TUGAS AKHIR – RC18-4802

PERENCANAAN ALTERNATIF TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR KARIMUNJAWA DENGAN SISTEM *CONTROLLED LANDFILL*

MUHAMMAD SYAMSU BACHRI
NRP. 03111740000002

Dosen Pembimbing I :
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi

Dosen Pembimbing II :
Musta'in Arif, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2021

TUGAS AKHIR - RC18-4803

PERENCANAAN ALTERNATIF TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR KARIMUNJAWA DENGAN SISTEM *CONTROLLED LANDFILL*

MUHAMMAD SYAMSU BACHRI
NRP. 03111740000002

Dosen Pembimbing I:
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi

Dosen Pembimbing II:
Musta'in Arif, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2021

FINAL PROJECT - RC18-4803

ALTERNATIVE PLANNING OF KARIMUNJAWA FINAL DISPOSAL WITH CONTROLLED LANDFILL SYSTEM

MUHAMMAD SYAMSU BACHRI
NRP. 03111740000002

Academic Supervisor I:
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi

Academic Supervisor II:
Musta'in Arif, S.T., M.T.

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Planning and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2021

PERENCANAAN ALTERNATIF TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR KARIMUNJAWA DENGAN SISTEM *CONTROLLED LANDFILL*

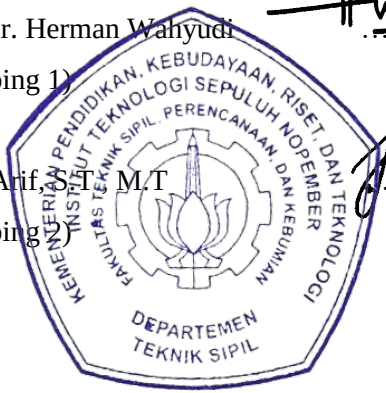
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Geoteknik
Program Studi S1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
MUHAMMAD SYAMSU BACHRI
NRP. 03111740000002

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi ..... (Pembimbing 1)
2. Musta'in Arif, S.T. M.T ..... (Pembimbing 2)



SURABAYA
JULI, 2021

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERENCANAAN ALTERNATIF TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR KARIMUNJAWA DENGAN SISTEM *CONTROLLED LANDFILL*

Nama : **Muhammad Syamsu Bachri**
NRP : **03111740000002**
Jurusan : **Teknik Sipil FTSPK-ITS**
Dosen Pembimbing : **1. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi**
2. Musta'in Arif, S.T., M.T.

ABSTRAK

Kepulauan Karimunjawa adalah kepulauan yang terletak di utara Pulau Jawa dan termasuk dalam wilayah Kabupaten Jepara. Kepulauan Karimunjawa memiliki luas dataran 1.285,50 ha dan luas perairan 110.117,3 ha yang terdiri dari Pulau Karimunjawa, Kemujan, Parang, dan Nyamuk. Pulau Karimunjawa memiliki tingkat pertumbuhan penduduk sebesar 1,44% dan tingkat pertumbuhan wisatawan sebesar 28,22%. Kenaikan pertumbuhan penduduk dan wisatawan menyebabkan produksi sampah meningkat. Rencana lokasi TPA Karimunjawa berada di Dukuh Alang – Alang yang berada di kaki Bukit Gajah. Kondisi lokasi TPA Karimunjawa yang berada di atas lereng mengakibatkan kontur dari daerah tersebut beragam dengan nilai elevasi terendah +28,560 dan nilai elevasi tertinggi +57,712, sehingga direncanakan penggalian tanah agar lahan sesuai dengan layout yang telah direncanakan. Kegiatan penggalian tanah menyebabkan terbentuknya talud galian yang berada di sebelah (TPA) dengan ketinggian rencana 36,2 meter dan kemiringan talud sebesar 39^{o}. Dari permasalahan tersebut, diperlukan perencanaan pembangunan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dengan sistem controlled landfill serta aman terhadap potensi kelongsoran akibat talud galian.

Kondisi stabilitas talud menjadi hal yang dipertimbangkan dalam melakukan perencanaan TPA Karimunjawa. Kondisi

stabilitas dapat ditinjau menggunakan metode talud dengan tinggi terbatas dan program bantu GeoStudio. Apabila nilai angka keamanan talud kurang dari 1,5, maka direncanakan perkuatan talud yang mengacu pada SNI 8460:2017. Perencanaan dan perhitungan stabilitas perkuatan talud menggunakan program bantu GeoStudio. Selain stabilitas talud, diperlukan adanya proteksi terhadap rembesan air lindi yang berasal dari timbunan sampah. Proteksi air lindi dapat menggunakan lapisan geomembran dan kerikil. TPA Karimunjawa direncanakan dapat menampung sampah hingga mencapai ketinggian ± 20 meter.

Berdasarkan hasil analisis dengan program bantu GeoStudio, diperoleh angka keamanan sebesar 0,531 terhadap perencanaan talud oleh Kementerian PUPR. Sedangkan perkuatan talud yang direncanakan untuk mencegah kelongsoran pada talud TPA Karimunjawa terdapat 4 jenis, yaitu perkuatan dengan terasering, dinding penahan tanah kantilever, beronjong dengan angkur, serta soil nailing. Proteksi yang digunakan untuk menahan air lindi akibat timbunan sampah adalah lapisan geomembrane HDPE dengan ketebalan 1,5 mm dengan material berdasarkan brosur PT. Teknindo Geosistem Unggul. Dari perhitungan angka keamanan timbunan sampah dengan program bantu GeoStudio, diperoleh angka keamanan sebesar 1,554 sehingga tidak diperlukan perbaikan tanah dasar pada zona landfill. Penurunan tanah yang terjadi akibat timbunan sampah tersebut sebesar 2,37 cm. Perencanaan TPA Karimunjawa dengan controlled landfill system terdiri dari timbunan sampah yang direncanakan dengan ketinggian 20 meter, pelapisan dasar zona landfill dengan lapisan kerikil ketebalan 50 cm dan geomembrane ketebalan 1,5 mm, dan perencanaan kolam lindi.

Kata Kunci: stabilitas lereng, terasering, beronjong, dinding penahan tanah, soil nailing, geomembrane

ALTERNATIVE PLANNING OF KARIMUNJAWA FINAL DISPOSAL WITH CONTROLLED LANDFILL SYSTEM

Student Name : **Muhammad Syamsu Bachri**
NRP : **03111740000002**
Department : **Teknik Sipil FTSPK-ITS**
Academic Supervisor : **1. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi**
2. Musta'in Arif, S.T., M.T.

ABSTRACT

Karimunjawa Archipelago is an archipelago that located in the north of Java Island nad is included in the Jepara Regency Area. Karimujawa archipelago have a land area of 1.285.50 ha and water area of 110,117.3 ha consisting of karimunjawa, kemujan, parang, and nyamuk islands. Karimunjawa island has a population growth rate of 1,44% and tourist growth rate of 28.22%. The increase in popilation and tourist causes the increase of waste production. The location planned for Karimunjawa landfill is in Dukuh Alang-Alang which located at the Bukit Gajah foothills. The condition of the Karimunjawa landfill location which is located above the slope causes the contours of the area vary with the lowest elevation +28,560 and the highest elevation +57,712, so the soil excavation is planned for the land to make the land is in accordance with the planned layout. Soil excavation activities led to the formation of an excavated embankment located side to side (landfill) with a design height of 36.2 meters and slope angle of 39o. From these problems, it is necessary to plan the construction of Landfill with a controlled landfill system and safe against the landslides potential due to excavations.

The condition of embankments stability is considered in plannung for the Karimunjawa landfill. Stability conditions can be assesed using the steed slope method with limited height and using Plaxis or Geostudio. If the safety value of embankment is less than

1,5, then it is planned to be strengthen using retaining walls and soil nailing which refers to SNI 8460:2017. Planning and calculation stability of the embankment reinforcement using Plaxis and Geostuido programs by combining the both results. In addition to the slope stability, it is necessary to have protection against leachate seepage from the landfill. Leachate protection can use geomembrane layer and compacted clay. Karimunjawa Landfill is planned to be able to accomodate waste up to height of + 20 meters.

Based on the results using Geostudio, a safety score was obtained 0,531 for the embankments planning by Ministry of PUPR. Meanwhile, there are four types of reinforcement planned to prevent landslides in the Karimunjawa landfill embankment. There are reinforcement with terraces, cantilever retaining walls, gabions with anchors, and soil nailing. The protection used to hold leachate due to landfill waste is HDPE geomembrane layer with a thickness of 1,5 mm with material based on PT. Teknindo Geosistem Unggul. From the calculation of safety number of landfilss using Geostudio program, a safety number of 1,554 is obtained so there is no need to repair the subgrade in the landfill zone. Land subsidence that occurs due to the garbage heap is 2,37 cm. The planning of Karimunjawa landfills with controlled landfill system consists of planned garbage heap with a height of 20 meters, landfill zone underlayment with 50 cm gravel layer thickness and geomembrane with a thickness of 1,5 mm, and leachate pond planning.

Keywords: slope stability, terraces, gabions, retaining walls, soil nailing, geomembrane

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Perencanaan Alternatif Tempat Pembuangan Akhir Karimunjawa dengan Sistem *Controlled Landfill*" dengan tepat waktu.

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu dalam proses penyusunan. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi dan Bapak Musta'in Arif, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dengan sangat baik sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
2. Ibu Putu Tantri Kumalasari, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T. selaku dosen konsultasi yang telah meluangkan waktu untuk membimbing serta memberi saran terkait penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Orang tua dan adik saya yang selalu memberikan doa, semangat, dan dorongan sepenuhnya dalam pengerjaan proposal tugas akhir ini.
4. Fina, Aril, Rizqi, Fauzan, Teman – teman Departemen Teknik Sipil khusunya angkatan S-60 yang telah memberikan semangat dan bantuan dalam penyusunan proposal tugas akhir ini.
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan penuulisan ini. Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat terhadap pembaca dan dapat menjadi pembelajaran di masa yang akan datang. Terima kasih.

Surabaya, Juni 2021

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **i**
ABSTRACT ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **v**
DAFTAR ISI ..... **vii**
DAFTAR GAMBAR ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 7
1.3 Tujuan 7
1.4 Manfaat 8
1.5 Batasan Masalah 8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **9**
2.1 Klasifikasi Tanah 9
2.2 Korelasi Data Tanah 10
2.3 Talud/Lereng dengan Tinggi Terbatas (*Finite Slope*) 14
2.3.1 Klasifikasi Talud Berdasarkan Kemiringan 14
2.3.2 Faktor Penyebab Kelongsoran 16
2.3.3 Analisis Stabilitas Talud 17
2.4 Tekanan Tanah 18
2.5 Rembesan dan Tekanan ke Atas pada Dasar Bangunan Air 21
2.6 Konstruksi untuk Perkuatan Talud 23
2.6.1 Dinding Penahan Tanah Kantilever 23
2.6.2 Soil Nailing 28
2.6.3 Gabion Walls 32
2.6.4 Ground Anchors 35
2.7 Dynamic Compaction 40
2.8 Program Bantu (GeoStudio) 43
2.9 Tempat Pembuangan Akhir Sampah 46
2.9.1 Kriteria TPA Controlled Landfill 47
2.9.2 Sarana dan Prasarana TPA *Controlled Landfill* 48
2.10 Perencanaan Lapisan Geomembran 53

BAB III METODOLOGI **57**
3.1 Diagram Alir 57
3.2 Rincian Pelaksanaan Penyelesaian Tugas Akhir 57
3.3 Pelaksanaan Penyelesaian Tugas Akhir 62
BAB IV KORELASI DATA TANAH DAN ANALISIS KONDISI EKSISTING **63**
4.1 Data Bor dan SPT 63
4.2 Analisis Kondisi Eksisting 76
BAB V PERENCANAAN PERKUATAN TALUD **79**
5.1 Perkuatan Talud Menggunakan Terasering 79
5.2 Perkuatan Talud Menggunakan *Gabion Wall* dan *Ground Anchor* 82
5.3 Perkuatan Talud dengan Dinding Penahan Tanah 91
5.4 Perkuatan Talud dengan *Soil Nailing* 106
BAB VI PERENCANAAN STRUKTUR KOLAM IPL **113**
6.1 Tekanan Aktif Tanah dan Air 115
6.2 Desain Struktur Dinding Kolam IPL 118
6.3 Desain Struktur Pelat Dasar Kolam IPL 119
BAB VII PERENCANAAN ZONA *LANDFILL* **124**
7.1 Perkuatan Timbunan Sampah 125
7.2 Perencanaan Geomembran sebagai Lapisan Dasar *Landfiil* 129
BAB VIII KESIMPULAN **131**
DAFTAR PUSTAKA **135**
LAMPIRAN I DATA TANAH **137**
LAMPIRAN II DENAH DAN *CROSS SECTION* TPA KARIMUNJAWA **141**
LAMPIRAN III SPESIFIKASI *GROUND ANCHOR* **144**
LAMPIRAN IV SOIL NAILING **145**
LAMPIRAN V PERHTUNGAN TEKANAN TANAH PADA *SOIL NAILING* **146**
LAMPIRAN VI SPESIFIKASI GEOMEMBRAN **149**
LAMPIRAN VII GAMBAR PERKUATAN LERENG & GAMBAR KOLOM IPL **150**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Letak Pulau Karimunjawa terhadap Pulau Jawa 2
Gambar 1.2 Kondisi tempat wisata Karimunjawa yang dipenuhi sampah 3
Gambar 1.3 Tampak atas lokasi pembangunan TPA Karimunjawa..... 4
Gambar 1.4 Potongan memanjang rencana TPA Karimunjawa..... 5
Gambar 1.5 Layout rencana TPA Karimunjawa..... 6
Gambar 2.1 Analisis talud dengan tinggi terbatas..... 14
Gambar 2.2 Distribusi tekanan tanah aktif..... 19
Gambar 2.3 Distribusi tekanan pasif tanah 20
Gambar 2.4 Jaringan aliran..... 22
Gambar 2.5 Ilustrasi dinding penahan tanah..... 24
Gambar 2.6 Dimensi dinding penahan tanah kantilever 27
Gambar 2.7 Sistem drainase pada dinding kantilever 27
Gambar 2.8 Sambungan lepas (a) dan sambungan kontraksi (b) 28
Gambar 2.9 Tahanan tarik pada *soil nailing* 30
Gambar 2.10 Tahanan cabut pada *soil nailing*..... 31
Gambar 2.11 Ilustrasi stabilitas lereng..... 32
Gambar 2.12 Ilustrasi struktur dinding *gabion* 36
Gambar 2.13 Bagian *ground anchor* 37
Gambar 2.14 Perkiraan tanah yang dipadatkan dengan metode *dynamic compaction* 41
Gambar 2.15 Perkiraan tanah yang dipadatkan dengan metode *dynamic compaction* 41
Gambar 2.16 Derajat relatif dari peningkatan nilai I_r untuk berbagai kasus *dynamic compacion* 42
Gambar 2.17 Ilustrasi pembagian pias Metode Fellenius 44
Gambar 2.18 Ilustrasi pembagian pias Metode Bishop..... 45
Gambar 2.19 Pelapisan tanah dasar TPA dengan geomembran dan tanah lempung 51
Gambar 4.1 Lokasi pengujian boring tanah TPA Karimunjawa..... 64

Gambar 4.2 Nilai N-SPT pada titik BM.1 71
Gambar 4.3 Nilai N-SPT pada titik BM.2 72
Gambar 4.4 Statigrafi lapisan tanah pada potongan memanjang 73
Gambar 4.5 Hasil analisis lereng eksisting sebelum digali dengan program bantu GeoStudio 77
Gambar 4.6 Hasil analisis dengan program bantu GeoStudio potongan memanjang 78
Gambar 5.1 Hasil analisis talud kemiringan 1:1,5 dengan SF 1,565 82
Gambar 5.2 Hasil analisis talud kemiringan 1:1 dengan SF 1,056 82
Gambar 5.3 Desain beronjong 2 x 1 x 1 meter 83
Gambar 5.4 Ilustrasi dimensi gabion pada perkuatan talud TPA Karimunjawa 84
Gambar 5.5 Diagram tekanan tanah pada beronjong 85
Gambar 5.6 Angka keamanan perkuatan beronjong dan *anchor* dengan SF 1,581 91
Gambar 5.7 Dimensi dinding penahan tanah pada perkuatan talud TPA Karimunjawa 92
Gambar 5.8 Diagram tekanan tanah dan air aktif dinding penahan tanah 93
Gambar 5.9 Angka keamanan dinding penahan tanah SF 0,635 96
Gambar 5.10 Kapasitas momen ultimate tiang cerucuk 98
Gambar 5.11 Grafik nilai f untuk berbagai jenis tanah 100
Gambar 5.12 Grafik untuk besaran F_m 101
Gambar 5.13 Angka keamanan dinding penahan tanah diperkuat cerucuk dengan SF 1,578 106
Gambar 5.14 Pemasangan *soil nailing* 107
Gambar 5.15 Diagram tekanan tanah dan air aktif *soil nailing* 108
Gambar 5.16 Angka keamanan *soil nailing* dengan SF 1,65 ... 111
Gambar 5.17 Pembagian pias lereng 112
Gambar 6.1 Dimensi kolam sedimentasi TPA Karimunjawa. 114

Gambar 6.2 Diagram tekanan tanah dan air kolam sedimentasi 117
Gambar 7.1 Diagram tekanan air kolam sedimentasi..... 126
Gambar 7.2 Hasil analisis talud timbunan sampah dengan perbandingan kemiringan 1:1 dengan SF 1,554 . 126
Gambar 7.3 Grafik penentuan Γ_H dan Γ'_H 128
Gambar 7.4 Permodelan lapisan zona *landfill* pada program bantu GeoStudio 129
Gambar 7.5 Hasil rembesan air lindi timbunan sampah dengan program bantu GeoStudio..... 130

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah 9
Tabel 2.2 Korelasi antara Nilai N-SPT dengan Karakteristik Tanah 11
Tabel 2.3 Korelasi antara Nilai N-SPT dengan Kekuatan Geser *Undrained* dan Harga Tahanan Conus 12
Tabel 2.4 Korelasi antara Nilai γ dengan Karakteristik Tanah 13
Tabel 2.5 Hubungan Kemiringan Talud dengan Sifat dan Kondisi Lahan 15
Tabel 2.6 Harga – Harga Koefisien Rembesan 21
Tabel 2.7 Faktor daya dukung untuk N_c, N_q, N_γ (Caquot dan Kerisel) 39
Tabel 3.1 Jadwal Penyelesaian Tugas Akhir 62
Tabel 4.1 Nilai N-SPT dan Konsistensi Tanah TPA Karimunjawa 65
Tabel 4.2 Rekapitulasi Rata-Rata N-SPT BM. 1 dan BM. 2 67
Tabel 4.3 Rekapitulasi Nilai N-SPT Rata – Rata 68
Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Boring pada Titik BM.1 dan BM.2 (Data Laboratorium) 74
Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Boring pada Titik BM.1 dan BM.2 (Data Korelasi) 75
Tabel 4.6 Taksiran Nilai Modulus Young dan Koefisien Poisson 76
Tabel 4.7 Hasil Analisis Menggunakan Program Bantu GeoStudio 78
Tabel 5.1 Rekapitulasi Tinggi dan Lebar Talud dengan Tiga Jenis Perbandingan Kemiringan 81
Tabel 5.2 Rekapitulasi Titik Berat Elemen Beronjong 86
Tabel 5.3 Rekapitulasi Momen Tekanan Tanah dan Air 86
Tabel 5.4 Rekapitulasi Momen Tekanan Tanah dan Air 93
Tabel 5.5 Rekapitulasi Berat dan Momen Penahan Dinding Penahan Kantilever 94
Tabel 5.6 Rekapitulasi Tegangan *Overburden* dan Gaya Cabut *Nail* 110

Tabel 5.7 Rekapitulasi berat tanah per pias 111
Tabel 5.8 Rekapitulasi Angka Keamanan Perkuatan Talud 112
Tabel 6.1 Rekapitulasi Gaya dan Momen Aktif 116
Tabel 6.2 Rekapitulasi Dimensi dan Penulangan Struktur Kolam IPL TPA Karimunjawa 122
Tabel 8.1 Rekapitulasi Angka Keamanan Perkuatan Talud TPA Karimunjawa 131
Tabel 8.2 Rekapitulasi Dimensi dan Penulangan Struktur Kolam IPL TPA Karimunjawa 133

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kepulauaan Karimunjawa adalah kepulauan yang terletak di utara Pulau Jawa **(Gambar 1.1)** dan termasuk dalam wilayah Kabupaten Jepara. Kepulauan Karimunjawa memiliki luas dataran 1.285,50 ha dan luas perairan 110.117,3 ha yang terdiri dari Pulau Karimunjawa, Kemujan, Parang, dan Nyamuk (Sumber: http://kkji.kp3k.kkp.go.id/). Pulau Karimunjawa merupakan pulau terbesar di Kepulauan Karimunjawa yang memiliki kondisi topografi didominasi dataran rendah dengan ketinggian di antara 0 – 506 meter di atas permukaan laut (mdpl). Pulau Karimunjawa memiliki 2 bukit, yaitu Bukit Gajah dan Bukit Bendera yang merupakan puncak tertinggi dengan ketinggian +506 mdpl (BPS, 2018). Pada Tahun 2018, penduduk di Pulau Karimunjawa tercatat 4.810 jiwa yang mendiami Pulau Karimunjawa dengan tingkat pertumbuhan penduduk sebesar 1,44% (Sumber: BPS Karimunjawa, 2018) . Pada saat ini, Pulau Karimunjawa mengalami proses pengembangan menjadi tempat wisata yang menarik wisatawan lokal maupun mancanegara. Berdasarkan Laporan Kunjungan Wisata Kabupaten Jepara Tahun 2019, tercatat sebanyak 147.524 pengunjung dengan tingkat pertumbuhan sebesar 28,22% yang mengunjungi Pulau Karimunjawa. (Sumber: https://disparbud.jepara.go.id).

Jumlah penduduk dan wisatawan yang semakin bertambah setiap tahunnya, menimbulkan dampak terhadap produksi sampah yang dihasilkan. Tercatat bahwa sampah yang diproduksi dari penduduk sebesar 1945,45 ton pertahun dan dari sektor wisatawan sebanyak 58,4 ton pertahun (Sumber: https://jepara.go.id/). Produksi sampah yang sangat tinggi menyebabkan beberapa tempat wisata di Pulau Karimunjawa terlihat kumuh akibat sampah (**Gambar 1.2**). Disamping itu, fasilitas penampungan sampah baik dengan sistem *Open Dumping* maupun sistem *controlled landfill* masih belum tersedia.

Gambar 1.1 Letak Pulau Karimunjawa terhadap Pulau Jawa
(Sumber: Google Earth)

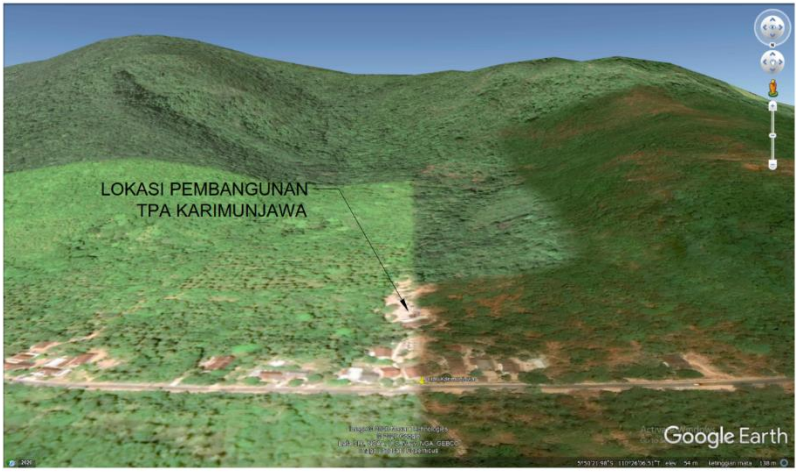
Pada saat ini, hanya ada 3 tempat yang menjadi lokasi penampungan sampah dengan sistem *Open Dumping* hanya saja lokasinya berada di luar Pulau Karimunjawa. Sebagai akibatnya, diperlukan proses penyeberangan terlebih dahulu untuk membuang sampah ke TPA. Lokasi TPA yang kurang strategis menyebabkan biaya pengiriman sampah menjadi mahal.

Gambar 1.2 Kondisi tempat wisata Karimunjawa yang dipenuhi sampah
(Sumber: https://www.menlhk.go.id/)

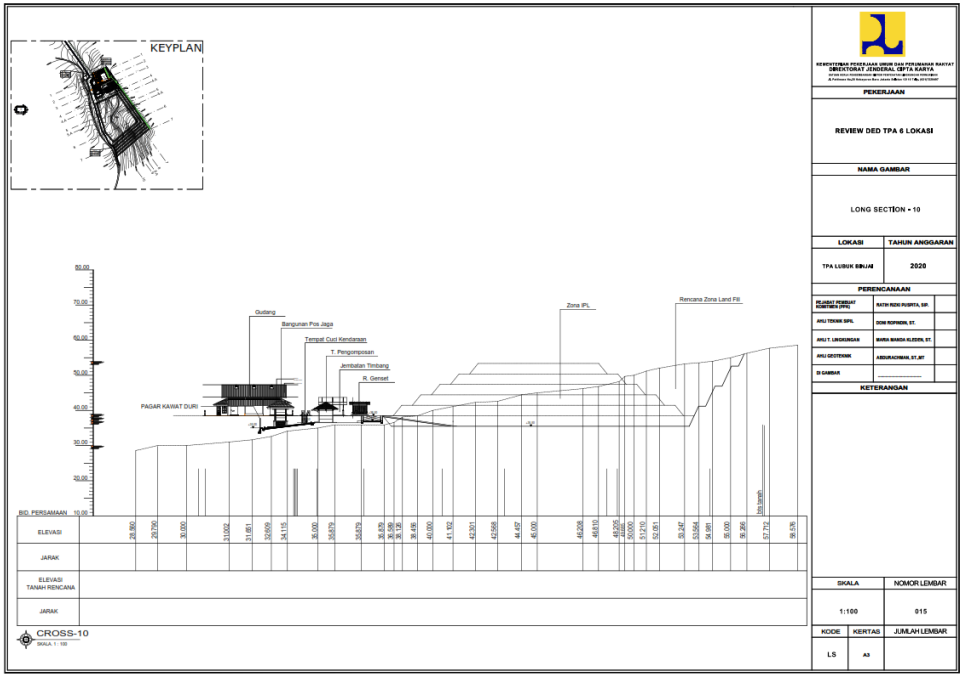
Dari permasalahan yang diuraikan di atas, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) sedang merencanakan pembangunan TPA dengan usia rencana 50 tahun. Perencanaan TPA yang diusulkan oleh Kementerian PUPR belum menerapkan sistem *controlled landfill* serta bangunan perkuatan lereng. Pembangunan TPA Karimunjawa diharapkan memiliki peran penting untuk menjaga kebersihan dan kelestarian lingkungan Pulau Karimunjawa dari sampah yang dihasilkan

penduduk dan wisatawan serta diharapkan mengurangi biaya pembuangan sampah.

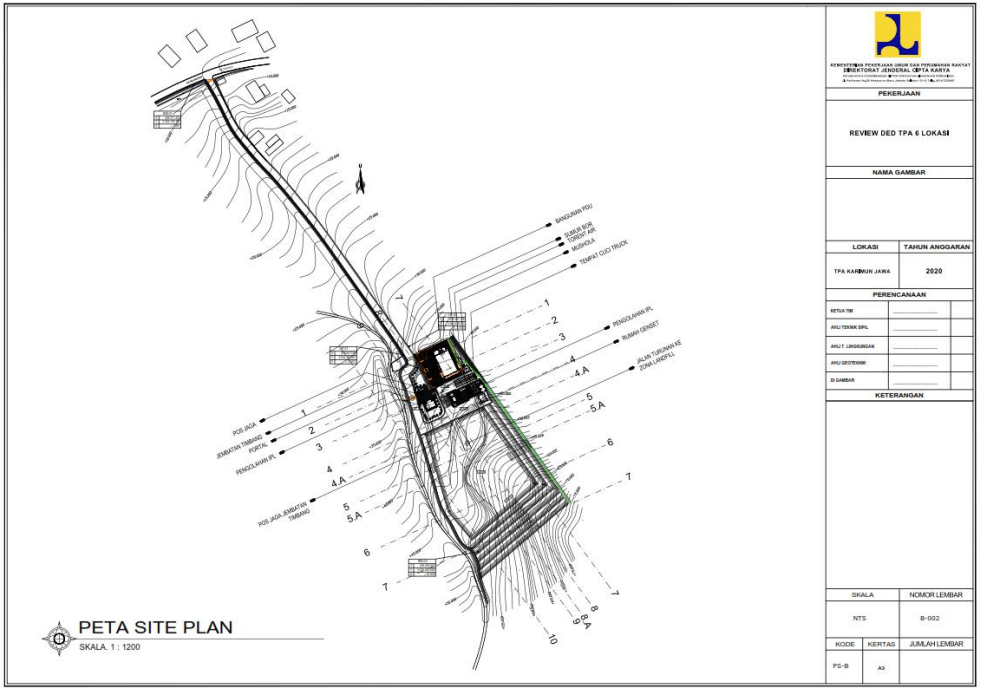
Rencana lokasi TPA Karimunjawa berada di Dukuh Alang-Alang yang berada di kaki Bukit Gajah; sehingga TPA ini akan berada di lereng **(Gambar 1.3)**. Berdasarkan hasil tes tanah yang telah dilakukan, diketahui bahwa kondisi tanah pada lokasi pembangunan TPA berjenis pasir batuan dengan nilai N-SPT yang tinggi. Selain itu, air tanah berada di kedalaman 16 meter (titik bor 1 el. +45,791) dan 13 meter (titik bor 2 el. +40,724). Kondisi lokasi TPA Karimunjawa yang berada di atas lereng mengakibatkan kontur dari daerah tersebut beragam dengan nilai elevasi terendah +28,560 dan nilai elevasi tertinggi +57,712 (**Gambar 1.4**). Sebagai akibat lokasi rencana di atas lereng, diperlukan penggalian tanah agar lahan sesuai dengan layout yang telah direncanakan (**Gambar 1.5**). Kegiatan penggalian tanah menyebabkan terbentuknya lereng galian yang berada di sebelah (TPA) dengan ketinggian rencana 36,2 meter dan kemiringan lereng sebesar 39^{o}.



Gambar 1.3 Tampak atas lokasi pembangunan TPA Karimunjawa (Sumber: Google Earth)



Gambar 1.4 Potongan memanjang rencana TPA Karimunjawa



Gambar 1.5 Layout rencana TPA Karimunjawa

Dalam perencanaan pembangunan TPA Karimunjawa, perlu diperhatikan beberapa aspek seperti kondisi lereng dan muka air tanah. Kondisi lereng galian diperlukan perkuatan agar tidak mengalami kelongsoran akibat air tanah dan kemiringan lereng yang curam. Sedangkan untuk menjaga kondisi air tanah pada tempat penampungan sampah, dapat dilakukan dengan merencanakan proteksi lapisan tanah, sehingga air lindi yang berasal dari sampah tidak mencemari air tanah.

Mengingat pentingnya fungsi TPA Karimunjawa dalam mengelola sampah di Pulau Karimunjawa, pembangunan fasilitas ini harus dilakukan secepatnya untuk mengatasi produksi sampah yang semakin meningkat serta mencemari kelestarian dan kebersihan tempat wisata di Pulau Karimunjawa. Oleh karena itu, perlu perencanaan pembangunan TPA Karimunjawa dengan sistem *controlled landfilled* yang sesuai kondisi eksisting di lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, diperlukan perencanaan TPA Karimunjawa dengan sistem *controlled landfill* agar sampah di Pulau Karimunjawa tidak mencemari lingkungan. Adapun rincian permasalahan utama adalah:

1. Bagaimana perencanaan TPA Karimunjawa yang diusulkan oleh Kementerian PUPR?;
2. Perkuatan apakah yang dapat digunakan agar lereng tidak mengalami kelongsoran dan stabilitasnya memenuhi syarat?;
3. Bagaimana proteksi yang digunakan untuk menahan air lindi dari sampah agar tidak mencemari air tanah?;
4. Bagaimana perencanaan TPA Karimunjawa yang menerapkan sistem *controlled landfill* dengan usia rencana 50 tahun?;
5. Bagaimana perbandingan antara alternatif perencanaan dengan perencanaan yang diusulkan oleh Kementerian PUPR?.

1.3 Tujuan

Berdasarakan rumusan masalah diatas, maka tujuan penulisan tugas akhir ini adalah menghasilkan alternatif

perencanaan TPA Karimunjawa dengan usia rencana 50 tahun yang menerapkan sistem *controlled landfill* serta melakukan perkuatan lereng.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat dicapai dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Terciptanya perencanaan TPA Karimunjawa yang ramah lingkungan serta dapat menampung sampah di Pulau Karimunjawa untuk umur rencana 50 tahun;
2. Sebagai masukan untuk instansi setempat yang berwenang dalam hal pengolahan sampah di Pulau Karimunjawa.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan merupakan data sekunder;
2. Tidak melakukan perhitungan Rancangan Anggaran Biaya (RAB) dalam perencanaan TPA Karimunjawa;
3. Tidak melakukan penjadwalan pekerjaan pembangunan TPA Karimunjawa;
4. Tidak merencanakan metode pelaksanaan dan menghitung volume terhadap galian dan timbunan;
5. Tidak merencanakan pondasi pada bangunan penunjang;
6. Dimensi kolam IPL mengikuti perencanaan dari Kementerian PUPR.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Tanah

Tanah adalah material dengan komposisi butiran – butiran mineral padat yang tidak tersedimentasi dan bahan – bahan organik yang telah melapuk beserta zat cair beserta gas yang mengisi rongga antar material padat (Das, 1988). Terdapat berbagai ukuran partikel – partikel tanah sehingga jenis tanah dapat ditentukan dengan mengklasifikasikan ukuran partikel tanah (**Tabel 2.1**).

Tabel 2.1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Ukuran butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
MIT	> 2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	< 0,002
USDA	> 2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	< 0,002
AASHTO	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	< 0,002
USCS	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	< 0,0075	

Sumber: Das (1988) dalam Mochtar (1988)

1. Kerikil adalah kepingan – kepingan dari batuan yang mengandung partikel – partikel mineral quartz, feldspar, dan mineral – mineral lainnya;
2. Pasir adalah struktur tanah yang berjenis non-kohesif dengan diameter butiran dengan komponen penyusun yang terdiri mineral quartz dan feldspar;
3. Lanau adalah butiran kecil dari tanah yang terdiri dari butiran halus quartz dan sejumlah partikel berbentuk lempengan pipih yang berasal dari pecahan mika;
4. Lempung merupakan jenis tanah yang terdiri dari butiran mikroskopis dan submikroskopis dengan bentuk lempengan – lempengan pipih dari partikel mika dan mineral lempung.

Berdasarkan karakteristiknya, tanah dapat diklasifikasikan menjadi 2 kelompok yaitu tanah kohesif dan tanah tak berkohesi (Das, 1988).

1. Tanah kohesif

   Tanah kohesif merupakan jenis tanah yang memiliki gaya antar partikel serta butirannya bersifat halus. Jenis tanah kohesif meliputi tanah lempung dan lanau. Dalam perencanaan di atas tanah kohesif, parameter yang perlu diperhatikan yaitu nilai berat volume (γ), nilai kohesi (c), sudut geser (ϕ), dan indeks plastisitas (PL). Kondisi tanah kohesif perlu diperhatikan, karena terdapat tanah kohesif lunak yang mengakibatkan nilai daya dukung tanah rendah serta mudah mengalami penurunan.
2. Tanah tak berkohesi

   Tanah tak berkohesi merupakan tanah yang tidak memiliki gaya antar partikel serta butirannya bersifat kasar atau granular. Pasir dan kerikil adalah kelompok tanah tak berkohesi. Perencanaan di atas tanah tak berkohesi perlu memperhatikan nilai berat volume (γ) dan sudut geser (ϕ). Tanah tak berkohesif pada umumnya memiliki daya dukung relatif tinggi sehingga tidak mengalami pemampatan namun berpotensi mengalami likuifaksi.

2.2 Korelasi Data Tanah

Pada saat proses perencanaan suatu bangunan, data tanah yang diperoleh tidak selalu lengkap setiap kedalaman. Sebagai akibat perlu dilakukan korelasi data tanah berdasarkan *Standart Penetration Test* atau N-SPT (**Tabel 2.2 – Tabel 2.4**).

Tabel 2.2 Korelasi antara Nilai N-SPT dengan Karakteristik Tanah

	Tanah non-kohesif				
N-SPT (pukulan)	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
	Tanah kohesif				
N-SPT (pukulan)	< 4	4 - 6	6 - 15	16 - 25	> 25
γ (kN/m^3)	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	> 20
qu (kPa)	< 25	20 - 50	30 - 60	40 - 200	> 100
Consistency	*very soft*	*Soft*	*medium*	*stiff*	*hard*

Sumber: Bowles (1984) dalam Wahyudi (1999)

Tabel 2.3 Korelasi antara Nilai N-SPT dengan Kekuatan Geser *Undrained* dan Harga Tahanan Conus

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser *undrained*, C_u		Taksiran haga N-SPT	Taksiran harga tahanan conus, q_c	
	kPa	ton/m^2		kg/cm^2	kPa
Sangat lunak	0 – 12,5	0 – 1,25	0 – 2,5	0 – 10	0 – 1000
Lunak	12,5 – 25	1,25 – 2,5	2,5 – 5	10 – 20	1000 – 2000
Menengah	25 – 50	2,5 – 5	5 – 10	20 – 40	2000 – 4000
Kaku	50 – 100	5 – 10	10 – 20	40 – 75	4000 – 7500
Sangat kaku	100 – 200	10 – 20	20 – 40	75 – 150	7500 – 15000
Keras	> 200	> 20	> 40	> 150	> 15000

Sumber: Mochtar, 2006

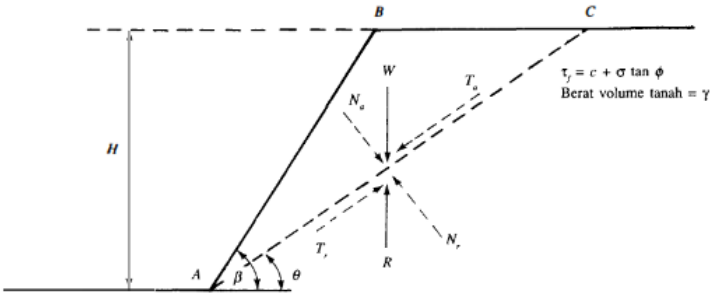
Tabel 2.4 Korelasi antara Nilai γ dengan Karakteristik Tanah

γsat	w sat	n	e	γd	k	Cv
t/m^3	%			t/m^3	cm/s	cm^2/s
1,4	121,67	0,77	3,29	0,63	7,23E-09	0,0000723
1,5	88	0,7	2,38	0,8	5,15E-08	0,0002
1,6	68,55	0,65	1,85	0,95	0,00000055	0,0004
1,7	52,81	0,59	1,42	1,11	0,00000214	0,0006144
1,8	42,03	0,53	1,14	1,27	0,00000367	0,000767
1,9	32,8	0,47	0,89	1,43	0,00000533	0,000933
2	26,09	0,41	0,71	1,59	0,0000686	0,00384
2,1	20,15	0,35	0,55	1,75	0,0000085	0,00858
2,2	15,6	0,3	0,42	1,9	0,00001	0,073
2,3	11,4	0,23	0,31	2,07	0,007	-
2,4	8,07	0,18	0,22	2,22	-	-
2,5	4,93	0,12	0,14	2,38	-	-
2,6	2,3	0,06	0,07	2,53	-	-
2,7	0	0	0	2,7	-	-

Sumber: Biarez & Favre

2.3 Talud/Lereng dengan Tinggi Terbatas (*Finite Slope*)

Talud/talud dengan tinggi terbatas adalah kondisi ketika nilai tinggi kritis (H_{cr}) terhadap kelongsoran mendekati nilai tinggi talud (Das, 1993). Dalam melakukan perencanaan talud tinggi terbatas dapat melakukan pendekatan bidang kelongsoran yaitu dengan mengasumsikan kelongsoran sebagai bidang rata. Gambar 2.1 menunjukkan talud dengan tinggi H dan kemiringan talud terhadap bidang horisontal adalah β serta bidang AC merupakan bidang longsor yang dicoba. Metode pendekatan ini disebut dengan metode Cullmann (1875).



Gambar 2.1 Analisis talud dengan tinggi terbatas
(Sumber: Das, 1993 dalam Mochtar, 1993)

Analisis kelongsoran suatu talud terjadi sepanjang bidang kelongsoran, bila tegangan geser rata – rata yang dapat menyebabkan kelongsoran lebih besar dari kekuatan geser tanah. Di samping itu, bidang yang paling kritis adalah bidang di mana rasio antara tegangan geser rata – rata yang menyebabkan kelongsoran dengan kekuatan geser tanah adalah minimum.

2.3.1 Klasifikasi Talud Berdasarkan Kemiringan

Talud merupakan bentuk permukaan tanah yang membentuk sudut kemiringan dengan permukaan horisontal. Menurut SNI 8460:2017, talud terbagi menjadi 2 berdasarkan cara terbentuknya yaitu talud alam dan talud buatan. Talud alam terbentuk akibat

aktivitas gaya – gaya eksternal talud lebih besar dari kuat geser dari material talud sehingga menyebabkan pergerakan atau pergeseran pada bidang longsor. Talud buatan terbentuk akibat adanya aktivitas penggalian maupun penimbunan tanah dengan kemiringan yang aman dan ekonomis (SNI 8460:2017).

Kemiringan talud terbentuk akibat aktivitas tenaga eksogen dan endogen sehingga permukaan bumi mengalami perbedaan ketinggian. Perbedaan ketinggian menyebabkan bentuk lahan yang semula datar menjadi lahan miring dengan nilai sudut tertentu. Kemiringan lahan dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai kemiringan (**Tabel 2.5**).

