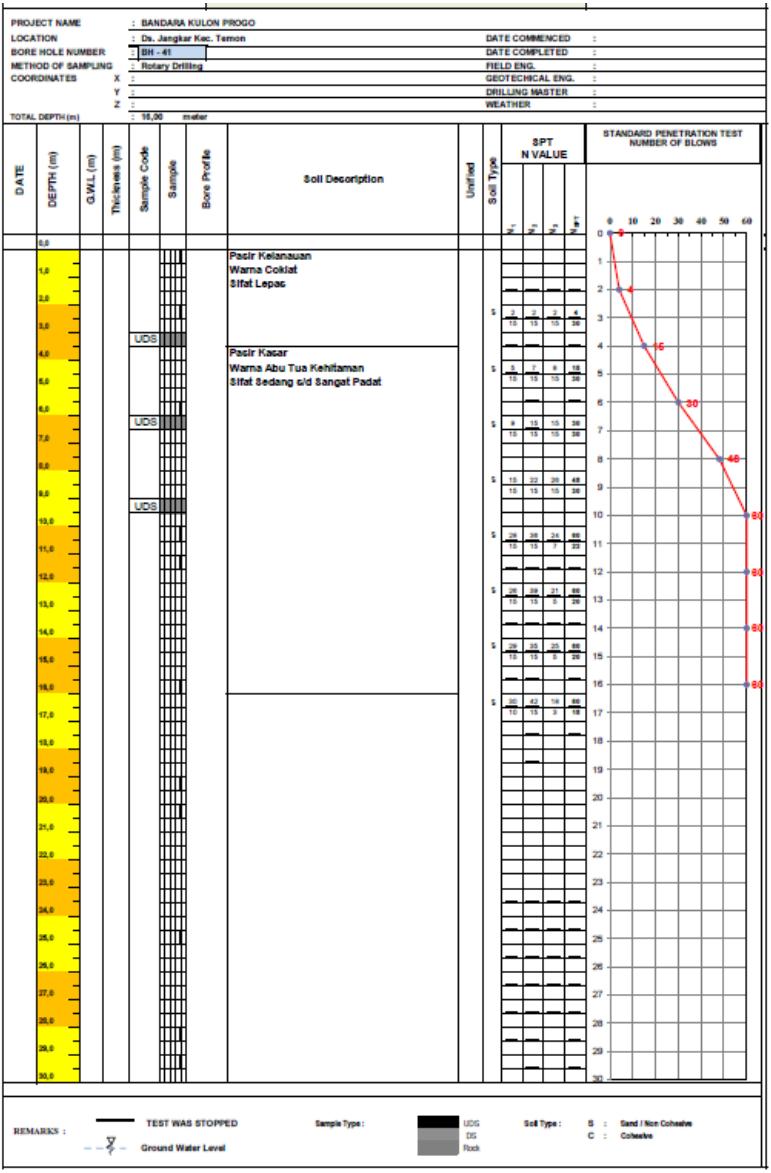
Gambar 1 Data Tanah Sebelum Perbaikan (BH 37)



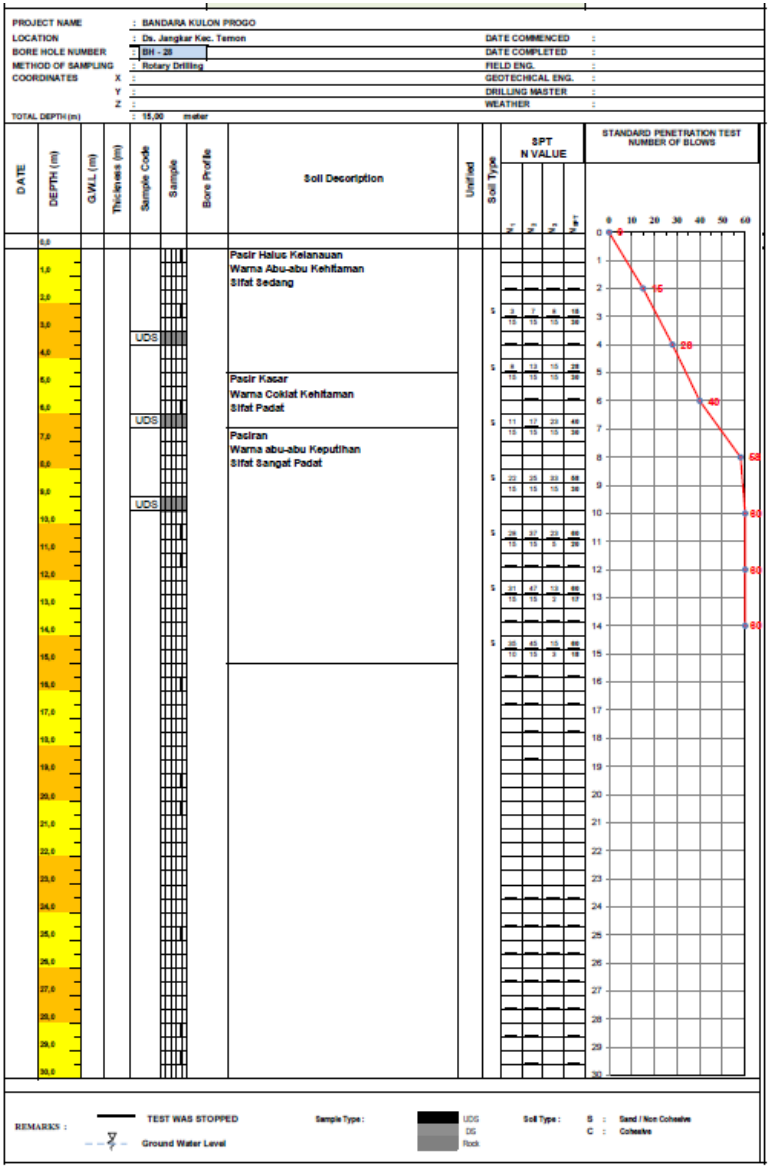
Gambar 2 Data Tanah Sebelum Perbaikan (BH 37)



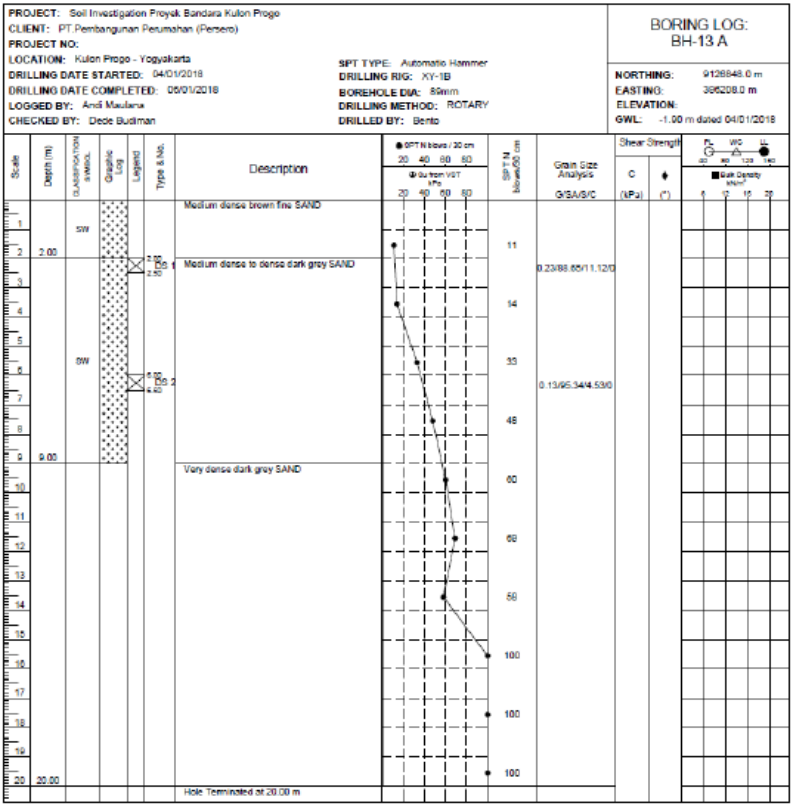
Gambar 3 Data Tanah Sebelum Perbaikan (BH 36)



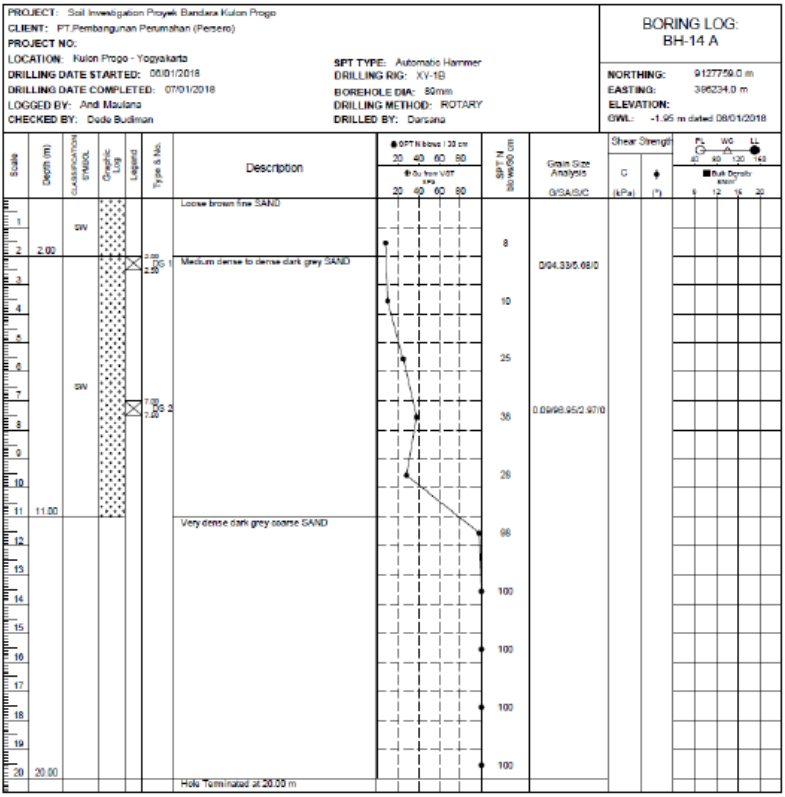
Gambar 4 Data Tanah Sebelum Perbaikan (BH 41)