Tabel 2.5 Hubungan Kemiringan Talud dengan Sifat dan Kondisi Lahan

Kelas Talud	Proses, Karakteristik dan Kondisi Lahan	Simbol warna yang disarankan
$0^o – 2^o$ (0 – 2%)	Datar atau hampir datar, tidak ada erosi yang besar, dapat diolah dengan mudah dalam kondisi kering.	Hijau tua
$2^o – 4^o$ (2 – 7%)	Lahan memiliki kemiringan talud landai, bila terjadi longsor bergerak dengan kecepatan rendah, pengikisan dan erosi akan meninggalkan bekas yang sangat dalam.	Hijau muda
$4^o – 8^o$ (7 – 15%)	Lahan memiliki kemiringan talud landai sampai curam, bila terjadi longsor bergerak dengan kecepatan rendah, sangat rawan terhadap erosi	Kuning muda

Kelas Talud	Proses, Karakteristik dan Kondisi Lahan	Simbol warna yang disarankan
$8^o – 16^o$ (15 – 30%)	Lahan memiliki kemiringan talud yang curam, rawam terhadap bahaya longsor, erosi permukaan, dan erosi alur.	Kuning tua
$16^o – 35^o$ (30 – 70%)	Laham memliki kemiringan talud ang curam sampai terjal, sering terjadi erosi dan gerakan tanah dengan kecepetan yang perlahan – lahan. Daerah rawan erosi dan longsor	Merah muda
$35^o – 55^o$ (70 – 140%)	Lahan memeliki kemiringan talud yang terjal, sering ditemukan singkapan batuan, rawan terhadap erosi.	Merah tua
$> 55^o$ (> 140%)	Lahan memiliki kemiringan talud yang terjal, singkapan batuan muncul di permukaan, rawam terhadap longsor batuan.	Ungu tua

Sumber: Van Zuidam, 1985

2.3.2 Faktor Penyebab Kelongsoran

Kelongsoran merupakan kondisi terganggunya kestabilan tanah talud sehingga menyebabkan material bergerak menuruni talud (Skempton dan Hutchinson, 1969). Tanah longsor adalah aktivitas tanah dan batuan yang bergerak akibat gaya gravitasi serta meluncur diatas lapisan jenuh air menuju talud bagian bawah (Brook dkk, 1993). Menurut SNI 8460:2017 penyebab

ketidakstabilan talud terbagi menjadi 2 kondisi yaitu ketidakstabilan talud alam dan ketidakstabilan talud buatan/timbunan. Berikut faktor ketidakstabilan talud alami dan buatan.

1. Faktor penyebab ketidakstabilan talud alam

   Ketidakstabilan talud alam disebabkan perubahan kemiringan talud akibat bertambahnya beban di bagian atas talud namun kuat geser pada bagian dasar mengalami penurunan akibat pelapukan, perubahan mineralogi, dan adanya rekahan. Peingkatan tekanan air pada talud mengakibatkan penurunan terhadap tahanan geser pada tanah. Ketidakstabilan talud juga disebabkan aktivitas gempa bumi, peledakan, dan pemancangan tiang.
2. Faktor penyebab ketidakstabilan talud buatan

   Ketidakstabilan talud buatan terjadi adanya *overstressing* pada bagian fondasi akibat hilangnya air pori. *Overstressing* pada umumnya terjadi pada talud buatan dengan tanah kohesif setelah tahapan konstruksi. Bertambahnya beban yang diterima timbunan dan terjadinya gempa bumi mengakibatkan ketidakstabilan talud buatan.

2.3.3 Analisis Stabilitas Talud

Analisis stabilitas talud merupakan tahapan yang digunakan untuk mengetahui kondisi talud aman terhadap kelongsoran atau sebaliknya. Kondisi talud aman terhadap kelongsoran apabila nilai *safety factor* bernilai minimal 1,5 (SNI 8460:2017 Pasal 7.5.5). Apabila nilai *safety factor* di bawah 1,5, maka diperlukan suatu perkuatan talud agar aman terhadap potensi kelongsoran.

Perihitungan angka kemananan dapat dilakukan dengan menggunakan konsep perbandingan antara tegangan geser tanah dengan tegangan geser rata – rata, sehingga tegangan geser tanah harus lebih besar daripada tegangan geser rata – rata (Braja M. Das, 1993).

$$SF = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{c}{c_d} = \frac{tan\phi}{tan\phi_d} \tag{2.1}$$

$$\tau_f = c + \sigma tan\phi \quad (2.2)$$

$$\tau_d = c_d + \sigma tan\phi_d \quad (2.3)$$

Dimana:

τ_f = tegangan geser tanah;
τ_d = tegangan rata – rata;
c = kohesi tanah (kN/m^2);
c_d = kohesi sepanjang bidang longsor (kN/m^2);
ϕ = sudut geser tanah (^{o});
ϕ_d = sudut geser sepanjang bidang longsor (^{o}).

Dengan nilai angka keamanan dan kohesi tanah, tinggi talud dapat direncanakan menggunakan metode Cullmann (1875), sehingga perencanaan menjadi lebih efektif serta efisien. Berikut perumusan Cullmann (Das, 1993).

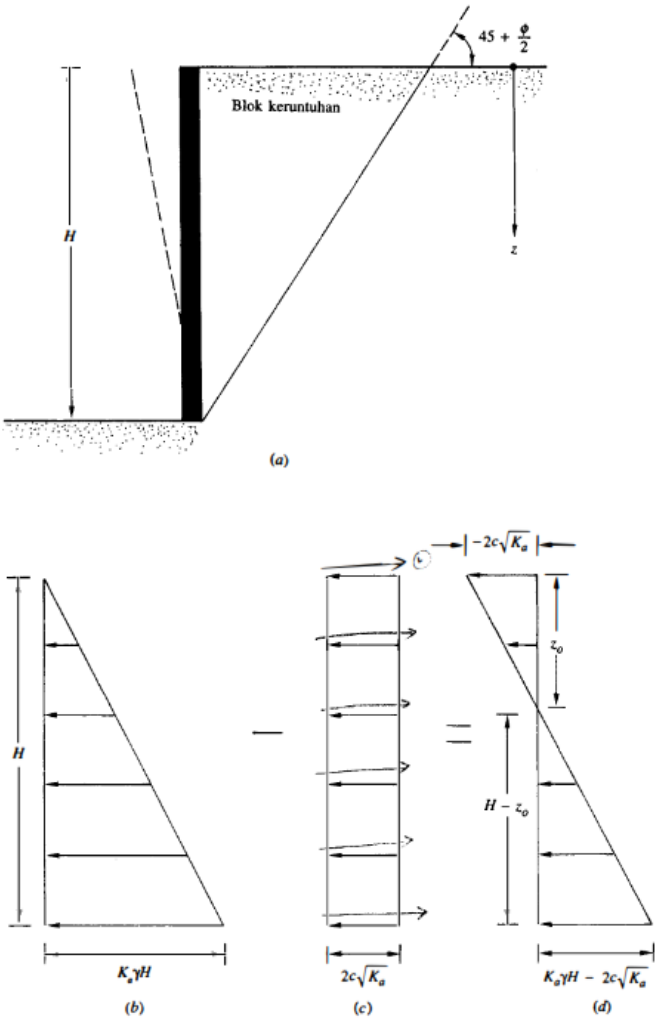
$$H = \frac{4c_d}{\gamma}\left[\frac{sin\beta \times cos\phi_d}{1 - \cos(\beta - \phi_d)}\right] \quad (2.4)$$

Dimana:

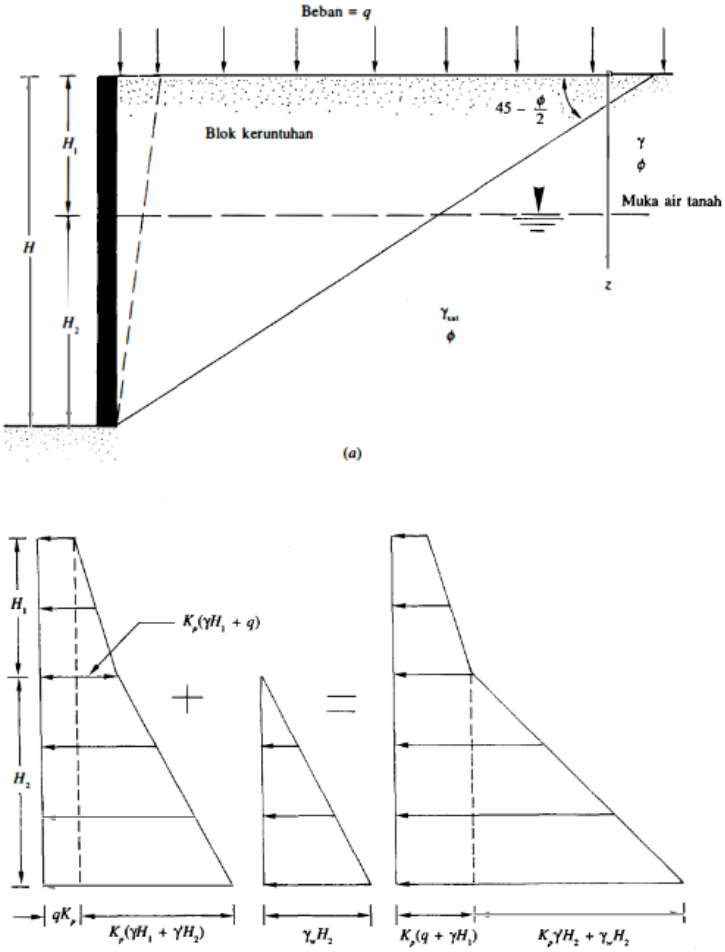
H = tinggi talud (m);
γ = massa jenis tanah (kN/m^3);
β = kemiringan talud (^{o}).

2.4 Tekanan Tanah

Tekanan tanah terbagi menjadi 2 jenis yaitu tekanan aktif dan tekanan pasif. Tekanan aktif tanah merupakan tekanan yang mendorong struktur penahan tanah dan letaknya berada di belakang penahan tanah (**Gambar 2.2**). Tekanan aktif meliputi berat tanah, air, dan beban yang berada diatas struktur penahan. Tekanan pasif merupakan tekanan yang berfungsi untuk menahan dorongan akibat tekanan aktif (**Gambar 2.3**). Tekanan pasif meliputi berat struktur serta tanah, beban tambahan, dan air yang berada di depan penahan tanah.



Gambar 2.2 Distribusi tekanan tanah aktif
(Sumber: Das, 1988 dalam Mochtar, 1988)



Gambar 2.3 Distribusi tekanan pasif tanah
(Sumber: Das, 1988 dalam Mochtar, 1988)

Perumusan tekanan tanah aktif:

$$P_a = \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \times K_a - 2c' \times H \times \sqrt{K_a} \qquad (2.5)$$

Perumusan tekanan tanah pasif:

$$P_p = \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \times K_p + 2c' \times H \times \sqrt{K_p} \quad (2.6)$$

Dimana:

P_a = Tekanan aktif (kN);
P_p = Tekanan pasif (kN);
H = Kedalaman (m);
γ = massa jenis tanah (kN/m^3);
c = kohesi tanah (kN/m^2);
K_a = koefisien tekanan aktif ($K_a = tan^2(45 - \phi)$);
K_p = koefisien tekanan pasif ($K_p = tan^2(45 + \phi)$);
ϕ = sudut geser tanah (^{o}).

2.5 Rembesan dan Tekanan ke Atas pada Dasar Bangunan Air

Rembesan adalah proses keluarnya air dari pori – pori material atau rekahan yang terdapat pada pondasi bangunan air. Rembesan akan menyebabkan suatu gaya tekanan air sehingga timbul jaringan aliran air di bawah bangunan air sehingga bangunan tersebut mengalami rekah. Menurut Das (2007), rembesan dipengaruhi beberapa faktor, yaitu: kekentalan cairan, distribusi ukuran – pori, distribusi ukuran – butir, angka pori, kekasaran permukaan butiran tanah, dan derajat kejenuhan tanah. Rembesan memiliki nilai koefisien rembesan (**Tabel 2.6**) dan satuannya yaitu ft/menit, ft/hari, cm/detik.

Tabel 2.6 Harga – Harga Koefisien Rembesan

Jenis Tanah	k (cm/detik)
Kerikil bersih	1 – 100
Pasir kasar	1 – 0,01
Pasir halus	0,01 – 0,001
Lanau	0,001 – 0,00001
Lempung	kurang dari 0,000001

Sumber: Das (1988) dalam Mochtar (1988)

Apabila banyaknya saluran aliran air di dalam jaringan aliran sama dengan N_f (**Gambar 2.4**), maka banyaknya air yang

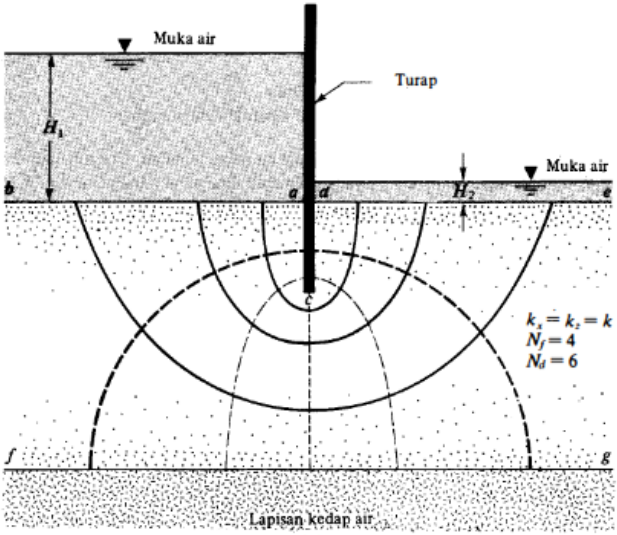
mengalir melalui semua saluran per satuan lebar dan kehilangan energi setiap bidang energi potensial dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q = k \times \frac{H \times N_f}{N_d} \times t \quad (2.7)$$

$$\Delta h = \frac{H}{N_d} \quad (2.8)$$

Dimana:

N_f = banyaknya saluran aliran di dalam jaringan aliran;
N_d = banyaknya bidang bagi kehilangan energi potensial;
H = Perbedaan tinggi muka air pada bagian hulu dan hilir (m);
k = koefisien permeabilitas (cm/detik);
t = waktu (detik);
q = volume air yang mengalir (cm^3);
Δh = kehilangan energi.



Gambar 2.4 Jaringan aliran
(Sumber: Das, 1988 dalam Mochtar, 1988)

Air yang melewati jaringan tersebut berpotensi untuk mengangkat bangunan yang berada di atasnya yang pada umumnya disebut gaya tekanan ke atas (*uplift pressure*). Gaya tekanan ke atas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Gaya\ angkat = u \times L \quad (2.9)$$

$$u = h_p \times \gamma_w \quad (2.10)$$

$$h_p = h - (N_d \times \Delta h) \quad (2.11)$$

Dimana:

L = lebar bangunan air (m);
u = tegangan air di bawah bangunan air (t/m^2);
γ_w = koefisien permeabilitas (1 t/m^3);
h_p = *pressure head* di bawah bangunan air;
h = kedalaman titik yang ditinjau;
N_d = banyaknya bidang bagi kehilangan energi potensial;
Δh = kehilangan energi.

2.6 Konstruksi untuk Perkuatan Talud

2.6.1 Dinding Penahan Tanah Kantilever

Dinding penahan tanah kantilever merupakan dinding yang terbuat dari beton bertulang namun memiliki dimensi *base slab* dan badan yang lebih tipis dibandingkan dengan dinding penahan tanah gravitasi. Dinding kantilever dapat digunakan untuk menahan tanah dengan ketinggian mencapai 8 meter. Sistem kerja dinding penahan tanah memanfaatkan berat struktur sendiri dan tanah yang berada di atas *base slab*.

Perencanaan dinding penahan tanah perlu memperhatikan beban yang akan ditahan, kondisi tanah, dan kedalaman muka air tanah. Berdasarkan SNI 8460:2017 Pasal 10.2.5.2, dinding kantilever harus aman terhadap stabilitas guling, geser lateral, dan daya dukung tanah. Faktor lain yang harus diperhatikan yaitu adanya potensi gelincir rotasi/transalasi terhadap dinding kantilever dan penurunan pada bagian bawah dinding. Pada SNI 8460:2017 Pasal 10.2.5.3, mensyaratkan faktor keamanan dinding kantilever terhadap guling, geser lateral, daya dukung.

1. Faktor keamanan terhadap guling minimum 2;

2. Faktor keamanan terhadap geser lateral minimum 1,5;
3. Faktor keamanan terhadap daya dukung minimum 3;

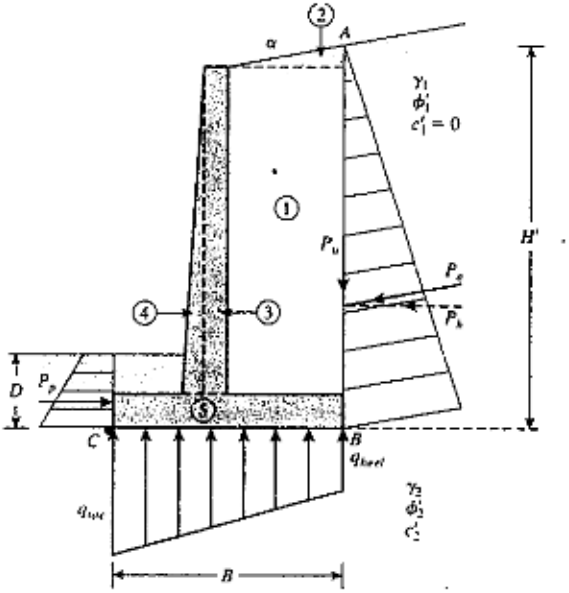
Perhitungan faktor keamanan terhadap guling dapat dihitung menggunakan perbandigan momen tekanan aktif dan pasif. Perhitungan nilai faktor keamanan terhadap guling berdasarkan momen akibat tekanan aktif dan pasif yang dipusatkan ke titik C (**Gambar 2.5**). Perumusan faktor keamanan terhadap guling:

$$FS_{(overturning)} = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_O} \qquad (2.12)$$

Dimana:

ΣM_o = jumlah momen pendorong pada titik C

ΣM_p = jumlah momen penahan pada titik C



Gambar 2.5 Ilustrasi dinding penahan tanah
(Sumber: Das, 2007)

Faktor keamanan terhadap geser lateral didapatkan melalui perbandigan antara jumlah gaya penahan arah horizontal dengan jumlah gaya pendorong arah horizontal. Nilai dari tekanan pasif dapat diabaikan sehingga nilai faktor keamanan menjadi lebih kritis. Untuk menjaga stabilitas geser lateral pada bagian bawah dinding kantilever, pada umumnya melakukan pemasangan tiang pancang atau melakukan perbaikan tanah dasar jika kondisi tanah dasar buruk. Berikut perhitungan faktor kemanan terhadap geser lateral (Braja M. Das, Edisi ke-6).

$$FS_{(sliding)} = \frac{(\Sigma V \tan(k_1 \phi')) + B k_2 c'}{P_a} \quad (2.13)$$

Dimana:

ΣV = berat total material penahan yang berada diatas tanah dasar;

P_a = Tekanan aktif (kN);

P_p = Tekanan pasif (kN);

ϕ = sudut geser tanah (^{o});

c = kohesi tanah (kN/m^2);

k_1 = $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{2}{3}$;

k_2 = $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{2}{3}$.

Daya dukung tanah yang berada di bawah dinding penahan perlu diperhatikan karena tanah dasar menerima beban akibat dinding kantilever. Apabila daya dukung tanah kurang dari nilai tegangan akibat dinding, maka perlu adanya perbaikan tanah dasar. Nilai faktor keamanan dinding kantilever diperoleh dari perbandingan nilai daya dukung tanah dengan nilai beban struktur dinding. Berikut perhitungan faktor kemanan terhadap daya dukung (Das, 2007).

$$FS_{(bearing\ capacity)} = \frac{q_u}{q_{max}} \quad (2.14)$$

Dimana:

$$q_u = c' N_c F_{cd} F_{ci} + qN\ F_{qd} F_{qt} + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (2.15)$$

$q = \gamma D$ (2.16)

$B' = B - 2e$ (2.17)

e = titik pusat dinding kantilever

$F_{cd} = 1 + 0{,}4\frac{D}{B'}$ (2.18)

$F_{qd} = 1 + 2tan\phi'^{(1-sin\phi')^2\frac{D}{B'}}$ (2.19)

$F_{\gamma d} = 1;$

$F_{qi} = F_{ci} = (1 - \frac{\psi}{90})^2$ (2.20)

$F_{\gamma i} = (1 - \frac{\psi}{\phi'})^2$ (2.21)

$\Psi = tan^{-1}(\frac{P_a}{\Sigma V})$ (2.22)

$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B}(1 + \frac{6e}{B})$ (2.23)

ΣV = berat total material penahan yang berada diatas tanah dasar.

Perencanaan dinding kantilever perlu memperhatikan persyaratan yang terdapat pada SNI 8460:2017. Berikut merupakan syarat teknis dalam perencanaan dinding kantilever.

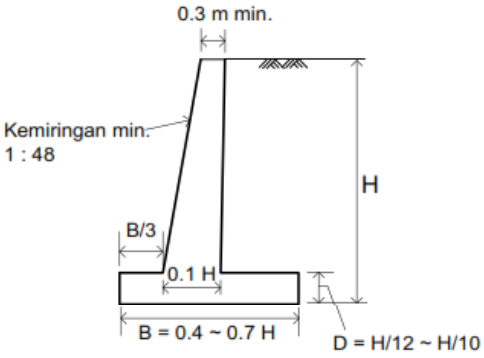
1. Dimensi tipikal dinding kantilever

   Menurut SNI 8460:2017 Pasal 10.2.5.1, dimensi dinding kantilever memiliki kemiringan 1:48 dengan ketebalan *base slab* 1/12 dari tinggi total dinding atau H (**Gambar 2.6**). Lebar dinding kantilever disyaratkan dengan ukuran 0,4 – 0,7H (**Gambar 2.6**). Dimensi dinding harus memenuhi 3 syarat di atas agar memperoleh dimensi yang aman dan ekonomis.

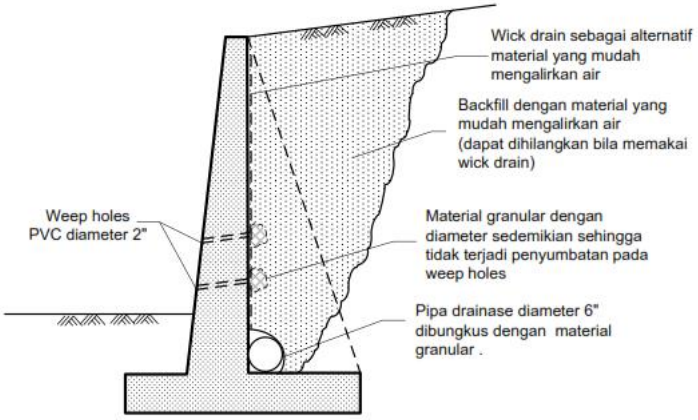
2. Sistem drainase

   Instalasi sistem drainase pada badan dinding kantilever bertujuan mengurangi kadar air yang berada di dalam tanah sehingga megurangi beban yang diterima oleh dinding. Sistem drainase menggunakan material yang mudah mengalirkan air seperti *wick drain*. Material tersebut dipasang berada di belakang dinding kantilever, lalu air akan mengalir melalui pipa drainase longitudinal dan *weep hole* (**Gambar 2.7**). Pipa drainase longitudinal menggunakan pipa PVC diameter 150

mm yang diletakkan pada bagian bawah dinding sedangkan *weep hole* menggunakan pipa PVC diameter 50 mm yang diletakkan pada dinding vertikal dengan kerapatan 1 *weep hole* per 3 m^2 luas dinding (**Gambar 2.7**).



Gambar 2.6 Dimensi dinding penahan tanah kantilever
(Sumber: SNI 8460:2017 Pasal 10.2.5.1)



Gambar 2.7 Sistem drainase pada dinding kantilever
(Sumber: SNI 8460:2017 Pasal 10.2.6)

3. Sambungan lepas dan kontraksi

Konstruksi dinding kantilever direncanakan tidak menerus namun memiliki sambungan pada intervak tertentu. Sambungan dinding mempunyai 2 jenis sambungan yaitu sambungan lepas dan kontraksi (**Gambar 2.8**). Sambungan lepas merupakan sambungan antar dinding yang menggunakan *flexible joint filler* untuk mengisi rongga sambungan. Sambungan lepas digunakan pada panjang dengan interval 16 m – 25 m. Sambungan kontraksi merupakan sambungan antar dinding yang menggunakan besi dan terdapat coakan pada muka dinding selebar 6 – 8 mm dengan dalam 12 mm – 16 mm agar tidak terjadi retakan pada saat *setting* beton. Sambungan kontraksi dipasang dengan interval 8 m – 12 m.

Gambar 2.8 Sambungan lepas (a) dan sambungan kontraksi (b)
(Sumber: SNI 8460:2017 Pasal 10.2.7.2)

2.6.2 Soil Nailing

Soil naiing merupakan perkuatan talud menggunakan *nail bars* yang tersambung *bearing plate* pada dinding talud. Sistem kerja *soil nailing* bersifat pasif karena tekanan tanah pada dinding talud akan diterima melalui *bearing plate* yang diteruskan menuju *nail bars*. Sifat pasif dari *soil nailing* mengakibatkan deformasi dikontrol dengan ketat. *Soil nailing* dapat digunakan pada tanah lunak (NSPT ≥ 5) dam tanah pasir (NSPT ≥ 5). Pemasangan *nail bars* dilakukan dengan pengeboran atau pemancangan yang memiliki sudut kemiringan mendekati sumbu horizontal.

Berdasarkan SNI 8460:2017 Pasal 10.4.4, dinding talud memiliki kemiringan 80^o – 90^o dari sumbu horizontal dan kemiringan *nail* sebesar 10^o – 20^o. Panjang *nail* yang digunakan berkisar antara 0,6H – 1,2H dimana H merupakan tinggi talud. Pemasangan *nail* dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu pola segiempat dan segitiga. Jarak antar *nail* disyaratkan 1,5 meter untuk tipe *grouting* dan 1 m – 1,5 m untuk tipe *driven*. Apabila menggunakan tipe *grouting*, diamater bor yang digunakan adalah 100 mm – 200 mm serta semen yang digunakan memiliki kadar air semen 0,4 – 0,5 dengan mutu 21 Mpa pada hari ke 21. Komponen *bearing plate* memiliki persyaratan dimensi 200 x 200 mm - 250 x 250 mm dengan ketebalan sebesar 19 mm.

Dalam perencanaan perkuatan *soil nailing*, terdapat dua stabilitas yang perlu diperhatikan dalam perencanaan *soil nailing*, antara lain stabilitas internal dan eksternal. Stabilitas internal meliputi kegagalan pada cabut dan kegagalan tarik. Sedangkan untuk stabilitas eksternal meliputi stabilitas lereng serta stabilitas geser.

1. Analisis stabilitas internal

   Stabilitas internal merupakan stabilitas yang berhubungan dengan kemampuan tulangan baja dalam menerima gaya tarik dengan menyalurkannya melalui gaya gesek dari tanah. Stabilitas internal meliputi kegagalan cabut dan kegagalan tarik.

   a. Kegagalan kuat tarik *soil nailing*

      SNI 8460:2017 Pasal 10.4.5.7 telah mensyaratkan material *nail* menggunakan mutu BJTD 40, dimana nilai kuat leleh baja (f_y) sebesar 400 MPa atau 4000 kg/cm^2. Perhitungan angka keamanan tarik menggunakan perbandingan gaya tarik *nail* maksimum dengan kuat leleh baja (f_y). Kondisi *nail* tergolong aman terhadap tarik jika angka keamanan tarik material di atas 1,8 ($Fk_{ts} \geq 1{,}8$).

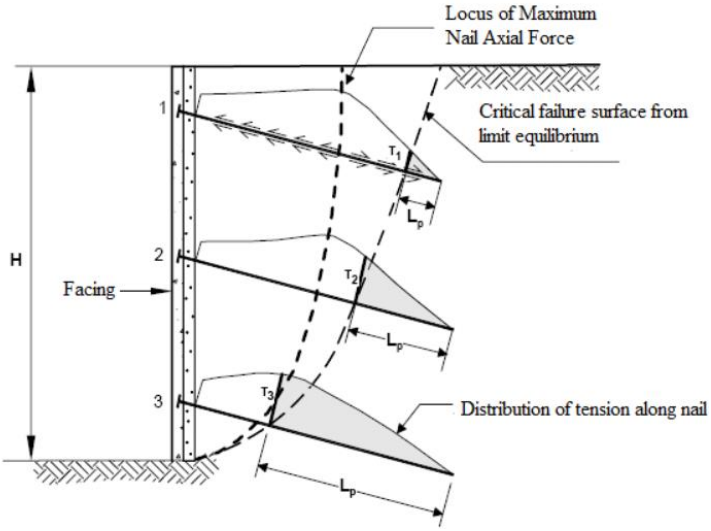
$$FK_T = \frac{R_T}{T_O} \tag{2.24}$$

Kapasitas tarik tulangan (R_T)

$(R_T) = 0{,}25 \times \pi \times d^2 \times fy$ (2.25)

Gaya pada kedalaman tertentu (T_O)

$(T_O) = Ka\ (q + \sigma'_v) \times Sh \times Sv$ (2.26)



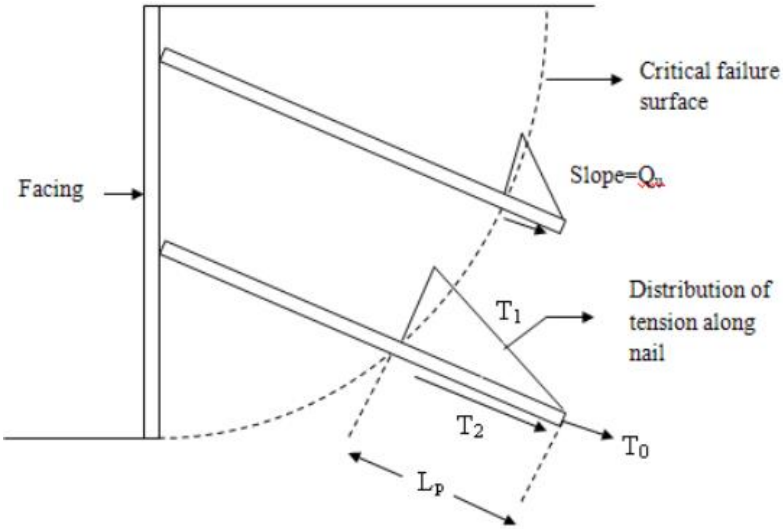
Gambar 2.9 Tahanan tarik pada *soil nailing*
(Sumber: Prashant dan Mukherjee, 2010)

Dimana:

Fk_{po} = faktor keamanan terhadap cabut;
T_O = gaya pada kedalaman tertentu;
R_T = kapasitas tarik tulangan;
d = diameter *soil nailing*;
Sh = jarak pemasangan *soil nailing* dalam arah horizontal;
Sv = jarak pemasangan *soil nailing* dalam arah vertikal;
Ca = tahanan friksi pada antarmuka grout dengan tanah;
K_a = koefisien tekanan tanah;
Q = beban tambahan (10 kPa);
σ'_v = tegangan tanah (kN/m^2).

b. Kegagalan kuat cabut *soil nailing*

Berdasarkan hasil analisis stabilitas internal, diperoleh tahanan cabut yang diterima *nail* (**Gambar 2.10**). Setiap baris *nail* akan diperiksa dengan membandingkan kapasitas gaya tarik maksimum *nail* dengan tahanan cabut. Angka keamanan terhadap cabut minimal sebesar 2 ($Fk_{PO} \geq 2$).



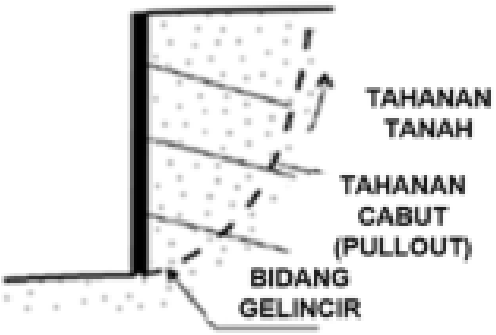
Gambar 2.10 Tahanan cabut pada *soil nailing*
(Sumber: Prashant dan Mukherjee, 2010)

2. Analisis stabilitas eksternal

Stabilitas eksternal merupakan stabilitas yang berhubungan dengan lereng yang diperkuat oleh *soil nailing*. Stabilitas eksternal meliputi stabilitas lereng dan geser.

a. Stabilitas lereng

Analisis stabilitas lereng merupakan analisis terhadap potensi bidang gelincir pada lereng yang diperkuat dengan *soil nailing* (**Gambar 2.11**). Analisis ini berfungsi untuk menentukan kondisi perkuatan aman terhadap potensi longsor apabila perkuatan *soil nailing* memiliki angka keamanan lebih dari 1,5 ($FK_{gs} \geq 1{,}5$).



Gambar 2.11 Ilustrasi stabilitas lereng
(Sumber: SNI 8460:2017 Pasal 10.4.5)

b. Stabilitas geser

Analisis terhadap gelincir arah lateral dilakukan dengan membandingkan tahanan oleh dinding *soil nailing* terhadap gaya dorong akibat tekanan tanah, air, dan beban tambahan. Angka kemanan *soil nailing* terhadap potensi gelincir minimal sebesar 1,5 ($Fk_{sliding} \geq 1{,}5$).

2.6.3 Gabion Walls

Gabion atau beronjong merupakan tumpukan bongkahan batu yang dibungkus dengan anyaman kawat berbentuk persegi (**Gambar 2.14**). Pada umumnya *gabion* memiliki sifat yang sama dengan dinding penahan tanah karena menggunakan berat struktur sendiri untuk menahan tekanan tanah lateral. Lebar dasar struktur *gabion* memiliki ukuran kurang lebih 0,5H – 0,7H, dimana H merupakan tinggi struktur *gabion* (SNI 8460:2017 Pasal 10.2.4.4). Terdapat 4 langkah dalam merencanakan struktur *gabion*, yaitu:

1. Menghitung gaya yang terjadi pada dinding *gabion*

Gaya yang terjadi pada dinding *gabion* meliputi tekanan aktif akibat tanah beserta air. Tekanan aktif dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_H = P_a cos\beta \quad (2.27)$$

$$P_a = K_a(w_s \times \frac{H^2}{2} + q \times H) \quad (2.28)$$

$$K_a = tan^2(45 - \phi) \quad (2.29)$$

Dimana:

P_H = tekanan tanah arah horisontal (kN);
P_a = tekanan tanah (kN);
β = kemiringan lereng (^{o});
K_A = koefisien tekanan aktif tanah;
w_s = berat jenis tanah (kN/m^3);
H = tinggi lereng (m);
q = beban tambahan di atas lereng (kN/m^2);
ϕ = sudut geser tanah.

2. Kontrol stabilitas guling (*overturning*) dengan menghitung momen pehanan dan dorong berdasarkan nilai angka keamanan yang memenuhi syarat

Tekanan aktif tanah dapat menyebabkan gaya guling pada struktur *gabion* sehingga harus ditahan oleh berat struktur *gabion* dan gaya lainnya. Perbandingan gaya penahan dengan pendorong menghasilkan angka keamanan terhadap guling. Dinding *gabion* aman terhadap potensi guling apabila nilai angka keamanan mencapai 2 atau lebih. (SF ≥ 2). Berikut perumusan stabilitas guling dinding gabion.

$$\frac{M_r}{M_o} = SF \quad (2.30)$$

$$M_o = d_a \times P_H \quad (2.31)$$

$$d_a = \frac{H(H + \frac{3q}{w_s})}{3(H + \frac{2q}{w_s})} + Bsin\beta \quad (2.32)$$

$$M_r = \Sigma(d_g \times W_g) \quad (2.33)$$

Dimana:

M_r = momen penahan (kNm);
M_o = momen pendorong (kNm);
P_H = tekanan tanah arah horisontal (kN);
d_a = jarak vertikal tekanan tanah arah horisontal ke tanah dasar (m);
β = kemiringan lereng (^{o});
w_s = berat jenis tanah (kN/m^3);
H = tinggi lereng (m);
B = lebar dasar dinding *gabion*;
q = beban tambahan di atas lereng (kN/m^2);
W_g = berat dinding *gabion* (kN);
d_g = titik berat dinding *gabion* (m).

3. Kontrol stabilitas geser lateral dengan menghitung tekanan aktif dan pasif berdasarkan nilai angka keamanan yang memenuhi syarat

Tekanan tanah aktif juga mengakibatkan dinding *gabion* mengalami geser arah lateral sehingga harus ditahan oleh gaya geser yang berada di dasar dinding *gabion*. Dinding *gabion* tergolong aman terhadap potensi geser lateral apabila nilai angka keamanannya mencapai 1,5 (SF ≥ 1,5). Berikut perumusan stabilitas geser lateral dinding gabion.

$$\frac{tan\phi \times w_v}{P_H} = SF \quad (2.34)$$

Dimana:

w_v = jumlah gaya vertikal (kN);
P_H = tekanan tanah arah horisontal (kN);
ϕ = sudut geser tanah.

4. Kontrol daya dukung tanah berdasarkan nilai angka keamanan yang memenuhi syarat

   Daya dukung tanah yang berada di bawah dinding *gabion* perlu diperhatikan karena tanah dasar menerima beban akibat dinding *gabion*. Apabila daya dukung tanah kurang dari nilai tegangan akibat dinding, maka perlu adanya perbaikan tanah dasar. Nilai faktor keamanan dinding *gabion* diperoleh dari perbandingan nilai daya dukung tanah dengan nilai beban struktur dinding (SF ≥ 3). Berikut perhitungan faktor kemanan terhadap daya dukung.

$$\frac{q_u}{q_{max}} = SF \tag{2.35}$$

$$q_{max} = \frac{w_v}{B} \times \left(\frac{1 + 6e}{B}\right) \tag{2.36}$$

$$e = \frac{B}{2} - \left(\frac{M_r - M_o}{w_v}\right) \tag{2.37}$$

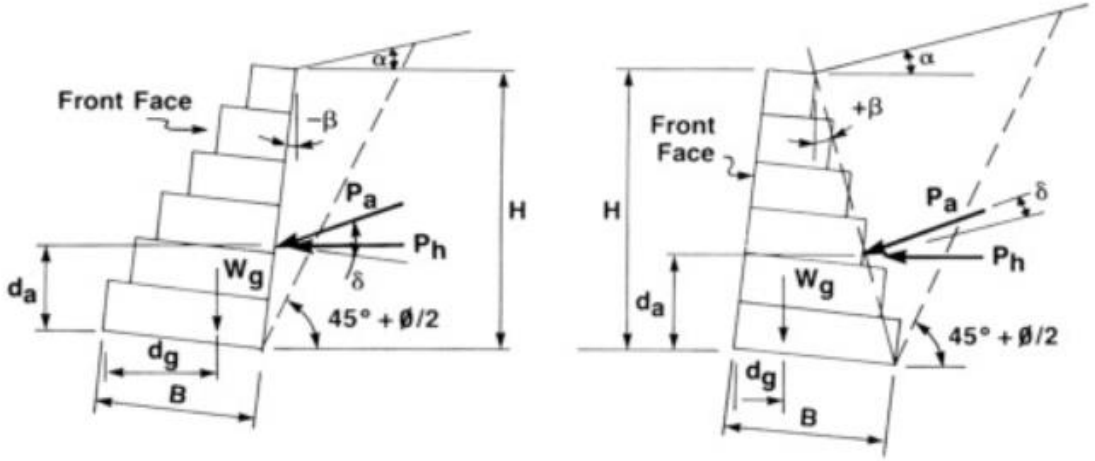
$$-\frac{B}{6} \leq e \leq \frac{B}{6} \tag{2.38}$$

Dimana:

q_u = daya dukung tanah (kN/m^2);
q_{max} = tegangan akibat dinding *gabion* (kN/m^2);
w_v = jumlah gaya vertikal (kN);
B = lebar dasar dinding *gabion*;
M_r = Momen penahan (kNm);
M_o = Momen pendorong (kNm);
e = eksentrisitas dinding *gabion* (m).

2.6.4 Ground Anchors

Ground anchors merupakan perkuatan dengan sistem meneruskan gaya tarik dari luar ke dalam tanah. Kekuatan geser dari tanah berfungsi untuk melawan gaya tarik serta mengikat struktur angkur pada tanah (Widyawati, 2013). Struktur angkur terdiri dari baja tendon yang dipasang dengan sudut kemiringan tertentu. Komponen angkur terbagi menjadi dua yaitu *unbounded length anchor* dan *bond length anchor* (**Gambar 2.13**).



Gambar 2.12 Ilustrasi struktur dinding *gabion*
(Sumber: Modular Gabion Systems)

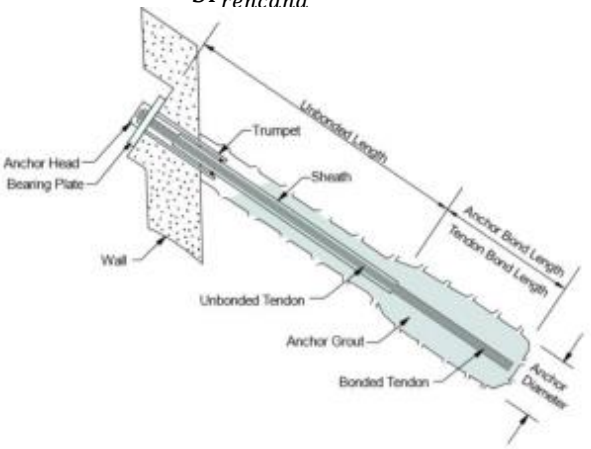
Bagian *bound length anchor* berfungsi memindahkan gaya tarik dari struktur ke dalam tanah pada sekitar jangkar, sedangkan *unbounded length anchor* merupakan bagian angkur yang tidak terikat dan bebas bergerak di dalam tanah serta tidak ada gaya tarik yang dipindahkan ke dalam tanah (Widywati, 2013). Dalam perencanaan *ground anchors* perlu memperhatikan momen akibat tekanan aktif dan pasif akibat tanah, air, dan beban tambahan. Berikut langkah – langkah perhitungan gaya tarik maksimal dan panjang *ground anchors* serta daya dukung *bearing plate*.

1. Mencari nilai selisih momen penahan (ΔM_r) yang akan diterima oleh *ground anchors*

   Nilai momen penahan (Mr) dan momen dorong (Md) dari analisis lereng akan didapatkan melalui analisis dengan program bantu yang menggunakan metode *Limit Equilibrium Method* (LEM) yaitu GeoStudio.

$$SF = \frac{Mr}{Md} \tag{2.39}$$

$$Md = \frac{Mr}{SF_{rencana}} \tag{2.40}$$



Gambar 2.13 Bagian *ground anchor*
(Sumber: Widyawati, 2013)

Momen penahan rencana dapat dihitung menggunakan perkalian antara nilai angka keamanan rencana dengan momen dorong, sehingga diperoleh nilai selisih antara momen penahan rencana dan momen penahan berdasarkan *output* GeoStudio.

$$Mr_{rencana} - Mr_{GeoStudio} = \Delta M_r \quad (2.41)$$

2. Mencari nilai selisih momen penahan (ΔM_r) yang akan diterima oleh *ground anchors*

   Nilai momen penahan (Mr) dan momen dorong (Md) dari analisis lereng akan didapatkan melalui analisis dengan program bantu yang menggunakan metode *Limit Equilibrium Method* (LEM) yaitu GeoStudio.

$$SF = \frac{Mr}{Md} \quad (2.42)$$

$$Md = \frac{Mr}{SF_{rencana}} \quad (2.43)$$

Momen penahan rencana dapat dihitung menggunakan perkalian antara nilai angka keamanan rencana dengan momen dorong, sehingga diperoleh nilai selisih antara momen penahan rencana dan momen penahan berdasarkan *output* GeoStudio.

$$Mr_{rencana} - Mr_{GeoStudio} = \Delta M_r \quad (2.44)$$

3. Mencari nilai gaya tarik maksimum (T_{max}) *ground anchors*

   T_{max} merupakan gaya tarik maksimum yang diterima oleh angkur yang dihasilkan dari perhitungan antara selisih momen penahan (ΔM_r) dengan jari jari kelongsoran, berikut perumusan T_{max}

$$T_{max} = N \times tan\phi \quad (2.45)$$

$$\Delta M_r = Ntan\phi \times R \quad (2.46)$$

$$N = \frac{\Delta M_r}{Ntan\phi \times R} \quad (2.47)$$

Dimana:

r = jari – jari kelongsoran;

T_{max} = kuat tarik maksimum;

N = gaya tarik *ground anchors*;

ϕ = sudut geser efektif.

4. Menghitung kebutuhan panjang *grouting* angkur

Panjang *grouting* yang menahan gaya tarik pada garis bidang longsor dapat digunakan perumusan sebagai berikut.

$$T_{max} \times SF = c \times \pi \times D \times L \quad (2.48)$$

Dimana:

L = panjang *grouting*;

D = diameter *grouting*;

c = kekuatan geser tanah;

T_{max} = kuat tarik maksimum;

SF = angka keamanan *grouting*, 1,5 (konstruksi sementara) dan 2,5 (konstruksi permanen)

5. Menghitung nilai daya dukung *bearing plate*

Perhitungan daya dukung *bearing plate* untuk menahan gaya tarik akibat *soil nailing* menggunakan rumus pondasi bujur sangkar dari Terzaghi (Das, 1993).

$$q_u = 1{,}3c'N_{c'} + qN_{q'} + 0{,}5\gamma BN_{\gamma'} \quad (2.49)$$

Dimana:

q_u = daya dukung tanah;

c' = kohesi efektif ($c_a = \frac{2}{3} c_u$);

σ_o = γ x h;

γ' = berat volume tanah;

B = lebar *bearing plate*;

N_c', N_q', N_γ' = faktor daya dukung (**Tabel 2.7**)

Tabel 2.7 Faktor daya dukung untuk N_c, N_q, N_γ (Caquot dan Kerisel)

ϕ	Nc	Nγ	Nq
0	5,14	0	1,00
5	6,50	0,10	1,60

ϕ	Nc	Nγ	Nq
10	8,40	0,50	2,50
15	11,00	1,40	4,00
20	14,80	3,50	6,40
25	20,70	8,10	10,70
30	30,00	18,10	18,40
35	46,00	41,10	33,30
40	75,30	100,00	64,20
45	134,00	254,00	135,00

(Sumber: Herman Wahyudi, 1999)

2.7 Dynamic Compaction

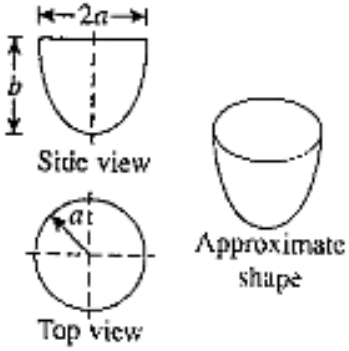
Dynamic compaction merupakan metode pemadatan tanah pasir atau non-kohesif dengan menjatuhkan beban secara berulang. *Dynamic compaction* berfungsi untuk memperbaiki tanah pasir dengan kondisi *loose* menjadi lebih padat serta menambah daya dukung dan mengurangi adanya penurunan lapisan tanah (Nicholson, 2014). Menurut Braja M. Das (2007), Faktor – faktor yang mempengaruhi pemadatan dengan *dynamic compaction* yaitu:

1. Beban dari *hammer;*
2. Tinggi jatuh *hammer*;
3. Jarak atau spasi antara titik jatuh *hammer*.

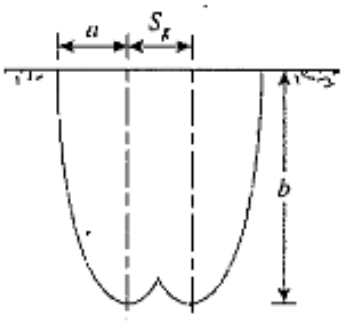
Dalam pelaksanaan metode ini, tinggi jatuh *hammer* yang disyaratkan sebesar 10 – 30 meter dengan berat *hammer* antara 6 – 30 ton dan jarak antara titik jatuh *hammer* sekiar 3 – 7 meter. Perubahan kondisi tanah secara efektif terjadi pada kedalaman 3 – 8 meter dibawah permukaan tanah (Nicholson, 2014).

Kedalaman perbaikan tanah dengan *dynamic compaction* dapat dihitung dengan menggunakan Formula Menard.

$$Z = n \times \sqrt{MH} \qquad (2.50)$$



Gambar 2.14 Perkiraan tanah yang dipadatkan dengan metode *dynamic compaction*
(Sumber: Das, 2007)



Gambar 2.15 Perkiraan tanah yang dipadatkan dengan metode *dynamic compaction*
(Sumber: Das, 2007)

Dimana:

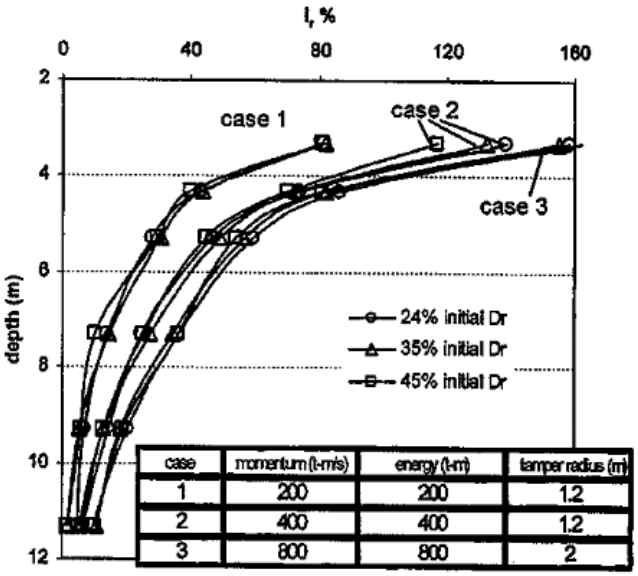
Z = kedalaman perbaikan tanah (m);
M = berat *hammer*;
H = tinggi jatuh *hammer*;
N = 0,3 – 0,6 untuk tanah pasir.

Menurut Lee et al. (2004), perbaikan dengan *dynamic compaction* akan meningkatkan nilai kerapatan relatif lapisan tanah (D_r). Sebagai akibatnya, nilai dari berat volume, sudut geser, kohesi, dan daya dukung juga meningkat. Kenaikan tersebut dapat dikorelasikan menggunakan Tabel 2.2 dan Tabel 2.3. Lee et al. (2004) telah merumuskan peningkatan nilai D_r sebagai berikut:

$$I_r = \frac{D_r - D_{r0}}{100 - D_{r0}} \times 100\% \qquad (2.51)$$

Dimana:

I_r = *initial relative density* (**Gambar 2.16**);
D_r = kerapatan relatif setelah perbaikan tanah;
D_{r0} = kerapatan relatif sebelum perbaikan tanah.



Gambar 2.16 Derajat relatif dari peningkatan nilai I_r untuk berbagai kasus *dynamic compacion*
(Sumber: Lee et al, 2004)

2.8 Program Bantu (GeoStudio)

GeoStudio merupakan program bantu dua dimensi dalam perencanaan bidang geoteknik dengan lingkup analisis stabilitas talud (SLOPE/W), analisis rembesan (SEEP/W), analisis tegangan tanah (SIGMA/W), dan analisis gempa (QUAKE/W) dan saling terhubung antara satu dengan lainnya. Hasil analisis program bantu GeoStudio akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan perencanaan talud serta perkuatan talud atau bangunan yang berhubungan dengan bidang geoteknik.

Dalam perhitungan stabilitas talud, program ini menggunakan konsep *Limit Equilibrium Method* (LEM) sehingga dalam analisis ini menghasilkan angka keamanan, titik kelongsoran, momen penahan, dan momen dorong akibat beban tanah. Analisa stabilitas talud menggunakan dua asumsi bidang kelongsoran yaitu, *circular* maupun *non-circular*. Terdapat dua metode perhitungan yang paling umum digunakan dalam analisis program bantu GeoStudio yaitu:

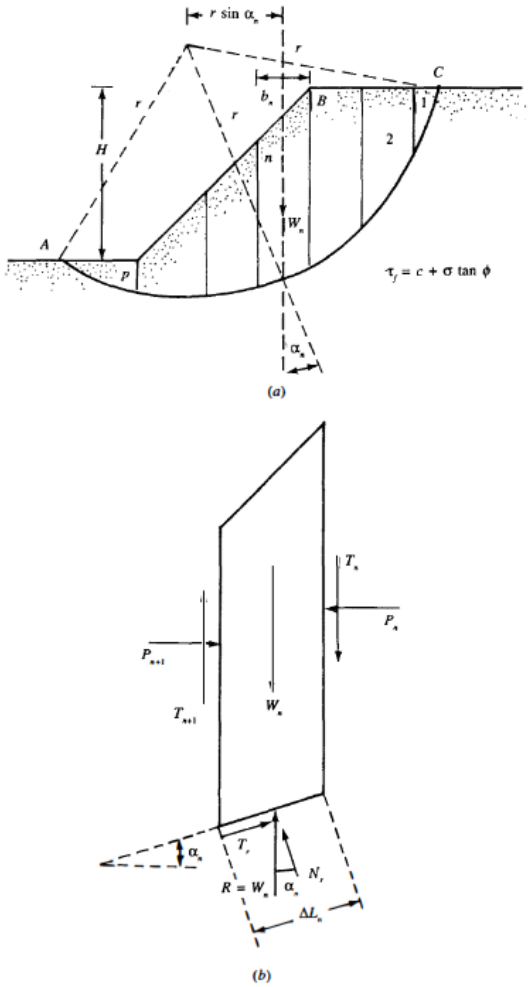
1. Metode Fellenius

   Metode Fellenius (1927) merupakan tokoh yang mengembangkan metode LEM dengan menganggap gaya yang bekerja di sebelah kanan dan kiri bidang irisan memiliki kesetimbangan (Das, 1993). Gaya yang bekerja pada irisan meliputi berat irisan dan gaya normal, sedangkan tegangan air pori dianggap tidak ada karena untuk penyederhanaan perhitugan (**Gambar 2.18**). . Rumusan yang digunakan adalah:

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(c \times \Delta L_n + W_n cos\alpha_n tan\phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n sin\alpha_n} \qquad (2.52)$$

   Dimana:

   F_s = angka keamanan atau *safety factor*
   = sudut geser tanah (^{o});
   ΔL_n = lebar pias (m);
   Wn = berat tiap pias/irisan tanah (kN);
   c = kohesi tanah (kN/m^2);
   α = sudut kemiringan per pias (^{o}).



Gambar 2.17 Ilustrasi pembagian pias Metode Fellenius
(Sumber: Das, 1993 dalam Mochtar, 1993)

2. Metode Bishop

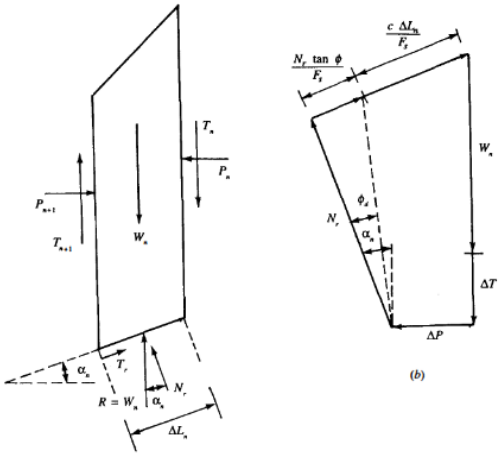
Metode Bishop (1955) merupakan penyempurnaan metode sebelumnya, dimana gaya yang berada di tepi irisan perlu

diperhitungkan namun tetap memiliki kesetimbangan gaya (Braja M. Das,1993). Dalam program bantu geoteknik, metode ini sangat sering digunakan karena hasil yang lebih akurat daripada metode sebelumnya serta perhitungannya lebih sederhana (**Gambar 2.19**). Rumusan yang digunakan adalah:

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(c \times \Delta L_n + W_n tan\phi) \times \frac{1}{m_a}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n sin\alpha_n} \quad (2.53)$$

Dimana:

F_s = angka keamanan atau *safety factor*
= sudut geser tanah (^{o});
ΔL_n = lebar pias (m);
Wn = berat tiap pias/irisan tanah (kN);
c = kohesi tanah (kN/m^2);
α = sudut kemiringan per pias (^{o}).
Ma = $cos\alpha_n + \frac{tan\phi \times sin\alpha_n}{F_s}$



Gambar 2.18 Ilustrasi pembagian pias Metode Bishop
(Sumber: Das, 1993 dalam Mochtar, 1993)

2.9 Tempat Pembuangan Akhir Sampah

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) adalah fasilitas yang berfungsi untuk mengolah dan menyimpan sampah/limbah yang diproduksi masyarakat (SNI 03-3241-1994). Berbagai limbah rumah tangga, industri, serta komersiil akan diolah dan disimpan pada tempat pembuangan agar kebersihan dan kelestarian lingkungan terjaga. Terdapat tiga metode perencanaan tempat pembuangan yaitu *open dumping*, *controlled landfill*, dan *sanitary landfill*. serta

1. *Open Dumping* (Pembuangan Terbuka)

   Sistem pembuangan terbuka merupakan metode pembuangan sampah pada lahan terbuka tanpa adanya proses pengolahan sampah. Sistem pembuangan terbuka belum menerapkan fasilitas pengaman lingkungan, sehingga metode *open dumping* akan merusak dan mencemari lingkungan. Pada saat ini, perencanaan *open dumping* tidak dianjurkan karena belum menerapkan wawasan lingkungan yang telah diatur dalam Permen PU – 03 – 2013.
2. *Controlled Landfill* (Pembuangan Akhir Terkendali)

   Limbah yang diproduksi masyarakat akan dibuang menuju pembuangan yang menerapkan pengurugan minimal satu minggu sekali secara rutin. Terdapat fasilitas pengaman lingkungan yang bertujuan menjaga air lindi tidak mencemari lingkungan sekitar. Sistem *controlled landfill* menjadi alternatif perencanaan yang ekonomis dan berwawasan lingkungan. Metode pembuangan terkendali dapat digunakan pada kota sedang dan kecil.
3. *Sanitary Landfill* (Pembuangan Akhir Saniter)

   Metode *sanitary landfill* merupakan metode pembuangan sampah yang ramah lingkungan karena terdapat fasilitas pengolahan gas dan air lindi akibat penumpukan sampah serta pengurugan tanah yang dilakukan setiap hari. Tanah dasar timbunan sampah dilapisi oleh liner tanah dengan nilai permeabilitas rendah, sehingga air lindi tidak mencemari air tanah. Metode akhir saniter digunakan pada kota besar dan

metropolitan. Kekurangan dari metode akhir saniter adalah biaya pembangunan yang sangat mahal.

2.9.1 Kriteria TPA Controlled Landfill

Perencanaan TPA perlu menerapkan metode pembuangan sampah yang menerapkan wawasan lingkungan seperti pengendalian air lindi, pengendalian gas & bau hasil dekomposisi tanah. Berdasarkan SNI 03-3241-1994, penetapan lokasi TPA harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. TPA sampah tidak boleh berada di danau, sungai, dan laut;
2. Disusun berdasarkan 3 kriteria, yaitu:
   (1) Kriteria regional merupakan tahapan yang bertujuan untuk menentukan layak atau tidaknya zona perencanaan TPA. Berikut merupakan aspek – aspek yang perlu diperhatikan pada kriteria regional:
      a. Kondisi geologi
         Lokasi perencanaan TPA tidak boleh berlokasi pada zona sesar dan zona yang memnyebabkan bahaya geologi;
      b. Kondisi hidrogeologi
         Pada peraturan ini, lokasi perencanaan TPA tidak boleh memiliki muka air tanah kurang dari 3 meter serta rembesan tanah tidak boleh lebih dari 10^{-6}. Selain itu, lokasi harus berjarak lebih dari 100 meter terhadap sumber air minum;
      c. Kemiringan lokasi tidak boleh melebihi 20%;
      d. Lokasi perencanaan TPA tidak boleh berada pada daerah cagar alam dan daerah banjir dengan periode ulang 25 tahun;
      e. Jarak lokasi dengan lapangan terbang minimal 3.000 meter.
   (2) Kriteria penyisih merupakan tahapan untuk menentukan lokasi terbaik yang dipilih dari zona – zona kelayakan pada kriteria regional. Berikut merupakan aspek – aspek yang perlu diperhatikan pada kriteria penyisih:

a. Semakin kecil intensitas hujan dan arah angin dominan tidak mengarah ke pemukiman dinilai semakin baik;
b. Lokasi perencanaan TPA lebih baik berada pada lingkungan yang kurang menunjang kehidupan flora dan fauna serta sedikit variasi habitat;
c. Kondisi tanah dianjurkan dalam jenis tidak produktif, dapat menampung sampah lebih banyak, serta jenis tanah tidak bervariasi;
d. Lokasi perencanaan TPA memiliki kepadatan penduduk yang rendah dan berada dalam wilayah administrasi;
e. Tempat perencanaan TPA disarankan tidak terlihat oleh khalayak umum;
f. Lokasi perencanaan TPA memiliki biaya pengelolaan sampah yang kecil.

(3) Tahap penetapan lokasi dilakukan oleh instansi yang berwenang.

2.9.2 Sarana dan Prasarana TPA *Controlled Landfill*

Dalam merencanakan TPA, perlu dilengkapi fasilitas – fasiliatas untuk menunjang kegiatan pengoperasian TPA. Menurut Permen PU – 03 – 2013, sarana dan prasaran terbagi menjadi 4 fasilitas yaitu fasilitas dasar, perlindungan lingkungan, penunjang, dan operasional.

1. Fasilitas Dasar

Fasilitas dasar pada TPA meliputi jalan masuk, jalan operasi, bangunan penunjang, dan drainase.

(1) Jalan masuk

Jalan masuk TPA dapat dilalui oleh kendaraan truk sampah dari 2 arah yang berlawanan. Lebar jalan masuk minimal 8 meter dengan kemiringan jalan 2 – 3% kearah saluran drainase. Tipe jalan yang digunakan yaitu tipe jalan 3 dengan beban gandar 10 ton (Ditjen. Bina Marga).

(2) Jalan operasi

Terdapat 3 jenis jalan operasi yang digunakan dalam pengoperasian TPA yaitu:

a. Jalan operasi penimbunan sampah yang bersifat sementara;
b. Jalan operasi yang mengelilingi TPA yang bersifat permanen berupa jalan beton atau aspal;
c. Jalan penghubung antar sarana dan prasarana TPA yang bersifat permanen.

(3) Bangunan penunjang

Bangunan penunjang merupakan bangunan yang digunakan sebagai pusat pengoperasian TPA baik teknis maupun administrasi. Bangunan penunjang TPA meliputi kantor, tempat cuci kendaraan, kamar mandi, gudang, dan bengkel.

(4) Drainase

Bangunan drainase TPA merupakan fasilitas yang digunakan untuk menyalurkan air hujan yang jatuh pada area timbunan sampah. Berikut persyaratan teknis drainase TPA.

a. Bangunan drainase bersifat permanen yang terletak pada jalan utama, disekeliling timbunan terakhir, daerah kantor, gudang, bengkel, dan tempat cuci serta bangunan drainase bersifat permanen pada zona pengoperasian.
b. Kapasitas saluran drainase dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Manning, 1890):

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (2.54)$$

Dimana:

Q = debit air hujan (m^3/det)
A = luas penampang basah saluran (m^2)
R = jari – jari hidrolis (m)
S = kemiringan
n = koefisien kekasaran

c. Perhitungan debit dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Suripin, 2004):

$$D = 0{,}278 \times C \times I \times A \quad (2.55)$$

Dimana:
Q = debit (m^3/det)
C = koefisien pengaliran
R = intensitas hujan maksimum (mm/jam)
A = luas daerah aliran (km^2)

2. Fasilitas Perlindungan Lingkungan

Perencanaan TPA harus memperhatikan aspek lingkungan, maka bangunan TPA dilengkapi dengan fasilitas yang melindungi lingkungan sekitar. Fasilitas perlindungan lingkungan meliputi lapisan dasar TPA, pengumpulan dan pengolahan lindi, penaganan gas, penutupan tanah, daerah penyangga, dan sumur uji.

(1) Lapisan dasar TPA

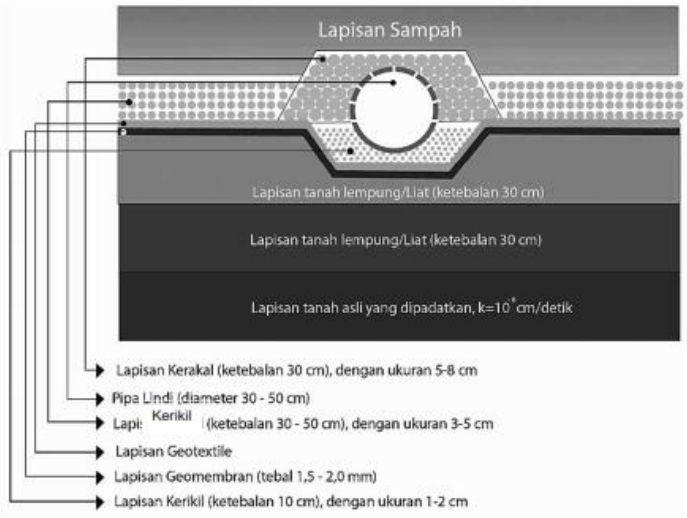
Lapisan tanah dasar TPA harus bersifat kedap air yang berfungsi untuk menahan air lindi memcemari air tanah di lokasi TPA. Permeabilitas lapisan tanah dasar harus lebih kecil dari 10^{-6} cm/det. Metode pelapisan tanah dasar menggunakan tanah lempung yang dikombinasikan dengan pemasangan geomembran. Lapisan tanah dasar akan ditutup dengan geomembran setebal 1,5 mm – 2 mm (**Gambar 2.19**). Selanjutnya Tanah lempung dipadatkan dengan dimensi 30 cm x 2. Pada lapisan tanah dasar perlu dilengkapi dengan saluran pipa pengumpul air lindi dengan kemiringan minimal 2% (**Gambar 2.20**) .

(2) Pengumpulan dan pengolahan lindi

Instalasi pipa pengumpul air lindi berada di tengah zona penimbun dengan rangkaian pipa PVC/HDPE. Pada dasar rangkaian pipa PVC, dilapisi dengan material yang kedap air. Kriteria pipa PVC/HDPE yang digunakan yaitu mempunyai diameter minimal 300 mm dengan kecepatan

pengaliran sebesar 0,6 – 3 m/det. Pengolahan air lindi dapat menggunakan 5 alternatif perencanaan yaitu:

a. Kolam anaerobik, fakultatif, maturasi, dan biofilter;
b. Kolam anaerobik, fakultatif, maturasi, dan *landtreatment/wetland*;
c. *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dengan *aerated lagoon*;
d. Proses koagulasi – flokulasi, sedimentasi, kolam anaerobik atau ABR;
e. Proses koagulasi – flokulasi, sedimentasi I, *aerated lagoon*, sedimentasi II.



Gambar 2.19 Pelapisan tanah dasar TPA dengan geomembran dan tanah lempung
(Sumber: Permen PU – 03 – 2013)

(3) Penanganan gas

Penanganan gas bertujuan mengurangi pencemaran udara yang ditimbulkan oleh penumpukan sampah.

Penaganan gas dapat dilakukan dengan memasang pipa ventilasi yang dihubungkan dengan pipa pengumpul air lindi. Pipa ventilasi berupa pipa HDPE dengan diameter minimal 150 mm dan dikelilingi saluran bronjong dengan diameter 400 mm dan diisi batu pecah diameter 50 mm – 100 mm. Jarak antar pipa ventilasi antara 50 – 70 meter. Pada akhir timbunan, pipa ventilasi perlu penambahan berupa pipa besi dengan diameter 150 mm.

(4) Penutupan sampah

Penutupan sampah dapat dilakukan dengan tanah bersifat anti kedap yang bertujuan mencegah sampah berserakan, timbulnya bau dan meminimalisir terbentuknya air lindi. Tebal dari tanah penutup berkisar 30 cm – 40 cm dan penutupan tanah akhir setebal 50 cm – 100 cm. Kemiringan penutupan tanah bertujuan untuk menyalurkan air hujan yang keluar dari lapisan penutup dan mempunyai kemiringan maksimal sebesar 30^{o} atau perbandingan 1 : 3 untuk menghindari erosi. Pada lapisan atas penutup tanah akhir, perlu dilapisi dengan media tanam yang kemudian ditanamani dengan tanaman penutup.

(5) Daerah penyangga

Daerah penyangga merupakan daerah hijau atau tanaman tinggi yang berfungsi mengurangi dampak negatif/pencemaran yang ditimbulkan oleh aktivitas pengelolaan sampah. Daerah penyangga terletak di sekeliling TPA dengan jarak antar pohon antara 2 – 5 meter.

(6) Sumur uji

Sumur uji merupakan fasilitas yang berada pada area pos jaga dan tidak boleh berada pada area penimbunan sampah. Fungsi dari sumur uji yaitu memantau terjadinya

pencemaran air lindi terhadap air tanah di sekitar lokasi TPA

3. Fasilitas Penunjang

Fasilitas penunjang berfungsi untuk menunjang kelancaran aktvitas pengelolaan sampah. Fasilitas penunjang meliputi jembatan timbang, fasilitas air bersih, dan bengkel.

(1) Jembatan timbang

Jembatan timbang merupakan fasilitas yang terletak bersebelahan dengan pos jaga pada jalan masuk TPA dengan lebar minimal 3,5 meter. Jembatan timbang harus dapat menahan beban sampah minimal sebesar 5 ton.

(2) Fasilitas air bersih

Fasilitas air bersih digunakan untuk kegiatan pencucian truk pengangukut sampah, pembersihan fasilitas TPA, serta kebutuhan pada bagian kantor TPA. Pembangunan fasilitas air bersih dapat dilakukan dengan sumur bor.

(3) Bengkel

Bengkel merupakan fasilitas yang berfungsi untuk menyimpan dan memperbaiki kendaraan operasional yang rusak. Kapasitas bengkel minimal dapat menampung 3 kendaraan.

4. Fasilitas Operasional

Penyediaaan fasilitas operasional TPA harus mempertimbangkan aspek kegiatan pemrosesan sampah dan disesuaikan dengan jumlah sampah yang diproduksi. Alat operasional berupa alat berat seperti *bulldozer*, *truck loader*, dan *excavator*.

2.10 Perencanaan Lapisan Geomembran

Geomembran merupakan lembaran kedap air yang terbuat material *polyethylene* serta mempunyai ketahanan terhadap pengaruh zat kimia maupun biologis. Pada umumnya geomembran digunakan menahan air dari permukaan tanah meresap ke dalam tanah. Geomembran digunakan sebagai lapisan dasar TPA

sehingga geomembran memiliki nilai permeabilitas < 10^{-6} cm/det, dengan nilai tersebut lapisan geomembran efektif menahan resapan air lindi ke dalam tanah. Air lindi akan disalurkan melalui pipa pengumpul lindi yang berada di tengah – tengah sel.

Berdasarkan Permen PU – 03 – 2013, tebal geomembran sebagai lapisan dasar TPA sebesar 1,5 mm – 2 mm. Geomembran harus memiliki ketahanan terhadap rembesan air lindi dan kuat geser akibat beban timbunan sampah. Perhitungan permeabilitas geomembran dapat dihitung dengan konsep difusi Fickian dan perumusan kuat tarik geomembrane (Koerner, 1933).

Perumusan permeabilitas geomembran:

$$Permeabilitas = tebal\ geomembran \times permeance \quad (2.56)$$

$$Permeance = \frac{WVT}{\Delta P} = \frac{WVT}{S(R_1 - R_2)} \quad (2.57)$$

$$WVT = \frac{g \times 24}{t \times a} \quad (2.58)$$

Dimana:

S = tekanan uap air (mmHg);
R_1 = kelembabapan relatif;
R_2 = kelembabapan relatif lingkungan;
g = selisih berat (g);
t = interval waktu (jam);
a = luas area benda uji (m^2).

Perumusan kuat geser geomembran:

$$\tau_{geomembran} = c_a + \sigma_n tan\delta \quad (2.59)$$

Dimana:

τ_{geo} = kuat geser geomembran;
c_a = koefisien adhesi geomembran terhadap permukaan berlawanan;
σ_n = tegangan normal;
δ = sudut geser geomembran terhadap permukaan berlawanan.

$$\tau = c + \sigma tan\phi \quad (2.60)$$

Dimana:

τ = kuat geser tanah;
c = nilai kohesi tanah;
σ_n = tegangan normal;
ϕ = sudut geser tanah.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III
METODOLOGI

3.1 Diagram Alir

Metodologi perencanaan TPA Karimunjawa dapat disajikan berupa diagram alir seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.

3.2 Rincian Pelaksanaan Penyelesaian Tugas Akhir

Diagram alir tersebut dijabarkan pada poin – poin berikut:

1. Studi Literatur

   Studi Literaur merupakan kegiatan untuk mencari data – data penunjang yang akan digunakan sebagai rujukan dalam melakukan penulisan tugas akhir ini. Studi literatur yang dilakukan berupa pencarian jurnal – jurnal dan buku geoteknik khususnya yang berhubungan dengan perencanaan TPA *controlled landfill* dan perkuatan talud.

2. Pengumpulan Data

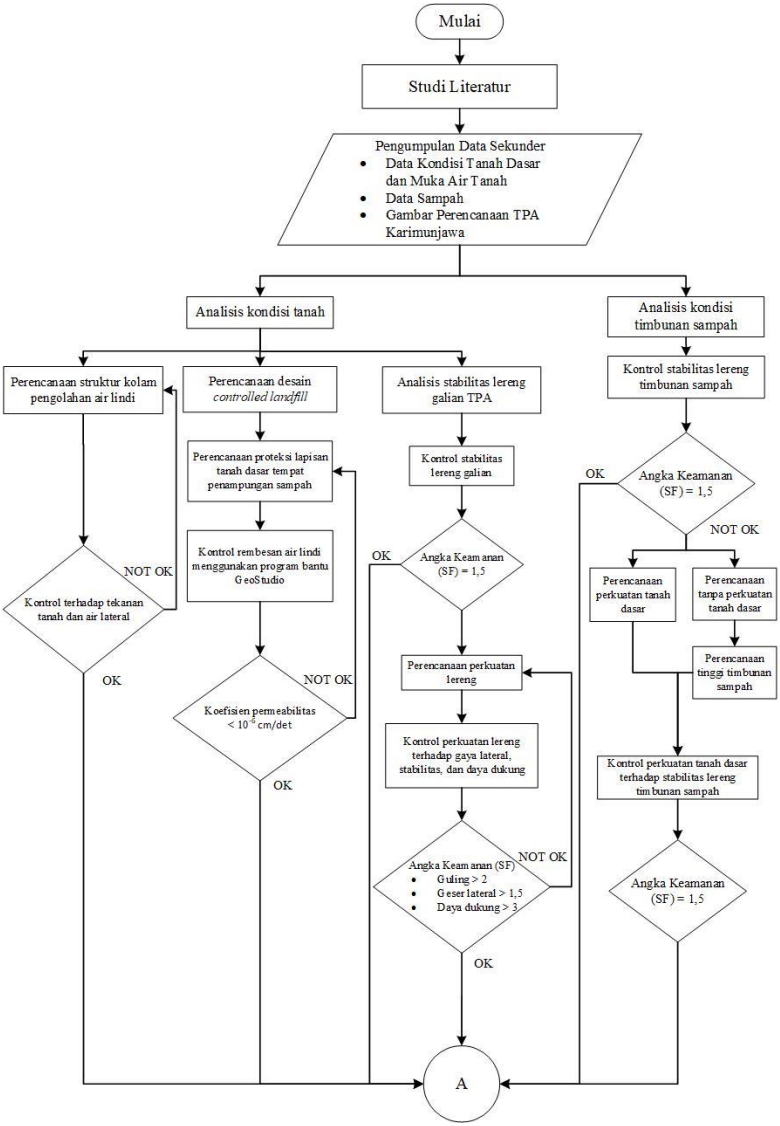
   Data yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini merupakan data sekunder. Data sekunder yang digunakan meliputi: data tanah dan gambar perencanaan TPA.

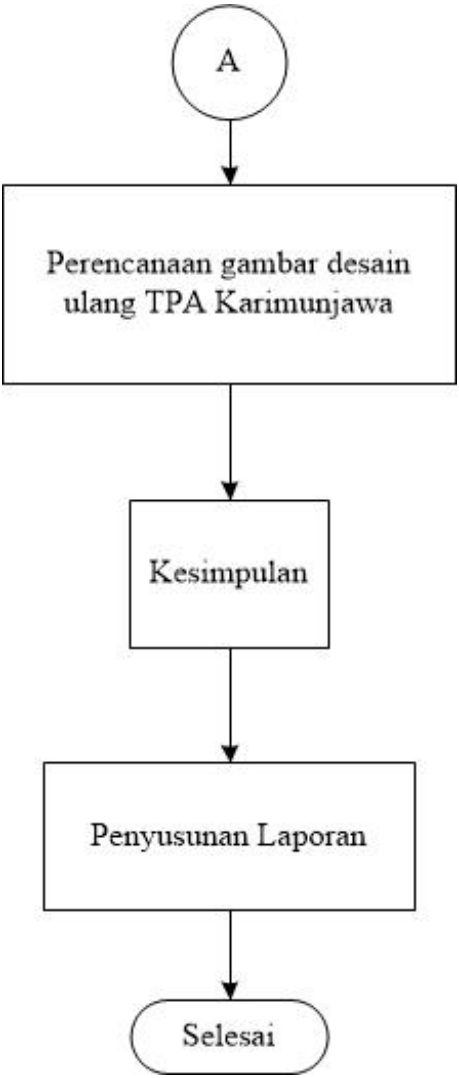
   - Data Tanah

   Data yang digunakan adalah hasil dari pengolahan tes tanah di daerah perencanaan TPA Karimunjawa. Pengetesan tanah dilakukan pada 2 titik *borehole* untuk memetakan jenis tanah dan kedalaman muka air tanah (MAT).

   - Gambar Perencanaan TPA

   Gambar perencanaan digunakan untuk mengetahui tata letak dan jenis bangunan yang direncanakan.


Mulai
Studi Literatur
Pengumpulan Data Sekunder
Data Kondisi Tanah Dasar dan Muka Air Tanah
Data Sampah
Gambar Perencanaan TPA Karimunjawa
Analisis kondisi tanah
Analisis kondisi timbunan sampah
Perencanaan struktur kolam pengolahan air lindi
Perencanaan desain controlled landfill
Analisis stabilitas lereng galian TPA
Kontrol stabilitas lereng timbunan sampah
Perencanaan proteksi lapisan tanah dasar tempat penampungan sampah
Kontrol stabilitas lereng galian
Angka Keamanan (SF) = 1,5
OK
NOT OK
Kontrol terhadap tekanan tanah dan air lateral
Kontrol rembesan air lindi menggunakan program bantu GeoStudio
Perencanaan perkuatan tanah dasar
Perencanaan tanpa perkuatan tanah dasar
Perencanaan tinggi timbunan sampah
Koefisien permeabilitas < 10-6 cm/det
Perencanaan perkuatan lereng
Kontrol perkuatan lereng terhadap gaya lateral, stabilitas, dan daya dukung
Kontrol perkuatan tanah dasar terhadap stabilitas lereng timbunan sampah
Angka Keamanan (SF)
Guling > 2
Geser lateral > 1,5
Daya dukung > 3
A



Gambar 3. 1 Diagram alir perencanaan TPA Karimunjawa

3. Perencanaan Desain TPA *Controlled Landfill*

   Perencanaan yang diusulkan oleh Kementerian PUPR hanya sebatas tempat penampungan sampah dengan sistem *open dumping*. Alternatif TPA Karimunjawa yang direncanakan menggunakan sistem *controlled landfill*. Perencanaan alternatif ini bertujuan untuk menciptakan TPA yang ramah lingkungan.

4. Perencanaan Kolam Pengolahan Air Lindi

   Perencanaan kolam pengolahan air lindi meliputi perhitungan struktur kolam dan analisis stabilitas struktur kolam terhadap tekanan tanah lateral, rembesan, dan gaya angkat di bawah kolam pengolahan air lindi. Analisis rembesan air lindi menggunakan program bantu GeoStudio. Dimensi kolam pengolahan air lindi mengikuti perencanaan dari Kementerian PUPR.

5. Perencanaan Proteksi Lapisan Tanah Dasar di Tempat Penampungan Sampah

   Penumpukan sampah akan menghasilkan air lindi akibat terkena air hujan. Air lindi dapat mencemari air tanah yang berada di bawah tumpukan sampah. Sebagai akibatnya diperlukan proteksi di atas lapisan tanah berupa geomembran dan fasilitas pengolahan air lindi. Proteksi air lindi akan dikontrol terhadap kuat tarik, kuat geser, dan rembesan terhadap air lindi. Analisis rembesan air lindi menggunakan program bantu GeoStudio.

6. Analisis Stabilitas Talud Galian TPA

   Kementerian PUPR merencanakan penggalian tanah yang mengakibatkan terbentuknya talud dengan ketinggian 36,2 meter dan kemiringan sebesar 39^{o}. Sebagai akibatnya perlu analisis stabilitas terhadap kelongsoran dikarenakan kemiringan yang talud yang curam. Hasil tersebut dibandingkan dengan persyaratan yang telah ada. Apabila

hasil analisis tidak memenuhi persyaratan, maka diperlukan suatu perkuatan talud untuk mencegah kelongsoran. Proses analisis menggunakan program bantu seperti GeoStudio.

7. Perencanaan Perkuatan Talud

   Berdasarkan hasil analisis stabilitas talud yang belum memenuhi persyaratan, dilakukan perencanaan perkuatan talud. Perkuatan talud perlu memperhatikan kondisi di lapangan, seperti jenis tanah dan muka air tanah (MAT). Dengan adanya perkuatan talud, diharapkan nilai stabilitas memenuhi syarat serta meminimalisir terjadinya kelongsoran. Dalam tugas akhir ini, perencanaan perkuatan talud menggunakan program bantu GeoStudio.

8. Analisis Kondisi Tanah Dasar terhadap Beban Timbunan Sampah

   TPA Karimunjawa direncanakan dapat menampung timbunan sampah dengan tinggi ±20 meter. Sebagai akibatnya, diperlukan analisis kondisi stabilitas dan daya dukung pada tanah dasar. Apabila stabilitas dan daya dukung tanah dasar memenuhi persyaratan dan tidak menyebabkan kelongsoran pada timbunan sampah, maka tidak diperlukan perkuatan tanah dasar. Sebaliknya, apabila dalam analisis ditemukan potensi kelongsoran pada timbunan sampah, maka diperlukan penentuan geometri timbunan sampah.

9. Perencanaan Gambar Desain Ulang TPA Karimunjawa

   Hasil perhitungan perencanaan di atas perlu dilengkapi dengan adanya gambar kerja. Gambar kerja berfungsi untuk sebagai pedoman pembangunan alternatif TPA Karimunjawa. Dalam tugas akhir ini, digunakan program bantu *Autocad* untuk membuat gambar kerja/*shop drawing*.

3.3 Pelaksanaan Penyelesaian Tugas Akhir

Agar proses penyelesaian tugas akhir dapat terlaksana secara sistematis dan terjadwal, maka disusunlah jadwal penyelesaian tugas akhir pada **Tabel 3.1**

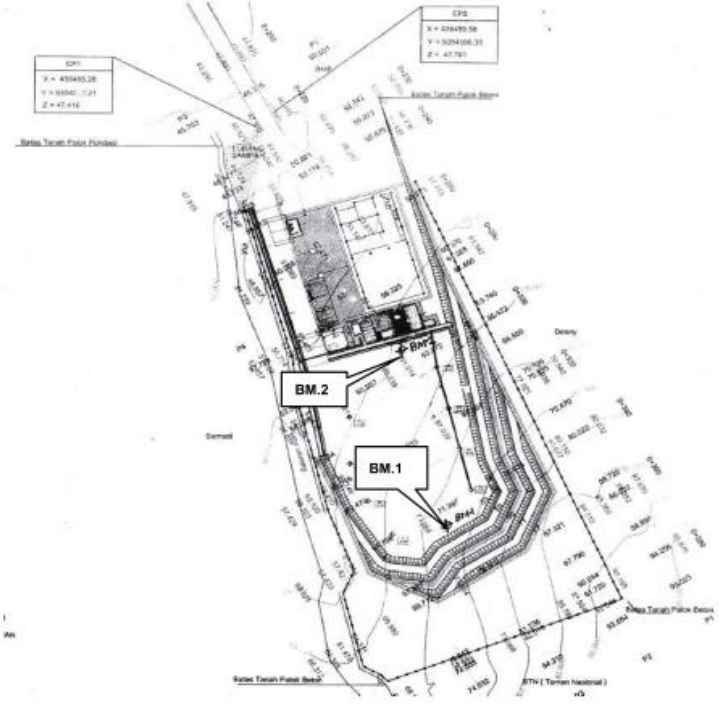
Tabel 3.1 Jadwal Penyelesaian Tugas Akhir

No.	Kegiatan	Bulan ke - 1				Bulan ke - 2				Bulan ke - 3				Bulan ke - 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pengolahan data																
2	Analisis stabilitas talud																
3	Perencanaan perkuatan talud																
4	Analisis stabilitas timbunan sampah																
5	Perencanaan perbaikan tanah dasar																
6	Perencanaan proteksi lapisan tanah dasar																
7	Gambar desain ulang TPA Karimunjawa																
8	Asistensi																
9	Penyusunan laporan																
10	Pengumpulan laporan																

BAB IV
KORELASI DATA TANAH DAN ANALISIS KONDISI EKSISTING

4.1 Data Bor dan SPT

Parameter tanah dasar pada lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Karimunjawa diperoleh dengan melakukan pengujian boring dan *Standart Penetration Test* (SPT). Terdapat 2 titik pengeboran yaitu BM.1 dengan titik elevasi +71,4 dan BM.2 dengan titik elevasi +61,1 (**Gambar 4.1**) yang dilakukan di area penumpukan sampah. Pengujian boring dilakukan hingga kedalaman 20 meter. Kondisi tanah pada lokasi TPA Karimunjawa memiliki jenis tanah batuan pasir, sehingga tidak memungkinkan untuk mengalami pemampatan dan bersifat non-plastis. Data yang diperoleh dari pengujian boring adalah nilai N-SPT pada **Tabel 4.1** dan disajikan dalam bentuk grafik pada **Gambar 4.2** Sampel yang diperoleh dari boring dapat digunakan untuk pemeriksaan laboratorium sehingga mendapatkan nilai parameter tanah yaitu berat volume (γ), kadar air (W), berat butir (Gs), kadar pori (e), derajat kejenuhan (n), nilai kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ) (**Tabel 4.2**). Berdasarkan penggolongan konsistensi, berat volume, nilai kohesi, dan sudut geser dalam diperoleh statigrafi lapisan tanah pada lokasi TPA Karimunjawa pada **Gambar 4.4 – Gambar 4.6**.