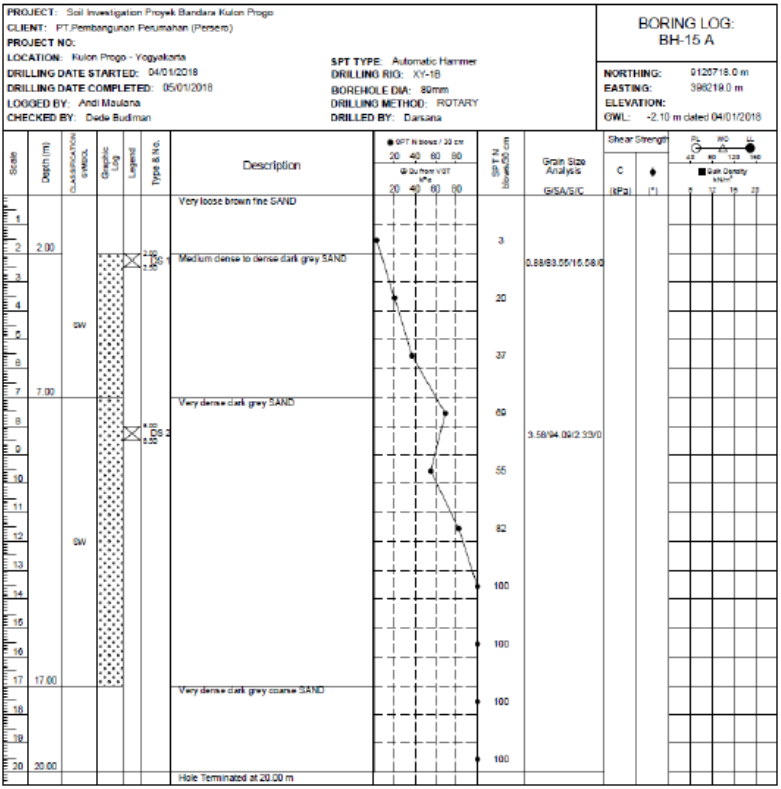
Gambar 5 Data Tanah Sebelum Perbaikan (BH 28)



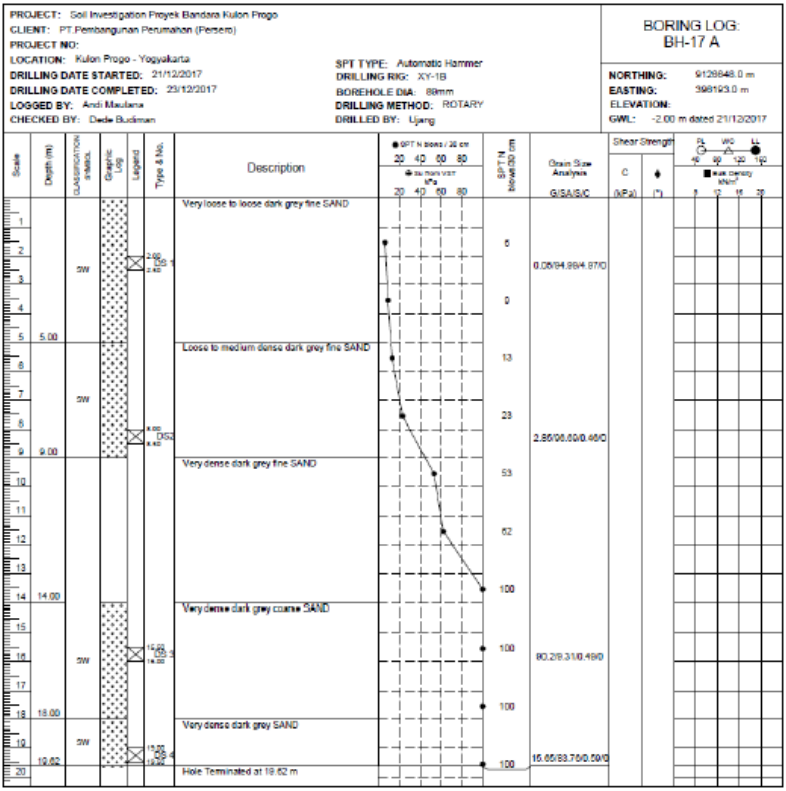
Gambar 6 Data Tanah Sebelum Perbaikan (BH 13A)



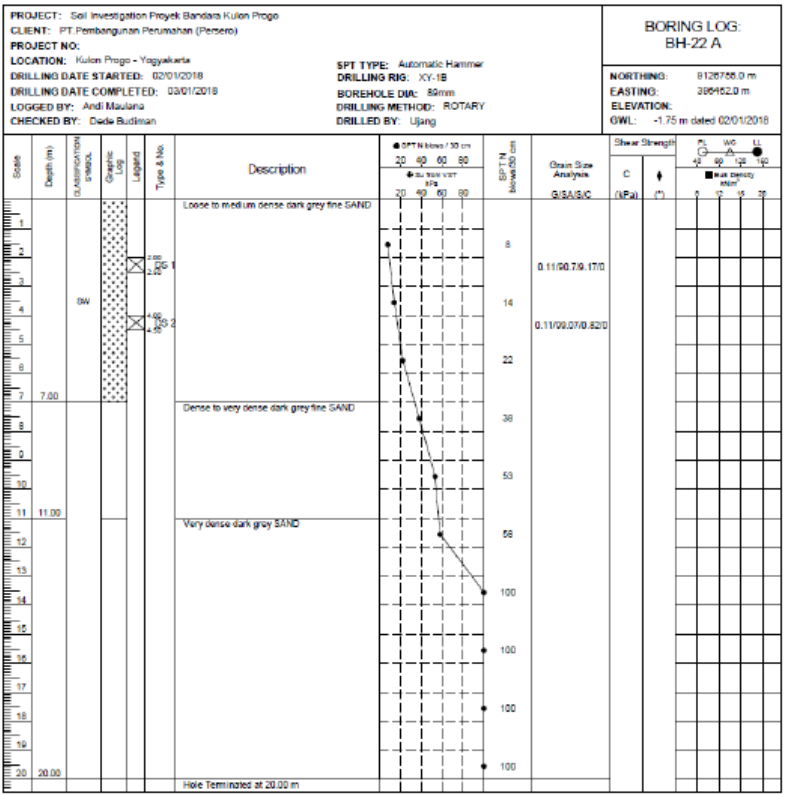
Gambar 7 Data Tanah Sebelum Perbaikan (BH 14A)



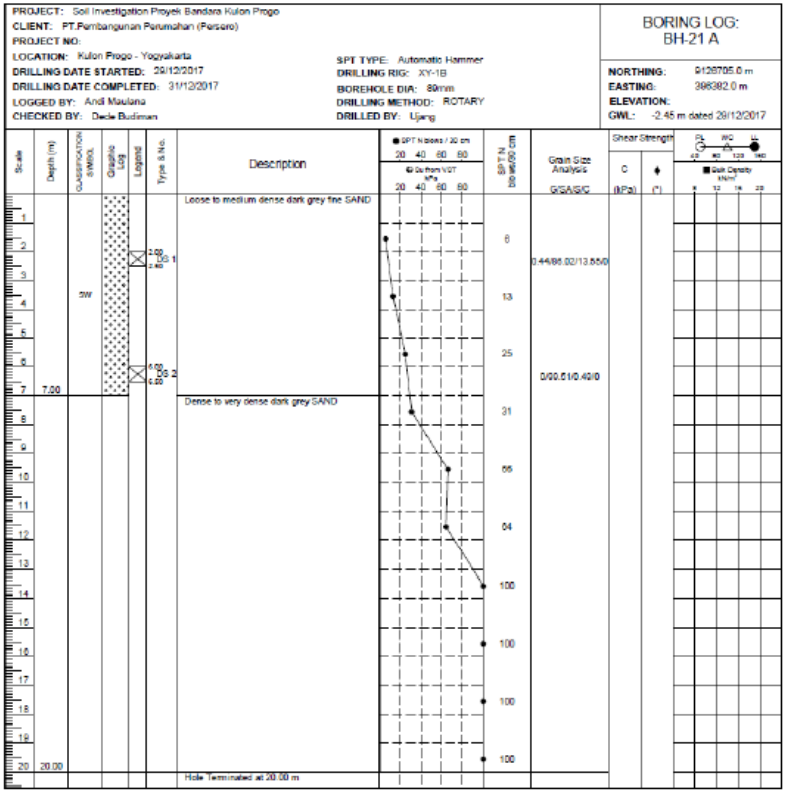
Gambar 8 Data Tanah Sebelum Perbaikan (BH 15A)



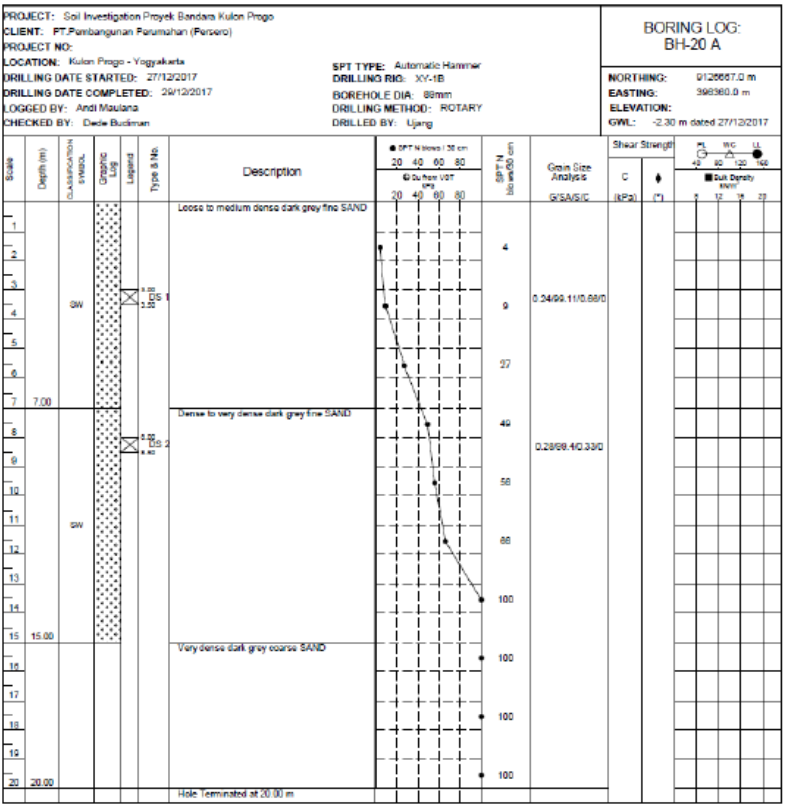
Gambar 9 Data Tanah Sebelum Perbaikan (BH 17A)