Gambar 4.1 Lokasi pengujian boring tanah TPA Karimunjawa

Tabel 4.1 Nilai N-SPT dan Konsistensi Tanah TPA Karimunjawa

Kedalaman (m)	BM. 1			BM. 2		
	N-SPT	Jenis Tanah	*State*	N-SPT	Jenis Tanah	*State*
2	31	Pasir Lempung Berbatu	Dense	21	Pasir Lempung Berbatu	Dense
4	35		Dense	30		Dense
6	47		Dense	46		Dense
8	56		Very Dense	55		Very Dense
10	60		Very Dense	60		Very Dense
12	60		Very Dense	60		Very Dense
14	60		Very Dense	60		Very Dense
16	60		Very Dense	60		Very Dense
18	60		Very Dense	60		Very Dense
20	60		Very Dense	60		Very Dense

Berdasarkan hasil rekapitulasi nilai N-SPT pada **Tabel 4.1**, maka hasil N-SPT pada BM.1 dan BM.2 dapat digabung dalam 1 grafik dan menjadi 2 lapisan tanah seperti pada **Gambar 4.2**. Penggabungan nilai N-SPT menggunakan cara pendekatan statistik, berikut perhitungannya.

1. Menghitung nilai rata rata N-SPT BM. 1 pada kedalaman per 5 meter

   Kedalaman = 5 meter
   N-SPT BM. 1 Kedalaman 2 meter = 31
   N-SPT BM. 1 Kedalaman 4 meter = 35
   N-SPT BM. 1 rata – rata kedalaman 5 meter
   $= \frac{31+35}{2} = 33$
   Kedalaman = 10 meter
   N-SPT BM. 1 Kedalaman 6 meter = 47
   N-SPT BM. 1 Kedalaman 8 meter = 56
   N-SPT BM. 1 Kedalaman 10 meter = 60
   N-SPT BM. 1 rata – rata kedalaman 10 meter
   $= \frac{47+56+60}{3} = 54$
   Kedalaman = 15 meter
   N-SPT BM. 1 Kedalaman 12 meter = 60
   N-SPT BM. 1 Kedalaman 14meter = 60
   N-SPT BM. 1 rata – rata kedalaman 5 meter
   $= \frac{60+60}{2} = 60$
   Kedalaman = 20 meter
   N-SPT BM. 1 Kedalaman 16 meter = 60
   N-SPT BM. 1 Kedalaman 18 meter = 60
   N-SPT BM. 1 Kedalaman 20 meter = 60
   N-SPT BM. 1 rata – rata kedalaman 10 meter
   $= \frac{60+60+60}{3} = 60$

   Dari perhitungan di atas, akan dibagi menjadi 2 lapisan tanah dengan kedalaman 0 – 5 meter dan 5 – 20 meter. Berikut nilai rata rata N-SPT BM. 1 pada 2 lapisan tanah tersebut.

N-SPT kedalaman 0 – 5 meter $= \frac{33}{1} = 33$

N-SPT kedalaman 5 – 20 meter $= \frac{54+60+60}{3} = 58$

Rekapitulasi N-SPT BM. 1 dan BM. 2 dapat dilihat pada **Tabel 4.2**

Tabel 4.2 Rekapitulasi Rata-Rata N-SPT BM. 1 dan BM. 2

BM	Depth(m)	Jenis	N-SPT per lapisan
BM. 1	0 - 5	Pasir Lempung	33
	5- 20	Berbatu	58
BM. 2	0 - 5	Pasir Lempung	25
	5- 20	Berbatu	57

2. Mencari nilai standar deviasi dari nilai N-SPT BM. 1 pada kedalaman 0 – 5 meter. Dengan bantuan program bantu Ms. Excel diperoleh nilai standar deviasi sebesar 0. Selanjutnya mencari nilai koefisien variasi dengan cara sebagai berikut.

Koefisien variasi kedalaman 0 – 5 meter $= \frac{0}{33} \times 100\% = 0\%$

Berikut rekapitulasi perhitungan N-SPT BM. 1 dan BM. 2, dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

Nilai dari kadar air (W), berat volume (γ), nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), kadar pori (e), dan derajat kejenuhan (n) dapat juga diperoleh dengan melakukan korelasi nilai N-SPT dengan menggunakan tabel parameter tanah. Hal ini dilakukan agar mendapatkan nilai parameter tanah yang logis dan meninjau kekonsistenan hasil dari laboratorium dengan tabel parameter tanah yang ada. Korelasi dilakukan dengan menggunakan Tabel J. E. Bowles dan Biarez. Berikut merupakan tahapan korelasi terhadap berat volume (γ), nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), kadar air (W), kadar pori (e), dan derajat kejenuhan (n).

Tabel 4.3 Rekapitulasi Nilai N-SPT Rata – Rata

BM	Depth(m)	Jenis	N-SPT per lapisan	Standar Deviasi	Koefisien Variasi (%)	Cek Koefisien Variasi (%)	N-SPT rata-rata	Konsistensi
BM. 1	0 - 5	Pasir Lempung Berbatu	33	0,00	0,00	OK	33	Dense
	5- 20		58	3,46	5,97	OK	58	Very Dense
BM. 2	0 - 5	Pasir Lempung Berbatu	25	0,00	0,00	OK	25	Medium
	5- 20		57	4,04	7,09	OK	57	Very Dense

a. Korelasi berat volume (γ)

Terdapat 2 jenis berat volume yang digunakan yaitu dalam kondisi jenuh dan tak jenuh air, sehingga tabel korelasi yang dapat digunakan yaitu Tabel Biarez dengan nilai *Spesific Gravity* (GS) sebesar 2,7. Berikut contoh perhitungan pada N-SPT BM. 1 kedalaman 0 – 5 meter.

Data tanah:

N-SPT = 33

Spesific gravity (GS) = 2,7

Dengan nilai N-SPT diperoleh berat volume jenuh dengan menggunakan Tabel J. E. Bowles dengan cara interpolasi linier.

Berat volume jenuh (γ_m) = $\frac{33-31}{50-31} = \frac{x-16}{20-16}$

Berat volume jenuh (γ_m) = 16,42 kN/m^3

Dengan berat volume jenuh sebesar 16,42 kN/m^3, diperoleh nilai berat volume tak jenuh

dengan menggunakan Tabel Biarez. Nilai berat volume tak jenuh sebesar 9,8 kN/m^3.

b. Korelasi nilai kohesi (c)

Korelasi kohesi dilakukan dengan menggunakan nilai rata – rata dari data laboratorium. Nilai yang digunakan adalah data Tes Triaxial UU, karena nilai kohesi yang dihasilkan lebih kritis. Berikut merupakan perhitungan rata – rata nilai kohesi pada BM. 1.

Kedalaman : 0 – 5 meter

Rata rata nilai kohesi BM. 1 ($\phi_{BM.1}$) = $\frac{\phi_5}{1} = \frac{13,1}{1}$

= 13,1 kN/m^2

Kedalaman : 5 – 20 meter

Rata rata nilai kohesi BM. 1 ($\phi_{BM.1}$) = $\frac{16,9+20,8+18,7}{2}$

=18,8 kN/m^2

c. Korelasi sudut geser dalam (ϕ)

Nilai sudut geser dalam dapat dikorelasikan menggunakan nilai N-SPT dengan nilai pada Tabel Bowles.

Perhitungan dilakukan dengan contoh pada kedalaman 0 – 5 meter serta menggunakan interpolasi linier sebagai berikut.

Diketahui:

N-SPT = 33

Ditanya:

Nilai sudut geser dalam?

Jawab:

$$\frac{33-31}{50-31} = \frac{\phi-16}{20-16}$$

$$\phi = \frac{12\times4}{19} + 16 = 31{,}1^{o}$$

Sebagai catatan, apabilan nilai N-SPT lebih dari 50, maka nilai sudut geser dalam dianggap sebesar 36^{o}.

d. Korelasi kadar air (W)

Kadar air tanah pada kedalaman 0 - 5 meter diperoleh dengan menggunakan Tabel Biarez. Berdasarkan hasil korelasi berat volume jenuh, didapatkan nilai kadar air sebesar 64,85%.

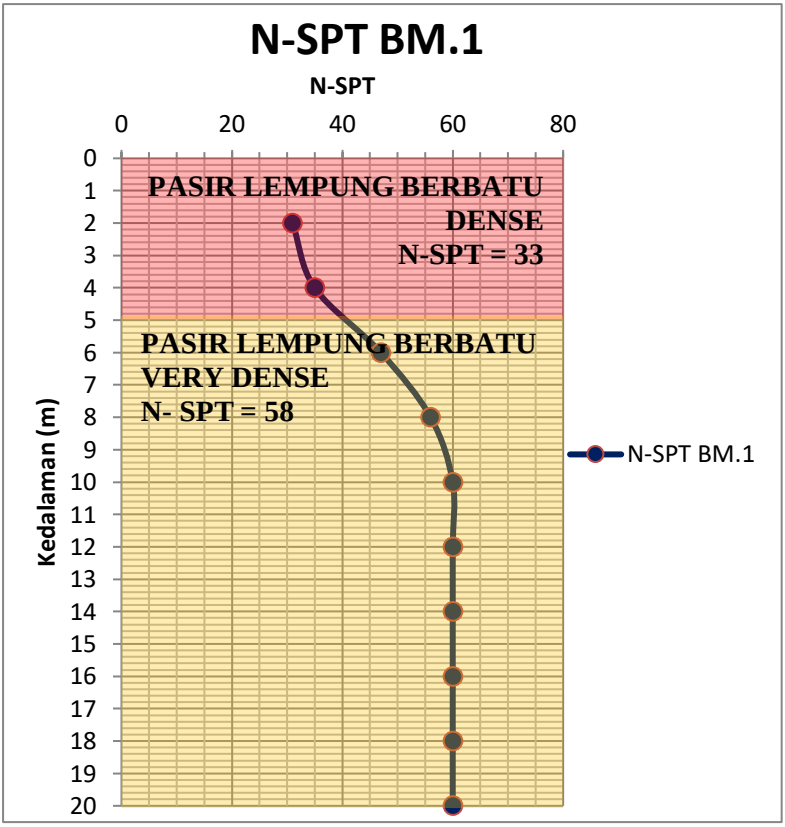
e. Korelasi kadar pori (e)

Kadar pori didapatkan dengan menggunakan Tabel Biarez dan hasil korelasi berat volume jenuh. Berdasarkan berat volume jenuh sebesar 16,42 kN/m^3, didapatkan nilai kadar pori sebesar 1,75.

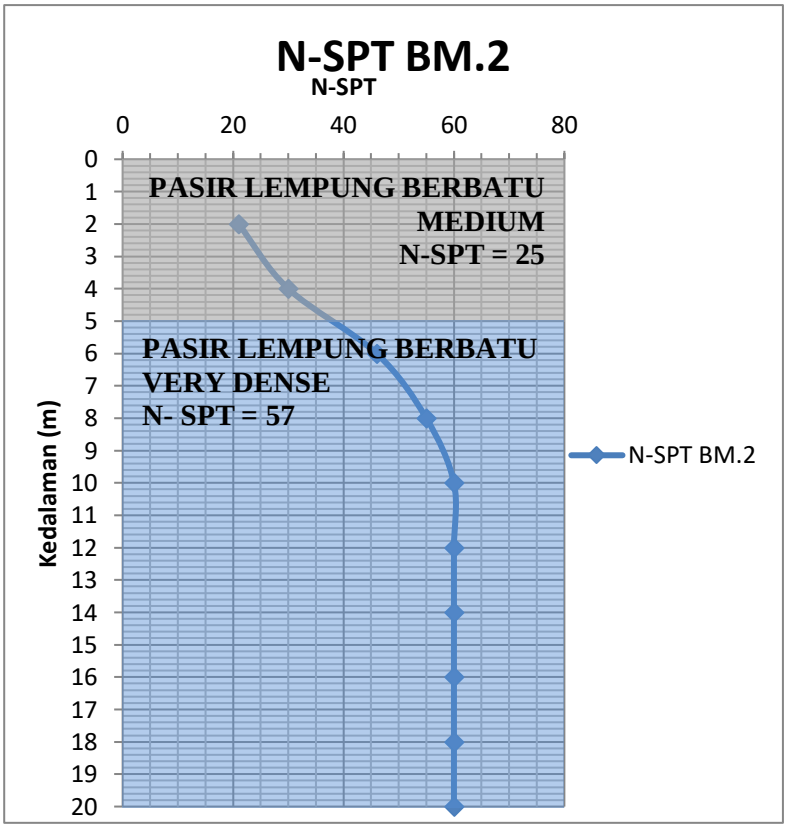
f. Korelasi derajat kejenuhan (n)

Proses korelasi derajat kejenuhan memiliki persamaan dengan kadar pori dan air. Proses ini membutuhkan nilai berat volume jenuh dari perhitungan korelasi N-SPT dengan Tabel J. E. Bowles. Berat volume jenuh tanah pada kedalaman 0 – 5 meter sebesar 16,42 kN/m^3, didapatkan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,64.

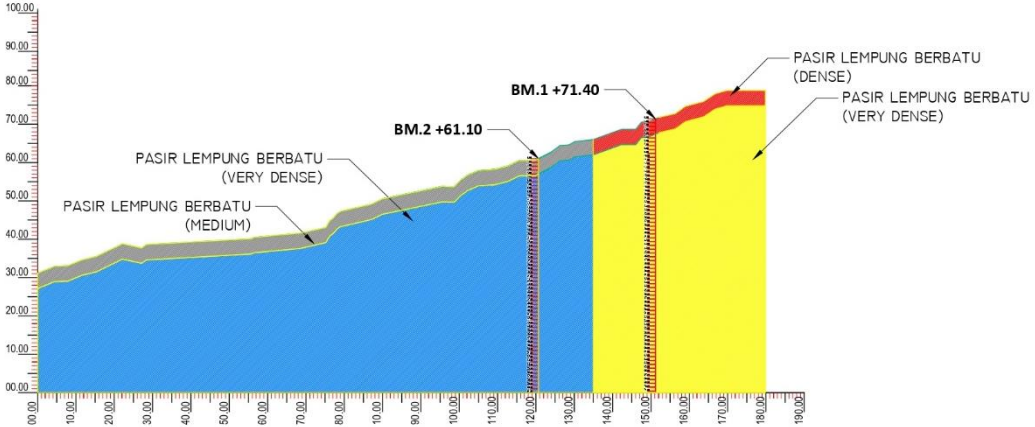
Berdasarkan hasil pengolahan data laboratorium dan korelasi dengan menggunakan beberapa tabel, data tanah TPA Karimunjawa disajikan dalam bentuk tabel rekapitulasi sebagai berikut (**Tabel 4.4 - Tabel 4.5**).



Gambar 4.2 Nilai N-SPT pada titik BM.1



Gambar 4.3 Nilai N-SPT pada titik BM.2



Gambar 4.4 Statigrafi lapisan tanah pada potongan memanjang

Titik Bor	Kedalaman (m)	N-SPT	Gs	Wc	γ_{sat}	γ_d	e	n	c	ϕ	Triaxial UU
				(%)	(kN/m^3)	(kN/m^3)			(kN/m^3)	(^{O})	ϕ
BM. 1	5	33	2.69	17.79	16.40	13.92	0.93	0.48	14.10	34.19	33.61
	10	54	2.76	15.90	16.58	14.30	0.93	0.48	16.10	34.19	33.60
	15	60	2.63	6.65	17.13	16.07	0.64	0.39	23.30	34.19	33.59
	20	60	2.72	10.93	17.56	15.83	0.72	0.42	19.30	35.99	34.11
BM. 2	5	25	2.74	16.81	16.62	14.23	0.93	0.48	16.10	34.19	33.73
	10	53	2.63	15.94	16.64	14.35	0.83	0.45	17.30	35.10	34.14
	15	60	2.73	8.70	17.44	16.04	0.70	0.41	15.70	36.86	35.39
	20	60	2.76	10.34	18.10	16.40	0.68	0.41	22.10	36.86	35.32

Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Boring pada Titik BM.1 dan BM.2 (Data Laboratorium)

Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Boring pada Titik BM.1 dan BM.2 (Data Korelasi)

Depth **(m)**	**Jenis Tanah**	**N-SPT**	**Wc**	γ_{sat}	γ_d	**e**	**n**	**c**	ϕ
			(%)	**(kN/m^3)**	**(kN/m^3)**			**(kPa)**	**(^{O})**
BM. 1	0 - 5	33	64,85	16,42	9,8	1,75	0,64	13,10	31,00
	5- 20	58	17,26	21,68	18,4	0,47	0,32	18,80	36,00
BM. 2	0 - 5	25	96,9	14,74	7,5	2,62	0,72	16,40	26,00
	5- 20	57	17,67	21,47	18,3	0,48	0,32	15,20	36,00

Data tanah yang digunakan harus memiliki syarat konsisten serta mendekati nilai dari beberapa tabel parameter tanah. Dapat dilihat parameter tanah yang diolah melalui laboratorium memiliki perbedaan dengan parameter tanah metode korelasi, sehingga parameter dari korelasi data tanah dapat digunakan untuk proses perhitungan.

Proses perencanaan perkuatan lereng dan tanah dasar juga membutuhkan nilai modulus young (E) dan angka poisson (υ) untuk analisis menggunakan program bantu. Dalam **Tabel 4.6**, dapat diketahui nilai angka modulus young dan koefisien poisson. Dengan kondisi tanah berjenis batuan pasir, maka digunakan nilai rata –rata modulus young dan koefisien poisson pada kategori pasir padat dengan nilai modulus young sebesar 69.000 kN/m^2 dan koefisien poisson sebesar 0,45.

Tabel 4.6 Taksiran Nilai Modulus Young dan Koefisien Poisson

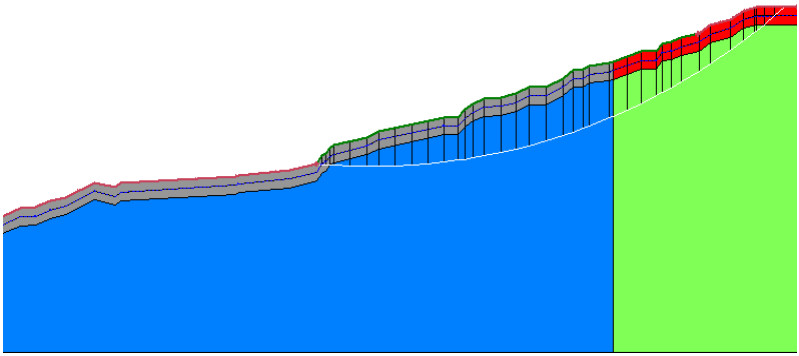
Jenis Tanah	Modulus Young (E)	Koefisien Poisson (υ)
	kN/m^2	
Pasir Lepas	10.350 - 27600	0,2 – 0,4
Pasir Agak Padat		0,25 – 0,4
Pasir Padat	34500 - 69000	0,3 – 0,45
Pasir Berlanau		0,2 – 0,4
Lempung Lembek	1380 - 3450	0,15 – 0,25
Lempung Agak Kaku		0,2 – 0,5
Lempung Keras	5865 - 138000	-

Sumber: Das (1988) dalam Mochtar (1988)

4.2 Analisis Kondisi Eksisting

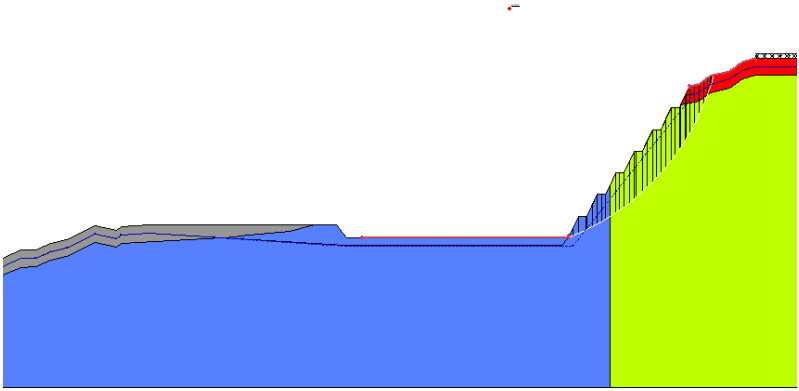
Lokasi TPA Karimunjawa berada di kaki lereng Bukit Gajah, sehingga diperlukan suatu penggalian pada kaki lereng tersebut. Kondisi lereng sebelum dilakukan penggalian sebaiknya perlu dianalisis terlebih dahulu dengan program bantu agar mengetahui kondisi keamanan lereng terhadap kelongsoran.

Berdasarkan analisis dengan program bantu GeoStudio (**Gambar 4.5**) diperoleh angka keamanan paling kritis sebesar 1,301.



Gambar 4.5 Hasil analisis lereng eksisting sebelum digali dengan program bantu GeoStudio

Perkuatan lereng yang direncanakan oleh Kementerian PUPR menggunakan metode trap tebing. Stabilitas talud dengan menggunakan metode trap tebing perlu diperhatikan karena metode ini hanya menggunakan kemiringan talud alami. Sehingga dari perencanaan eksisting dari Kementerian PUPR diperlukan suatu analisis dengan menggunakan program bantu GeoStudio. Berikut merupakan hasil analisis talud dengan menggunakan metode trap tebing yang direncanakan oleh Kementerian PUPR (**Gambar 4.6**).



Gambar 4.6 Hasil analisis dengan program bantu GeoStudio potongan memanjang

Proses analisis dengan program bantu GeoStudio menghasilkan beberapa parameter pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Hasil Analisis Menggunakan Program Bantu GeoStudio

Metode analisis	Fellenius (Ordinary)
Angka keamanan (*Factor of Safety*)	0,531
Total volume lereng yang mengalami longsor	282,37 m^3
Total berat	5.908,6 kN
Total momen penahan	12.596 kNm
Total momen pendorong	23.707 kNm
Titik pusat sumbu X (m)	113,64
Titik pusat sumbu Y(m)	90,125
Jari – jari kelongsoran (m)	58,241

Berdasarkan hasil analisis lereng pada potongan memanjang dengan menggunakan program bantu GeoStudio, menghasilkan angka keamanan dibawah 1,5. Sebagai akibatnya diperlukan suatu perkuatan lereng agar stabilitas lereng memiliki angka keamanan minimal 1,5.

BAB V
PERENCANAAN PERKUATAN TALUD

Berdasarkan hasil analisis dengan program bantu pada perencanaan eksisting oleh Kementerian PUPR, didapat angka keamanan (*safety factor*) dibawah 1,5 (SNI 8460:2017), sehingga diperlukan perkuatan. Terdapat beberapa alternatif perkuatan yaitu terasering, dinding penahan tanah, beronjong (*gabion wall*), dan *soil nailing*. Berikut perhitungan perencanaan alternatif perkuatan pada talud TPA Karimunjawa.

5.1 Perkuatan Talud Menggunakan Terasering

Perkuatan talud dengan terasering merupakan perkuatan yang menggunakan kemiringan atau *slope* alami dari tanah. Perencanaan perkuatan dengan terasering, kemiringan tanah perlu diperhatikan. Apabila kemiringan talud terlalu curam, maka talud rawan mengalami kelongsoran. Sebaliknya, jika kemiringan talud terlalu landai, maka lahan yang dibutuhkan untuk perkuatan semakin bertambah. Direncanakan 3 variasi kemiringan talud yaitu 1:1, 1:1,5, dan 1:2. Berikut merupakan perhitungan perkuatan dengan terasering.

Data tanah:

γ_{sat} = 21,47 kN/m^3

γ_{air} = 9,81 kN/m^3

γ' = $21{,}47 - 9{,}81$ = 11,66 kN/m^3

c = 18,8 kN/m^2

c' = $\frac{2}{3} \times 18{,}8$ = 12,53 kN/m^2

ϕ = 36^O

ϕ' = $\frac{2}{3} \times 36 = 24^O$

FS = 5 (Asumsi)

Kemiringan talud:

Perbandingan kemiringan = 1:1

$\beta = \arctan\left(\frac{1}{1}\right) = 45^O$

Menghitung tinggi maksimal talud terbatas dengan perumusan sebagai berikut:

$C_d = \frac{C\prime}{FS} = \frac{12{,}53}{5} = 2{,}50667$

$\tan\phi_d = \frac{tan\phi}{FS} = \frac{tan24}{5} = 0{,}08905$

$\phi_d = \arctan(0{,}08905) = 5{,}08852$

$H = \frac{4C_d}{\gamma} \times \frac{sin\beta \times cos\phi_d}{1-\cos(\beta-\phi_d)}$

$H = \frac{4(2{,}50667)}{11{,}66} \times \frac{\sin(45) \times cos 5{,}08852}{1-\cos(45-5{,}08852)} = 2{,}5998$ meter

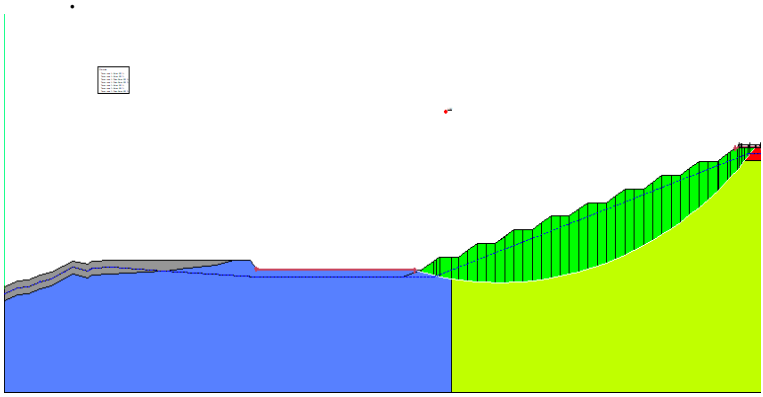
≈ 3 meter

Sehingga nilai x (sisi datar talud) sebesar = 3 × 1 = 3 meter.

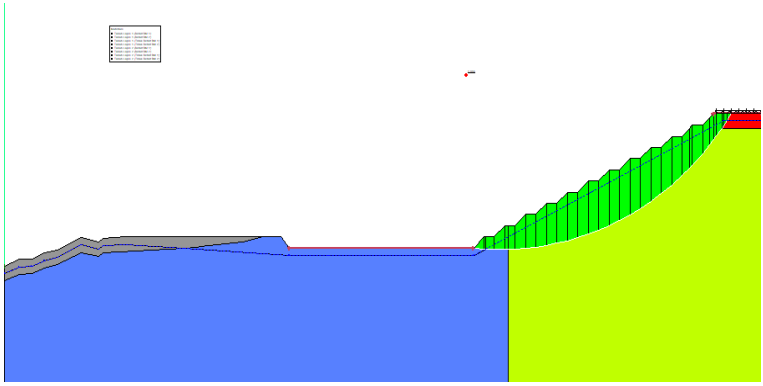
Dengan cara perhitungan sama, diperoleh tabel rekapitulasi tinggi talud dengan tiga jenis perbandingan kemiringan (**Tabel 5.1**). Perbandingan kemiringan talud yang dapat digunakan pada talud TPA Karimunjawa adalah perbandingan 1:1,5 karena perbandingan ini efektif untuk diterapkan. Berdasarkan hasil analisis dengan program bantu GeoStudio, diperoleh angka keamanan 1,565 (**Gambar 5.1**). Namun, apabila menggunakan tinggi dan lebar talud 3 meter, diperoleh angka keamanan 1,056 (**Gambar 5.2**). Penggunaan perbandingan kemiringan talud 1:2 menghasilkan angka keamanan lebih baik jika dibandingkan dengan kemiringan talud 1:1,5, karena lereng akan menjadi landai. Namun kemiringan 1:2 membutuhkan lahan yang lebih luas, sehingga kemiringan talud ini tidak direkomendasikan.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Tinggi dan Lebar Talud dengan Tiga Jenis Perbandingan Kemiringan

Perbandingan Kemiringan		Kemiringan Talud (β)	γ	c′	ϕ'	c_d	$\tan\phi_d$	ϕ_d	Tinggi Talud (H)	Lebar Talud (x)
H	X									
1	1	45,00	11,66	12,53	24	2,507	0,089	5,088	3	3
1	1,5	33,69	11,66	12,53	24	2,507	0,089	5,088	4	6
1	2	26,57	11,66	12,53	24	2,507	0,089	5,088	6	12



Gambar 5.1 Hasil analisis talud kemiringan 1:1,5 dengan SF 1,565

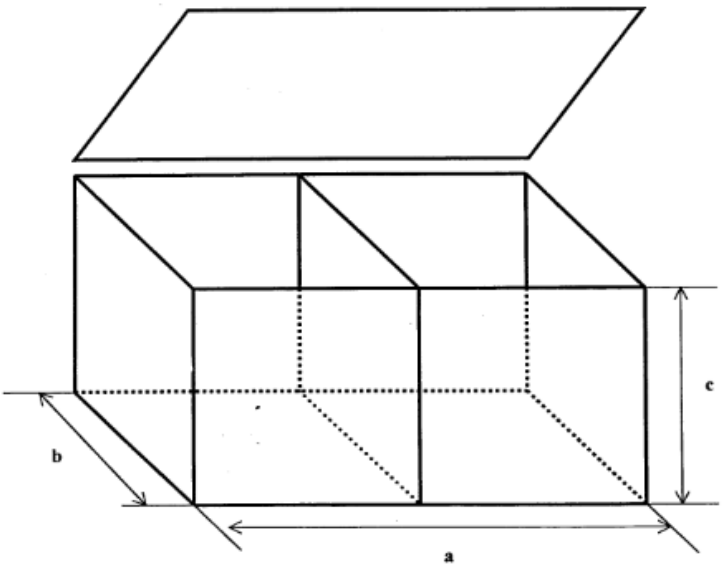


Gambar 5.2 Hasil analisis talud kemiringan 1:1 dengan SF 1,056

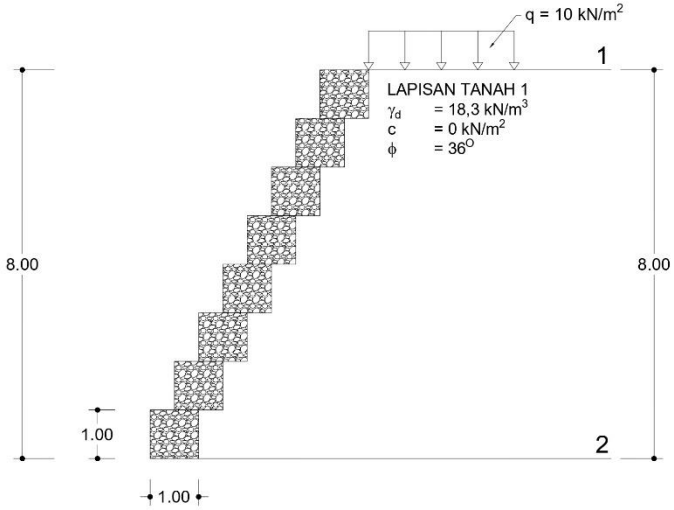
5.2 Perkuatan Talud Menggunakan *Gabion Wall* dan *Ground Anchor*

Alternatif perkuatan talud kedua adalah menggunakan *gabion wall* atau beronjong dengan kombinasi *ground anchor*. Desain beronjong berdasarkan SNI 03 – 0090 – 1999 dan menggunakan bentuk 1 dengan dimensi 2 x 1 x 1 meter (**Gambar 5.3**). Beronjong akan disusun dengan ketinggian hingga 8 meter

dan lebar beronjong bagian bawah sebesar 1 meter (**Gambar 5.4**). Penentuan ketinggian dan lebar didasarkan pada ketersediaan lahan. Untuk menjaga kestabilan lereng dan efisiensi penggunaan lahan, maka perkuatan beronjong dikombinasi dengan *ground anchor*.



Gambar 5.3 Desain beronjong 2 x 1 x 1 meter
(Sumber: SNI 03 – 0090 – 1999)



Gambar 5.4 Ilustrasi dimensi gabion pada perkuatan talud TPA Karimunjawa

Data tanah:

γ_d = 18,3 kN/m^3

c = 0 kN/m^2

ϕ = 36^O

$K_{a1} = \tan(45 - \frac{36}{2})^2 = 0{,}2596$

Data beronjong:

γ_{gabion} = 21 kN/m^3

Lebar bagian bawah = 16 meter

Tinggi talud = 8 meter

Dimensi beronjong = 2 x 1 x 1 meter

Offset = 0,5 meter

Q (beban tambahan) = 10 kPa

Perhitungan berat beronjong yang digunakan:

Elemen 1

Tebal = 1 meter

Lebar = 1 meter

Luas = tebal × lebar = 1 × 1 = 1 m^2
Titik berat = 0,5 × panjang = 0,5 × 1 = 0,5 m
$A_1.X_1$ = luas × titik berat = 1 × 1 = 1 m^2

Dengan cara perhitungan yang sama, diperoleh rekapitulasi perhitungan titik berat setiap elemen gabion sebagai berikut (**Tabel 5.3**). Berdasarkan tabel tersebut, maka dapat dihitung titik berat, berat, dan momen penahan gabion keseluruhan.

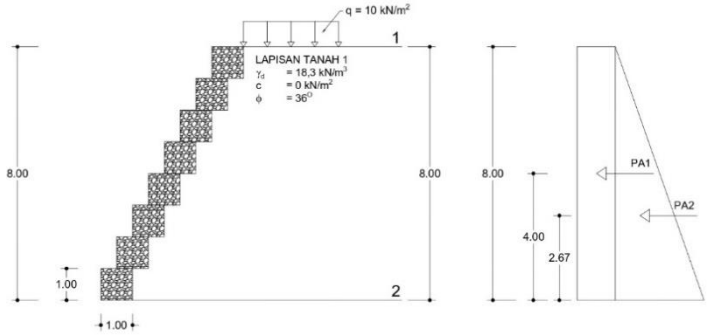
$$dg = \frac{\Sigma A.X}{\Sigma A} = \frac{32}{8} = 4 \text{ meter}$$

Berat total = $\Sigma A \times \gamma_{gabion}$ = 8 × 21 = 168 kN/m'

Momen penahan = dg × W_{gabion} = 4 × 168 = 672 kNm

Berikut perhitungan tekanan aktif akibat tanah dan air dengan diagram tekanan tanah pada **Gambar 5.5**.

Berdasarkan diagram tersebut diperoleh nilai momen akibat tekanan tanah dan air pada **Tabel 5.3**.



Gambar 5.5 Diagram tekanan tanah pada beronjong

Gaya aktif akibat beban 10 kN/m^2:

σ'_{v1} = q = 10 kN/m^2

σ'_{h1} = (σ'_{v1} × K_a)

σ'_{h1} = (10 × 0,2596) = 2,596 kN/m^2

Pa_1 = σ'_{h1} × h × 1 = 2,596 × 8 × 1 = 20,769 kN

Gaya aktif akibat tekanan tanah:

σ'_{v2} = γ_t × h = 18,3 × 8 = 146,4 kN/m^2

σ'_{h2} = (σ'_{v2} × K_a)

σ'_{h2} = (146,4 × 0,2596) = 38,01 kN/m^2

Pa_2 = (σ'_{h2} – σ'_{h1}) × h × 1 × 0,5

= (38,01 – 2,596) × 8 × 1 × 0,5 = 141,647 kN

Tabel 5.2 Rekapitulasi Titik Berat Elemen Beronjong

Elemen	t (m)	L (m)	Luasan (m^2)	x	A.x
$A_1.X_1$	1	1	1	0,5	0,5
$A_2.X_2$	1	1	1	1,5	1,5
$A_3.X_3$	1	1	1	2,5	2,5
$A_4.X_4$	1	1	1	3,5	3,5
$A_5.X_5$	1	1	1	4,5	4,5
$A_6.X_6$	1	1	1	5,5	5,5
$A_7.X_7$	1	1	1	6,5	6,5
$A_8.X_8$	1	1	1	7,5	7,5
		ΣA	8	ΣA.x	32

Tabel 5.3 Rekapitulasi Momen Tekanan Tanah dan Air

P		Lengan	Momen
kN		m	kNm
Pa_1	20,769	4,000	83,077
Pa_2	141,647	2,667	377,724
Σ	162,416	Σ	460,801

Berdasarkan hasil perhitungan tekanan tanah dan air di atas serta berat beronjong yang akan digunakan, maka dapat dihitung stabilitas dari beronjong dengan perhitungan sebagai berikut.

a. Stabilitas terhadap geser:

$$FS_{geser} = \frac{(\Sigma V)\times \tan\phi + B\times c' + Pp}{Pa}$$

$$FS_{geser} = \frac{168\times \tan 36 + 1\times 0 + 0}{162{,}416}$$

FS_{geser} = 0,7515 < 1,5 (SNI 8460:2017) (NOT OK)

b. Stabilitas terhadap *overturning*

$FS_{guling} = \frac{\Sigma \text{Momen penahan}}{\Sigma \text{Momen dorong}}$

$FS_{guling} = \frac{672}{36{,}346+63{,}346+353{,}747+177{,}025+400{,}248}$

$= 0{,}6832 < 2$ (SNI 8460:2017) (NOT OK)

c. Stabilitas terhadap daya dukung

Dengan menggunakan grafik pada **Tabel 2.7**, diperoleh parameter tanah sebagai berikut:

$N_c = 19{,}52$

$N_q = 9{,}92$

$N_\gamma = 7{,}18$

$D = 1{,}3$ meter

$B = 13$ meter

$e = \frac{B}{2} - \frac{(Mr-Mo)}{W} = \frac{1}{2} - \frac{(672-912{,}7)}{168} = -0{,}757$ meter

$q_u = c \times N_c + q \times N_q + 0{,}5 \times \gamma \times B \times N_\gamma$

$q_u = 0 \times 19{,}52 + 0 \times 9{,}92 + 0{,}5 \times 21{,}47 \times 1 \times 7{,}18 = 77{,}07$ kN/m^2

$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B} \times (1 + \frac{6e}{B}) = \frac{168}{1} \times (1 - \frac{6\times(-0{,}757)}{1})$

$= 931{,}19$ kN/m^2

$FS_{daya\ dukung} = \frac{qu}{qmax} = \frac{77{,}07}{931{,}19}$

$= 0{,}083 < 3$ (SNI 8460:2017) (NOT OK)

Sebagai akibat dari angka keamanan beronjong yang belum memenuhi persyaratan (SNI 8460:2017), maka beronjong diperkuat dengan menggunakan *ground anchor*. Perhitungan *ground anchor* didasarkan pada momen penahan dan pendorong kesuluruhan dari talud, sehingga digunakan analisis dengan program bantu GeoStudio.

Hasil analisis GeoStudio:

$M_{pendorong} = 27.590$ kNm

$M_{penahan} = 19.467$ kNm

Jari – jari = 42,455 m

Berdasarkan hasil analisis dengan GeoStudio, maka diperoleh momen penahan rencana yang akan ditahan oleh *ground anchor*.

SF rencana = 1,5 (SNI 8460:2017)

$M_{penahan\ rencana}$ = $M_{pendorong} \times$ SF rencana

= 27.590 × 1,5 = 41.385 kNm

ΔM_r = $M_{penahan\ rencana} - M_{penahan}$

= 41.385 – 19.467 = 21.918 kNm

Perhitungan gaya prategang (N) yang terjadi pada angkur dengan menggunakan persamaan 2.47

$N_{anchor} = \frac{\Delta M_r}{R \times \tan\phi} = \frac{21918}{42{,}455 \times \tan 24} = 1159{,}549$ kN

$P_{anchor} = \frac{N}{\cos\beta} = \frac{1159{,}549}{\cos 0} = 1159{,}549$ kN

Direncanakan menggunakan 10 angkur, maka beban P dibagi menjadi 10 untuk mendapatkan gaya tiap angkur:

$P_{anchor} = \frac{1159{,}549}{10} = 115{,}955$ kN

Angkur yang digunakan berasal dari brosur Freyssinet (Freysinet 670-E) dengan diameter 30 mm dan kapasitas tarik *ultimate* sebesar 566 kN. Maka gaya tarik ijin yang dapat digunakan sebesar 0,9 dari gaya tarik *ultimate*. Brosur angkur dapat dilihat pada lampiran.

$P_{anchor\ ijin} = 0{,}9 \times P_{anchor\ ultimate} = 0{,}9 \times 566 = 509{,}4$ kN

$P_{max} = P_{anchor\ ijin} \times \tan\phi' = 509{,}4 \times \tan 36 = 370{,}1$ kN

Berdasarkan perhitungan kapasitas gaya tarik dari angkur, maka nilai $P_{max} > P_{beban}$, sehingga digunakan angkur Freyssinet dengan diameter 30 mm dan kapasitas tarik *ultimate* sebesar 566 kN.

Dalam penentuan panjang grouting, dapat digunakan perumusan 2.48 dengan nilai SF sebesar 2 (SNI 8460:2017 Pasal 10.6.4.5) dan nilai c sebesar 12,53 kN/m^2. Berikut perhitungan panjang *grouting* berdasarkan gaya P yang diterima oleh angkur dengan diameter *grouting* sebesar 0,25 meter.

$L = \frac{P \times SF}{c \times D \times \pi} = \frac{115{,}955 \times 2}{12{,}53 \times 0{,}25 \times \pi} = 15{,}71$ meter ≈ 16 meter

Apabila gaya prategang dan nilai panjang *grouting* telah ditentukan, maka direncanakan pelat beton penahan gaya tarik dari

angkur. Perhitungan daya dukung tanah terhadap pelat beton penahan angkur menggunakan persamaan 2.36.

$q_{ult} = 1{,}2.c'.N_c' + \gamma.D_f.N_q' + 0{,}5.\gamma.B.N_\gamma'$

Direncanakan:

Lebar pelat = 2 meter

Panjang pelat = 2 meter

Tebal pelat = 0,3 meter

Dengan menggunakan grafik pada **Gambar 2.13**, diperoleh parameter tanah sebagai berikut:

$N_c = 19{,}52$

$N_q = 9{,}92$

$N_\gamma = 7{,}18$

$q_{ult} = 1{,}2.c'.N_c' + \gamma.D_f.N_q' + 0{,}4.\gamma.B.N_\gamma'$

$q_{ult} = (1{,}2 \times 0 \times 19{,}52) + (18{,}3 \times 0{,}3 \times 9{,}92) + (0{,}4 \times 18{,}3 \times 2 \times 7{,}18)$

$= 159{,}57 \text{ kN/m}^2$

$q_{ijin} = \frac{q_{ult}}{SF} = \frac{159{,}57}{3} = 53{,}192 \text{ kN/m}^2$

Berdasarkan perhitungan gaya prategang dari angkur, maka diperoleh nilai tegangan dari angkur sebagai berikut.

$q_t = \frac{P_{anchor}}{\text{Luas pelat}} = \frac{115{,}955}{2 \times 2} = 28{,}98 \text{ kN/m}^2$

Dikarenakan daya dukung tanah lebih besar dari tegangan angkur ($q_{ijin} > q_t$), maka dipasang angkur dengan gaya sebesar 393 kN (Freysinet 670-E) diameter 30 mm dengan panjang *grouting* sebesar 16 meter dan pelat beton penahan dengan dimensi 2 × 2 meter serta tebal 0,3 meter untuk menahan 1 angkur. Langkah selanjutnya yaitu menghitung penulangan pelat beton.