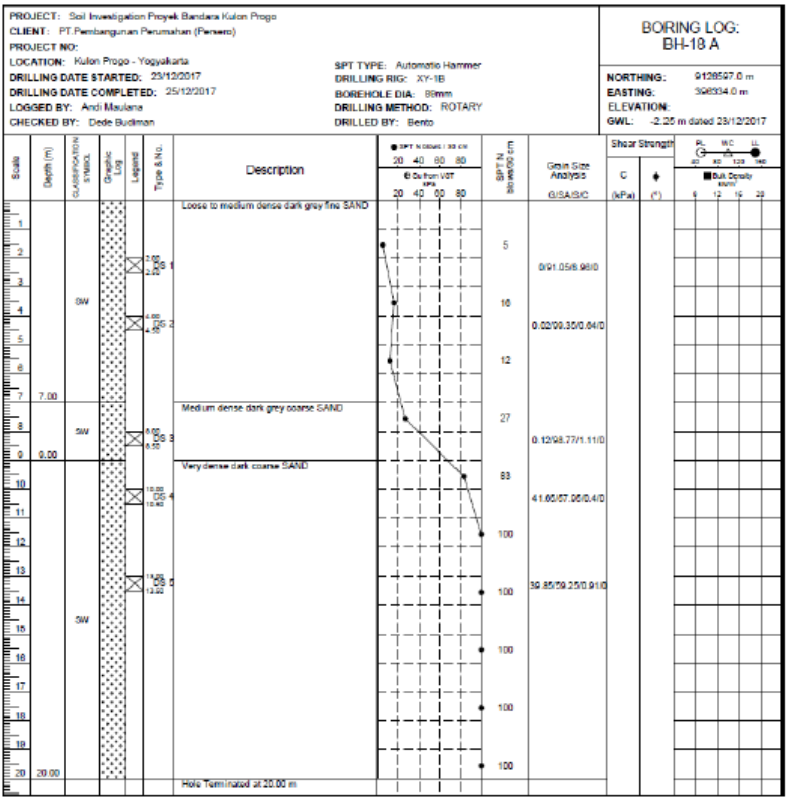
Gambar 10 Data Tanah Sebelum Perbaikan (BH 22A)



Gambar 11 Data Tanah Sebelum Perbaikan (BH 21A)



Gambar 12 Data Tanah Sebelum Perbaikan (BH 20A)



Gambar 13 Data Tanah Sebelum Perbaikan (BH 18A)

Tabel 1 Data Tanah Sesudah Pemadatan pada Zona A

Depth	SPT 6			SPT 7			SPT 8			SPT 14		
(m)	SPT Value	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tana	Consistency	SPT Values	Jenis Tana	Consistency
1	10	Pasir	LOOSE	10	Pasir	LOOSE	14	Pasir	MEDIUM	16	Pasir	MEDIUM
2	16	Pasir	MEDIUM	18	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM	17	Pasir	MEDIUM
3	19	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM	22	Pasir	MEDIUM	25	Pasir	MEDIUM
4	22	Pasir	MEDIUM	22	Pasir	MEDIUM	26	Pasir	MEDIUM	22	Pasir	MEDIUM
5	27	Pasir	MEDIUM	24	Pasir	MEDIUM	29	Pasir	MEDIUM	24	Pasir	MEDIUM
6	37	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	37	Pasir	DENSE
7	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
8	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
9	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	48	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
10	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE

Tabel 2 Data Tanah Sesudah Pemadatan pada Zona A (Lanjutan)

Depth	SPT 15			SPT 16			SPT 19			SPT 20		
(m)	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency	SPT Value	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency
1	13	Pasir	MEDIUM	12	Pasir	MEDIUM	15	Pasir	MEDIUM	14	Pasir	MEDIUM
2	17	Pasir	MEDIUM	18	Pasir	MEDIUM	21	Pasir	MEDIUM	17	Pasir	MEDIUM
3	20	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM
4	22	Pasir	MEDIUM	24	Pasir	MEDIUM	22	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM
5	24	Pasir	MEDIUM	27	Pasir	MEDIUM	28	Pasir	MEDIUM	36	Pasir	DENSE
6	42	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	41	Pasir	DENSE
7	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	38	Pasir	DENSE
8	35	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
9	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
10	46	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE

Tabel 3 Data Tanah Sesudah Pemadatan pada Zona B

Depth (m	SPT 9			SPT 10			SPT 11			SPT 12			SPT 16			SPT 17		
	SPT Value	enis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	enis Tana	Consistency	SPT Values	nis Tana	Consistency	SPT Values	enis Tanah	Consistency	SPT Value	Jenis Tanah	Consistency
1	12	Pasir	MEDIUM	14	Pasir	MEDIUM	11	Pasir	MEDIUM	19	Pasir	MEDIUM	12	Pasir	MEDIUM	18	Pasir	MEDIUM
2	16	Pasir	MEDIUM	19	Pasir	MEDIUM	17	Pasir	MEDIUM	18	Pasir	MEDIUM	18	Pasir	MEDIUM	17	Pasir	MEDIUM
3	19	Pasir	MEDIUM	22	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM	21	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM
4	25	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM	22	Pasir	MEDIUM	24	Pasir	MEDIUM	24	Pasir	MEDIUM	22	Pasir	MEDIUM
5	33	Pasir	DENSE	25	Pasir	MEDIUM	29	Pasir	MEDIUM	25	Pasir	MEDIUM	27	Pasir	MEDIUM	24	Pasir	MEDIUM
6	43	Pasir	DENSE	29	Pasir	MEDIUM	50	Pasir	DENSE	40	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	37	Pasir	DENSE
7	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	51	Pasir	VERY DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
8	50	Pasir	DENSE	41	Pasir	DENSE	43	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
9	50	Pasir	DENSE	44	Pasir	DENSE	40	Pasir	DENSE	40	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
10	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE

Tabel 4 Data Tanah Sesudah Pemadatan pada Zona C

Depth	SPT 15			SPT 16			SPT 19			SPT 20		
(m)	SPT Values	enis Tanah	Consistency	SPT Value	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency
1	13	Pasir	MEDIUM	12	Pasir	MEDIUM	15	Pasir	MEDIUM	14	Pasir	MEDIUM
2	17	Pasir	MEDIUM	18	Pasir	MEDIUM	21	Pasir	MEDIUM	17	Pasir	MEDIUM
3	20	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM
4	22	Pasir	MEDIUM	24	Pasir	MEDIUM	22	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM
5	24	Pasir	MEDIUM	27	Pasir	MEDIUM	28	Pasir	MEDIUM	36	Pasir	DENSE
6	42	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	41	Pasir	DENSE
7	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	38	Pasir	DENSE
8	35	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
9	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
10	46	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE

Tabel 5 Data Tanah Sesudah Pemadatan pada Zona C (Lanjutan)

Depth	SPT 23			SPT 24			SPT 25		
(m)	SPT Values	enis Tanah	Consistency	PT Value	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency
1	18	Pasir	MEDIUM	14	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM
2	25	Pasir	MEDIUM	21	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM
3	26	Pasir	MEDIUM	26	Pasir	MEDIUM	33	Pasir	DENSE
4	27	Pasir	MEDIUM	24	Pasir	MEDIUM	26	Pasir	MEDIUM
5	29	Pasir	MEDIUM	24	Pasir	MEDIUM	30	Pasir	MEDIUM
6	45	Pasir	DENSE	38	Pasir	DENSE	27	Pasir	MEDIUM
7	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
8	47	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
9	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
10	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE

Tabel 6 Data Tanah Sesudah Pemadatan pada Zona D

Depth (m	SPT 3			SPT 4			SPT 26			SPT 27		
	SPT Values	enis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	enis Tana	Consistency	SPT Values	enis Tana	Consistency
1	9	Pasir	LOOSE	11	Pasir	MEDIUM	14	Pasir	MEDIUM	19	Pasir	MEDIUM
2	17	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM
3	27	Pasir	MEDIUM	21	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM	22	Pasir	MEDIUM
4	23	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM	24	Pasir	MEDIUM
5	26	Pasir	MEDIUM	26	Pasir	MEDIUM	31	Pasir	DENSE	30	Pasir	MEDIUM
6	43	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	48	Pasir	DENSE	43	Pasir	DENSE
7	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
8	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	41	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
9	51	Pasir	VERY DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
10	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE

Tabel 7 Data Tanah Sesudah Pemadatan pada Zona D (Lanjutan)

Depth (m	SPT 28			SPT 29			SPT 30		
	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency	SPT Value	Jenis Tanah	Consistency	SPT Values	Jenis Tanah	Consistency
1	14	Pasir	MEDIUM	16	Pasir	MEDIUM	20	Pasir	MEDIUM
2	21	Pasir	MEDIUM	21	Pasir	MEDIUM	18	Pasir	MEDIUM
3	26	Pasir	MEDIUM	24	Pasir	MEDIUM	23	Pasir	MEDIUM
4	26	Pasir	MEDIUM	25	Pasir	MEDIUM	26	Pasir	MEDIUM
5	24	Pasir	MEDIUM	26	Pasir	MEDIUM	24	Pasir	MEDIUM
6	29	Pasir	MEDIUM	28	Pasir	MEDIUM	26	Pasir	MEDIUM
7	37	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	36	Pasir	DENSE
8	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
9	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE
10	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE	50	Pasir	DENSE

Tabel 8 Rekapitulasi Evaluasi Pondasi Tiang

Joint	N pondasi	P aksial	P aksial / n	Pmax	Pmin	P aksial 1 tiang		Aksial Grup		Kontrol Lateral			
						Meyerhof Bazara	Reese & Wright	Meyerhof Bazara	Reese & Wright	Defleksi Lateral	Momen Lateral		
	(buah)	ton	ton	ton	ton	Ket	Ket	Ket	Ket	Kontrol	Momen Lateral (ton.m)	Mcrack (ton.m)	Kontrol M lateral < Mcrack
916	2	272.178	136.089	139.5027	132.6753	OK	OK	OK	OK	OK	455.73	62.22564	NOT OK
950	2	156.169	78.0845	96.17817	59.99083	OK	OK	OK	OK	OK	240.467	62.22564	NOT OK
305	3	1352.372	450.7907	460.8424	440.7389	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	12.534	62.22564	OK
1102	3	321.15	107.05	116.5369	97.56314	OK	OK	OK	OK	OK	8.113	62.22564	OK
155	3	1342.527	447.509	459.5384	435.4796	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	28.557	62.22564	OK
1000	3	487.595	162.5317	181.6032	143.4601	OK	OK	OK	OK	OK	33.994	62.22564	OK
1063	3	896.832	298.944	334.2646	263.6234	OK	OK	NOT OK	OK	OK	2.709	62.22564	OK
300	4	1785.452	446.363	449.0318	443.6942	OK	OK	NOT OK	OK	OK	0.913	62.22564	OK
1103	4	821.042	205.2605	240.8944	169.6266	OK	OK	OK	OK	OK	8.193	62.22564	OK
396	4	958.144	239.536	258.6301	220.4419	OK	OK	OK	OK	OK	67.685	62.22564	NOT OK
374	4	1014.497	253.6243	271.3626	235.8859	OK	OK	OK	OK	OK	69.127	62.22564	NOT OK
1103	4	821.042	205.2605	240.8944	169.6266	OK	OK	OK	OK	OK	8.193	62.22564	OK
345	5	2109.375	421.875	425.652	418.098	OK	OK	NOT OK	OK	OK	5.312	62.22564	OK
1101	5	676.592	135.3184	146.0451	124.5917	OK	OK	OK	OK	NOT OK	19.975	62.22564	OK
386	5	1047.273	209.4546	214.4013	204.5079	OK	OK	OK	OK	OK	36.541	62.22564	OK
299	5	1603.554	320.7108	325.5247	315.8969	OK	OK	OK	OK	OK	39.781	62.22564	OK
1056	5	945.615	189.123	205.8253	172.4207	OK	OK	OK	OK	OK	2.067	62.22564	OK