Data perencanaan:

Lebar pelat = 2 meter

Panjang pelat = 2 meter

Tebal pelat = 0,3 meter

Cover = 40 mm

$D_{tulangan}$ = 13 mm

fy = 420 MPa

fc' = 30 MPa

Berikut perencanaan penulangan pelat beton angkur.

d = Tebal pelat – cover – (0,5 × $D_{tulangan}$)

d = 300 – 40 – (0,5 × 13) = 253,5

m $= \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,471$

Mn $= \frac{Mu}{0,9} = \frac{0,125 \times qt \times B^2}{0,9} = \frac{0,125 \times 57,9774 \times 2^2}{0,9}$

= 40,262 kNm = 40.262.103 Nmm

Rn $= \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{40.262.103}{2000 \times 235,5^2} = 0,2819$ MPa

β_1 = 0,85 – (0,05 × (fc' – 28)/7)

= 0,85 – (0,05 × (30 – 28)/7) = 0,8357

$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta 1 \times fc'}{fy} \times \frac{600}{600+fy}$

$= \frac{0,85 \times 0,8357 \times 30}{420} \times \frac{600}{600+420} = 0,02985$

ρ_{max} = 0,75 × ρ_b = 0,02239

$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn \times m}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{16,471} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,2819 \times 16,471}{420}}\right)$

= 0,000675

Dikarenakan nilai ρ_{perlu} lebih kecil dari ρ_{min}, maka digunakan nilai ρ_{min} untuk menghitung tulangan yang dibutuhkan.

As_{perlu} = ρ_{pakai} × b × d

= 0,00333 × 2000 × 253,5

= 1690 mm2

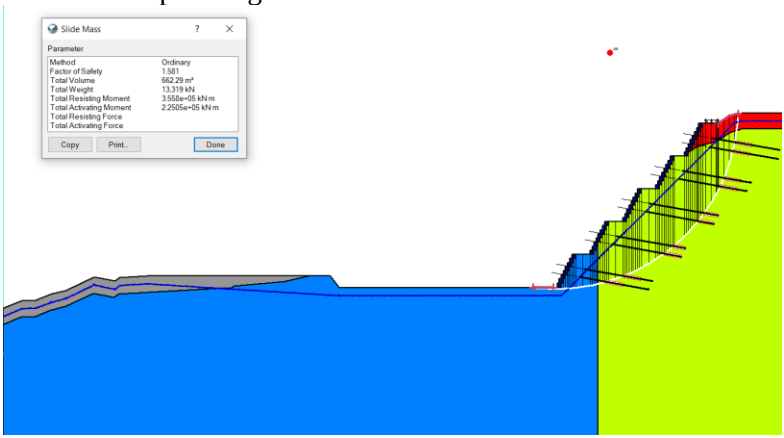
Jumlah tulangan $= \frac{As\ perlu}{0,25 \times \pi \times d^2} = \frac{1690}{0,25 \times \pi \times 13^2} = 13$ buah

Spasi tulangan $= \frac{0,25 \times \pi \times d^2 \times b}{0,25 \times \pi \times d^2 \times n} = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 2000}{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 13}$

= 153,85 mm ≈ 150 mm

Maka tulangan yang digunakan yaitu 13 D13 – 150.

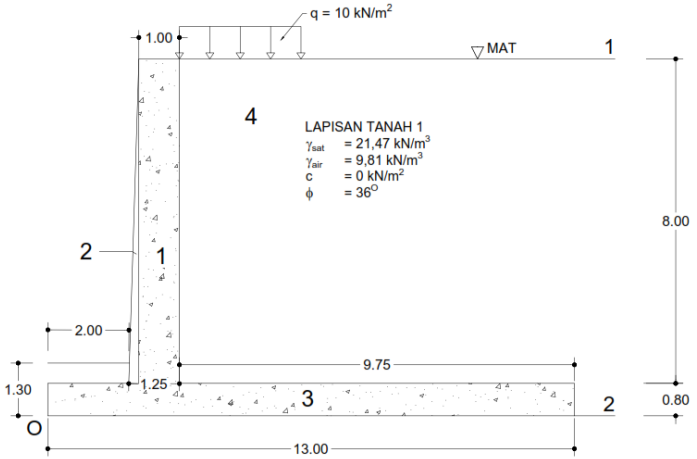
Berdasarkan hasil analisis dengan program bantu GeoStudio, diperoleh angka keamanan sebesar 1,581 (**Gambar 5.6**), sehingga perkuatan lereng dengan beronjong dan angkur aman terhadap kelongsoran.



Gambar 5.6 Angka keamanan perkuatan beronjong dan *anchor* dengan SF 1,581

5.3 Perkuatan Talud dengan Dinding Penahan Tanah

Alternatif perkuatan talud ketiga adalah menggunakan dinding penahan tanah kantilever. Desain dinding penahan tanah mengacu pada SNI 8460 – 2017 (**Gambar 2.6**). Dinding penahan tanah direncanakan pada dasar lereng. Dinding penahan direncanakan dengan ketinggian 8 meter dan lebar kaki sebesar 13 meter (**Gambar 5.6**). Perkuatan dinding penahan tanah perlu memperhatikan stabilitas terhadap geser, stabilitas terhadap guling atau *overall stability*, dan stabilitas terhadap ambles. Berikut merupakan tahapan perhitungan perencanaan beronjong terhadap tiga stabilitas tersebut.



Gambar 5.7 Dimensi dinding penahan tanah pada perkuatan talud TPA Karimunjawa

Data tanah urugan:

γ_{sat} = 21,47 kN/m^3

γ_{air} = 9,81 kN/m^3

γ' = 21,47 − 9,81 = 11,66 kN/m^3

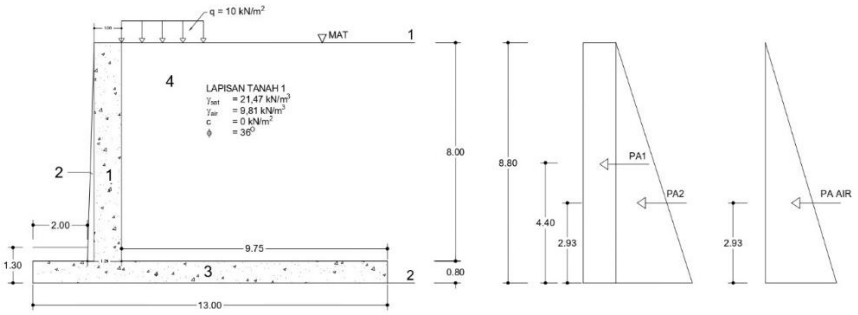
c = 0 kN/m^2

ϕ = 36^O

ϕ' = $\frac{2}{3}x36$ = 24^O

K_a = $\tan(45 - \frac{24}{2})^2$ = 0,42173

Berikut perhitungan tekanan aktif akibat tanah dan air dengan diagram tekanan tanah pada **Gambar 5.8**.



Gambar 5.8 Diagram tekanan tanah dan air aktif dinding penahan tanah

Gaya aktif akibat beban 10 kN/m^2:

$\sigma'_{v1} = q = 10$ kN/m^2

$\sigma'_{h1} = (\sigma'_{v1} \times K_a)$

$\sigma'_{h1} = (10 \times 0{,}422) = 4{,}22$ kN/m^2

$Pa_1 = \sigma'_{h1} \times h \times 1 = 4{,}22 \times 8{,}8 \times 1 = 37{,}11$ kN

Gaya aktif akibat tekanan tanah:

$\sigma'_{v2} = \gamma_{sat} \times h = 11{,}66 \times 8{,}8 = 93{,}28$ kN/m^2

$\sigma'_{h2} = (\sigma'_{v2} \times K_a)$

$\sigma'_{h2} = (93{,}28 \times 0{,}422) = 39{,}339$ kN/m^2

$Pa_2 = (\sigma'_{h2} - \sigma'_{h1}) \times h \times 1 \times 0{,}5$

$= (39{,}339 - 4{,}22) \times 8{,}8 \times 1 \times 0{,}5 = 154{,}54$ kN

Gaya aktif akibat tekanan air:

$\sigma_{air} = \gamma_{air} \times h = 9{,}81 \times 8{,}8 = 86{,}328$ kN/m^2

$Pa_{air} = \sigma_{air} \times h \times 1 = 86{,}328 \times 8{,}8 \times 1 \times 0{,}5 = 379{,}84$ kN

Berdasarkan diagram tersebut diperoleh nilai momen akibat tekanan tanah dan air pada **Tabel 5.4**.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Momen Tekanan Tanah dan Air

P		**Lengan**	**Momen**
kN		**m**	**kNm**
Pa_1	37,112	4,4	163,294

Pa_2	154,54	2,933	453,304
Pa_{air}	379,84	2,933	1114,207

Data dinding penahan tanah:

γ_{DPT} = 24 kN/m^3

Lebar bagian bawah = 13 meter

Tinggi dinding = 8 meter

q (beban tambahan) = 10 kPa

Berikut perhitungan berat dan momen penahan dari dinding penahan tanah kantilever terhadap titik O.

Area 1

Lebar = 1 meter

Tinggi = 8 meter

Lengan momen = (2 + (1/2)) = 2,5 meter

Luas area = tinggi × lebar = 8 × 1 = 8 m^2

Berat area = γ_{DPT} × luas = 24 × 8 = 192 kN/m'

Momen = lengan × luas = 2,5 × 192 = 480 kNm

Dengan cara perhitungan yang sama, berikut rekapitulasi nilai berat dan momen penahan (**Tabel 5.5**)

Tabel 5.5 Rekapitulasi Berat dan Momen Penahan Dinding Penahan Kantilever

Area	**b**	**h**	**A**	**W**	**Lengan**	**Momen**
	m	**m**	**m^2**	**kN/m**	**m**	**kNm**
1	1	8	8	192	2,5	480
2	0,25	8	1	24	2,083333	50
3	13	0,8	10,4	249,6	6,5	1622,4
4	9,75	8	78	894,66	8,125	7269,11
ΣV				1360,26		9421,51

Berdasarkan perhitungan tekanan tanah dan air di atas serta berat dinding penahan tanah yang akan digunakan, maka dapat dihitung stabilitas dari dinding penahan tanah dengan perhitungan sebagai berikut.

a. Stabilitas terhadap geser

$$FS_{geser} = \frac{(\Sigma V)\times \tan\phi' + B\times c' + Pp}{Pa}$$

$$FS_{geser} = \frac{1360{,}26\times \tan 24 + 13\times 0 + 0}{571{,}491}$$

$= 1{,}059 < 1{,}5$ (SNI 8460:2017) (NOT OK)

b. Stabilitas terhadap *oveturning*

$$FS_{overturning} = \frac{\Sigma \text{Momen penahan}}{\Sigma \text{Momen dorong}}$$

$$FS_{overturning} = \frac{9421{,}51}{163{,}294+453{,}304+1114{,}207}$$

$= 5{,}44 > 2$ (SNI 8460:2017) (OK)

c. Stabilitas terhadap daya dukung

Dengan menggunakan grafik pada **Gambar 2.13**, diperoleh parameter tanah sebagai berikut:

$N_c = 19{,}52$

$N_q = 9{,}92$

$N_\gamma = 7{,}18$

$D = 1{,}3$ meter

$B = 13$ meter

$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma V} = \frac{9421{,}51}{2078{,}45} = 6{,}93$ meter

$q_u = c \times N_c + q \times N_q + 0{,}5 \times \gamma \times B \times N_\gamma$

$q_u = 0 \times 19{,}52 + 21{,}47 \times 1{,}3 \times 9{,}92 + 0{,}5 \times 21{,}47 \times 13 \times 7{,}18$

$= 1.320{,}62$ kN/m^2

$$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B} \times \left(1 + \frac{6e}{B}\right)$$

$$= \frac{1360{,}26}{13} \times \left(1 + \frac{6\times 6{,}93}{13}\right)$$

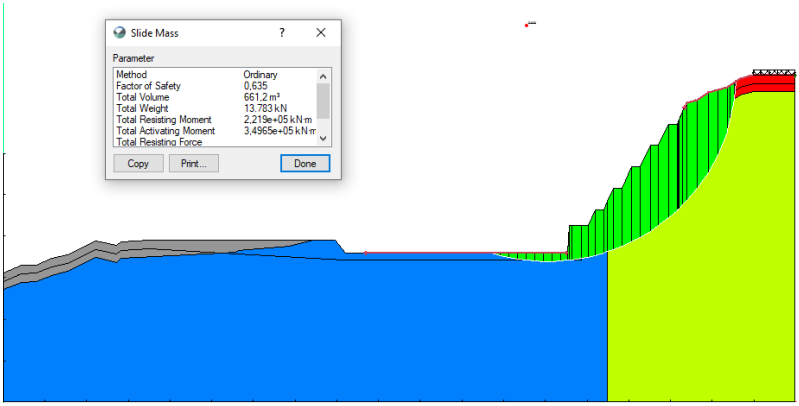
$= 439{,}13$ kN/m^2

$$FS_{bearing\ capacity} = \frac{qu}{qmax} = \frac{1320{,}62}{439{,}13}$$

$= 3{,}0074 > 3$ (SNI 8460:2017) (OK)

Berdasarkan hasil analisis dengan program bantu GeoStudio, diperoleh angka keamanan sebesar 0,635 (**Gambar 5.9**), sehingga perkuatan lereng dengan dinding penahan tanah belum aman terhadap kelongsoran (*overall stability*). Dinding

penahan tanah belum aman terhadap stabilitas geser (1,059 < 1,5), sebagai akibatnya, dipasang cerucuk untuk meningkatkan angka keamanan dinding penahan tanah.



Gambar 5.9 Angka keamanan dinding penahan tanah SF 0,635

Berdasarkan hasil analisis dengan program bantu GeoStudio, diperoleh angka keamanan sebesar 0,635 (**Gambar 5.9**), sehingga perkuatan lereng dengan dinding penahan tanah belum aman terhadap kelongsoran. Sebagai akibatnya, dipasang cerucuk untuk meningkatkan angka keamanan dinding penahan tanah.

Perencanaan cerucuk menggunakan metode *bore pile* karena tanah dasar tergolong keras, sehingga tidak memungkinkan untuk menggunakan *spun pile*. Diameter cerucuk sebesar 0,5 meter dengan mutu beton fc' 35 MPa, berikut perhitungan perencanaan cerucuk untuk dinding penahan tanah TPA Karimunjawa.

Data perencanaan:

Diamter cerucuk = 0,5 meter
$D_{\text{tulangan utama}}$ = 22 mm
$D_{\text{tulangan sengkang}}$ = 13 mm
Fy (mutu tulangan) = 420 MPa
fc' (mutu beton) = 35 MPa
Selimut beton = 50 mm

Berikut perencanaan penulangan cerucuk dengan *bore pile*.

d = Diameter – cover – $D_{tulangan\ sengkang}$ – $(0{,}5 \times D_{tulangan\ utama})$

d = 300 – 40 – 13 – (0,5 × 22) = 426 mm

Luas penampang (Ag) = $0{,}25 \times \pi \times D^2$

= $0{,}25 \times \pi \times 500^2$

= 196.349,541 mm^2

ρ = 0,016 (Buku Ir. Istimawan D)

As perlu = $0{,}25 \times \pi \times d^2 \times \rho$

= $0{,}25 \times \pi \times 426^2 \times 0{,}016$ = 2280,495 mm^2

As tulangan = $0{,}25 \times \pi \times D_{tulangan\ utama}^2$

= $(0{,}25 \times \pi \times 22^2)$ = 380,133 mm^2

Jumlah tulangan yang dibutuhkan:

n (jumlah tulangan) = $\frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}} = \frac{2280.495}{380{,}133}$

= 5,999 ≈ 6 buah

Dipakai tulangan utama D22 dengan jumlah 14 buah.

As total (Ast) = n × $0{,}25 \times \pi \times D_{tulangan\ utama}^2$

= 14 × $0{,}25 \times \pi \times 22^2$ = 5321,858 mm^2

Beban aksial maksimum yang dapat diterima oleh 1 tiang cerucuk:

ϕPn = ϕ × 0,85 × (0,85 × fc' × (Ag – Ast) + (fy × Ast))

ϕPn = 0,7 × 0,85 × (0,85 × 35 × (196.349,541 – 5321,858 + (420 × 5321,858))

= 4.711.361,075 N = 480,261 ton ≈ 480 ton

Momen crack dari 1 tiang cerucuk:

fr = $0{,}62 \times \lambda \times \sqrt{fc'}$ = $0{,}62 \times \lambda \times \sqrt{35}$ = 3,668 MPa

I = $\pi \times D^4/64 = \pi \times 500^4/64$ = 3.067.961.576 mm^4

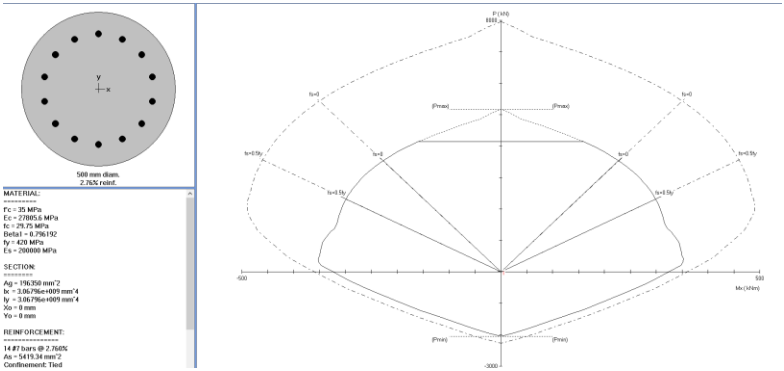
Yt = 0,5 × D = 0,5 × 500 = 250 mm

$M_{crack} = \frac{fr \times I}{Yt} = \frac{3{,}668 \times 3.067.961.576}{250}$ = 45.012.757,53 Nmm

= 4,5884 tonm

Untuk perhitungan kapasitas momen ultimate 1 tiang cerucuk, digunakan hasil analisis dengan program bantu SPColumn (**Gambar 5.10**). Berdasarkan hasil dari program bantu,

diperoleh kapasitas momen ultimate sebesar 32,722 tonm. Dikarenakan hasil momen crack cerucuk tergolong kecil, maka momen yang digunakan untuk perhitungan jumlah cerucuk yaitu momen ultimate.



Gambar 5.10 Kapasitas momen ultimate tiang cerucuk

Penulangan transversal cerucuk:

$$Vc = 0{,}167 \times \left(1 + \frac{Pu}{14Ag}\right) \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times \frac{Ag}{0{,}8D}$$

$$Vc = 0{,}167 \times \left(1 + \frac{4708800}{14 \times 196349{,}541}\right) \times 1 \times \sqrt{35} \times \frac{196349{,}541}{0{,}8 \times 500}$$

$$= 559.382{,}504 \text{ N}$$

$$\phi Vc = 0{,}75 \times Vc = 0{,}75 \times 559.382{,}504 = 419.537 \text{ N}$$

$$Vs_{maks} = 0{,}667 \times \sqrt{fc'} \times \frac{Ag}{0{,}8D} \times d$$

$$= 0{,}667 \times \sqrt{35} \times \frac{196349{,}541}{0{,}8 \times 500} \times 426$$

$$= 824.749{,}88 \text{ N}$$

$$Vs = \frac{Vu - \phi Vc}{\phi} = \frac{0 - (419537)}{0{,}75} = -559.382{,}504 \text{ N}$$

Maka ukuran tiang sudah cukup menahan geser ($Vs_{maks} > Vs$)

$$Av_1 = \frac{0{,}35 \times 1000 \times \frac{Ag}{0{,}8D}}{fy} = \frac{0{,}35 \times 1000 \times \frac{196349{,}541}{0{,}8 \times 500}}{420} = 409{,}062 \text{ mm}^2$$

$$Av_2 = \frac{0{,}062 \times 1000 \times d^2}{fy \times 4} = \frac{0{,}35 \times 1000 \times 13^2}{420 \times 4} = 428{,}693 \text{ mm}^2$$

$$Av_{maks} = 428{,}693 \text{ mm}^2$$

n = 2 tulangan sengkang

Jarak sengkang = $\frac{n \times 1000 \times d^2}{Av_{maks} \times 4} = \frac{2 \times 1000 \times 13^2}{428{,}693 \times 4}$ = 197,111 mm

Kontrol jarak sengkang

S = 0,5d = 0,5 × 426 = 213 mm

S = $16D_{tulangan\ utama}$ = 16 × 22 = 352 mm

S = $16D_{tulangan\ sengkang}$ = 48 × 13 = 624 mm

S = $\frac{Ag}{0{,}8D} = \frac{196349{,}541}{0{,}8 \times 500}$ = 428,693 mm

Maka digunakan jarak sengkang sebesar 150 mm.

$Av_{pakai} = \frac{n \times 1000 \times d^2}{s \times 4} = \frac{2 \times 1000 \times 13^2}{150 \times 4}$ = 563,333 mm^2

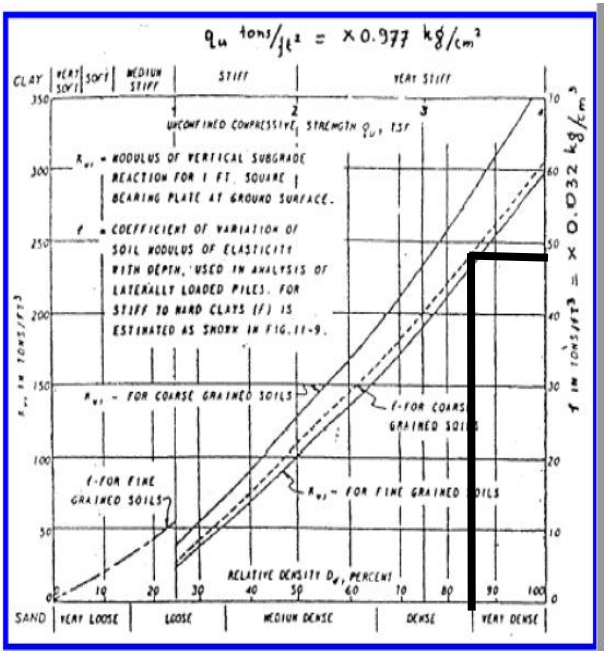
Nilai tulangan sudah memenuhi kebutuhan yang telah direncanakan ($Av_{pakai} > Av_{maks}$), maka dipakai tulangan sengkang 2D13 – 150.

Setelah mendapatkan penulangan dari cerucuk, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung kebutuhan cerucuk untuk meningkatkan angka keamanan lereng terhadap longsor. Berdasarkan hasil analisis dengan GeoStudio, diperoleh data sebagai berikut:

Safety factor = 0,632
Jari – jari = 43,963 m
Koordinat Z = 77,664 m
Koordinat Z_{tanah} = 35,9805
Koordinat X = 129,51 m
Momen penahan = 59.455,36 kNm

Berikut perhitungan kebutuhan cerucuk untuk perkuatan lereng TPA Karimunjawa.

a. Mencari panjang cerucuk
   La (dalam bidang longsor)
   La = Koordinat Z – Jari – jari – Koordinat Z_{tanah}
   = 77,664 – 43,963 – 35,9805 = 2,2795 meter
   Lb (di bawah bidang longsor) = 3 meter (Asumsi)
   Panjang total cerucuk = 2,2795 + 3 = 5,2795 ≈ 6 meter
b. Menghitung faktor kekakuan relatif
   Berdasarkan hasil korelasi data tanah, tanah lapis 2 BM.2 memiliki kepadatan relatif 85% dan berbutir



kasar, sehingga diperoleh nilai f sebesar 47 (**Gambar 5.11**). Berikut perhitungan kekakuan relatif cerucuk.

$E = 4700 \times \sqrt{35} = 27.805{,}575$ MPa
$= 272.772{,}691$ kg/cm^2
$f = 47 \times 0{,}032 = 1{,}504$ kg/cm^3
$I = \pi \times D^4/64 = \pi \times 50^4/64 = 306.796{,}1576$ cm^4

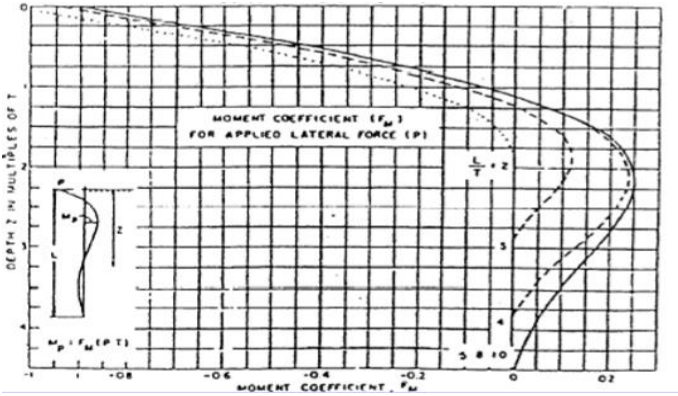
$$T = \left[\frac{EI}{f}\right]^{\frac{1}{5}} = \left[\frac{272.772{,}691 \times 306.796{,}1576}{1{,}504}\right]^{\frac{1}{5}} = 140{,}955 \text{ cm}$$

$= 1{,}4096$ meter

c. Menghitung gaya horizontal yang ditahan 1 tiang
$M_{ultimate}$ = 32,722 tonm = 32.721,7 kgm
F_m = 1 (Berdasarkan grafik pada **Gambar 5.12**)

$$P_{maks} = \frac{M_{ultimate}}{F_m \times T} = \frac{32721{,}7}{1 \times 1{,}4096} = 23.214{,}292 \text{ kg}$$

Gambar 5.11 Grafik nilai f untuk berbagai jenis tanah



Gambar 5.12 Grafik untuk besaran F_m

d. Menghitung banyaknya tiang per meter

$$n = \frac{SF_{rencana} - SF_{eksisting}}{P_{maks} \times R} \times M_D$$

$$n = \frac{1,5 - 0,632}{23214,292 \times 43,963} \times \frac{59455,4}{0,632} = 8,1561$$

$\approx$ 9 tiang cerucuk

Setelah melakukan perhitungan cerucuk, langkah selanjutnya menghitung penulangan pada dinding penahan tanah kantilever. Penulangan dinding kantilever terbagi menjadi 3 bagian yaitu bagian badan, *heel*, dan *toe*. Berikut perhitungan penulangan dinding kantilever.

a. Bagian badan

Data perencanaan:

Momen dorong = 1730,805 kNm

$D_{tulangan\ utama}$ = 25 mm

$D_{tulangan\ susut}$ = 16 mm

Fy (mutu tulangan) = 420 MPa

fc' (mutu beton) = 35 MPa

Tebal dinding = (0,5 × (1000+1250)) = 1125 mm

Selimut beton = 50 mm

d = Tebal dinding – 2 × cover – (0,5 × $D_{tulangan}$) – $D_{tulangan\ susut}$

d = (0,5 × (1000+1250)) – 2 × 50 – (0,5 × 25) – 16

= 996,5 mm

1. Penulangan Lentur

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{420}{0,85 \times 35} = 14,117$$

$$Mn = \frac{Mu}{0,9} = \frac{1730,805 \times 10^6}{0,9} = 1.923.116.272 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{h \times d^2} = \frac{1.923.116.272}{8000 \times 996,5^2} = 0,2421 \text{ MPa}$$

β_1 = 0,85 – (0,05 × (fc' – 28)/7)

= 0,85 – (0,05 × (35 – 28)/7) = 0,8

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta 1 \times fc'}{fy} \times \frac{600}{600+fy} = \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{420} \times \frac{600}{600+420}$$

ρ_b = 0,0333

$\rho_{max} = 0{,}75 \times \rho_b = 0{,}025$

$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{fy} = \frac{1{,}4}{420} = 0{,}00333$

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn \times m}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{14{,}117} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0{,}2421 \times 14{,}117}{490}}\right) = 0{,}000579$

Dikarenakan nilai ρ_{perlu} lebih kecil dari ρ_{min}, maka untuk perhitungan selanjutnya menggunakan ρ_{min}.

$As_{perlu} = \rho_{pakai} \times h \times d = 0{,}0033 \times 8000 \times 996{,}5$

$= 26.573{,}3 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan $= \frac{\text{As perlu}}{0{,}25 \times \pi \times d^2} = \frac{26.093{,}4}{0{,}25 \times \pi \times 25^2} = 54{,}1348$

≈ 55 buah

Spasi tulangan $= \frac{0{,}25 \times \pi \times d^2 \times h}{0{,}25 \times \pi \times d^2 \times n} = \frac{0{,}25 \times \pi \times 25^2 \times 8000}{0{,}25 \times \pi \times 25^2 \times 54}$

$= 147{,}779 \text{ mm} \approx 140 \text{ mm}$

Maka tulangan lentur yang digunakan yaitu 55 D25 – 140.

2. Penulangan Susut

$\rho susut = 0{,}002$ (SNI 2847:2013)

$As_{perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d = 0{,}002 \times 8000 \times 996{,}5$

$= 15.944 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan $= \frac{\text{As perlu}}{0{,}25 \times \pi \times d^2} = \frac{15.944}{0{,}25 \times \pi \times 16^2} = 79{,}299$

≈ 80 buah

Spasi tulangan $= \frac{0{,}25 \times \pi \times d^2 \times h}{0{,}25 \times \pi \times d^2 \times n} = \frac{0{,}25 \times \pi \times 16^2 \times 8000}{0{,}25 \times \pi \times 16^2 \times 80}$

$= 100{,}884 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$

Maka tulangan susut yang digunakan yaitu 80 D16 – 100.

3. Penulangan Geser

$Vu = 0 \text{ N}$

$Vc = 0{,}167 \times h \times d \times \sqrt{fc'}$

$Vc = 0{,}167 \times 8000 \times 996{,}5 \times \sqrt{35} = 7.860.498 \text{ N}$

$\phi Vc = 0{,}75 \times Vc = 0{,}75 \times 7.860.498$

$\phi Vc = 5.895.374 \text{ N}$

$0{,}5\phi Vc$ = 2.947.687 N

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, tidak diperlukan tulangan geser karena Beban geser maksimum (Vu) lebih kecil dari kapasitas beton dinding penahan tanah ($0{,}5\phi Vc$).

b. Bagian *pile cap*

1. Gaya yang diterima oleh *pilecap*

Berdasarkan perhitungan pada **Tabel 5.7**, berikut momen yang bekerja pada *pilecap*.

Mu = 9.421.512.500 Nmm

2. Perencanaan tulangan utama dan tulangan susut.

Berikut merupakan data perencanaan tulangan utama, susut dan geser

f'c = 35 Mpa
fy = 420 Mpa
Cover beton = 50 mm
b (lebar *pilecap*) = 13.000 mm
h (tebal *pilecap*) = 800 mm
Diameter tulangan utama = 30 mm
Diameter tulangan susut = 16 mm
d = (h – cover – tul. Susut – (0,5 x tul. Utama)

$= \left(800 - 50 - 16 - (0{,}5 \times 30)\right) = 719\ mm$

3. Perhitungan tulangan utama, tulangan susut dan tulangan geser

1) Tulangan Utama

β_1 = 0,85 – (0,05 × (fc' – 28)/7)
= 0,85 – (0,05 × (35 – 28)/7) = 0,8

$m = \frac{fy}{0{,}85 \times fc'} = \frac{420}{0{,}85 \times 35} = 14{,}117$

$Rn = \frac{Mu}{0{,}9 \times 13000 \times d^2}$

$Rn = \frac{9.421.512.500}{0{,}9 \times 13000 \times 719^2} = 1{,}56$ MPa

$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{fy} = \frac{1{,}4}{420} = 0{,}00333$

$\rho_b = \frac{0,85\times\beta1\times fc\prime}{fy} \times \frac{600}{600+fy} = \frac{0,85\times0,8\times35}{420} \times \frac{600}{600+420}$

$\rho_b = 0,0333$

$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,025$

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\times Rn\times m}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{14,117} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\times1,56\times14,117}{490}}\right)$

$= 0,0038$

$As_{perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d$

$= 0,025 \times 13.000 \times 719$

$= 31.156,67 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan $= \frac{As\ perlu}{0,25\times\pi\times d^2}$

$= \frac{31.156,67}{0,25\times\pi\times30^2}$

$= 44,07 \approx 45$ buah

Spasi tulangan $= \frac{0,25\times\pi\times d^2\times1000}{0,25\times\pi\times d^2\times n}$

$= \frac{0,25\times\pi\times30^2\times1000}{0,25\times\pi\times30^2\times4}$

$= 294,93 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$

2) Tulangan Susut

$As_{perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d$

$= 0,002 \times 13000 \times 719$

$= 18.512 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan $= \frac{As\ perlu}{0,25\times\pi\times d^2}$

$= \frac{18.512}{0,25\times\pi\times16^2}$

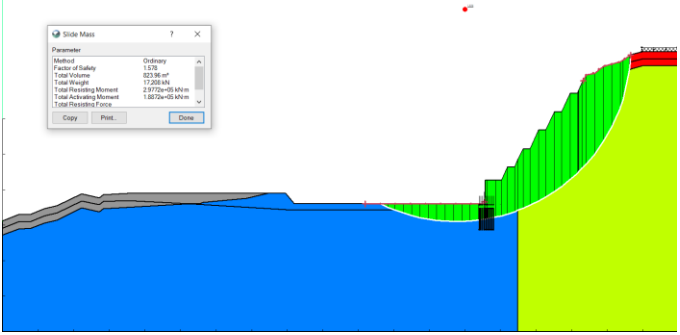
$= 92,976 \approx 93$ buah

Spasi tulangan $= \frac{0,25\times\pi\times d^2\times b}{0,25\times\pi\times d^2\times n}$

$= \frac{0,25\times\pi\times16^2\times13000}{0,25\times\pi\times16^2\times93}$

$= 139,82 \text{ mm} \approx 130 \text{ mm}$

Dilakukan analisis dengan program bantu GeoStudio untuk mengetahui angka keamanan terhadap kelongsoran dinding penahan yang diperkuat dengan cerucuk. Berdasarkan hasil analisis dengan program bantu. didapat angka keamanan sebesar 1,578 (**Gambar 5.13**), sehingga dinding penahan tanah yang diperkuat dengan cerucuk aman terhadap kelongsoran (> 1,5).

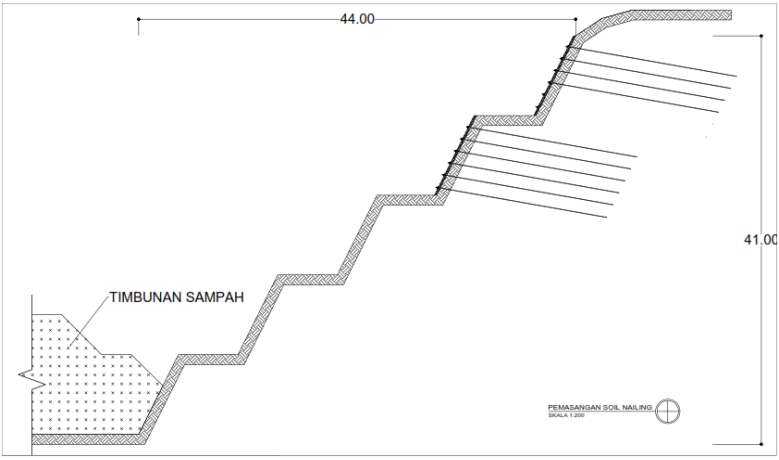


Gambar 5.13 Angka keamanan dinding penahan tanah diperkuat cerucuk dengan SF 1,578

5.4 Perkuatan Talud dengan *Soil Nailing*

Alternatif perkuatan talud untuk TPA Karimunjawa yang terakhir adalah *soil nailing*. Perkuatan ini akan dipasang pada bagian atas talud, karena menghasilkan panjang yang lebih efisien daripada pemasangan pada bagian bawah talud (**Gambar 5.13**). Direncanakan sebanyak 6 buah *soil nailing* akan dipasang untuk meningkatkan angka keamanan talud. Material *soil nailing* menggunakan brosur dari SAS *Soil Nails* dengan mutu 550 MPa dan diameter sebesar 40 mm. Brosur SAS *Soil Nails* dapat dilihat pada bagian lampiran. Berikut perhitungan perencanaan *soil nailing* untuk perkuatan talud TPA Karimunjawa.

Data *soil nailing*:



Gambar 5.14 Pemasangan *soil nailing*

Data tanah lapis 1 BM. 1:

γ_t = 9,8 kN/m^3

c = 0 kN/m^2

ϕ = 31^O

K_{a1} = $\tan (45 - \frac{31}{2})^2$ = 0,32

Data tanah lapis 2 BM. 1:

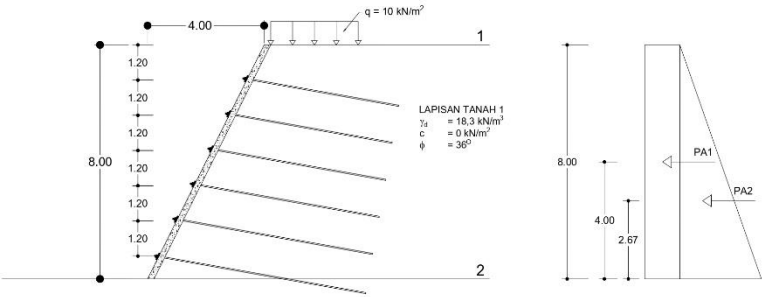
γ_t = 18,4 kN/m^3

c = 0 kN/m^2

ϕ = 36^O

K_{a2} = $\tan (45 - \frac{36}{2})^2$ = 0,259

Berikut perhitungan tekanan aktif akibat tanah dan air dengan diagram tekanan tanah pada **Gambar 5.15**.



Gambar 5.15 Diagram tekanan tanah dan air aktif *soil nailing*

Gaya aktif akibat beban 10 kN/m^2:

σ'_{v1} = q = 10 kN/m^2

σ'_{h1} = (σ'_{v1} × K_a)

σ'_{h1} = (10 × 0,259) = 2,59 kN/m^2

Pa_1 = σ'_{h1} × h × 1 = 2,59 × 8 × 1 = 20,77 kN

Gaya aktif akibat tekanan tanah:

σ'_{v2} = γ_t × h = 18,3 × 8 = 147,2 kN/m^2

σ'_{h2} = (σ'_{v2} × K_a)

σ'_{h2} = (147,2 × 0,259) = 38,22 kN/m^2

Pa_2 = (σ'_{h2} – σ'_{h1}) × h × 1 × 0,5

= (38,22 – 2,59) × 8 × 1 × 0,5 = 142,47 kN

Panjang tulangan = 17 meter

Diameter tulangan = 40 mm (SAS *Soil Nails*)

fy (mutu tulangan) = 550 MPa (SAS *Soil Nails*)

Kemiringan *nailing* (i) = 10^O

Jarak vertikal (Sv) = 1,2 meter

Jarak horizontal (Sh) = 1 meter

Contoh perhitungan dilakukan pada lereng kedua (**Gambar 5.13**). Berdasarkan data di atas, maka dapat dihitung kapasitas tarik dari *soil nailings*.

Kapasitas tarik tulangan (R_T)

(R_T) = 0,25 × π × d^2 × fy

$= 0{,}25 \times \pi \times 40^2 \times 550$

$= 691.150{,}4$ N = 691,1504 kN

Perhitungan T_0 akibat tekanan tanah:

$T_0 = Ka(q + \sigma'_{v2}) \times Sh \times Sv$

$= 0{,}259 \times (10 + 147{,}2) \times 1 \times 1{,}2 = 48{,}857$ kN

Berdasarkan perhitungan di atas, dapat diketahui angka keamanan *nailing* terhadap stabilitas internal dan eksternal.

1. Stabilitas internal
   a. Stabilitas terhadap kuat tarik *soil nailing*

$FS_T = \frac{R_n}{T_0} = \frac{691{,}15}{48{,}857} = 14{,}146 > 1{,}5$ (SNI 8460:2017) (OK)

   b. Stabilitas terhadap kuat cabut *soil nailing*

Dalam perhitungan kuat cabut *soil nailing*, tegangan *overburden* diambil pada tengah – tengah tulangan baja. Berikut contoh perhitungannya.

$\sigma'_{v1} = \gamma_t \times h + \gamma_t \times \frac{L}{2}\sin(i)$

$\sigma'_{v1} = 18{,}4 \times 1{,}2 + 18{,}4 \times 8{,}5\sin(10) = 49{,}24$ kN/m^2

$\sigma'_{v2} = \sigma'_{v1} + \gamma_t \times h + \gamma_t \times \frac{L}{2}\sin(i)$

$\sigma'_{v2} = \sigma'_{v1} + 18{,}4 \times 1{,}2 + 18{,}4 \times 8{,}5\sin(10)$

$= 98{,}48$ kN/m^2

$\sigma'_{v3} = \sigma'_{v2} + \gamma_t \times h + \gamma_t \times \frac{L}{2}\sin(i)$

$\sigma'_{v3} = \sigma'_{v2} + 18{,}4 \times 1{,}2 + 18{,}4 \times 8{,}5\sin(10)$

$= 147{,}72$ kN/m^2

$\sigma'_{v4} = \sigma'_{v3} + \gamma_t \times h + \gamma_t \times \frac{L}{2}\sin(i)$

$\sigma'_{v4} = \sigma'_{v3} + 18{,}4 \times 1{,}2 + 18{,}4 \times 8{,}5\sin(10)$

$= 196{,}95$ kN/m^2

$\sigma'_{v5} = \sigma'_{v4} + \gamma_t \times h + \gamma_t \times \frac{L}{2}\sin(i)$

$\sigma'_{v5} = \sigma'_{v4} + 18{,}4 \times 1{,}2 + 18{,}4 \times 8{,}5\sin(10)$

$= 246{,}19$ kN/m^2

$\sigma'_{v6} = \sigma'_{v5} + \gamma_t \times h + \gamma_t \times \frac{L}{2}\sin(i)$

$\sigma'_{v6} = \sigma'_{v5} + 18{,}4 \times 1{,}2 + 18{,}4 \times 8{,}5\sin(10)$

$= 295{,}43\ kN/m^2$

Langkah selanjutnya mencari nilai gaya cabut pada setiap titik tegangan *overburden*.

$$T_{p1} = \frac{(c+\sigma_v \tan\phi)\pi d}{1{,}5}$$
$$= \frac{(0+49{,}24\tan 24)\pi 0{,}04}{1{,}5}$$
$$= 0{,}917\ kN/m^2$$
$$T_{n,maks} = T_{p1} \times L$$
$$= 0{,}917 \times 17$$
$$= 15{,}589\ kN/m$$

Berikut rekapitulasi gaya cabut yang terjadi pada setiap titik tegangan *overburden* (**Tabel 5.6**).

Tabel 5.6 Rekapitulasi Tegangan *Overburden* dan Gaya Cabut *Nail*

Titik	**Sv**	**σ'v**	**Tp**	**Tn maks**
	m	**kN/m²**	**kN/m²**	**kN/m**
1	1.2	49.2386	0.91701	15.5892
2	1.2	98.4771	1.83402	31.1783
3	1.2	147.716	2.75103	46.7675
4	1.2	196.954	3.66804	62.3566
5	1.2	246.193	4.58504	77.9458
6	1.2	295.431	5.50205	93.5349

Gaya yang cabut yang diakibatkan oleh tegangan *overburden* tanah masih lebih kecil dari kekuatan tarik (R_T), sehingga sudah memenuhi syarat.

2. Stabilitas eksternal

Stabilitas eksternal dari *soil nailing* meliputi stabilitas terhadap *slope stabiliy* dan geser. Perhitungan stabilitas dengan program bantu menggunakan Metode Bishop. Berikut perhitungan stabilitas *slope stability* dan geser.

a. Stabilitas Lereng (*Slope Stability*)

Dalam perhitungan stabilitas lereng, digunakan analisis dengan program bantu GeoStudio dengan menggunakan program bantu GeoStudio, diperoleh angka keamanan sebesar 1,896 (**Gambar 5.14)**.

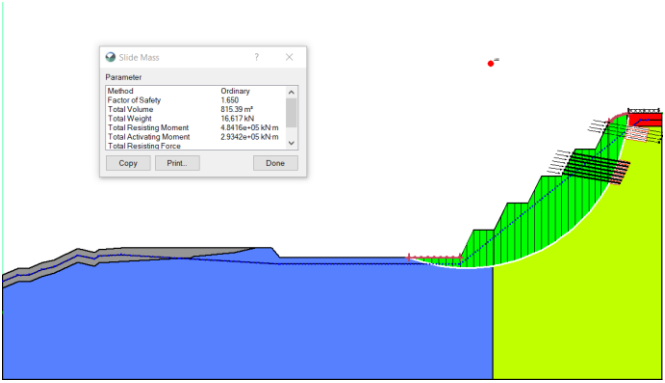
b. Stabilitas geser

Perhitungan stabilitas geser menggunakan pembagian talud menjadi beberapa pias seperti pada (**Gambar 5.15**). Berikut rekapitulasi berat tanah per pias (**Tabel 5.7**) dan perhitungan stabilitas geser *soil nailing*

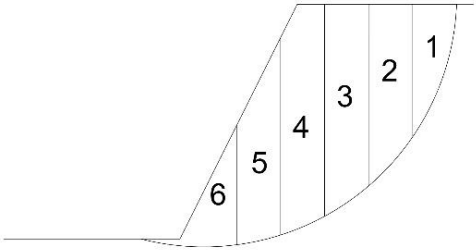
$$SF = \frac{\Sigma W \tan\phi}{\Sigma Paktif} = \frac{851{,}57 \tan(36)}{265{,}184} = 2{,}33 > 1{,}5 \text{ (OK)}$$

Tabel 5.7 Rekapitulasi berat tanah per pias

No Pias	γ_t	Luas Area	Berat Tanah (W)
1	18.4	4.4592	82.04928
2	18.4	8.1447	149.86248
3	18.4	10.1226	186.25584
4	18.4	11.0368	203.07712
5	18.4	8.1265	149.5276
6	18.4	4.3912	80.79808
		Total	851.5704



Gambar 5.16 Angka keamanan *soil nailing* dengan SF 1,65



Gambar 5.17 Pembagian pias lereng

Berdasarkan perhitungan perkuatan talud pada sub-bab sebelumnya, diperoleh rekapitulasi tabel perkuatan terhadap angka keamanan sebagai berikut (**Tabel 5.8**).

Tabel 5.8 Rekapitulasi Angka Keamanan Perkuatan Talud

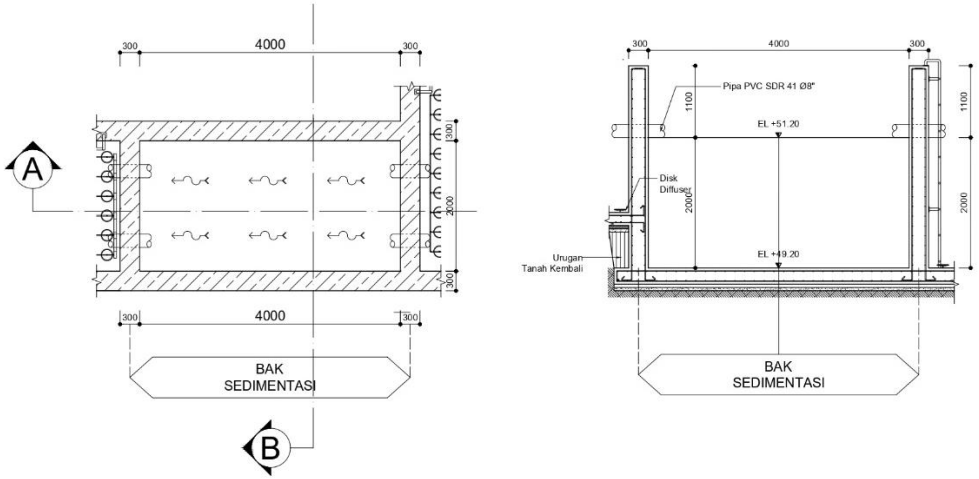
No.	Jenis Perkuatan	Angka Keamanan
1	Terasering kemiringan 1:1.5	1,565
2	Beronjong dengan *anchor*	1,581
3	Dinding penahan tanah	1,578
4	*Soil nailing*	1,65

BAB VI
PERENCANAAN STRUKTUR KOLAM IPL

Perencanaan strktur kolam Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPL) menggunakan dimensi yang telah direncanakan oleh Kementerian PUPR. Perencanaan struktur perlu memperhatikan tekanan aktif dari tanah dan air, sehimgga perlu penyesuaian terhadap tulangan dan mutu beton yang digunakan agar kolam tidak mengalami kerusakan. Kolam IPL terdiri dari 5 kolam yaitu kolam sedimentasi, pengumpul, aerasi, anaerob dan *wetland*. Contoh perhitungan hanya mengambil 1 jenis kolam yaitu kolam sedimentasi (**Gambar 6.1**) dan hasil perhitungan strktur kolam lainnya akan direkapitulasi dalam tabel.

Data Kolam Sedimentasi:

Panjang kolam	= 2 meter
Lebar kolam	= 4 meter
Tinggi kolam	= 3,1 meter
Tinggi air	= 2 meter
Tebal dinding	= 0,3 meter
Tebal pelat	= 0,3 meter
Data tanah:	
γ_{sat}	= 1,474 ton/m^3
γ_{air}	= 0,981 ton/m^3
γ'	$= 1{,}474 - 0{,}981$
	= 0,493 ton/m^3
ϕ	= 36^O
ϕ’	$= \frac{2}{3} \times 36 = 24^O$



Gambar 6.1 Dimensi kolam sedimentasi TPA Karimunjawa

6.1 Tekanan Aktif Tanah dan Air

Koefisien tekanan aktif tanah (Ka) dihitung dengan mempertimbangkan efek gempa yang kemungkinan terjadi di Pulau Karimunjawa. Berikut perhitungan Ka dengan menggunakan perumusan Mononobe – Okabe.

PGA = 0,2 – 0,25 g (Peta Sumber Bahaya dan Gempa Indonesia 2017)

FPGA = 0,25 (Peta Sumber Bahaya dan Gempa Indonesia 2017

SPGA = 1,6 (Peta Sumber Bahaya dan Gempa Indonesia 2017)

PGAM = FPGA × SPGA = 0,25 × 1,6 = 0,4

g = 9,81

$k_h = 0{,}5 \times \frac{PGAM}{g} = 0{,}5 \times \frac{0{,}4}{9{,}81} = 0{,}020408$

$k_v = 0{,}5 \times k_h = 0{,}5 \times 0{,}020408 = 0{,}010204$

$\theta = \tan^{-1}\left[\frac{k_h}{1-k_v}\right] = \tan^{-1}\left[\frac{0{,}020408}{1-0{,}010204}\right] = 1{,}181189^{O}$

$$K_{AE} = \frac{\sin^2(\phi-\beta-\theta)}{\cos\theta\cos^2\beta\sin(\delta+\beta+\theta)\times[1+\sqrt{\frac{\sin(\delta+\phi)\sin(\phi-\theta-i)}{\cos(\delta+\beta+\theta)\cos(i-\beta)}}]^2}$$

$$K_{AE} = \frac{\sin^2(17{,}33-0-1{,}181189)}{\cos(1{,}1812)\cos^2(0)\sin(0+0+1{,}1812)\times[1+\sqrt{\frac{\sin(0+17{,}33)\sin(24-0-0)}{\cos(0+0+1{,}1812)\cos(0-0)}}]^2} = 0{,}556$$

Berikut perhitungan tekanan aktif akibat tanah dan air dengan diagram tekanan tanah pada **Gambar 6.2**.

Perhitungan tekanan tanah aktif

$\sigma'_{v1} = \gamma' \times h = 0{,}493 \times 3{,}1$

$= 1{,}5283$ ton/m^2

$\sigma'_{h1} = (\sigma'_{v1} \times K_{AE})$

$\sigma'_{h1} = (1{,}5283 \times 0{,}556) = 0{,}85042$ t/m^2

$Pa_1 = \sigma'_{h1} \times h \times 1 \times 0{,}5 \times (1 - k_v)$

$Pa_1 = \times 3{,}1 \times 1 \times 0{,}5 \times (1 - 0{,}010204)$

$= 2{,}609$ ton

Perhitungan tekanan air aktif:

σ_{air} $= \gamma_{air} \times h$

$= 0{,}981 \times 3{,}1 = 3{,}041$ t/m^2

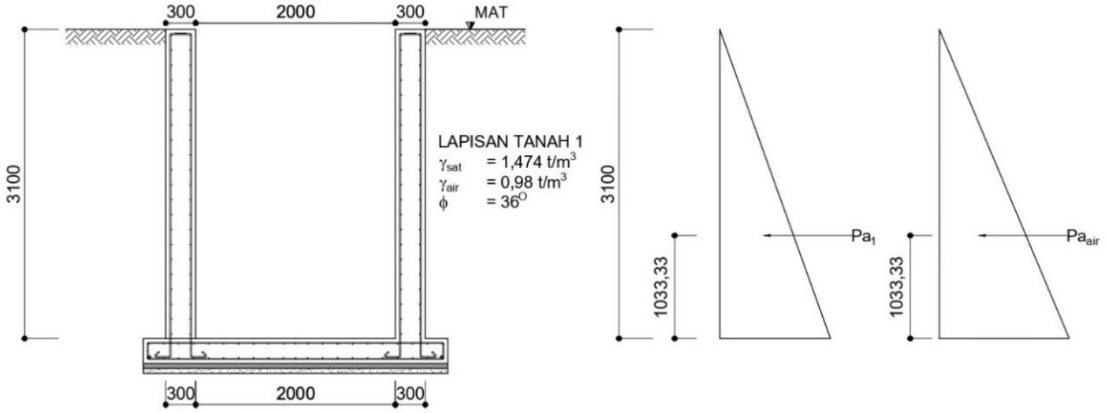
Pa_{air} $= \sigma_{air} \times h \times 1 \times 0{,}5 \times (1 - k_v)$

$= 3{,}041 \times 3{,}1 \times 1 \times 0{,}5 \times (1 - 0{,}010204) = 4{,}666$ ton

Berdasarkan perhitungan tekanan aktif tanah dan air, diperoleh momen dengan titik pusat dasar kolam sedimentasi (**Tabel 6.1**).

Tabel 6.1 Rekapitulasi Gaya dan Momen Aktif

P		**Lengan**	**Momen**
ton		**m**	**tonm**
Pa_1	2,609	1,03333	2,696
Pa_{air}	4,666	1,03333	4,821
		ΣM	7,518



Gambar 6.2 Diagram tekanan tanah dan air kolam sedimentasi

Langkah selanjutnya adalah menghitung kontrol kolam terhadap gaya *uplift* atau gaya angkat yang disebabkan oleh air di dalam tanah. Kontrol tersebut bertujuan untuk mencegah terjadinya bagian dasar kolam terangkat oleh beban air. Apabila berat dari struktur kolam lebih besar dari gaya angkat, maka kolam dapat dikategorikan aman terhadap gaya *uplift*. Dalam perhitungan kontrol gaya angkat, diasumsikan bahwa kolam tidak terisi oleh air lindi, sehingga perhitungan dalam kondisi terkritis. Berikut perhitungan gaya *uplift* pada dasar kolam sedimentasi.

Berat kolam (W) $= \gamma_{beton} \times V_{beton\ kolam}$
$= 2{,}4 \times (V_{dinding} + V_{pelat\ dasar})$
$= 2{,}4 \times (((2 \times 0{,}3 \times 2 \times 3{,}1) + (2 \times 0{,}3 \times 4 \times 3{,}1)) + (0{,}3 \times 2{,}6 \times 4))$
$= 34{,}272$ ton

Tegangan *uplift* $= \gamma_{air} \times h_{air}$
$= 1 \times 3{,}1 \quad = 3{,}1$ ton/m^2

Gaya *uplift* (P) = Tegangan × B × L
$= 3{,}1 \times 2 \times 4 = 24{,}33$ ton

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh kondisi berat kolam lebih besar daripada gaya *uplift* (W > P), sehingga dapat disimpulkan kolam sedimentasi aman terhadap gaya angkat.

6.2 Desain Struktur Dinding Kolam IPL

Data perencanaan:

Cover = 40 mm
$D_{tulangan}$ = 13 mm
$D_{tulangan\ pembagi}$ = 8 mm
fy = 390 MPa
fc’ = 25 MPa

Berikut perencanaan penulangan dinding kolam sedimentasi.

d = Tebal dinding – cover – $(0{,}5 \times D_{tulangan})$
d = $300 - 40 - (0{,}5 \times 16) = 253{,}5$ mm

m $= \frac{fy}{0{,}85 \times fc'} = \frac{420}{0{,}85 \times 25} = 18{,}35$

$Mn = \frac{Mu}{0,8} = \frac{7,952 \times 9,81 \times 10^6}{0,8} = 73.746.736,3$ Nmm

$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{773.746.736,3}{1000 \times 253,5^2} = 1,462$ MPa

$\beta_1 = 0,85$

$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta 1 \times fc'}{fy} \times \frac{600}{600+fy}$

$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{390} \times \frac{600}{600+390} = 0,02806$

$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,02105$

$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{390} = 0,003589$

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn \times m}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{18,35} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,462 \times 18,35}{390}}\right) = 0,00389$

$As_{perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d$

$= 0,00389 \times 1000 \times 253,5 = 985,64$ mm^2

Jumlah tulangan $= \frac{As\ perlu}{0,25 \times \pi \times d^2} = \frac{985,64}{0,25 \times \pi \times 13^2} = 7,87 \approx 8$ buah

Spasi tulangan $= \frac{0,25 \times \pi \times d^2 \times b}{0,25 \times \pi \times d^2 \times n} = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 8}$

$= 125$ mm ≈ 120 mm

Maka tulangan yang digunakan yaitu 8 D13 – 120.

Dipasang tulangan pembagi = 0,2 As_{perlu} = 221,2 mm^2

Jumlah tulangan $= \frac{As\ perlu}{0,25 \times \pi \times d^2} = \frac{221,2}{0,25 \times \pi \times 8^2} = 4,4 \approx 5$ buah

Spasi tulangan $= \frac{0,25 \times \pi \times d^2 \times b}{0,25 \times \pi \times d^2 \times n} = \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 5} = 200$ mm

≈ 150 mm

Maka tulangan pembagi yang digunakan yaitu 5 D13 – 150.

6.3 Desain Struktur Pelat Dasar Kolam IPL

Beban akibat air kolam $= \gamma_{air} \times h = 0,981 \times 3,1 = 3,0411$ t/m^2

lx = 4 meter

ly = 2 meter

ly/lx = 2

wlx = 62
(Interpolasi tabel koefisien momen pelat 2 arah PBI 1971)
wly = 35
(Interpolasi tabel koefisien momen pelat 2 arah PBI 1971)
Mlx = - Mlx = wlx × Q × ly^2 = 0,062 × 3041,1 × 4^2
= 3.016,77 kgm
Mly = - Mly = wly × Q × lx^2 = 0,035 × 3041,1 × 2^2
= 425,75 kgm
Data perencanaan:
Cover = 40 mm
$D_{tulangan}$ = 13 mm
fy = 390 MPa
fc' = 25 MPa
Berikut perencanaan penulangan dinding kolam sedimentasi.
d = Tebal dinding – cover – (0,5 × $D_{tulangan}$)
d = 300 – 40 – (0,5 × 13) = 253,5 mm

$$m = \frac{fy}{0{,}85 \times fc'} = \frac{420}{0{,}85 \times 25} = 18{,}35$$

$$Mn = \frac{Mu}{0{,}8} = \frac{29.594.525 \times 9{,}81 \times 10^3}{0{,}8} = 36.993.156{,}8 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{36.993.156{,}8}{1000 \times 253{,}5^2} = 0{,}59 \text{ MPa}$$

β_1 = 0,85

$$\rho_b = \frac{0{,}85 \times \beta 1 \times fc'}{fy} \times \frac{600}{600+fy}$$

$$= \frac{0{,}85 \times 0{,}85 \times 25}{390} \times \frac{600}{600+390} = 0{,}02806$$

ρ_{max} = 0,75 × ρ_b = 0,02105

$$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{fy} = \frac{1{,}4}{390} = 0{,}003589$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn \times m}{fy}}\right)$$

$$= \frac{1}{18{,}35} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0{,}59 \times 18{,}35}{390}}\right) = 0{,}001533589$$

Dikarenakan nilai ρ_{perlu} lebih kecil dari ρ_{min}, maka untuk perhitungan selanjutnya menggunakan ρ_{min}.

$As_{perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d$

$= 0{,}003589 \times 1000 \times 253{,}5 = 910\ mm^2$

Jumlah tulangan $= \frac{As\ perlu}{0{,}25 \times \pi \times d^2} = \frac{910}{0{,}25 \times \pi \times 13^2} = 6{,}85 \approx 7$ buah

Spasi tulangan $= \frac{0{,}25 \times \pi \times d^2 \times b}{0{,}25 \times \pi \times d^2 \times n} = \frac{0{,}25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{0{,}25 \times \pi \times 10^2 \times 7}$

$= 120$ mm

Maka tulangan yang digunakan yaitu 7 D13 – 120.

Berdasarkan perhitungan diatas, penggunaan tulangan dan mutu beton untuk setiap kolam dapat direkapitulasi pada **Tabel 6.2**.

Tabel 6.2 Rekapitulasi Dimensi dan Penulangan Struktur Kolam IPL TPA Karimunjawa

Jenis Kolam	**Sedimentasi**	**Pengumpul 1**	**Pengumpul 2**	**Aerasi**	**Anaerob**	**Wetland**
Panjang (m)	4	3	3	6	7	6
Lebar (m)	2	1,5	2	3	3,5	3
Tinggi (m)	3,1	2,8	3,92	3,1	4,45	2,25
Mutu Beton (MPa)	25	25	25	25	25	25
Mutu Baja (MPa)	390	390	390	390	390	390
Tebal Dinding (mm)	300	300	300	300	300	300
Tebal Pelat (mm)	300	200	200	300	600	300
Selimut beton dinding (mm)	40	40	40	40	40	40
Selimut beton pelat (mm)	40	40	40	40	40	40
Tulangan Dinding (mm)	D13 - 120	D13 - 150	D19 - 130	D13 - 120	D22 - 100	D13 - 150

Jenis Kolam	Sedimentasi	Pengumpul 1	Pengumpul 2	Aerasi	Anaerob	Wetland
Tulangan Pembagi (mm)	D8 - 150	D8 - 150	D10 - 150	D8 - 150	D10 - 100	D8 - 150
Tulangan Pelat (mm)	D13 - 120	D10 - 140	D10 - 140	D13 - 120	D19 - 140	D16 - 120
Gaya uplift atau P (ton)	24.3288	12.3606	23.07312	54.7398	106.953525	39.7305
Berat beton atau W (ton)	31.776	21.168	31.968	55.728	108.612	44.712
W > P	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VII
PERENCANAAN ZONA *LANDFILL*

Perencanaan zona *landfill* TPA Karimunjawa meliputi perencanaan perkuatan timbunan sampah dan pelapisan dasar zona *landfill*. Perkuatan timbunan sampah dilakukan untuk menghindari terjadinya keruntuhan timbunan sampah pada saat proses penimbunan. Untuk mengatasi rembesan air lindi yang diakibatkan oleh timbunan sampah, maka diperlukan suatu proteksi dengan geomembrane, sehingga air lindi tidak merusak air tanah.

7.1 Perkuatan Timbunan Sampah

Timbunan sampah direncanakan memiliki hingga mencapai ketinggian 20 meter. Direncanakan perkuatan timbunan sampah dengan menggunakan perkuatan terasering. Kemiringan timbunan direncanakan memiliki perbandingan 1:1 dengan ketinggian setiap bagian terasering adalah 4 meter. Perencanaan kemiringan timbunan dengan perbandingan 1:1 agar dapat melakukan efisiensi terhadap lahan *landfill*. Area *landfill* berada di samping talud TPA Karimunjawa (**Gambar 7.**). Berikut data timbunan sampah TPA Karimunjawa.

Data sampah:

γ_{sampah} = 8 kN/m^3

c = 6 kN/m^2

ϕ = 30^O

Tinggi timbunan sampah = 20 meter

Lebar timbunan sampah = 53 meter

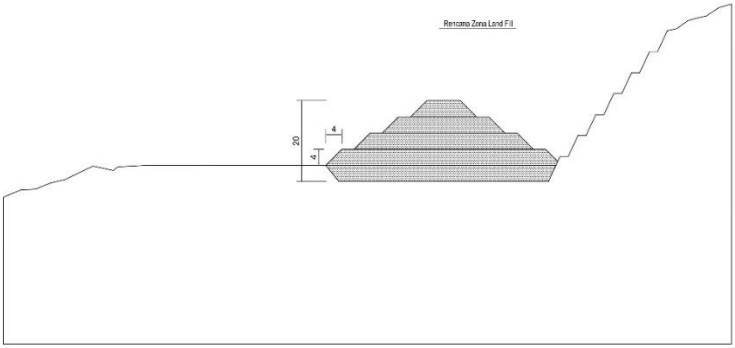
Kemiringan talud:

Perbandingan kemiringan = 1:1

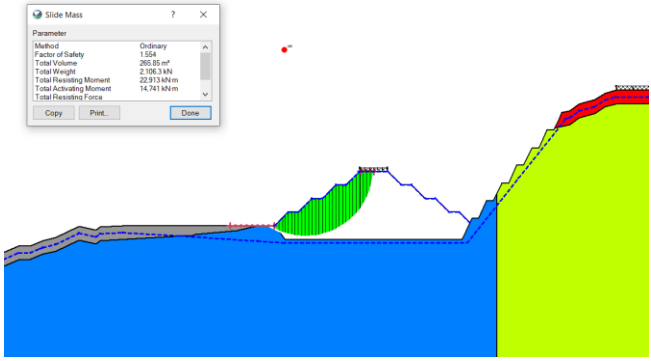
$\beta = \arctan\left(\frac{1}{1}\right) = 45^O$

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan program bantu Geostudio, diperoleh angka keamanan (SF) terhadap longsor sebesar 1,554, sehingga tidak memerlukan metode perbaikan tanah dasar.

Apabila angka keamanan talud timbunan sampah tidak memenuhi persyaratan, maka *slope* atau kemiringan talud perlu dianalisis lebih lanjut dan merencanakan perbaikan tanah dasar agar angka keamanan memenuhi persyaratan.



Gambar 7.1 Diagram tekanan air kolam sedimentasi



Gambar 7.2 Hasil analisis talud timbunan sampah dengan perbandingan kemiringan 1:1 dengan SF 1,554

Selain mengetahui angka keamanan timbunan sampah terhadap longsor, diperlukan perhitungan daya dukung tanah dasar serta penurunan (*settlement*) yang terjadi akibat beban timbunan

sampah. Penurunan yang terjadi tergolong *immediate* karena jenis tanah yang tergolong pasir batuan. Berikut perhitungan penurunan lapisan tanah serta daya dukung tanah.

Data Tanah:

γ_{sat} = 21,47 kN/m^3

γ_t = 18,3 kN/m^3

γ_{air} = 9,81 kN/m^3

γ' = $21,47 - 9,81$ = 11,66 kN/m^3

c = 0 kN/m^2

E = 69.000 kN/m^2 (pasir padat) = 690 t/m^2

Cv = 0,028 cm/s

Berdasarkan data tersebut dapat dihitung *immediate settlement*.

Si = $\frac{(\gamma_{dry}\, x\, H1)+(\gamma' x\, H2)}{E}$ x $\frac{a^2}{a-a'}\left[\Gamma_H - \left(\frac{a'}{a}\right)^2 \Gamma'_H\right]$

h = 20 meter

H = 20 meter

a = $\frac{53+(20\, x\, 1)}{2}$(slope 1:1)

a = 36,5 meter

a' = $\frac{53}{2}$ = 26.5 meter

Γ_H dan Γ'_H diperoleh dari grafik pada **Gambar 7.3**

$\frac{h}{a}$ = $\frac{20}{36,5}$ = 0,547

$\frac{x}{a}$ = $\frac{0}{36,5}$ = 0

Sehingga diperoleh Γ_H = 0,14

$\frac{h}{a'}$ = $\frac{20}{26,5}$ = 0,755

$\frac{x}{a'}$ = $\frac{0}{26,5}$ = 0

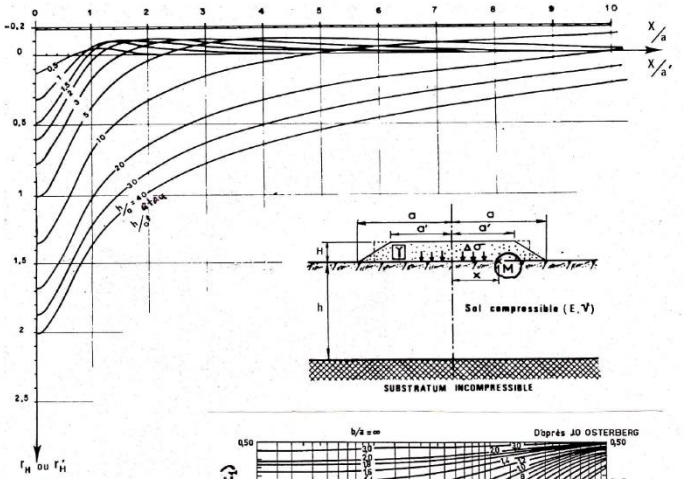
Sehingga diperoleh Γ'_H = 0,26

Sehingga:

Si $= \frac{(\gamma_{sampah} \text{ x } H1)}{E} \text{ x } \frac{a^2}{a-a'} \left[\Gamma_H - \left(\frac{a'}{a}\right)^2 \Gamma'_H\right]$

$= \frac{(0{,}8 \times 20)}{690} \text{ x } \frac{36{,}5^2}{36{,}5-26{,}5} \left[0{,}14 - \left(\frac{26{,}5}{36{,}5}\right)^2 0{,}26\right]$

Si = 0,02372 m = 2,37 cm



Gambar 7.3 Grafik penentuan Γ_H dan Γ'_H

Selanjutnya menghitung daya dukung tanah dengan perumusan di bawah ini. Dengan menggunakan grafik pada **Tabel 2.7**, diperoleh parameter tanah sebagai berikut:

N_c = 19,52

N_q = 9,92

N_γ = 7,18

B = 53 meter

$q_u = c \times N_c + q \times N_q + 0{,}5 \times \gamma \times B \times N_\gamma$

$q_u = 0 \times 19{,}52 + 0 \times 1{,}3 \times 9{,}92 +$
$0{,}5 \times 21{,}47 \times 53 \times 7{,}18 = 4085{,}097$ kN/m^2

$q_{sampah} = \gamma_{sampah} \times B$

$q_{sampah} = 8 \times 53 = 424$ kN/ kN/m^2

$FS_{daya\ dukung} = \frac{qu}{qsampah} = \frac{4085,097}{424}$

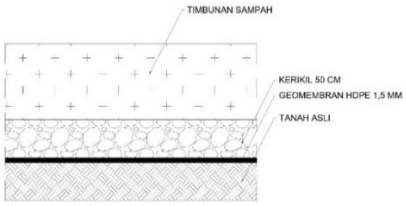
$FS_{daya\ dukung}$ = 9,63 > 3 (SNI 8460:2017) (OK)

7.2 Perencanaan Geomembran sebagai Lapisan Dasar *Landfiil*

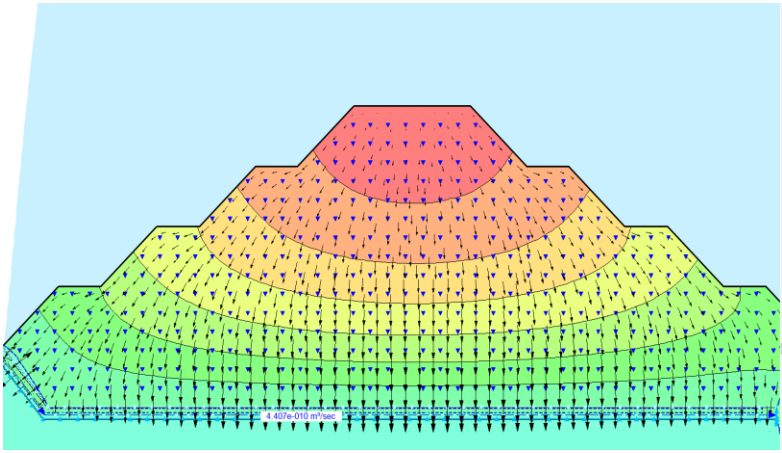
Geomembran merupakan lembaran kedap air yang terbuat material *polyethylene* serta mempunyai ketahanan terhadap pengaruh zat kimia maupun biologis. Pada umumnya geomembran digunakan menahan air dari permukaan tanah meresap ke dalam tanah. Geomembran digunakan sebagai lapisan dasar TPA sehingga geomembran memiliki nilai permeabilitas < 10^{-6} cm/det (Permen PU – 03 – 2013). Perencanaan geomembran menggunakan material dari PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan spesifikasi sebagai berikut.

Jenis Geomembran = HDPE
Tebal Geomembran = 1,5 mm
Angka permeabilitas = 2,19E-13 m/s
Gaya tarik *ultimate* = 43 N/mm

Untuk mengetahui rembesan air lindi yang diakibatkan oleh timbunan sampah, maka digunakan program bantu SEEP/W dalam GeoStudio. Permodelan lapisan dasar *landfill* seperti pada **Gambar 7.4**. Berdasarkan hasil permodelan dengan program bantu GeoStudio, didapatkan nilai rembesan sebesar 4,407E-10 m/s (**Gambar 7.5**), sehingga nilai tersebut lebih kecil dari syarat yang ditentukan oleh perarturan Permen PU – 03 – 2013 (< 10^{-6} cm/det).



Gambar 7.4 Permodelan lapisan zona *landfill* pada program bantu GeoStudio



Gambar 7.5 Hasil rembesan air lindi timbunan sampah dengan program bantu GeoStudio

BAB VIII
KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan mengenai perencanaan eksisting TPA Karimunjawa oleh Kementerian PUPR serta perencanaan alternatif perkuatan talud, perencanaan struktur kolam pengolahan lindi, dan perencanaan zona *landfill* TPA Karimunjawa.

1. Berdasarkan hasil analisis dengan program bantu GeoStudio, diperoleh angka keamanan sebesar 0,531 terhadap perencanaan talud oleh Kementerian PUPR.
2. Perkuatan talud yang direncanakan untuk mencegah kelongsoran pada talud TPA Karimunjawa terdapat 4 jenis perkuatan, yaitu perkuatan dengan terasering, dinding penahan tanah kantilever, beronjong dengan angkur, serta *soil nailing*. Berdasarkan perhitungan pada Bab 5, diperoleh rekapitulasi angka keamanan pada **Tabel 8.1**.

Tabel 8.1 Rekapitulasi Angka Keamanan Perkuatan Talud TPA Karimunjawa

No.	Jenis Perkuatan	Angka Keamanan
1	Terasering kemiringan 1:1.5	1,565
2	Beronjong dengan *anchor*	1,581
3	Dinding penahan tanah	1,578
4	*Soil nailing*	1,65

3. Proteksi yang digunakan untuk menahan air lindi akibat timbunan sampah adalah lapisan geomembrane HDPE dengan ketebalan 1,5 mm. dengan material berdasarkan brosur PT. Teknindo Geosistem Unggul. Berdasarkan program bantu GeoStudio, diperoleh angka rembesan sebesar 4,407E-10 m/s.
4. Perencanaan TPA Karimunjawa dengan *controlled landfill* meliputi tinggi timbunan sampah pelapisan dasar zona

landfill, dan kolam pengolahan lindi. Timbunan sampah direncanakan dengan ketinggian 20 meter (**Gambar 7.1**) dan menghasilkan angka keamanan sebesar 1,554 terhadap kelongsoran serta penurunan tanah akibat beban sampah sebesar 2,37 cm. Pelapisan dasar zona *landfill* menggunakan lapisan kerikil ketebalan 50 cm dan lapisan geomembrane ketebalan 1,5 mm (**Gambar 7.3**). Perencanaan kolam pengolahan lindi meliputi perhitungan struktur kolam dan kontrol terhadap tekanan tanah serta gaya *uplift*. Dimensi dan penulangan IPL dapat direkapitulasi pada **Tabel 8.2**.

5. Perbandingan perencanaan TPA Karimunjawa oleh Kementerian PUPR dengan perencanaan alternatif terdapat perbedaan pada perkuatan talud. Perkuatan talud yang direncanakan oleh Kementerian PUPR hanya menggunakan terasering dengan angka keamanan sebesar 0,531, sehingga diperlukan suatu alternatif perkuatan talud.

Tabel 8.2 Rekapitulasi Dimensi dan Penulangan Struktur Kolam IPL
TPA Karimunjawa

Jenis Kolam	**Sedimentasi**	**Pengumpul 1**	**Pengumpul 2**	**Aerasi**	**Anaerob**	**Wetland**
Panjang (m)	4	3	3	6	7	6
Lebar (m)	2	1,5	2	3	3,5	3
Tinggi (m)	3,1	2,8	3,92	3,1	4,45	2,25
Mutu Beton (MPa)	25	25	25	25	25	25
Mutu Baja (MPa)	390	390	390	390	390	390
Tebal Dinding (mm)	300	300	300	300	300	300
Tebal Pelat (mm)	300	200	200	300	600	300
Selimut beton dinding (mm)	40	40	40	40	40	40
Selimut beton pelat (mm)	40	40	40	40	40	40

Tulangan Dinding (mm)	D13 - 120	D13 - 150	D19 - 130	D13 - 120	D22 - 100	D13 - 150
Tulangan Pembagi (mm)	D8 - 150	D8 - 150	D10 - 150	D8 - 150	D10 - 100	D8 - 150
Tulangan Pelat (mm)	D10 - 120	D10 - 140	D10 - 140	D10 - 120	D13 - 140	D10 - 120
Gaya uplift atau P (ton)	24.3288	12.3606	23.07312	54.7398	106.953525	39.7305
Berat beton atau W (ton)	31.776	21.168	31.968	55.728	108.612	44.712
W > P	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2017. **SNI 8460:2017*:* Persyaratan Perancangan Geoteknik**. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Clarina, Brena A. 2020. **Rekomendasi Solusi untuk Mengatasi Kelongsoran pada Lereng Jalan Akses PLTA Musi (KM. 5 dan KM. 8) dengan Pendekatan Cracked Soil**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Das, Braja M. 1988. **Mekanika Tanah: Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 1**. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.

Das, Braja M. 1993. **Mekanika Tanah: Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 2**. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.

Das, Braja M. 2007. **Principles of Foundation Engineering Sixth Edition**.

Dwi, Faizal L. 2020. **Alternatif Perencanaan Perkuatan Lereng Jalan Tol Surabaya – Mojokerto KM. 737+400**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Koerner, Robert M. 1933. **Designing with Geosynthetics Fifth Edition**.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. 2013. **Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga**. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia.

Lee, F. H., & Gu, Q. (2004). "Method for Estimating Dynamic Compaction Effect on Sand." **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering** 130, 2:139–152.

Nicholson, Peter G. 2014. **Soil Improvement and Ground Modification Methods**. United Kingdom: Butterworth-Heinemann

Van Zuidam, R. A. 1985. **Aerial Photo – Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphlogic Mapping.** Washington:

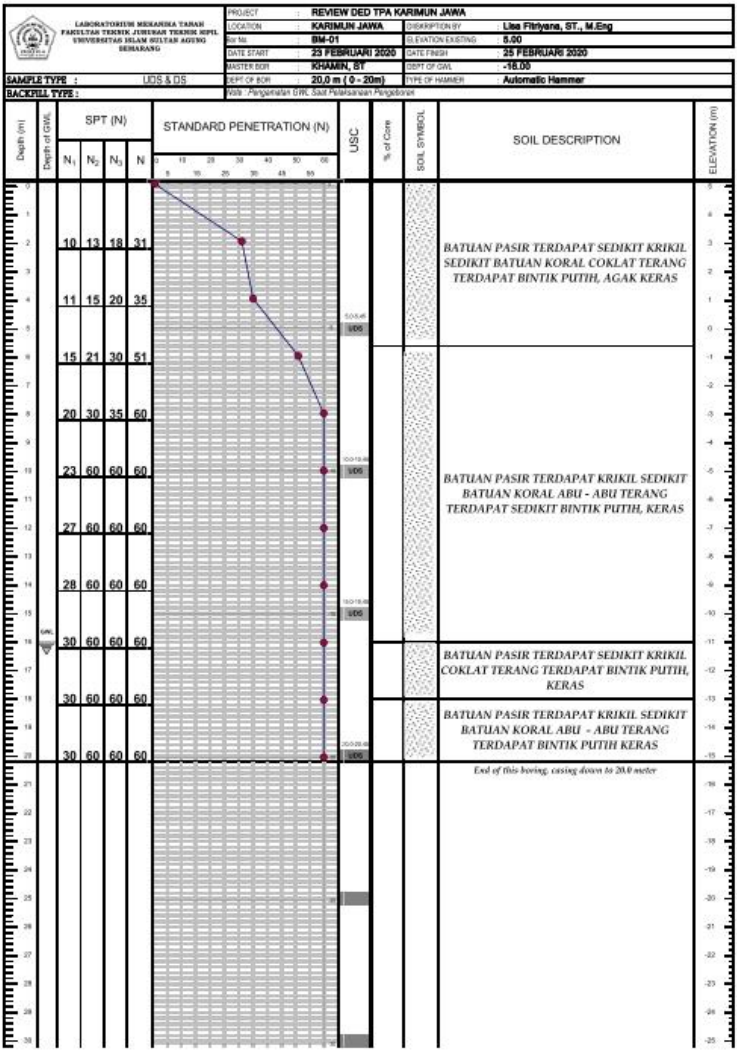
Rosita, Salma. 2020. **Analisis Perencanaan Desain Sanitary Landfill dan Lapisan Dasar Tanah agar Mencegah Pencemaran Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Ngipik-Gresik**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Wahyudi, Herman. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dalam**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

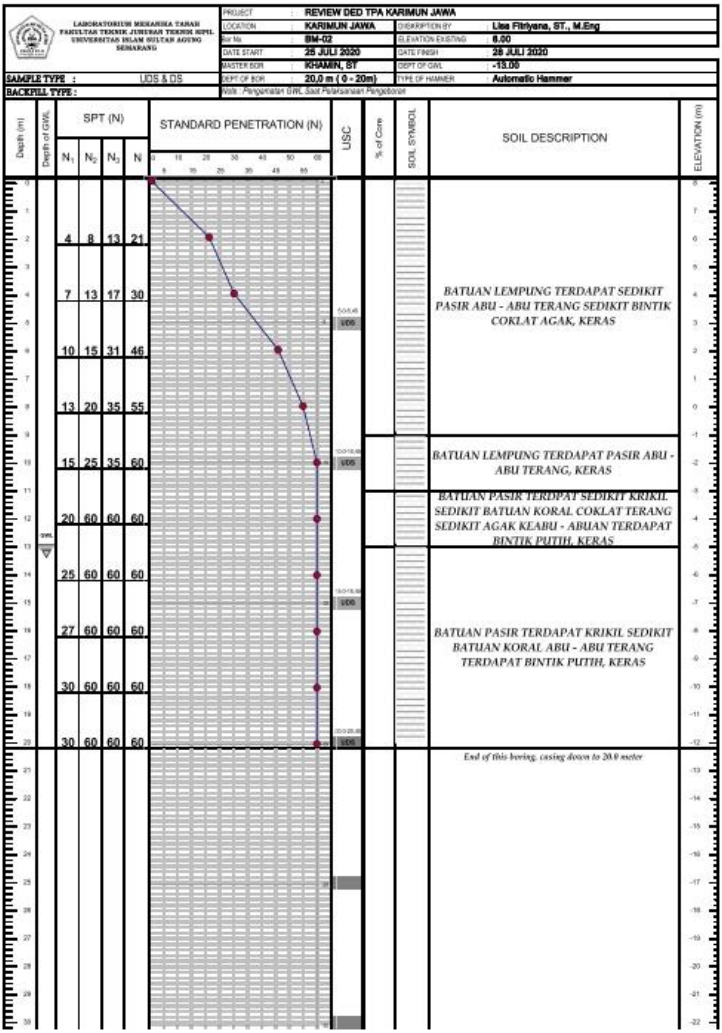
Widitama, Raditya. 2015. **Perencanaan Alternatif Perbaikan Lereng Jalur Tenggarong – Samarinda (STA. 9 +071 – STA. 9 +119)**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN I
DATA TANAH

DATA N-SPT TPA KARIMUNJAWA (TITIK BOR 1 EL. +71,1)



DATA N-SPT TPA KARIMUNJAWA (TITIK BOR 2 EL. +61,2)



RANGKUMAN DATA TANAH TPA KARIMUNJAWA

SUMMARY OF SOIL DATA

PEKERJAAN/PROYEK : REVIEW DED TPA KARIMUNJAWA
LOKASI : KARIMUNJAWA KABUPATEN JEPARA

No	Sample No	Depth (m)	Gs	W (%)	γm (gr/cm3)	γd (gr/cm3)	e	n (%)	c (kg/cm2)	ϕ (°)	Atterberg Limits LL	PL	PI	Gravel %	Sand %	Silt %	Clay %	Triaxial UU c	ϕ	Consolidation cc
1	BM.1	5.00	2.693	17.789	1.640	1.392	0.934	0.483	0.141	34.19	NON PLASTIS			30.94	58.85	3.66	6.54	0.133	33.605	BATU
2	BM.1	10.00	2.759	15.900	1.658	1.430	0.929	0.482	0.161	34.19	NON PLASTIS			32.42	56.76	4.71	6.11	0.169	33.599	BATU
3	BM.1	15.00	2.633	6.651	1.713	1.607	0.639	0.390	0.233	34.19	NON PLASTIS			45.19	49.66	3.79	1.36	0.208	33.592	BATU
4	BM.1	20.00	2.724	10.928	1.756	1.583	0.720	0.419	0.193	35.99	NON PLASTIS			41.55	51.56	5.64	1.25	0.187	34.108	BATU
5	BM.2	5.00	2.741	16.811	1.662	1.423	0.926	0.481	0.161	34.19	NON PLASTIS			12.33	82.33	3.64	1.70	0.164	33.732	BATU
6	BM.2	10.00	2.628	15.937	1.664	1.435	0.831	0.454	0.173	35.10	NON PLASTIS			35.86	59.33	1.99	2.81	0.152	34.135	BATU
7	BM.2	15.00	2.732	8.702	1.744	1.604	0.703	0.413	0.157	36.86	NON PLASTIS			60.42	35.83	2.09	1.66	0.12	35.389	BATU
8	BM.2	20.00	2.756	10.339	1.810	1.640	0.680	0.405	0.221	36.86	NON PLASTIS			49.28	45.70	1.47	3.56	0.184	35.321	BATU