Tabel 9 Rekapitulasi Evaluasi Pondasi Tiang (Lanjutan)

Joint	N pondasi	P aksial	P aksial / n	Pmax	Pmin	P 1 tiang		Grup		Kontrol Lateral			
						Meyerhof	Reese &	Meyerhof	Reese &	Defleksi	Momen Lateral		
	(buah)	ton	ton	ton	ton	Ket	Ket	Ket	Ket	Ket	Momen Lateral (ton.m)	Mcrack (ton.m)	Kontrol M lateral < Mcrack
1697	2	985.514	492.757	493.328	492.186	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	2.832	62.22564	OK
1585	2	801.676	400.838	404.637	397.039	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	4.174	62.22564	OK
1699	2	759.242	379.621	381.1723	378.0697	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	24.774	62.22564	OK
1723	2	765.176	382.588	391.2417	373.9343	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	2.936	62.22564	OK
1737	3	1386.157	462.0523	465.2904	458.8143	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	0.265	62.22564	OK
1686	3	1236.923	412.3077	449.7797	374.8357	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	5.543	62.22564	OK
1663	3	980.138	326.7127	350.0377	303.3876	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	66.325	62.22564	NOT OK
1639	3	979.482	326.494	349.1651	303.8229	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	66.429	62.22564	NOT OK
1662	4	1466.2	366.55	370.5787	362.5213	OK	OK	OK	OK	OK	11.028	62.22564	OK
1338	4	1091.541	272.8853	298.0396	247.7309	OK	OK	OK	OK	OK	20.298	62.22564	OK
1651	4	1083.654	270.9135	287.0383	254.7887	OK	OK	OK	OK	OK	66.269	62.22564	NOT OK
1721	4	1099.301	274.8253	298.6162	251.0343	OK	OK	OK	OK	OK	18.201	62.22564	OK
1649	5	1399.005	279.801	286.6912	272.9108	OK	OK	OK	OK	OK	14.795	62.22564	OK
1727	5	1193.807	238.7614	244.8488	232.674	OK	OK	OK	OK	OK	3.975	62.22564	OK
1611	5	1363.328	272.6656	278.8821	266.4491	OK	OK	OK	OK	OK	46.951	62.22564	OK
1568	5	1170.104	234.0208	258.9892	209.0524	OK	OK	OK	OK	OK	156.034	62.22564	NOT OK
1587	6	1217	202.8333	209.1396	196.5271	OK	OK	OK	OK	OK	28.432	62.22564	OK

Tabel 10 Rekapitulasi Evaluasi Pondasi Tiang (Lanjutan)

Joint	N pondasi	P aksial	P aksial / n	Pmax	Pmin	P 1 tiang		Grup		Kontrol Lateral			
						Meyerhof	Reese &	Meyerhof	Reese &	Defleksi	Momen Lateral		
	(buah)	ton	ton	ton	ton	Ket	Ket	Ket	Ket	Ket	Momen Lateral (ton.m)	Mcrack (ton.m)	Kontrol M lateral < Mcrack
1652	2	934.052	467.026	470.2703	463.7817	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	53.598	62.22564	OK
1747	2	824.683	412.3415	432.2008	392.4822	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	63.235	62.22564	NOT OK
2289	2	309.998	154.999	162.024	147.974	OK	OK	OK	OK	OK	118.983	62.22564	NOT OK
1653	2	602.018	301.009	342.6463	259.3717	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	3.527	62.22564	OK
1665	3	1059.086	353.0287	361.4289	344.6284	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	24.18	62.22564	OK
1753	3	964.278	321.426	375.1083	267.7437	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	25.1	62.22564	OK
1743	3	925.403	308.4677	328.8839	288.0514	OK	OK	NOT OK	OK	OK	56.9	62.22564	OK
2331	3	359.254	119.7513	312.2511	-72.7484	OK	OK	NOT OK	OK	OK	249.789	62.22564	NOT OK
1769	4	1290.08	322.52	333.6459	311.3941	OK	OK	OK	OK	OK	39.278	62.22564	OK
1771	4	704.166	176.0415	191.5223	160.5607	OK	OK	OK	OK	OK	51.142	62.22564	OK
1745	4	1126.974	281.7435	332.829	230.658	OK	OK	OK	OK	OK	216.228	62.22564	NOT OK
1574	6	612.547	102.0912	122.3029	81.87939	OK	OK	OK	OK	OK	181.723	62.22564	NOT OK

Tabel 11 Rekapitulasi Evaluasi Pondasi Tiang (Lanjutan)

Joint	N pondasi	P aksial	P aksial / n	Pmax	Pmin	P 1 tiang		Grup		Kontrol Lateral			
						Meyerhof	Reese &	Meyerhof	Reese &	Defleksi	Momen Lateral		
	(buah)	ton	ton	ton	ton	Ket	Ket	Ket	Ket	Ket	Momen Lateral (ton.m)	Mcrack (ton.m)	Kontrol M lateral < Mcrack
1784	1	179.016	179.016	179.016	179.016	OK	OK	OK	OK	OK	1.821	62.22564	OK
1785	1	98.066	98.066	98.066	98.066	OK	OK	OK	OK	OK	1.385	62.22564	OK
1790	1	51.731	51.731	51.731	51.731	OK	OK	OK	OK	OK	6.682	62.22564	OK
1791	1	70.168	70.168	70.168	70.168	OK	OK	OK	OK	OK	9.742	62.22564	OK
1797	1	94.905	94.905	94.905	94.905	OK	OK	OK	OK	OK	0.72	62.22564	OK
1778	2	220.511	110.2555	111.0115	109.4995	OK	OK	OK	OK	OK	0.192	62.22564	OK
1779	2	142.524	71.262	71.28033	71.24367	OK	OK	OK	OK	OK	0.858	62.22564	OK
1789	2	132.74	66.37	66.65567	66.08433	OK	OK	OK	OK	OK	11.517	62.22564	OK
1775	2	96.808	48.404	49.25767	47.55033	OK	OK	OK	OK	OK	28.599	62.22564	OK
1793	2	96.806	48.403	49.28567	47.52033	OK	OK	OK	OK	OK	28.548	62.22564	OK

Tabel 12 Rekapitulasi Evaluasi Pondasi Tiang (Lanjutan)

Joint	N pondasi	P aksial	P aksial / n	Pmax	Pmin	P 1 tiang		Grup		Kontrol Lateral			
						Meyerhof	Reese &	Meyerhof	Reese &	Defleksi	Momen Lateral		
	(buah)	ton	ton	ton	ton	Ket	Ket	Ket	Ket	Ket	Momen Lateral (ton.m)	Mcrack (ton.m)	Kontrol M lateral < Mcrack
1234	3	1158.06	386.02	400.6074	371.4326	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	1.612	62.22564	OK
519	3	925.051	308.3503	328.9217	287.779	OK	OK	NOT OK	OK	OK	9.542	62.22564	OK
516	3	1073.545	357.8483	390.9076	324.7891	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	65.919	62.22564	NOT OK
529	3	953.811	317.937	372.7205	263.1535	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	71.773	62.22564	NOT OK
526	3	1020.783	340.261	390.8032	289.7188	OK	OK	NOT OK	NOT OK	OK	43.607	62.22564	OK
527	4	1484.812	371.203	379.4163	362.9897	OK	OK	NOT OK	OK	OK	4.822	62.22564	OK
521	4	1233.305	308.3263	342.8464	273.8061	OK	OK	OK	OK	OK	48.093	62.22564	OK
134	4	1043.582	260.8955	341.8699	179.9211	OK	OK	OK	OK	OK	338.329	62.22564	NOT OK
165	4	727.385	181.8463	264.2281	99.4644	OK	OK	OK	OK	OK	33.598	62.22564	OK
107	5	1402.394	280.4788	317.7046	243.253	OK	OK	OK	OK	OK	252.481	62.22564	NOT OK
108	5	1394.133	278.8266	288.5983	269.0549	OK	OK	OK	OK	OK	14.074	62.22564	OK
1232	6	1486.439	247.7398	253.9249	241.5548	OK	OK	OK	OK	OK	3.087	62.22564	OK
163	6	989.416	164.9027	188.5879	141.2175	OK	OK	OK	OK	OK	150.769	62.22564	NOT OK
164	6	902.366	150.3943	179.2828	121.5058	OK	OK	OK	OK	OK	1.857	62.22564	OK
162	6	758.591	126.4318	148.8154	104.0483	OK	OK	OK	OK	OK	152.371	62.22564	NOT OK
161	6	760.922	126.8203	161.4456	92.19508	OK	OK	OK	OK	OK	37.524	62.22564	OK