Note: Nilai Consolidation 0 = karena material batu

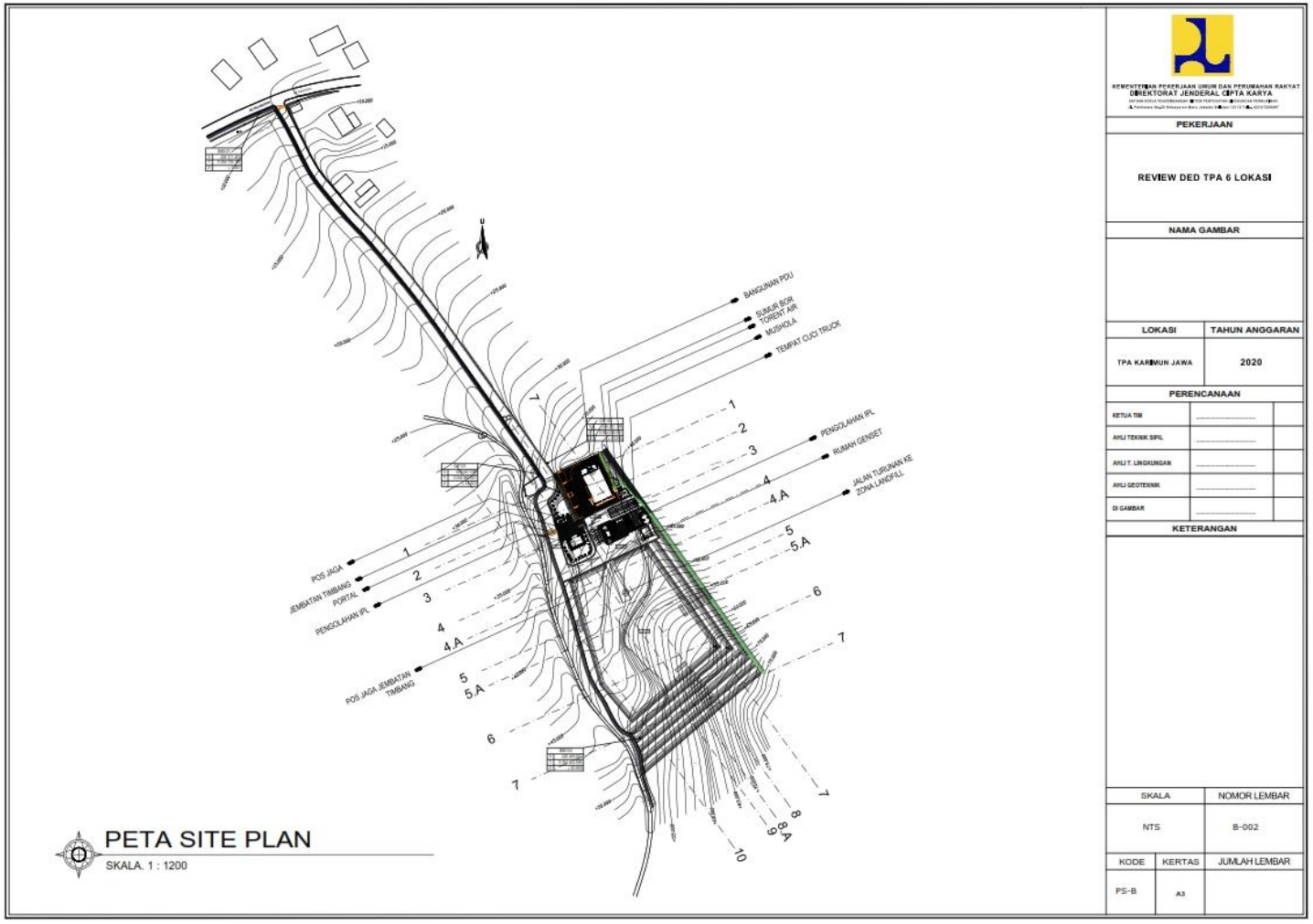
Semarang, 19 Agustus 2020
Laboratorium Mekanika Tanah Unissula
Kepala,

LISA FITRIYANA, S.T., M.Eng
NIK. 210216087

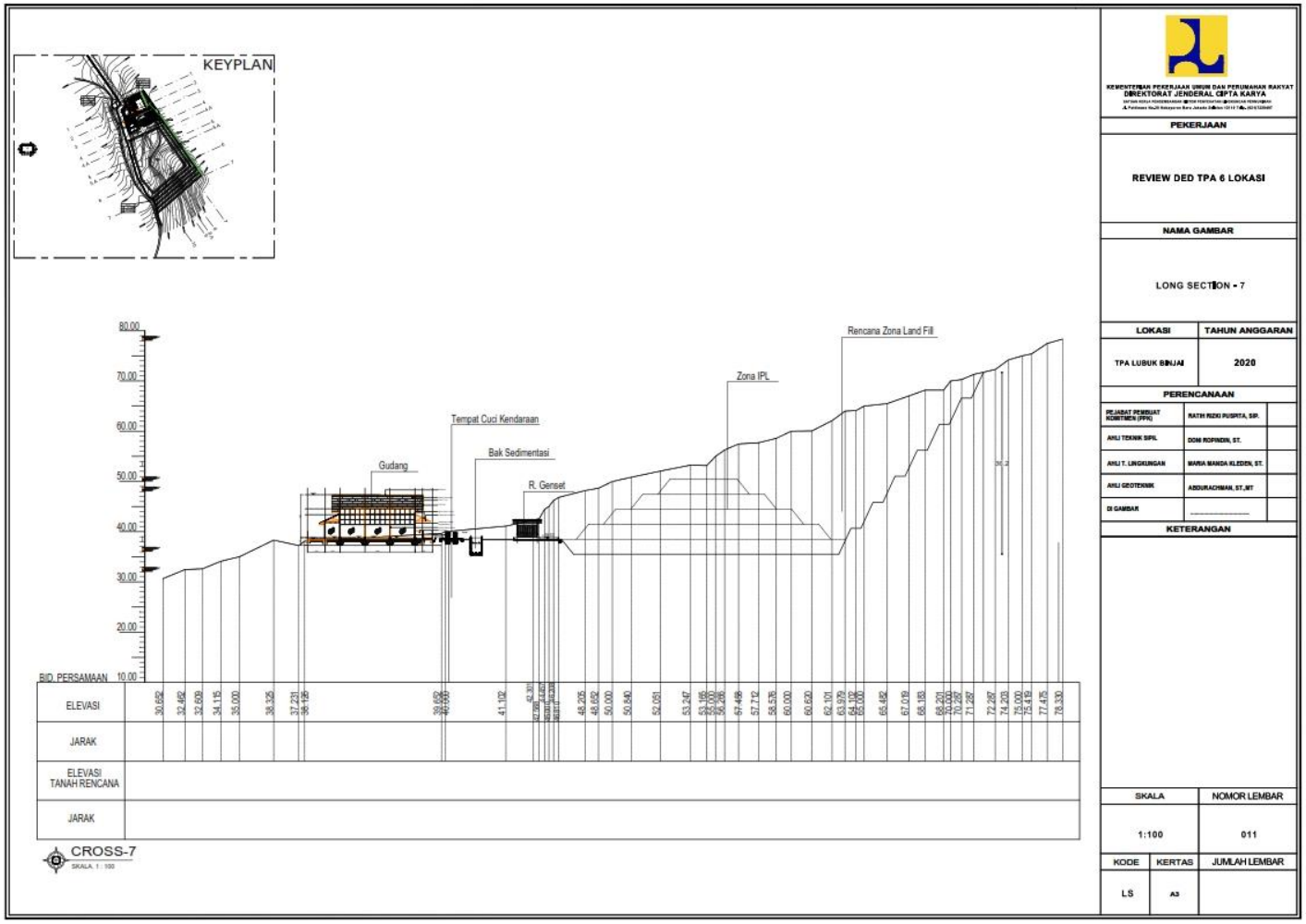
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK /JURUSAN SIPIL
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
(UNISSULA)

LAMPIRAN II
DENAH DAN *CROSS SECTION* TPA KARIMUNJAWA

DENAH TPA KARIMUNJAWA



CROSS SECTION TPA KARIMUNJAWA



LAMPIRAN III
SPESIFIKASI *GROUND ANCHOR*

Tendons specifications

Steel tendon		Diam. (mm) Nom.	Ext.	Min. cross-section mm²	Min. weight kg/m	Ultimate strength N/mm²	Ultimate load kN	Yield strength N/mm²	Yield load kN	Average Young modulus N/mm²
Prestressing strand	p 8-9	T12.5	12.5	93	0.73	1,860	173	1,650	152	195,000
		T12.9	12.9	100	0.78		186		164	
		T15.3	15.3	140	1.10		260		229	
		T15.7	15.7	150	1.18		279		246	
Freyssibar	p 10-11	26.5	28.8	552	4.56	1,030	568	835	461	170,000
		32	34.5	804	6.66		828		672	
		36	38.6	1,018	8.45		1,048		850	
		40	43.4	1,257	10.41		1,295		1,049	
		50	53.2	1,964	16.02		2,022		1,640	
Freyssi 670-E	p 12-13	22	23.8	375	2.94	800	300	670	251	210,000
		25	27.3	491	3.85		393		329	
		28	30.6	616	4.83		493		413	
		30	33.0	707	5.55		566		474	
		35	38.3	962	7.55		770		645	
		43	46.8	1,452	11.40		1,162		973	
		57.5	61.5	2,597	20.38		2,078		1,740	
		63.5	67.8	3,167	24.86		2,534		2,122	
Freyssi 500 / Freyssi 500E	p 12-13	20	22.1	314	2.47	550	173	500	157	210,000
		25	27.6	491	3.85		270		246	
		28	30.9	616	4.83		339		308	
		32	35.4	804	6.31		442		402	
		40	43.9	1,257	9.87		691		629	
		50	54.3	1,963	15.40		1,078		982	
		63.5	67.9	3,167	24.86	700	2,217	550	1,758	
Freyssi SD	p 14	R25N	25	250	2.00	600 to 850	200	500 to 680	150	190,000
		R32N	32	350	2.70		280		230	
		R32S	32	430	3.40		360		280	
		R38N	38	590	4.70		500		400	
		R51L	51	740	5.90		550		450	
		R51N	51	940	7.40		800		630	
		T76L	76	1,650	12.90		1,200		1,000	
		T76N	76	2,080	16.30		1,600		1,200	
		T76S	76	2,460	19.30		1,900		1,500	

LAMPIRAN IV
SOIL NAILING

thread bars

	Nominal Diameter - ø			Area	Minimum Yield Strength	Minimum Ultimate Strength	Weight	Maximum Bar Diameter	Part Number
	#	in.	mm	sq. in.	kips	kips	lbs./ft.	in.	
SAS 550 (BSt 550 S) / Grade 75/80									
B 550 / 620 N/mm² *Reinforcing Systems*			12	0.18	14	16	0.60	0.55	120GL
			14	0.24	19	21	0.81	0.63	140GL
	5	5/8	16	0.31	25	28	1.06	0.75	160GL
Geotechnical Systems	6	3/4	20	0.49	39	44	1.66	0.91	200GL
	8	1	25	0.76	61	68	2.59	1.14	250GL
	9	1-1/8	28	0.95	76	86	3.25	1.26	280GL
	10	1-1/4	32	1.25	99	112	4.24	1.42	320GL
	11	1-3/8	36	1.58	126	142	5.37	1.62	360GL
		1-5/8	40	1.95	156	176	6.63	1.77	400GL
	14	1-3/4	43	2.25	180	202	7.65	1.89	430GL
	16	2	50	3.04	242	273	10.35	2.20	500GL
	18	2-1/4	57	4.00	319	360	13.60	2.52	570GL
	20	2-1/2	63.5	4.91	393	498	16.71	2.76	635GL
Grade 97									
S 670 / 800 N/mm² *Geotechnical Systems*	6	3/4	18	0.39	38	46	1.34	0.83	180AT
	7	7/8	22	0.59	57	68	2.00	0.98	220AT
	8	1	25	0.76	74	88	2.59	1.10	250AT
	9	1-1/8	28	0.95	93	111	3.25	1.26	280AT
Tunneling / Mining	10	1-1/4	30	1.10	107	127	3.73	1.34	300AT
	11	1-3/8	35	1.49	145	173	5.07	1.57	350AT
	14	1-3/4	43	2.25	219	261	7.66	1.89	430AT
	18	2-1/4	57.5	4.03	391	467	13.67	2.48	575AT
	20	2-1/2	63.5	4.91	477	570	16.68	2.76	635AT
	24	3	75	6.85	665	795	23.27	3.21	750AT

LAMPIRAN V
PERHTUNGAN TEKANAN TANAH PADA *SOIL NAILING*

Perhitungan gaya tarik yang terjadi pada *soil nailing*

Gaya tarik yang terjadi pada soil nailing bagian atas				
Titik	**Sv**	**s'v**	**Tp**	**Tn maks**
	m	**kN/m^2**	**kN/m^2**	**kN/m**
1	1.2	26.2249	0.48841	8.302917
2	1.2	52.4498	0.97681	16.60583
3	1.2	78.6747	1.46522	24.90875
4	1.2	104.9	1.95363	33.21167
5	1.2	131.124	2.44203	41.51459
6	1.2	157.349	2.93044	49.8175

Gaya tarik yang terjadi pada soil nailing bagian bawah				
Titik	**Sv**	**σ'v**	**Tp**	**Tn maks**
	m	**kN/m^2**	**kN/m^2**	**kN/m**
1	1.2	49.2386	0.91701	15.5892
2	1.2	98.4771	1.83402	31.1783
3	1.2	147.716	2.75103	46.7675
4	1.2	196.954	3.66804	62.3566

Perhitungan tekanan tanah aktif yang terjadi pada *soil nailing*

Gaya aktif soil nailing atas			
Titik	**σ'v**	**σ'h**	**P**
	kN/m²	**kN/m²**	**kN**
1	10	3.20099	25.6079
2	78.4	25.0957	87.579
		Σ	113.187

Gaya aktif soil nailing bawah			
Titik	**σ'v**	**σ'h**	**P**
	kN/m²	**kN/m²**	**kN**
1	10	2.59616	20.7693
2	147.2	38.2155	142.477
		Σ	163.247

Perhitungan berat tanah per pias

Berat tanah per pias lereng atas			
No Pias	γ_t	Luas Area	Berat Tanah (W)
1	9.8	3.3377	32.70946
2	9.8	5.9772	58.57656
	18.4	0.981	18.0504
3	9.8	6	58.8
	18.4	2.192	40.3328
4	9.8	5.0109	49.10682
	18.4	2.6593	48.93112
5	9.8	2.0587	20.17526
	18.4	2.632	48.4288
6	18.4	1.3179	24.24936
		Total	399.36058

Berat tanah per pias lereng bawah			
No Pias	γ_t	Luas Area	Berat Tanah (W)
1	18.4	4.4592	82.04928
2	18.4	8.1447	149.86248
3	18.4	10.1226	186.25584
4	18.4	11.0368	203.07712
5	18.4	8.1265	149.5276
6	18.4	4.3912	80.79808
		Total	851.5704

LAMPIRAN VI
SPESIFIKASI GEOMEMBRAN

TESTED PROPERTY	TEST METHOD	FREQUENCY	MINIMUM AVERAGE VALUE								
Product Code			HDS 030 A00T	HDS 050 A00T	HDS 075 A00T	HDS 100 A00T	HDS 150 A00T	HDS 200 A00T	HDS 250 A00T	HDS 300 A00T
Thickness	ASTM D 5199	every roll								
Minimum average, mm (mil)			0.3 (12)	0.5 (20)	0.75 (30)	1.0 (40)	1.5 (60)	2.0 (80)	2.5 (100)	3.0 (120)
Lowest individual reading, mm (mil)			0.27 (10.8)	0.45 (18)	0.68 (27)	0.9 (36)	1.35 (54)	1.8 (72)	2.25 (90)	2.7 (108)
Density, g/cm³	ASTM D 1505	every 5th roll	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Tensile properties (each direction)	ASTM D 6693,Type IV	every 5th roll								
Strength at Break, N/mm-width (lb/in)	Dumbell, 2 ipm		8 (46)	14 (80)	21 (120)	28 (160)	43 (246)	57 (325)	71 (405)	85 (485)
Strength at Yield, N/mm-width (lb/in)			5 (29)	8 (46)	11 (63)	15 (86)	23 (131)	30 (171)	38 (217)	45 (257)
Elongation at Break, %	G.L. 51 mm(2.0 in)		600	700	700	700	700	700	700	700
Elongation at Yield, %	G.L. 33 mm(1.3 in)		13	13	13	13	13	13	13	13
Tear Resistance, N (lb)	ASTM D 1004	every 5th roll	40 (9)	65 (15)	93 (21)	125 (28)	187 (42)	249 (56)	311 (70)	373 (84)
Puncture Resistance, N (lb)	ASTM D 4833	every 5th roll	105 (24)	176 (40)	263 (59)	352 (79)	530 (119)	703 (158)	881 (198)	1,059 (238)
Carbon Black Content, %	ASTM D 1603	every 5th roll	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0
Carbon Black Dispersion	ASTM D 5596	every 5th roll	Note[9]	Note[9]	Note[9]	Note[9]	Note[9]	Note[9]	Note[9]	Note[9]
Notched Constant Tensile Load, hrs	ASTM D 5397, Appendix	90,000 kg	400	400	400	400	400	400	400	400
Oxidative Induction Time, minutes	ASTM D 3895, 200°C ;O2, 1 atm	90,000 kg	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100

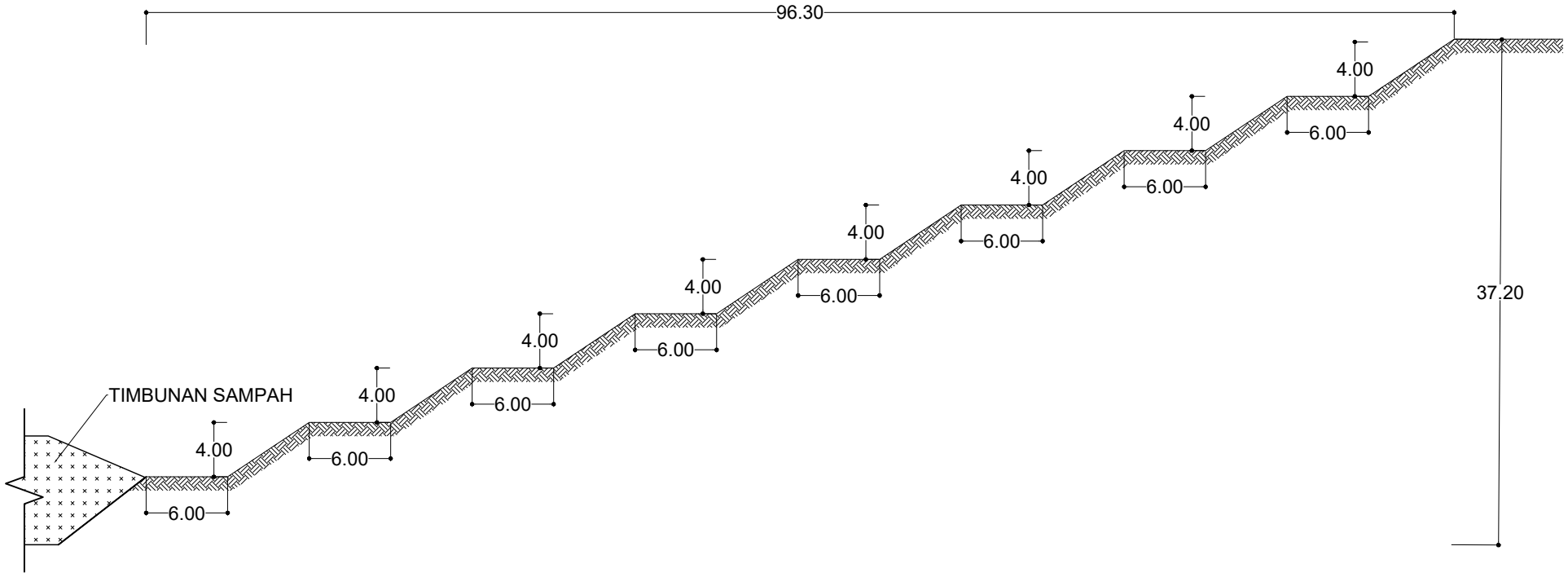
LAMPIRAN VII
GAMBAR PERKUATAN LERENG & GAMBAR KOLOM IPL

DAFTAR ISI GAMBAR
PERKUATAN LERENG

1. TERASERING TEBING
2. DETAIL TERASERING TEBING
3. PEMASANGAN BERONJONG DENGAN ANGKUR
4. DETAIL PEMASANGAN BERONJONG DENGAN ANGKUR (TAMPAK SAMPING)
5. DETAIL PEMASANGAN BERONJONG DENGAN ANGKUR (TAMPAK DEPAN)
6. DETAIL BLOK ANGKUR
7. DINDING PENAHAN TANAH
8. DETAIL DINDING PENAHAN TANAH
9. DETAIL A, B, DAN C DINDING PENAHAN TANAH
10. DENAH CERUCUK DAN DETAIL CERUCUK
11. PEMASANGAN SOIL NAILING
12. DETAIL SOIL NAILING (TAMPAK SAMPING)
13. DETAIL SOIL NAILING (TAMPAK DEPAN)

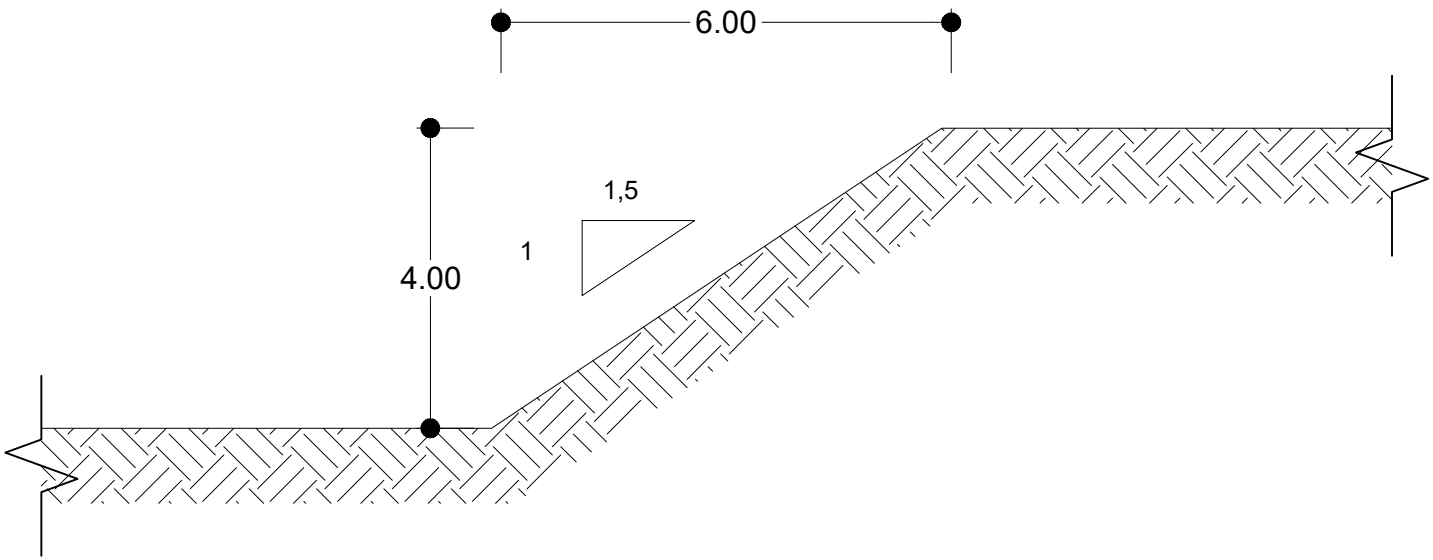
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
TUGAS AKHIR	-	-	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)



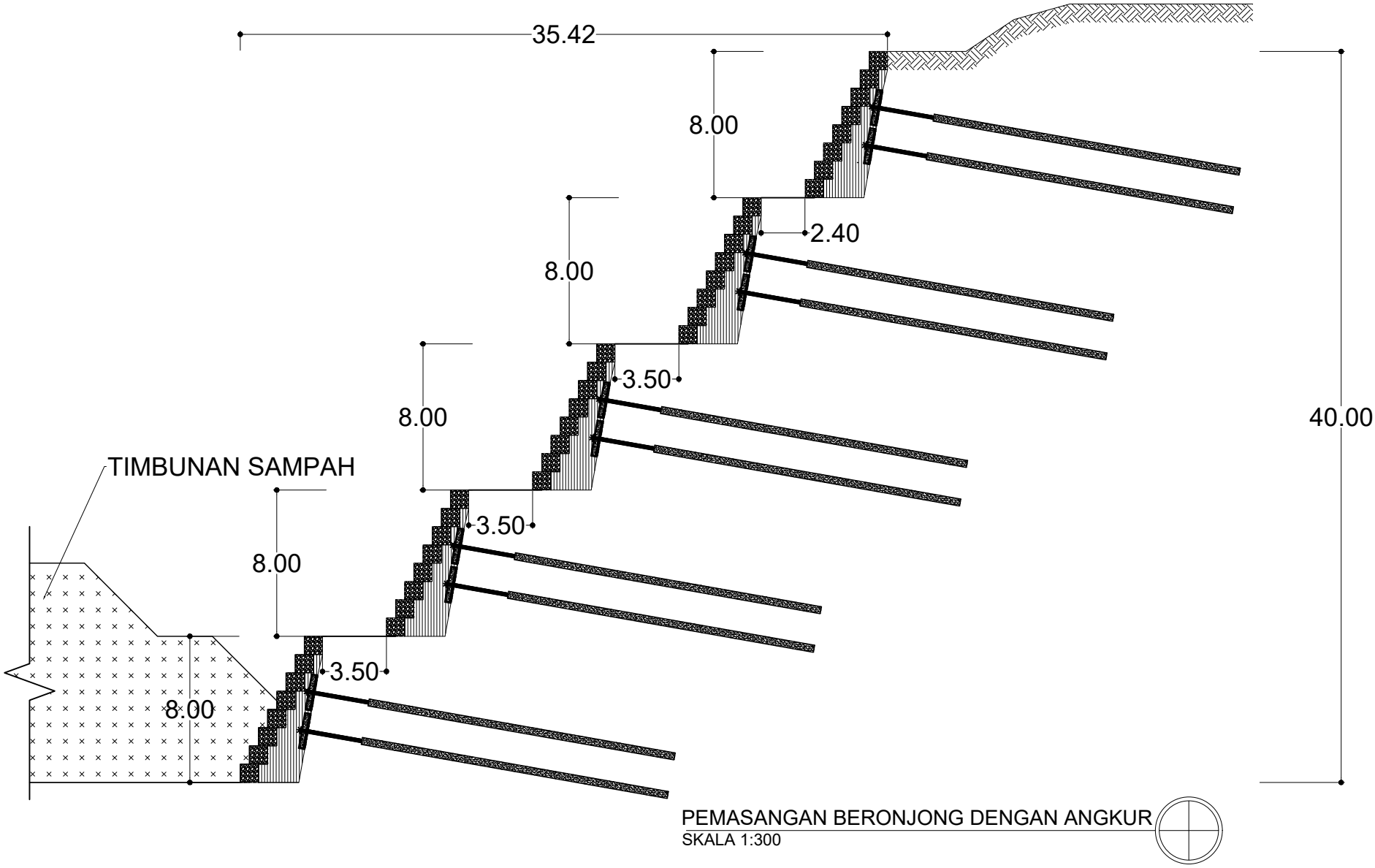
TERASERING TEBING
SKALA 1:450

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	1	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)



DETAIL SLOPE TERASERING
SKALA 1:100

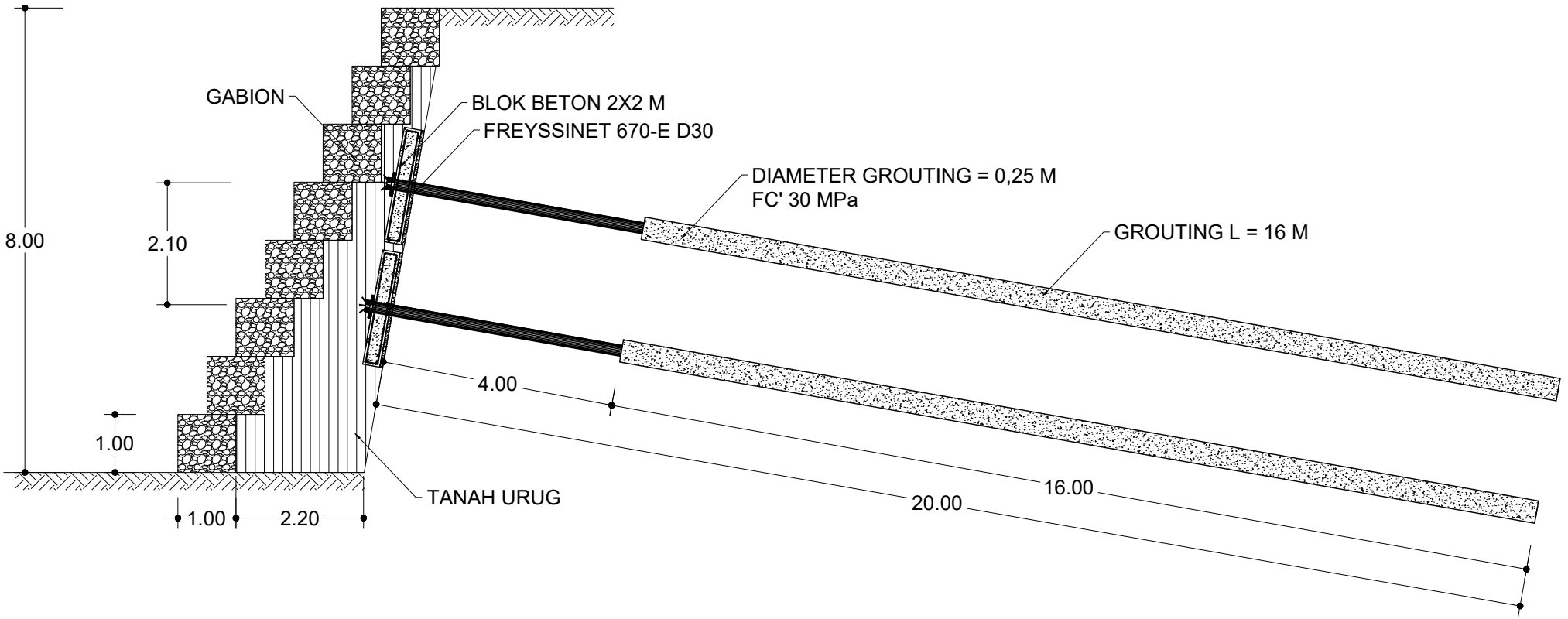
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
	TUGAS AKHIR	2	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)



PEMASANGAN BERONJONG DENGAN ANGKUR

SKALA 1:300

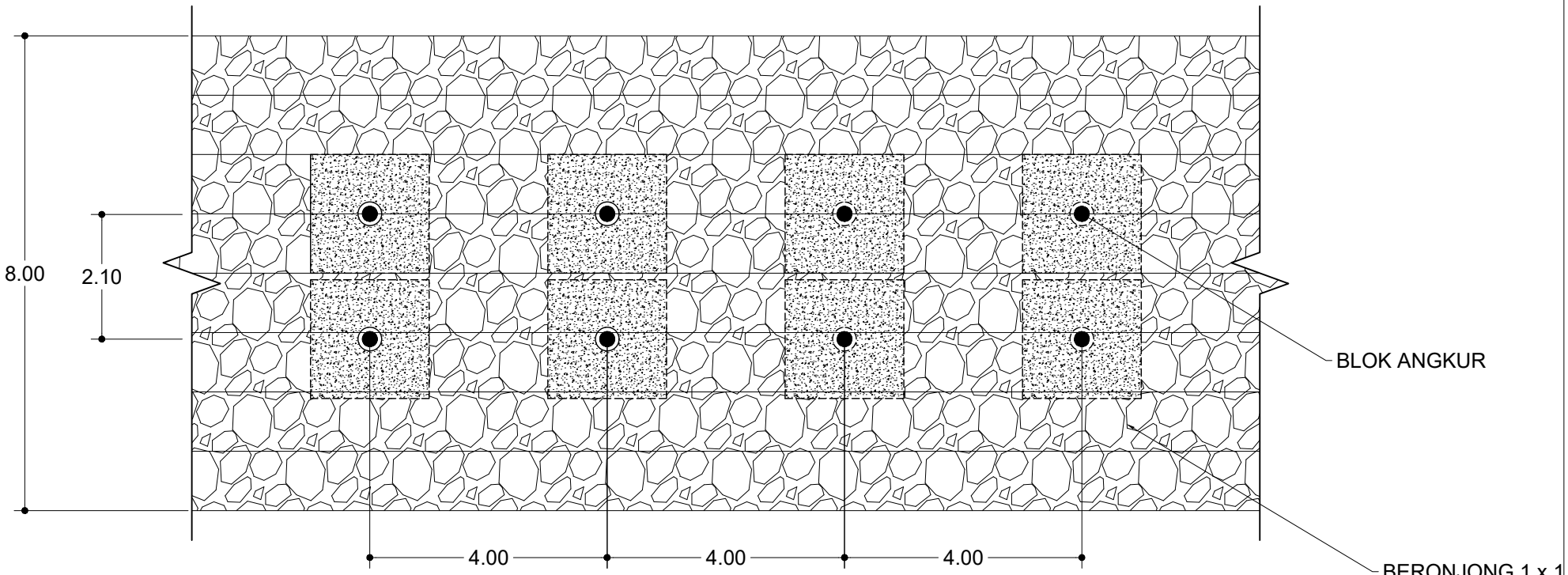
	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	3	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)



DETAIL BERONJONG DENGAN ANGKUR (TAMPAK SAMPING)

SKALA 1:100

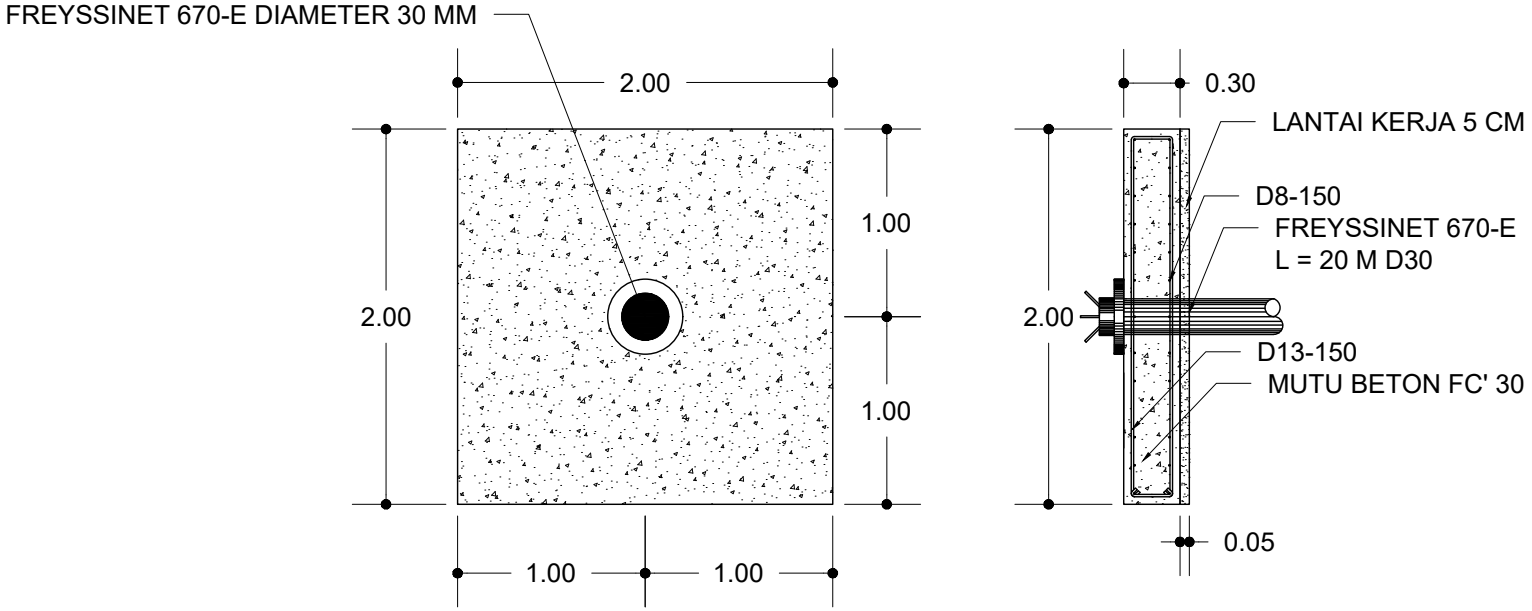
	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	4	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)



DETAIL BERONJONG DENGAN ANGKUR (TAMPAK DEPAN)

SKALA 1:100

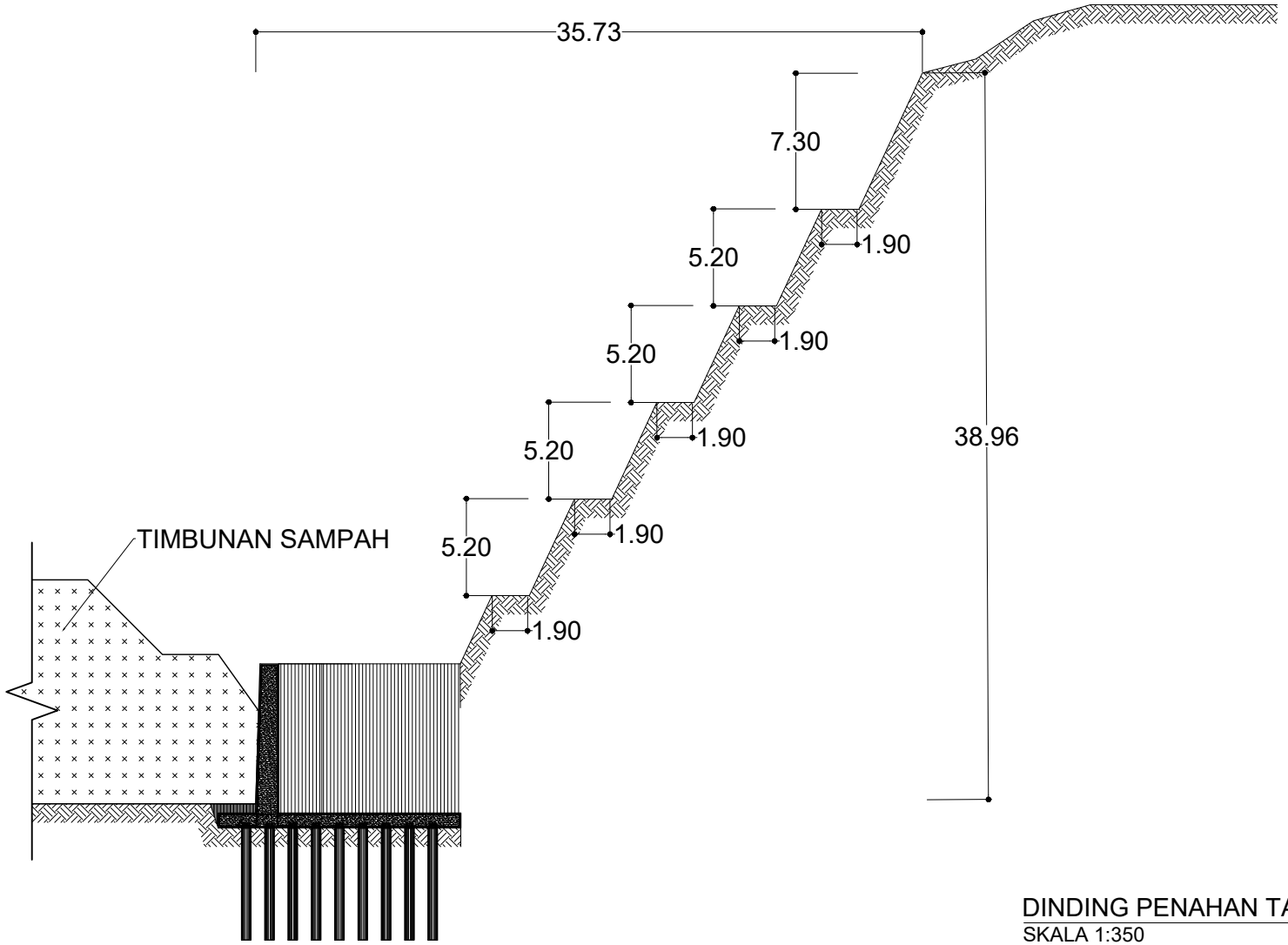
	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	5	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)



DETAIL BLOK ANGKUR

SKALA 1:40

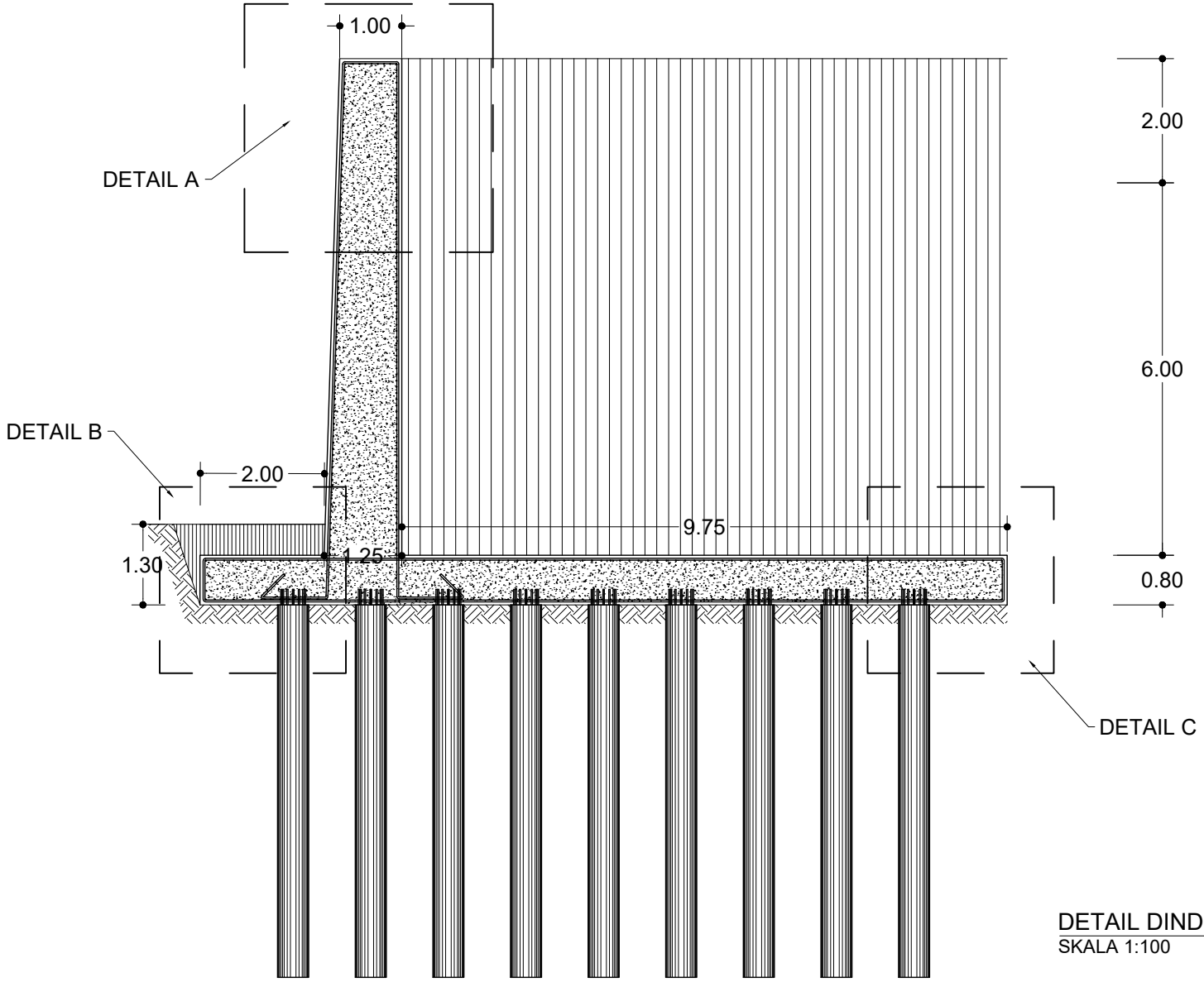
	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	6	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)