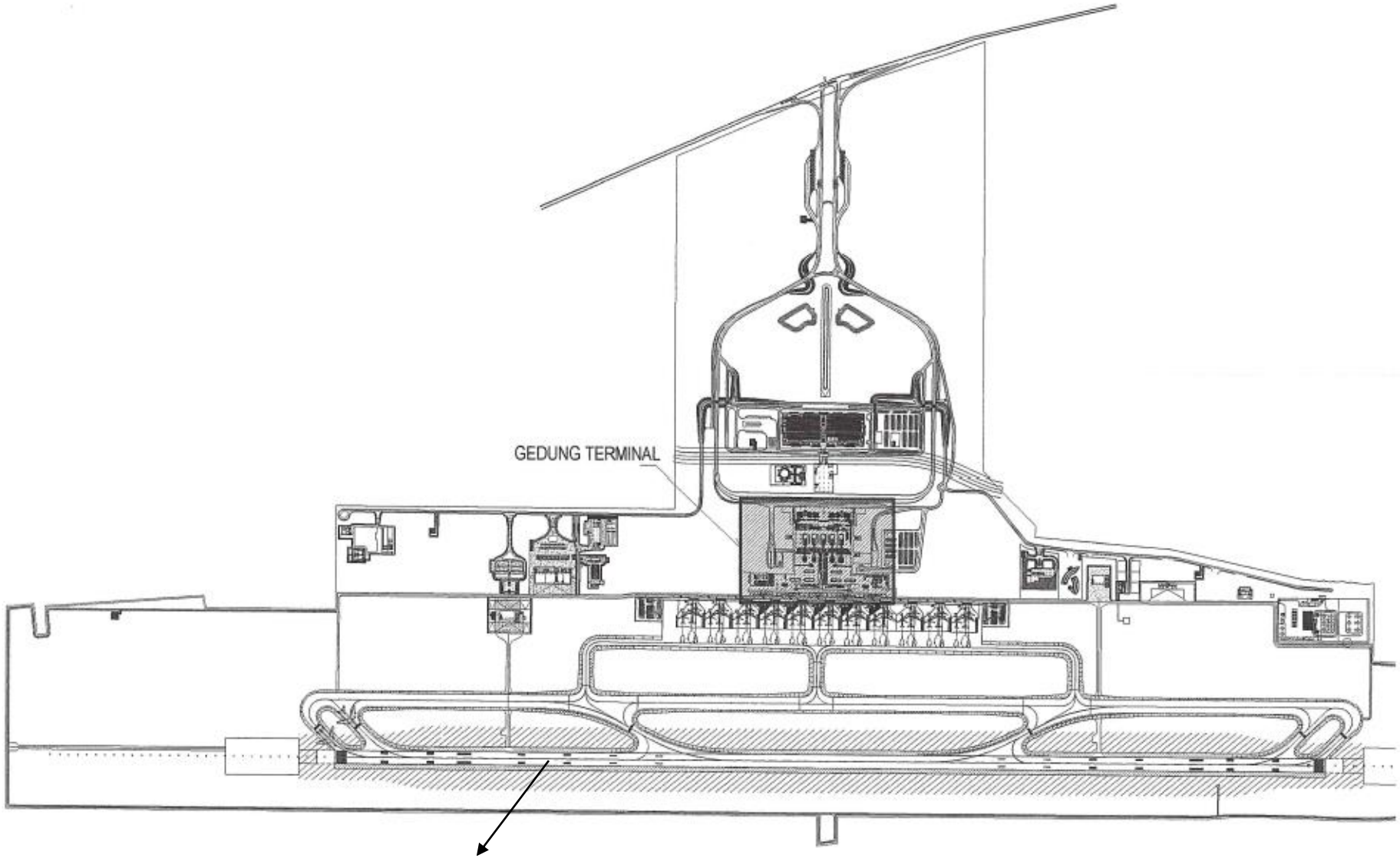
Tabel 13 Rekapitulasi Evaluasi Pondasi Tiang (Lanjutan)

Joint	N pondasi	P aksial	P aksial / n	Pmax	Pmin	P 1 tiang		Grup		Kontrol Lateral			
						Meyerhof	Reese &	Meyerhof	Reese &	Defleksi	Momen Lateral		
	(buah)	10031.91	ton	ton	ton	Ket	Ket	Ket	Ket	Ket	Momen Lateral (ton.m)	Mcrack (ton.m)	Kontrol M lateral < Mcrack
10	3	1003.191	334.397	378.3383	290.4557	OK	OK	NOT OK	NOT OK	NOT OK	63.682	62.22564	NOT OK
9	3	994.592	331.5307	359.0142	304.0471	OK	OK	NOT OK	NOT OK	NOT OK	15.401	62.22564	OK
23	3	772.886	257.6287	301.9299	213.3275	OK	OK	NOT OK	OK	NOT OK	74.586	62.22564	NOT OK
468	3	853.29	284.43	338.891	229.969	OK	OK	NOT OK	NOT OK	NOT OK	100.554	62.22564	NOT OK
181	4	1584.621	396.1553	408.8628	383.4477	OK	OK	NOT OK	OK	NOT OK	52.513	62.22564	OK
6	4	1410.697	352.6743	407.491	297.8575	OK	OK	NOT OK	OK	NOT OK	161.418	62.22564	NOT OK
193	4	1582.84	395.71	409.2963	382.1237	OK	OK	NOT OK	OK	NOT OK	54.199	62.22564	OK
263	4	693.791	173.4478	234.6632	112.2323	OK	OK	OK	OK	NOT OK	7.916	62.22564	OK
229	5	1784.934	356.9868	363.3393	350.6343	OK	OK	NOT OK	OK	NOT OK	50.072	62.22564	OK
45	5	1677.31	335.462	363.0122	307.9118	OK	OK	NOT OK	OK	NOT OK	45.11	62.22564	OK
44	5	1663.077	332.6154	339.8138	325.417	OK	OK	OK	OK	NOT OK	48.309	62.22564	OK
46	5	1424.789	284.9578	300.027	269.8886	OK	OK	OK	OK	NOT OK	115.69	62.22564	NOT OK
245	6	1497.539	249.5898	259.1776	240.0021	OK	OK	OK	OK	NOT OK	85.164	62.22564	NOT OK
237	6	1151.638	191.9397	203.1333	180.7461	OK	OK	OK	OK	NOT OK	48.447	62.22564	OK
152	6	1472.626	245.4377	254.8978	235.9775	OK	OK	OK	OK	NOT OK	36.521	62.22564	OK
1	7	1632.623	233.2319	255.9283	210.5354	OK	OK	OK	OK	NOT OK	193.253	62.22564	NOT OK
217	7	1025.497	146.4996	156.2979	136.7013	OK	OK	OK	OK	NOT OK	5.705	62.22564	OK
216	7	778.123	111.1604	137.0296	85.29126	OK	OK	OK	OK	NOT OK	39.441	62.22564	OK
250	7	944.882	134.9831	166.8236	103.1427	OK	OK	OK	OK	NOT OK	5.988	62.22564	OK

Tabel 14 Rekapitulasi Letak *Section* pada Perencanaan Pondasi Dangkal Gedung Terminal

Section	Letak As Pada Gambar	
	X	Y
A	(21-28)	(A1-E1)
B	(28-34)	(A1-E1)
C	(35-40)	(A1-E1)
D	(41-43)	(A1-E1)
E	(44-51)	(A1-E1)
F	(25-28)	(V-X)
G	(25-41)	(T-Z)
H	(27-29)	(R-S)
I	(30-32)	(R-S)
J	(33-35)	(R-S)
K	(36-38)	(R-S)
L	(39-41)	(R-S)
M	(42-43)	(R-S)
N	(29-34)	(M-Q)
O	(35-41)	(M-Q)
P	(28-30)	(K-L)
Q	(31-33)	(K-L)
R	(34-36)	(K-L)
S	(37-39)	(K-L)
T	(40-42)	(K-L)

Keterangan: Gambar mengacu pada gambar denah pondasi eksisting



PROYEK :

PEMBANGUNAN
INFRASTRUKTUR BANDARA BARU
DI KULONPROGO

CATATAN :

OWNER :

Angkasa Pura I AIRPORTS

DIKETAHUI OLEH

Tanggal :

Tanggal :

PROJECT MANAGEMENT & SUPERVISING CONSULTANT

KSO CIRIAJASA BLUEVISIONS TOP

DIPERIKSA DAN DISETUJUKAN OLEH

William A. Sinaga
Senior Project Manager

DIPERIKSA OLEH

DIPERIKSA OLEH

Tanggal :

DIPERIKSA OLEH

Tanggal : 1/12/

KONTRAKTOR :

PP-KSO

DIKETAHUI OLEH

Daniel Rinsoni Pakpahan
Project Manager

DIBUAT OLEH

DIPERIKSA OLEH

Tanggal :

DIPERIKSA OLEH

Tanggal :

Chipta
Desiner

Mechanical & Electrical

Ida Susila
Structure & Architecture

REVISI

NO	TANGGAL	DESKRIPSI	KET.

SHOP DRAWING

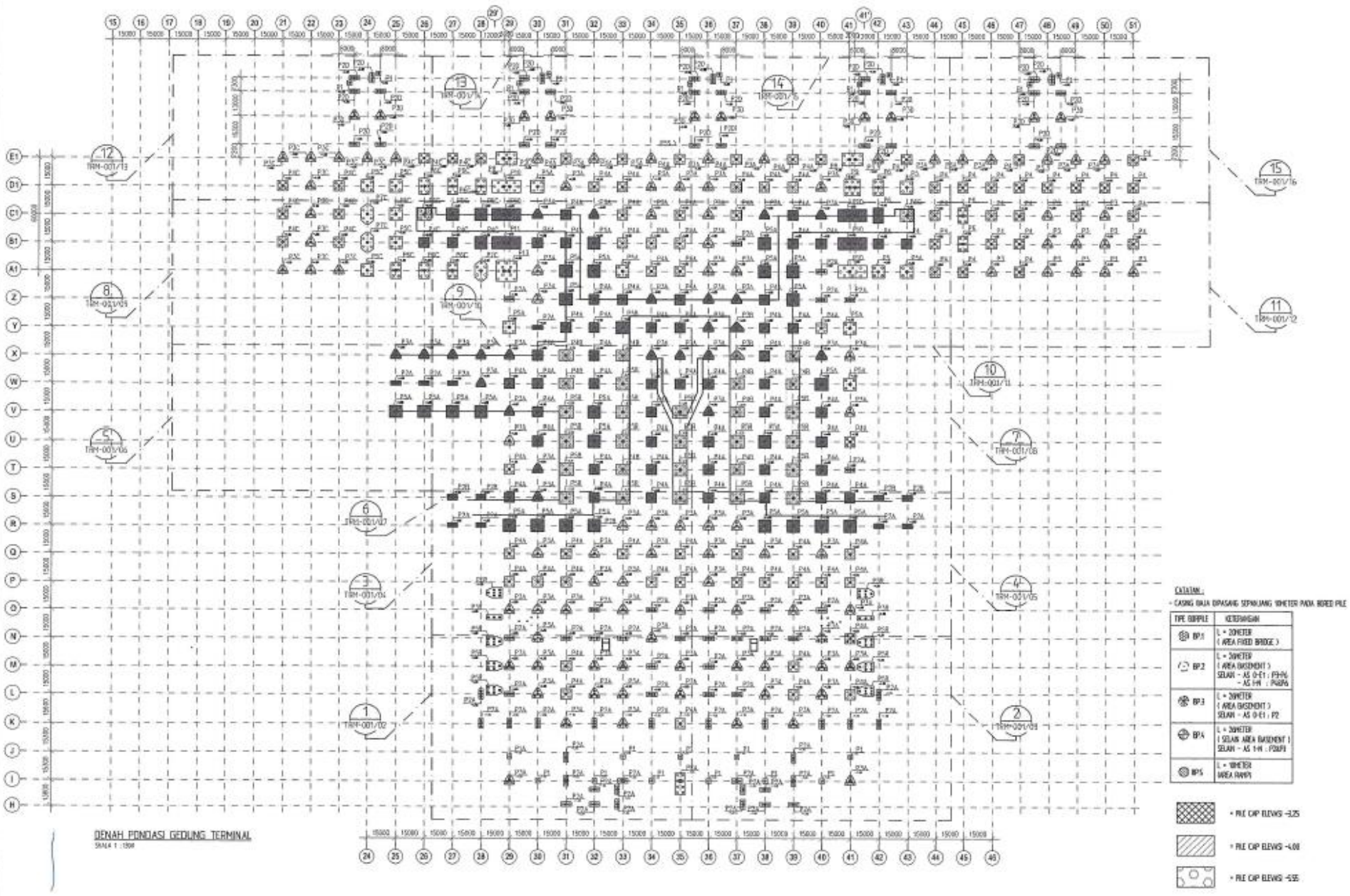
JUDUL GAMBAR :

KEYPLAN GEDUNG TERMINAL

REF :

REV. KE :

SKALA	LEMBAR KE	JUMLAH LEMBAR	NO SHOP DRAWING
1:NTS			PPKG2S/TRM-000



DENAH PONDASI GEDUNG TERMINAL
SKALA 1 : 1500

CATATAN :
- CASING BAJA DIPASANG SEPANJANG 10METER PADA BORED PILE

TIPE GRIPPLE	KETERANGAN
BP1	L = 20METER (AREA FIXED BRIDGE)
BP2	L = 30METER (AREA BASEMENT) SELAIN - AS G-E1 : P94% - AS I-H : P66%
BP3	L = 30METER (AREA BASEMENT) SELAIN - AS G-E1 : P2
BP4	L = 20METER (SELAIN AREA BASEMENT) SELAIN - AS I-H : P50%
BP5	L = 10METER AREA RAMP

= PILE CAP ELEVASI -3.25

= PILE CAP ELEVASI -4.00

= PILE CAP ELEVASI -4.55

PROYEK :

PEMBANGUNAN
INFRASTRUKTUR BANDARA BARU
DI KULONPROGO

CATATAN :

MUTU KOLOM, BALOK, PELAT FC' 35
MUTU PILECAP FC' 35
MUTU BORED PILE FC' 35
MUTU TULANGAN :
-BJTD 40
BORED PILE Ø 1200

OWNER :

Angkasa Pura I AIRPORTS

DIKETAHUI OLEH

Tanggal :
Bondi Nur Tobja S
AP1

Tanggal :
Daniel Wilyan
TBM

PROJECT MANAGEMENT & SUPERVISING CONSULTANT :

KSO CIRIAJASA BLUEVISIONS TGF

DIPERIKSA dan Disetujui oleh :
Wiliam S. Sinclair
Senior Project Manager

DIPERIKSA OLEH	DIPERIKSA OLEH	DIPERIKSA OLEH
Tanggal :	Tanggal :	Tanggal : 5/12/18

KONTRAKTOR :

PP-KSO

DIKETAHUI OLEH

Daniel Sinaori Pakpahan
Project Manager

DIBUAT OLEH	DIPERIKSA OLEH	DIPERIKSA OLEH
Tanggal :	Tanggal :	Tanggal :
Cipta Dwiko	Ferdinand Sudiko Mechanical & Electrical	Eko Susilo Structure & Architecture

REVISI

NO	TANGGAL	DESKRIPSI	KET.

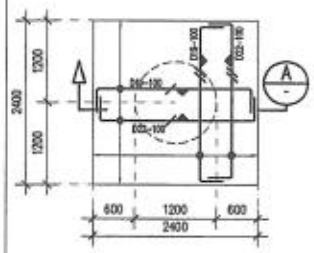
SHOP DRAWING

JUDUL GAMBAR :
DENAH PONDASI GEDUNG TERMINAL
GEDUNG TERMINAL

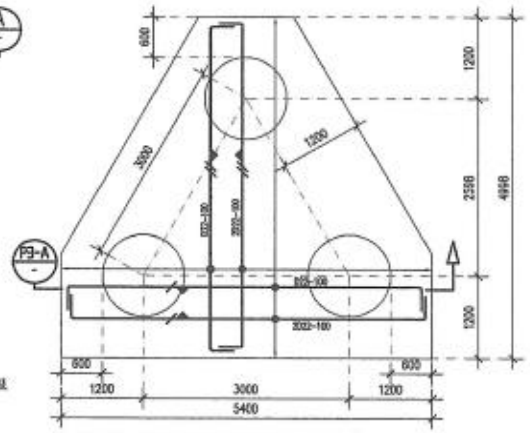
REF :

REV. KE : 1

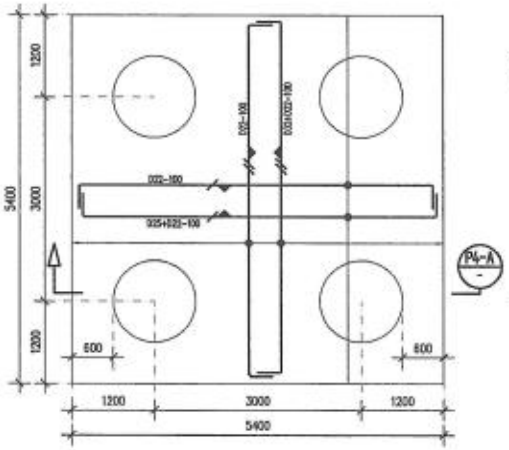
SKALA	LEMBAR KE	JUMLAH LEMBAR	NO SHOP DRAWING
1 : 1500			PP/G2/S/TBM-001/01



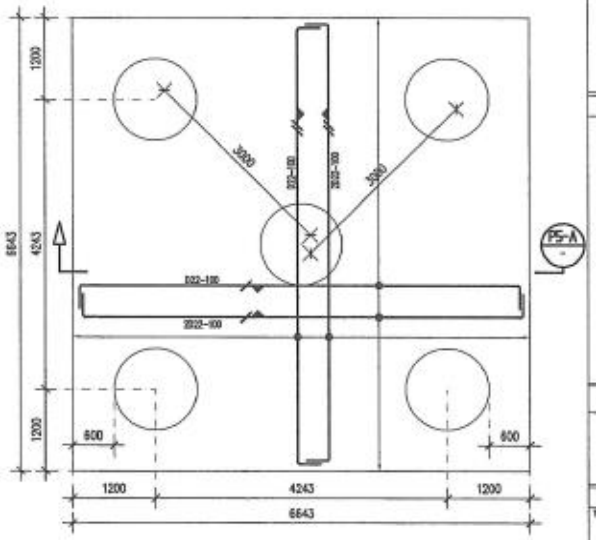
DETAIL PONDASI TIPE P1
SKALA 1 : 50



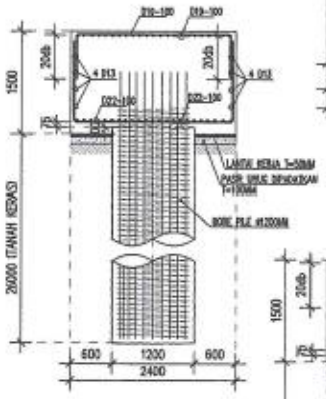
DETAIL PONDASI TYPE P3
SKALA 1 : 50



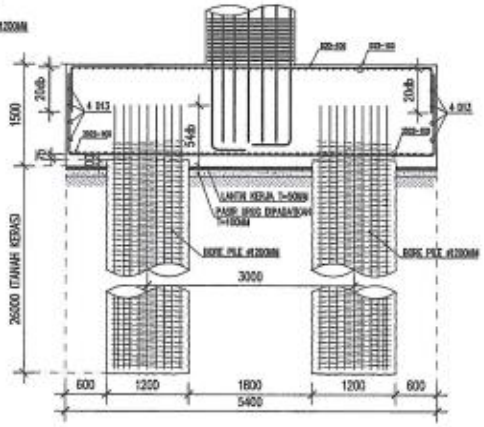
DETAIL PONDASI TIPE P4
SKALA 1 : 50



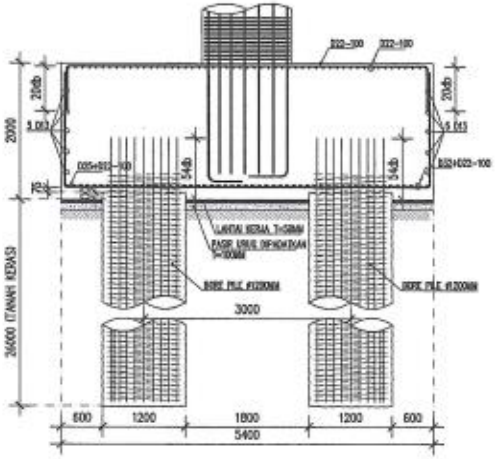
DETAIL PONDASI TIPE P5
SKALA 1 : 50



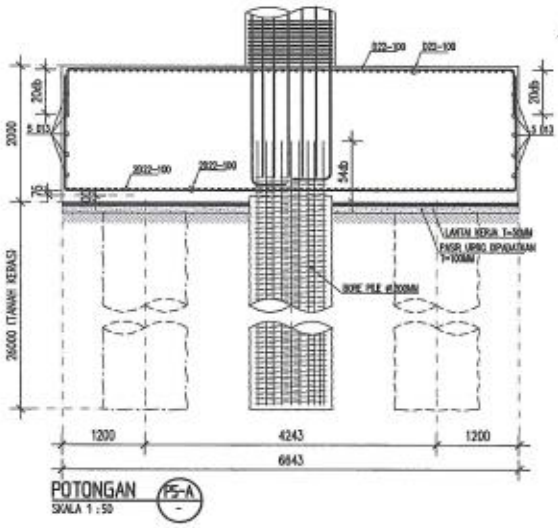
POTONGAN A
SKALA 1 : 50



POTONGAN P3-A
SKALA 1 : 50



POTONGAN P4-A
SKALA 1 : 50



POTONGAN P5-A
SKALA 1 : 50

PROYEK :

PEMBANGUNAN
INFRASTRUKTUR BANDARA BARU
DI KULONPROGO

CATATAN :

MUTU KOLOM, BALOK, PELAT FC' 35
MUTU PILECAP FC' 35
MUTU BORED PILE FC' 35
MUTU TULANGAN :
-BJTD 40
BORED PILE Ø 1200

OWNER :

Angkasa Pura AIRPORTS

DIKETAHUI OLEH

Tanggal :

Tanggal :

PROJECT MANAGEMENT & SUPERVISING CONSULTANT :

KSO CIRIAJASA BLUEVISIONS TOP

DIPERIKSA DAN DISETUJUI OLEH

William S. Sinclair
Senior Project Manager

DIPERIKSA OLEH | DIPERIKSA OLEH | DIPERIKSA OLEH

KONTRAKTOR :

PP-KSO

DIKETAHUI OLEH

Daniel Rinsani Pulapahan
Project Manager

DIBUAT OLEH | DIPERIKSA OLEH | DIPERIKSA OLEH

REVISI

NO	TANGGAL	DESKRIPSI	KET.

SHOP DRAWING

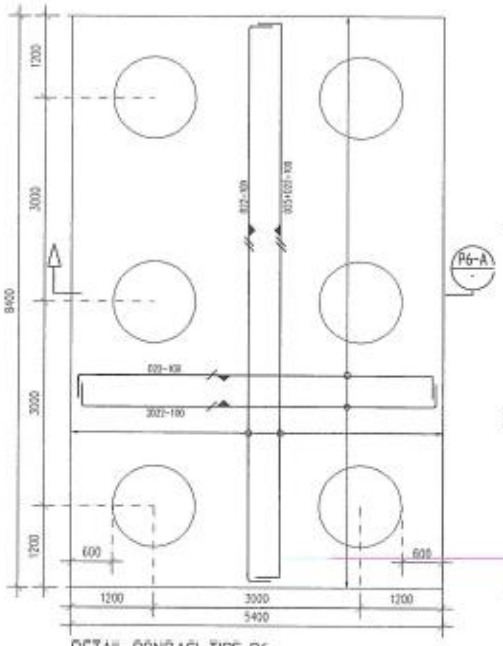
JUDUL GAMBAR :

DETAIL TIPE PONDASI SHEET 1
GEDUNG TERMINAL

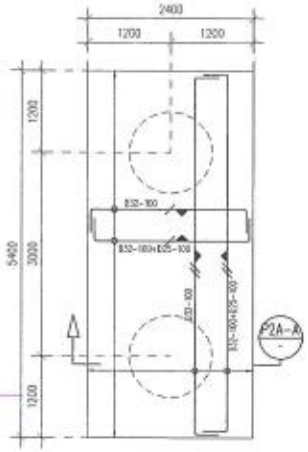
REF :

REV. KE : 2

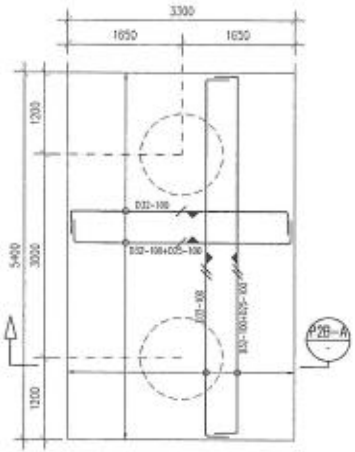
SKALA	LEMBAR KE	JUMLAH LEMBAR	NO SHOP DRAWING
1 : 50			PP/G2/S/TRM-001/17



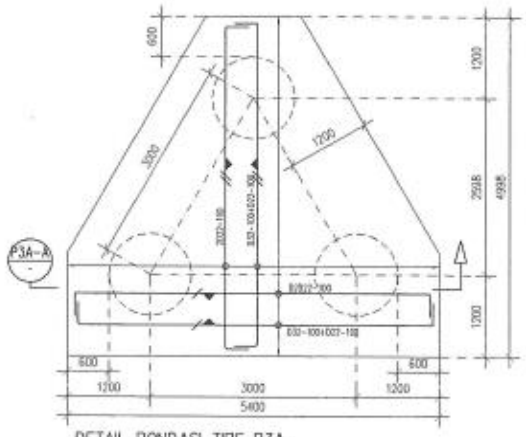
DETAIL PONDASI TIPE P6
SKALA 1 : 50



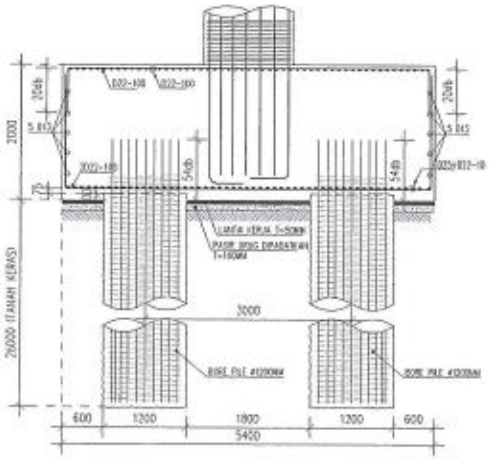
DETAIL PONDASI TIPE P2A
SKALA 1 : 50



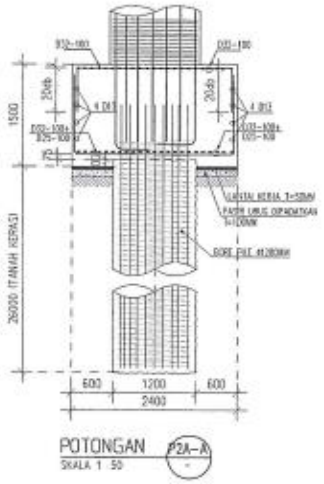
DETAIL PONDASI TIPE P2B
SKALA 1 : 50



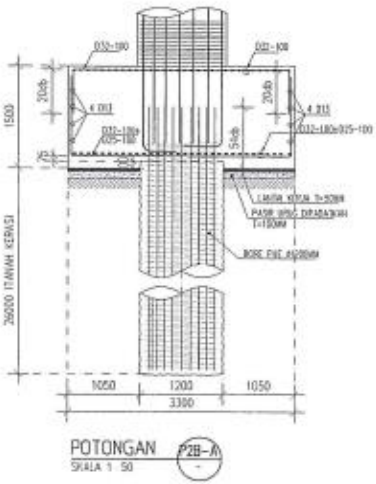
DETAIL PONDASI TIPE P3A
SKALA 1 : 50



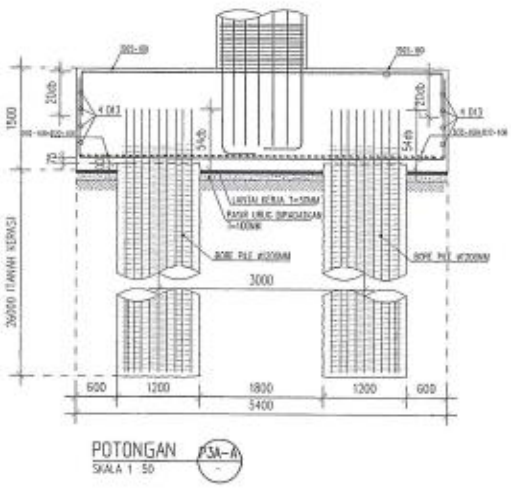
POTONGAN P6-A
SKALA 1 : 50



POTONGAN P2A-A
SKALA 1 : 50



POTONGAN P2B-A
SKALA 1 : 50



POTONGAN P3A-A
SKALA 1 : 50

PROYEK :

PEMBANGUNAN
INFRASTRUKTUR BANDARA BARU
DI KULONPROGO

CATATAN :

MUTU KOLOM, BALOK, PELAT FC' 35
MUTU PILECAP FC' 35
MUTU BORED PILE FC' 35
MUTU TULANGAN:
-BJTD 40
BORED PILE Ø 1200

OWNER :

Angkasa Pura AIRPORTS

DIBUAT OLEH

Tanggal :

Jend. Nur Tirto S
Arsitek

Tanggal :

Gend. Wijaya
Sipil

PROJECT MANAGEMENT & SUPERVISING CONSULTANT :

KSO CIRIAJASA BLUEVISIONS TCP

DIPERIKSA DAN DISYAHKAN OLEH

Ariesan S. Sihotang
Senior Project Manager

DIPERIKSA OLEH

DIPERIKSA OLEH

Tanggal :

DIPERIKSA OLEH

Tanggal :

KONTRAK TCW :

PP-KSO

DIBUAT OLEH

Dasin Rinsani Pakpahan
Project Manager

DIBUAT OLEH

Tanggal :

Dasin
Drafter

DIPERIKSA OLEH

Tanggal :

Mechanical & Electrical

DIPERIKSA OLEH

Tanggal :

Structure & Architecture

REVISI

NO	TANGGAL	DESKRIPSI	KET.

SHOP DRAWING

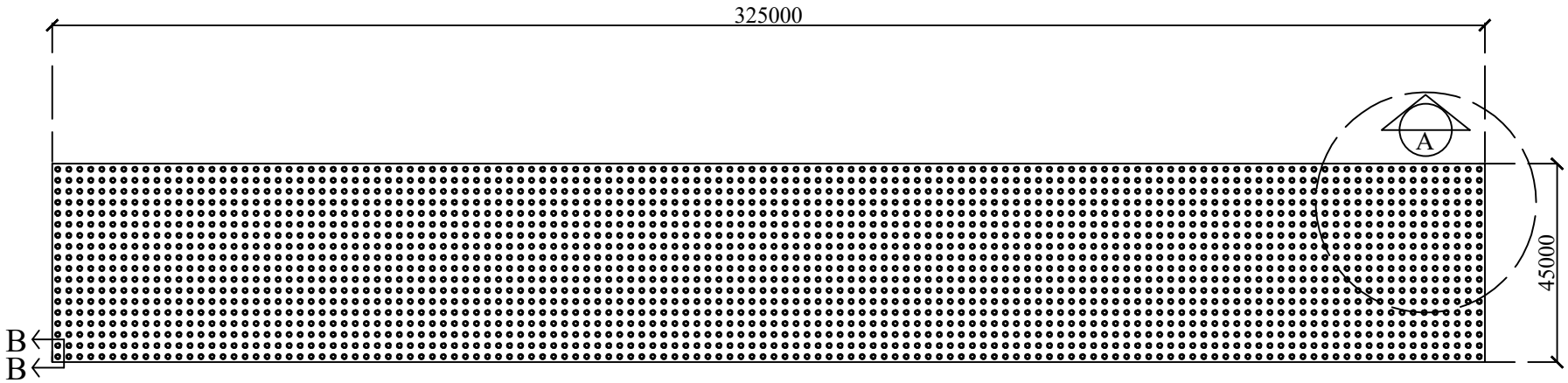
JUDUL GAMBAR :

DETAIL TIPE PONDASI SHEET 2
GEDUNG TERMINAL

REF :

REV. NO. : 2

SKALA	LEMBAR KE	JUMLAH LEMBAR	NO SHOP DRAWING
1 : 50			PP/G2/S/TRM-001/18



Tampak Atas Pondasi Cakar Ayam Pada *Runway*

Skala 1:1.5

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FTSPK ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

ALTERNATIF PERENCANAAN PONDASI DANGKAL PADA *RUNWAY* DAN GEDUNG TERMINAL DENGAN MEMPERHATIKAN PENGARUH LIKUIFAKSI
(STUDI KASUS: BANDARA INTERNASIONAL YOGYAKARTA)

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Herman Wahyudi
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP MAHASISWA

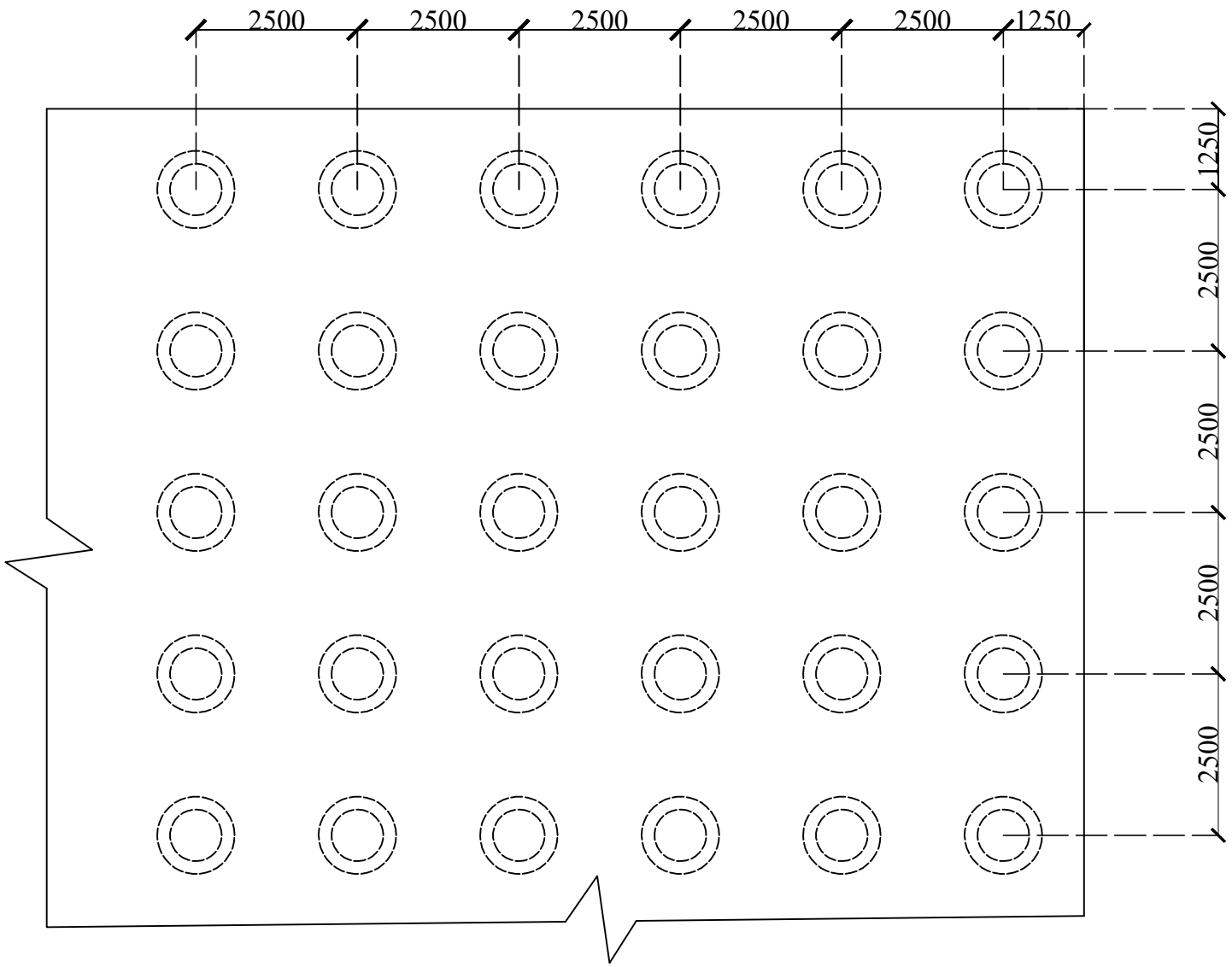
Tsasca Dewi Arsyia Asyiffa
03111640000089

JUDUL GAMBAR

Tampak Atas Pondasi Cakar Ayam Pada *Runway*

SKALA GAMBAR	NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
1:1.5	1	3

Keterangan:



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FTSPK ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

ALTERNATIF PONDASI DANGKAL PADA RUNWAY DAN GEDUNG TERMINAL DENGAN MEMPERHATIKAN PENGARUH LIKUIFAKSI
(STUDI KASUS: BANDARA INTERNASIONAL YOGYAKARTA)

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Herman Wahyudi
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP MAHASISWA

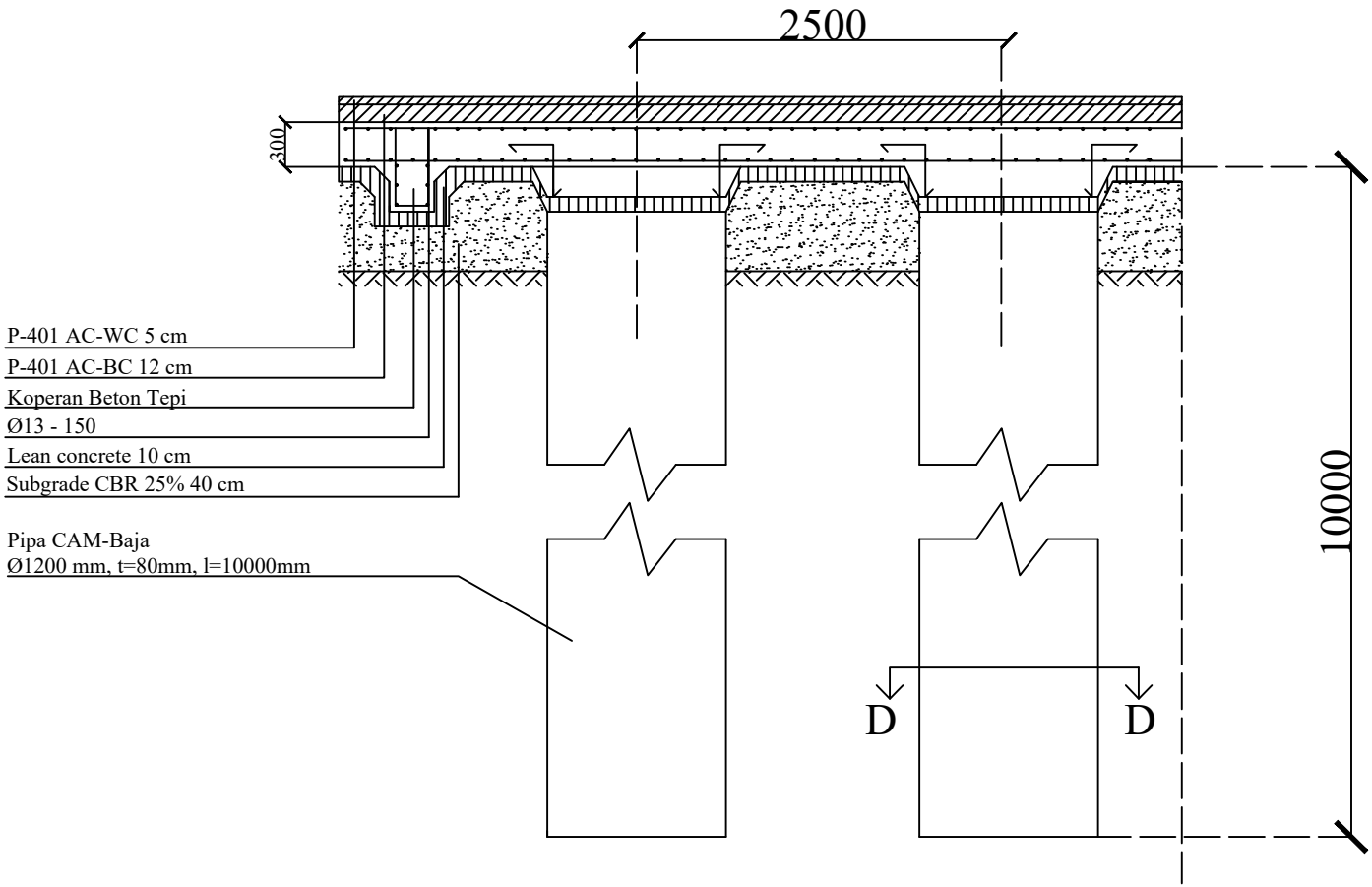
Tsasca Dewi Arsyia Asyiffa
03111640000089

JUDUL GAMBAR

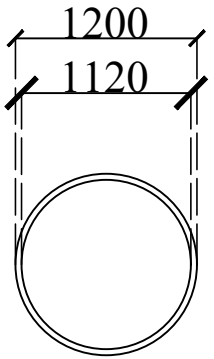
Pembesaran A-A pada Tampak Atas Pondasi Cakar Ayam di *Runway*

SKALA GAMBAR	NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
1:0.1	2	3

Keterangan:



Detail Potongan B-B
Skala 1:0.05



Detail Potongan D-D
Skala 1:0.05

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FTSPK ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

ALTERNATIF PONDASI DANGKAL PADA RUNWAY DAN GEDUNG TERMINAL DENGAN MEMPERHATIKAN PENGARUH LIKUIFAKSI
(STUDI KASUS: BANDARA INTERNASIONAL YOGYAKARTA)

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Herman Wahyudi
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

NAMA DAN NRP MAHASISWA

Tsasca Dewi Arsyia Asyiffa
0311640000089

JUDUL GAMBAR

Detail Potongan B-B dan Potongan C-C pada Pondasi Cakar Ayam di *Runway*

SKALA GAMBAR	NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
1:0.05	3	3

Keterangan:

BIODATA PENULIS

Penulis bernama Lengkap Tsasca Dewi Arsyia Asyiffa, lahir di Sidoarjo, 20 Juli 1998. Penulis menempuh pendidikan formal di SMAN 1 Sidoarjo. Setelah lulus dari jenjang SMA, penulis diterima di Departemen Teknik Sipil, FTSPK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SBMPTN pada tahun 2016. Selama perkuliahan, penulis aktif di organisasi dan kepanitiaan mahasiswa. Penulis pernah aktif menjadi Kepala Bidang Dana, Departemen Khusus HMS FTSP-ITS 2018/2019. Di samping itu, penulis telah dipercayai menjadi Kepala Bidang Dana CIVIL EXPO 2019. Penulis dapat dihubungi melalui email: tsasca.dewiaa@gmail.com