DINDING PENAHAN TANAH

SKALA 1:350

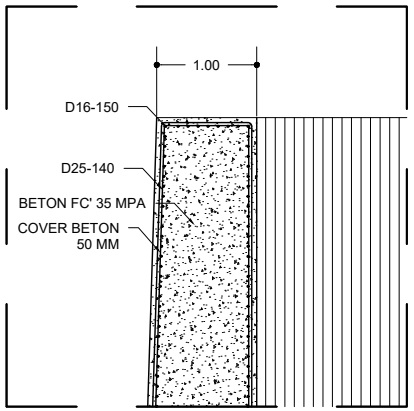
	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	7	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)



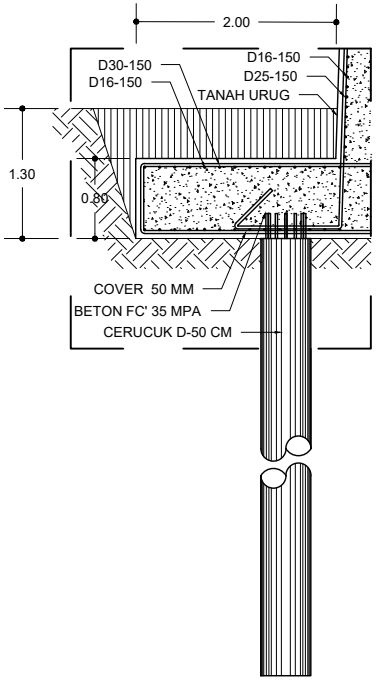
DETAIL DINDING PENAHAN TANAH

SKALA 1:100

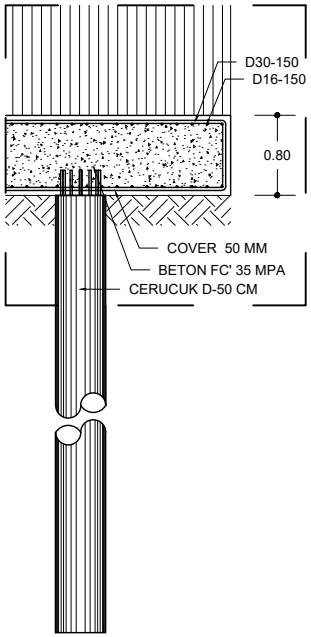
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
	TUGAS AKHIR	8	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)



DETAIL DPT A
SKALA 1:75

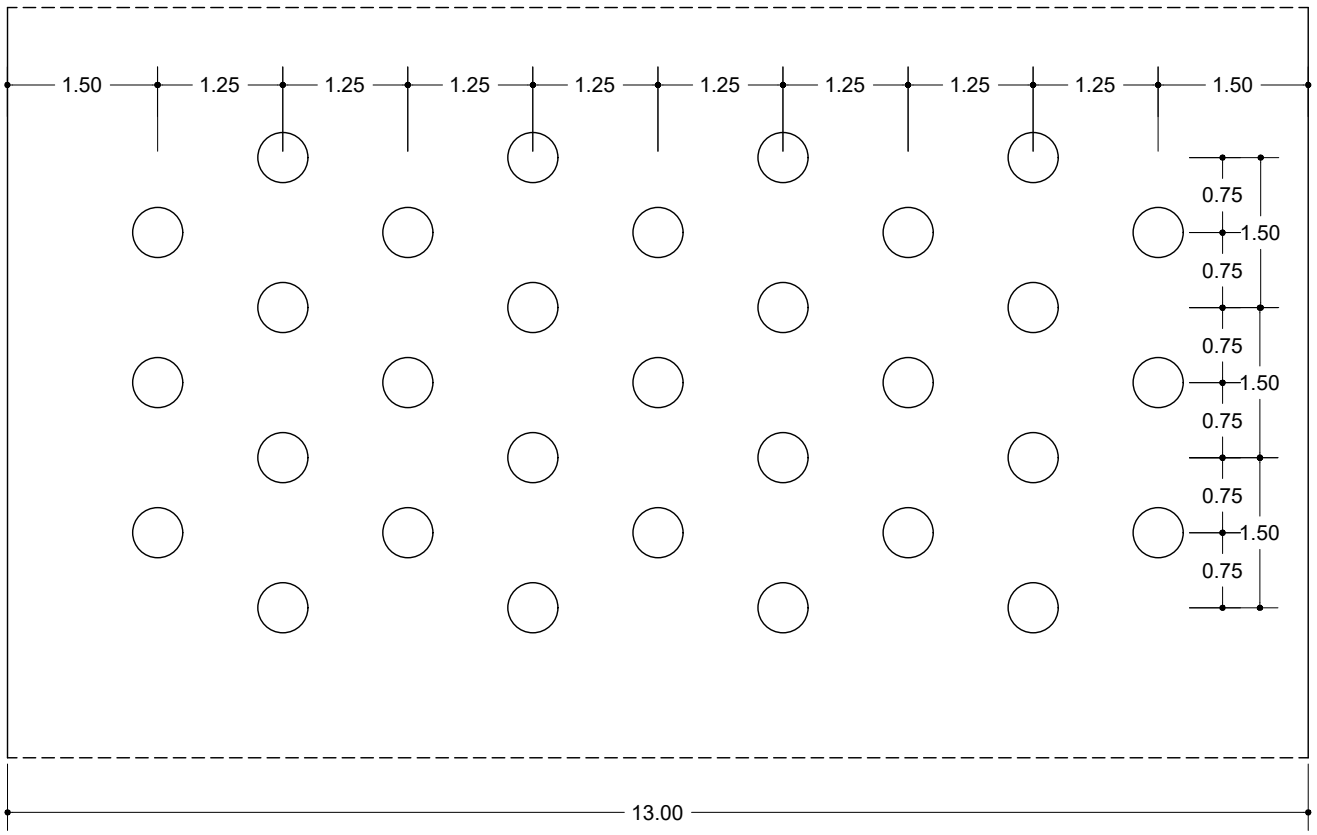


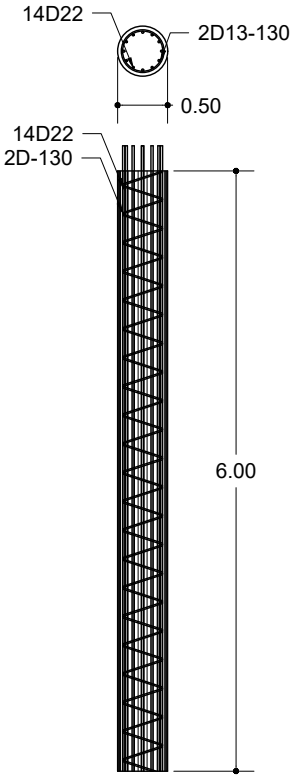
DETAIL DPT B
SKALA 1:75



DETAIL DPT C
SKALA 1:75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	9	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

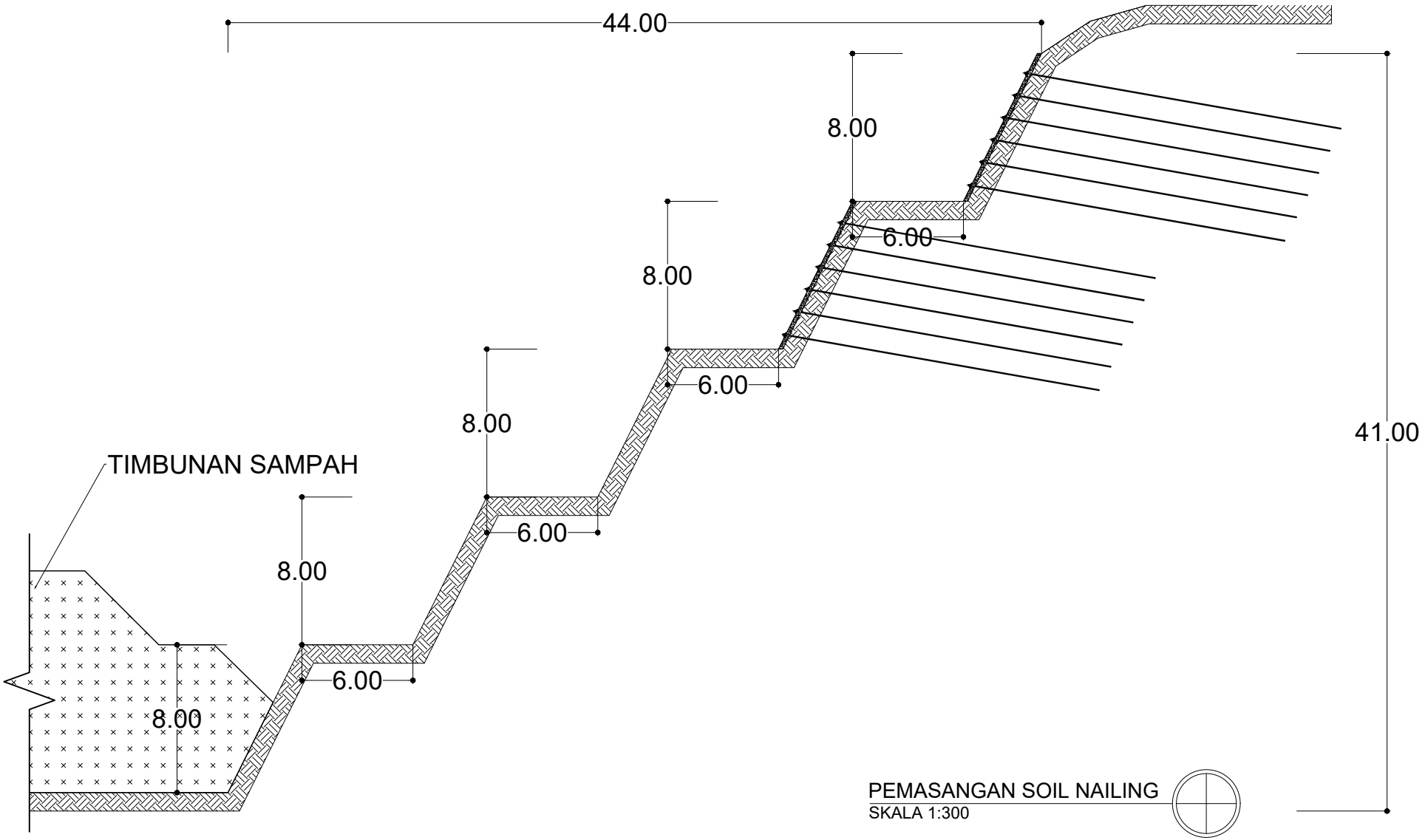




DENAH CERUCUK & DETAIL CERUCUK

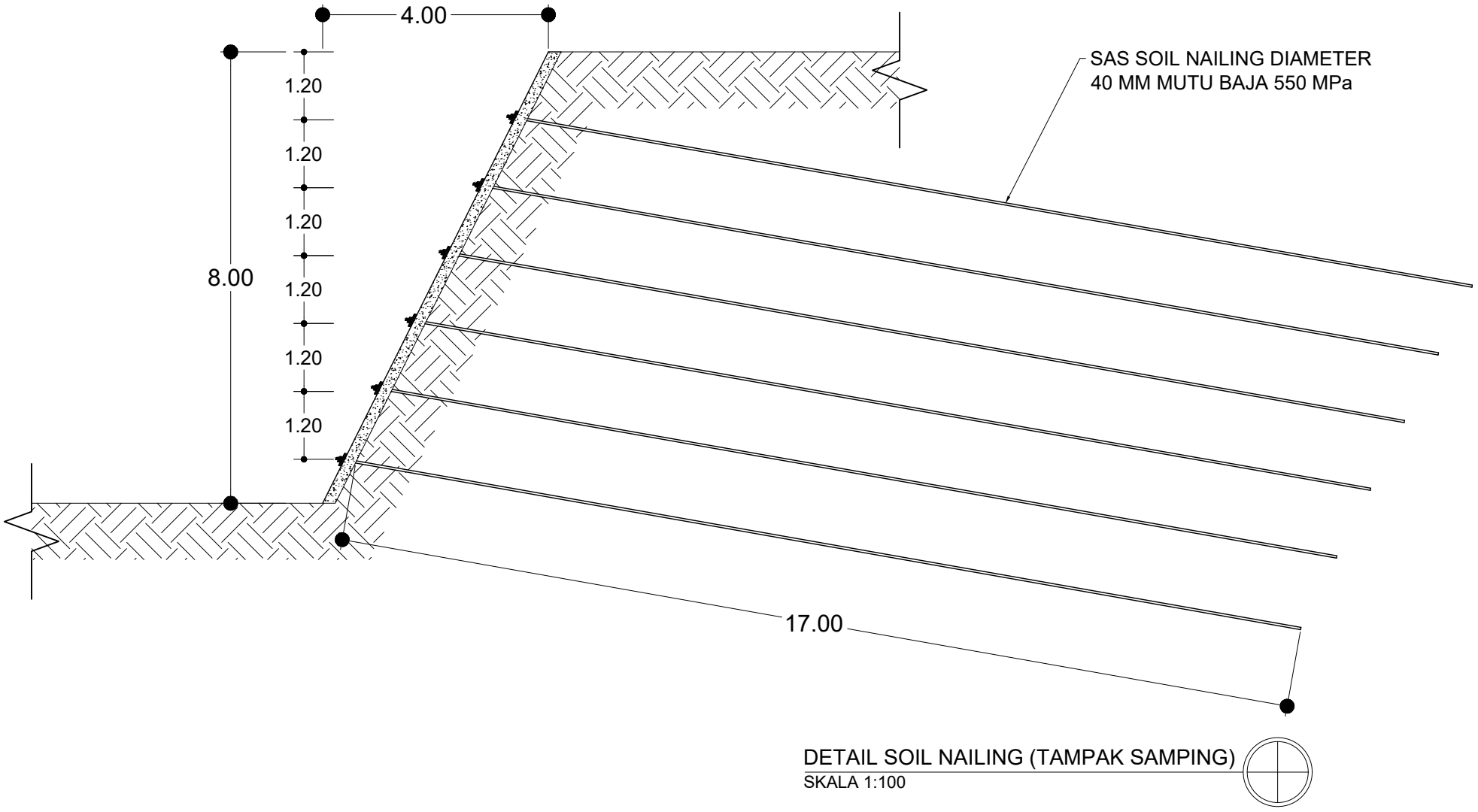
SKALA 1:75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	10	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)



PEMASANGAN SOIL NAILING
SKALA 1:300

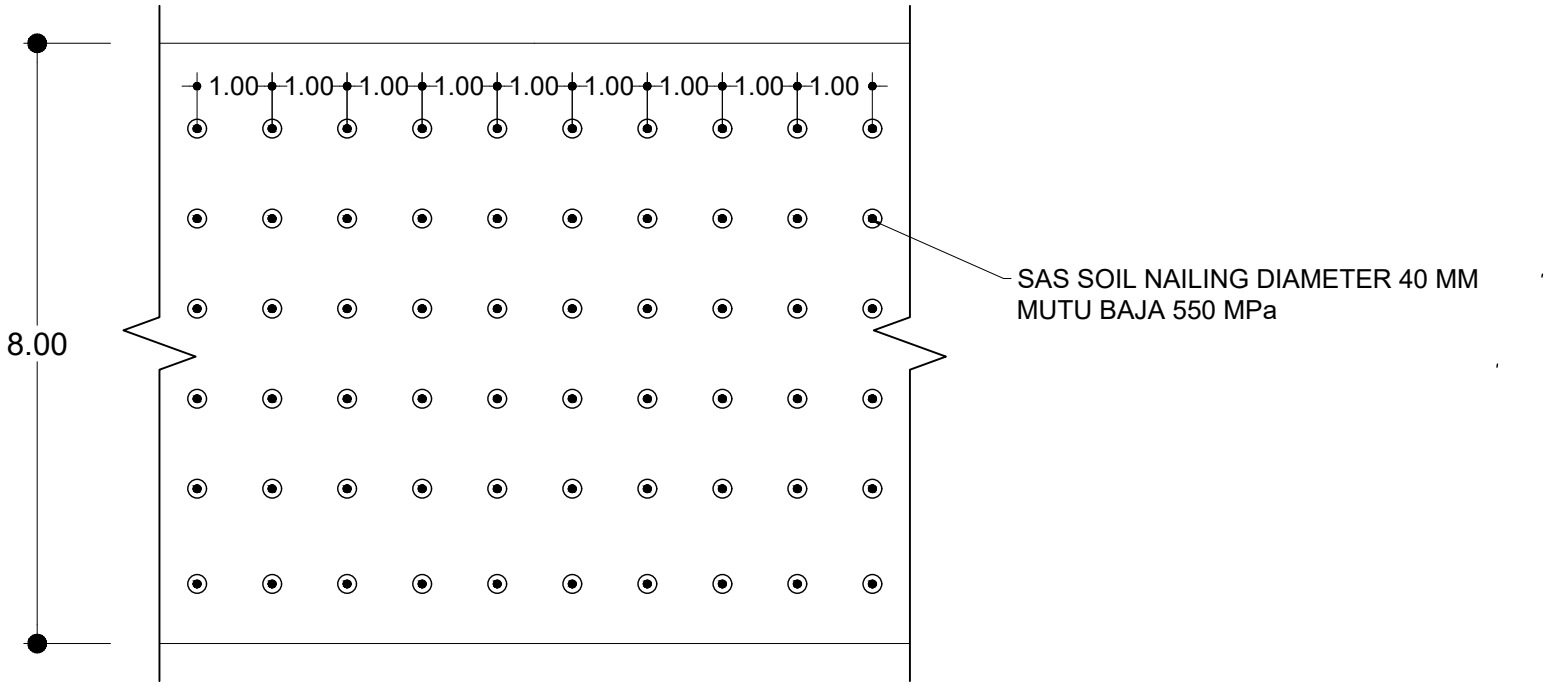
	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	11	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)



DETAIL SOIL NAILING (TAMPAK SAMPING)

SKALA 1:100

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	12	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)



DETAIL SOIL NAILING (TAMPAK DEPAN)

SKALA 1:100

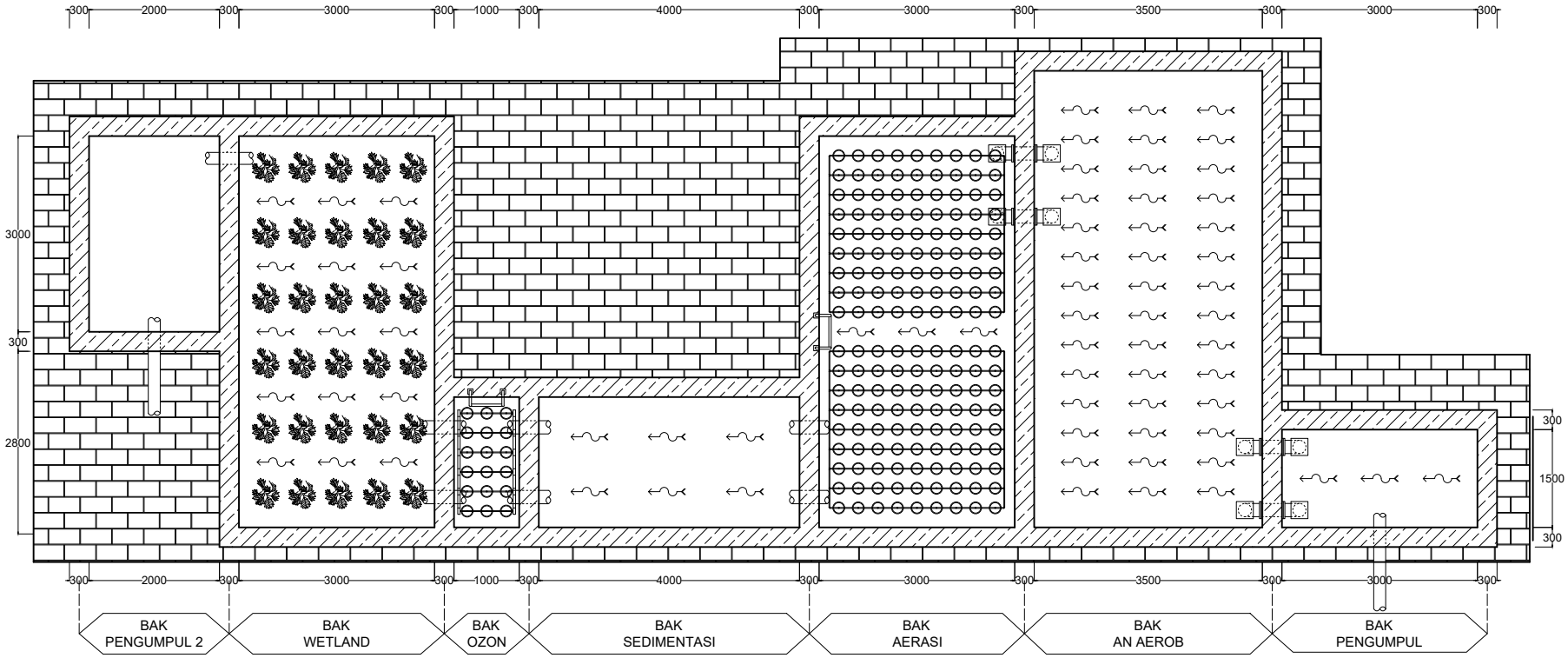
	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	13	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

DAFTAR ISI GAMBAR
KOLAM IPL

1. DENAH IPL RENCANA
2. DENAH BAK WETLAND
3. POTONGAN BAK WETLAND
4. DENAH BAK SEDIMENTASI
5. POTONGAN BAK SEDIMENTASI
6. DENAH BAK AERASI
7. POTONGAN BAK AERASI
8. DENAH BAK ANAEROB
9. POTONGAN BAK ANAEROB
10. DENAH BAK PENGUMPUL 1
11. POTONGAN BAK PENGUMPUL 1
12. DETAIL BAK PENGUMPUL 2
13. POTONGAN BAK PENGUMPUL 2

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
TUGAS AKHIR	-	-	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

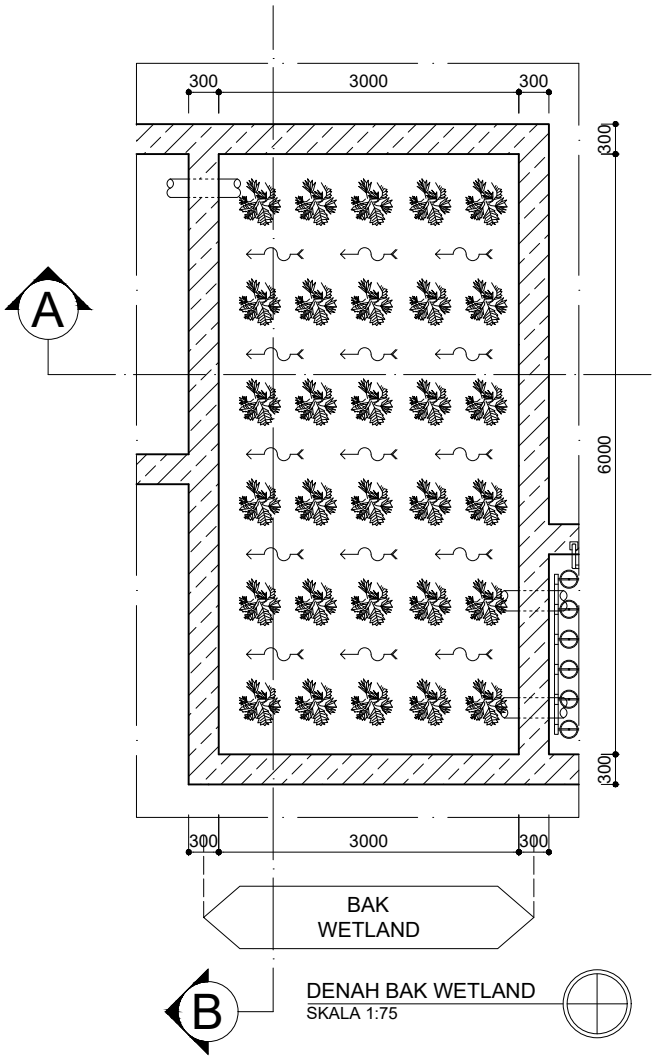


DENAH IPL RENCANA

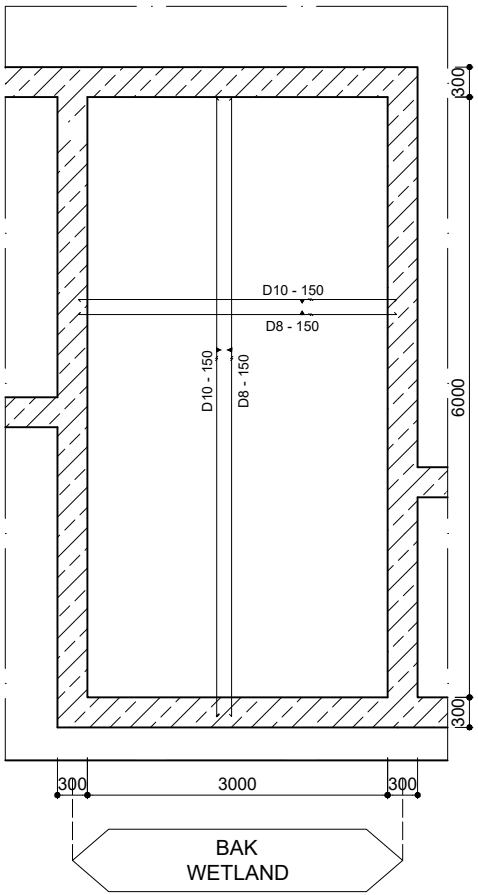
SKALA 1:100

TPST KARIMUN

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	1	13	Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

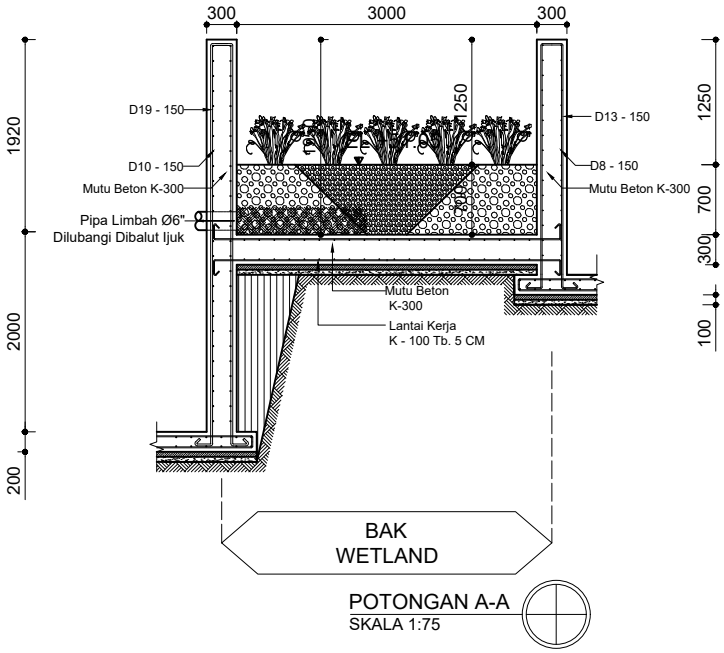


DENAH BAK WETLAND
SKALA 1:75

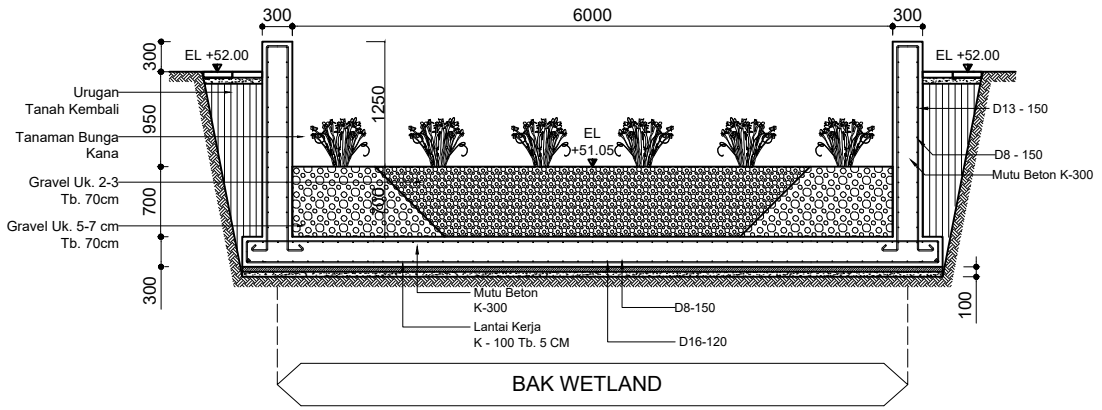


DENAH PLAT LANTAI BAK WETLAND
SKALA 1:75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	2	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

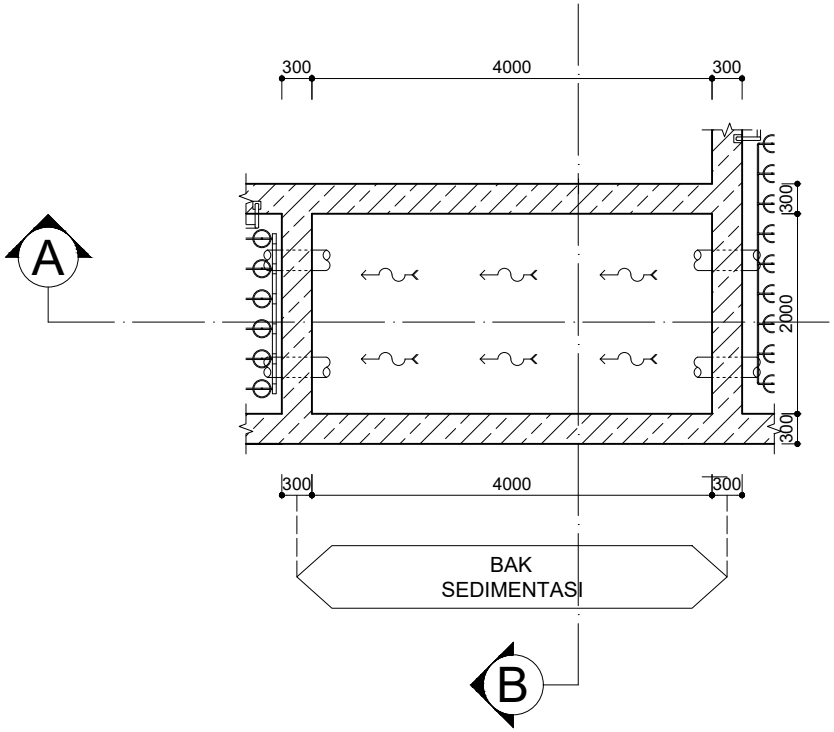


POTONGAN A-A
SKALA 1:75

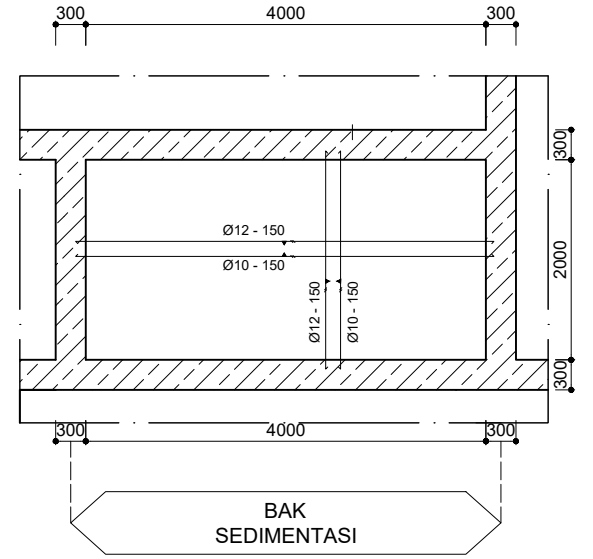


POTONGAN B-B
SKALA 1:75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	3	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

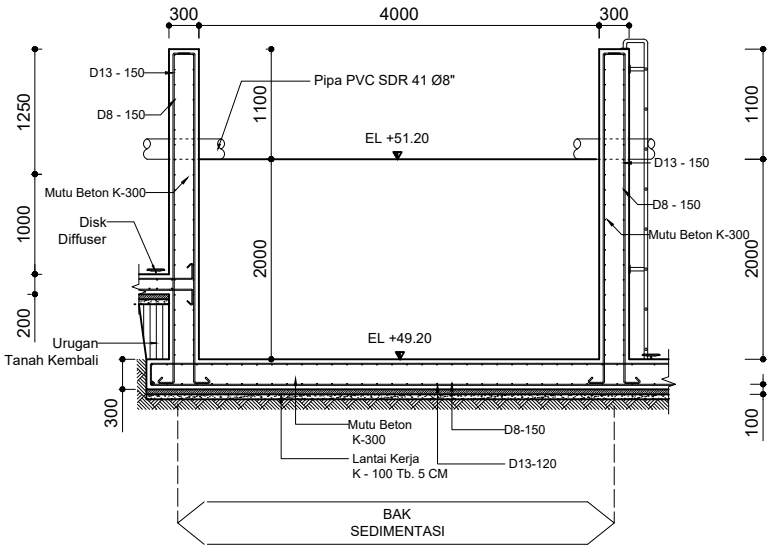


DENAH BAK SEDIMENTASI
SKALA 1:75

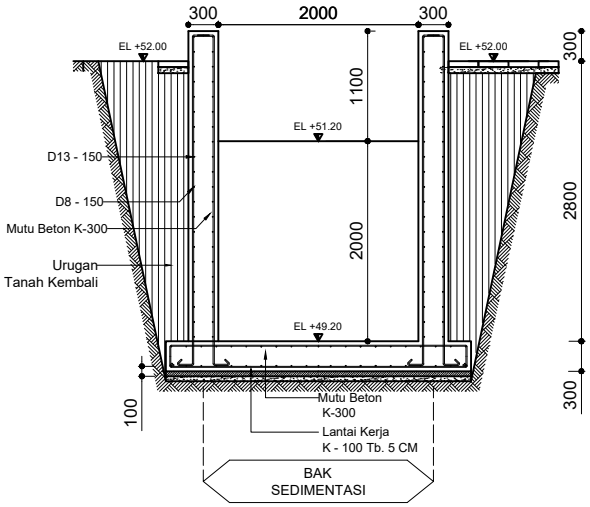


DENAH PLAT LANTAI BAK SEDIMENTASI
SKALA 1:75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	4	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

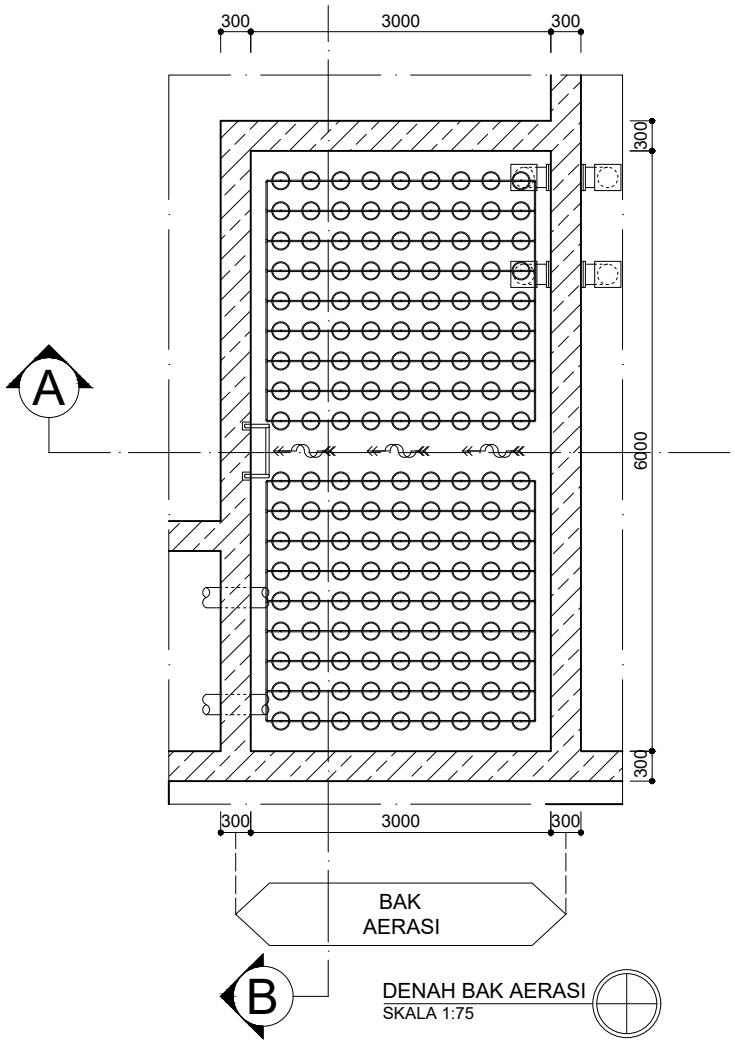


POTONGAN A-A
SKALA 1:75

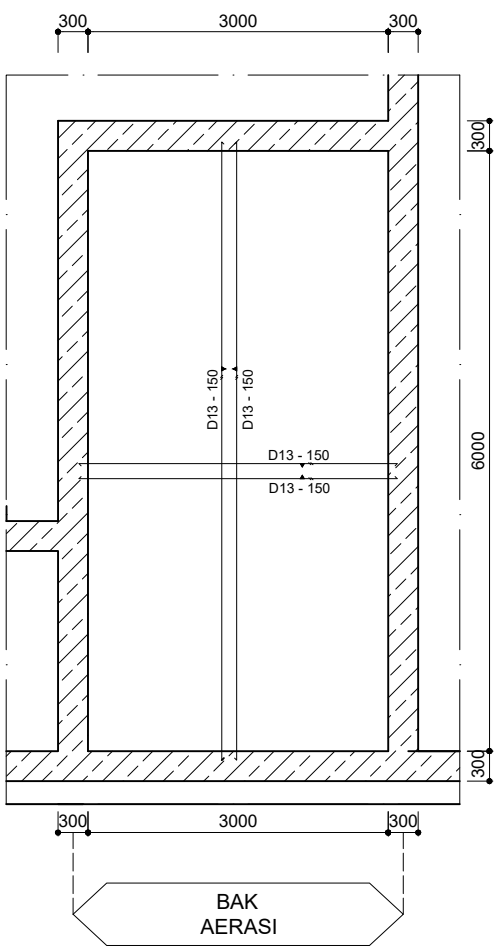


POTONGAN B-B
SKALA 1:75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	5	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

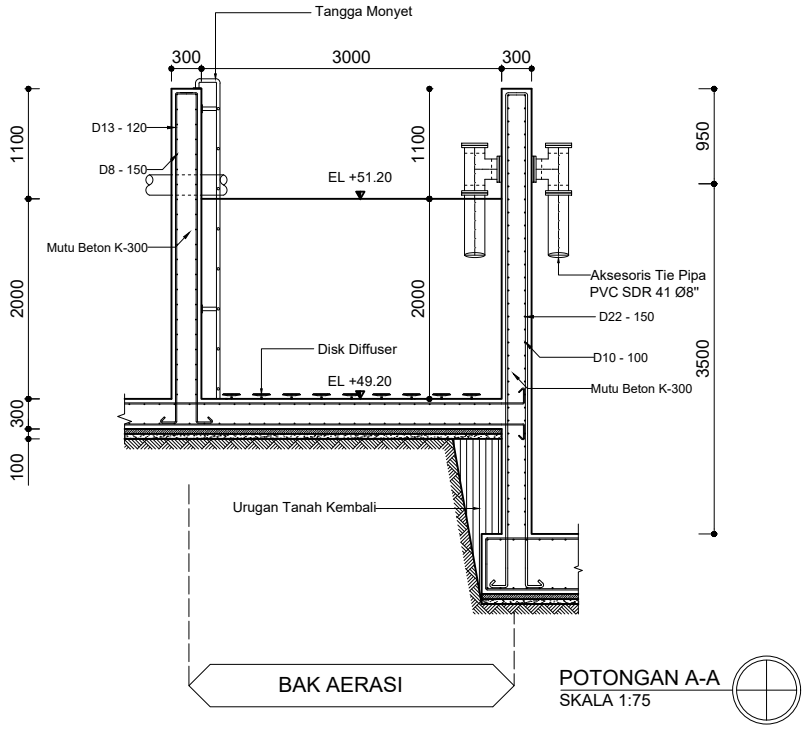


DENAH BAK AERASI
SKALA 1:75

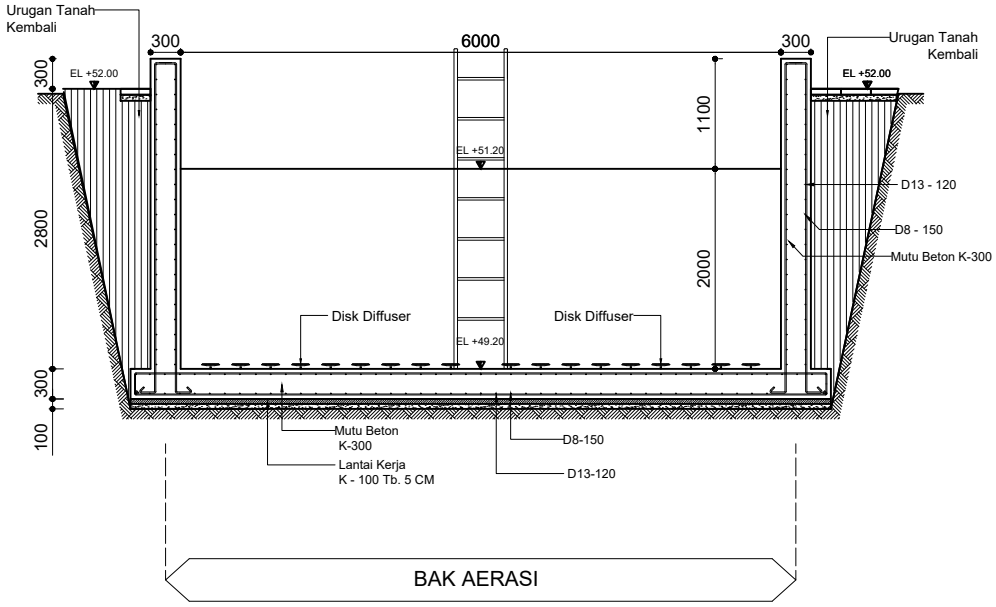


DENAH PLAT LANTAI BAK AERASI
SKALA 1:75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	6	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

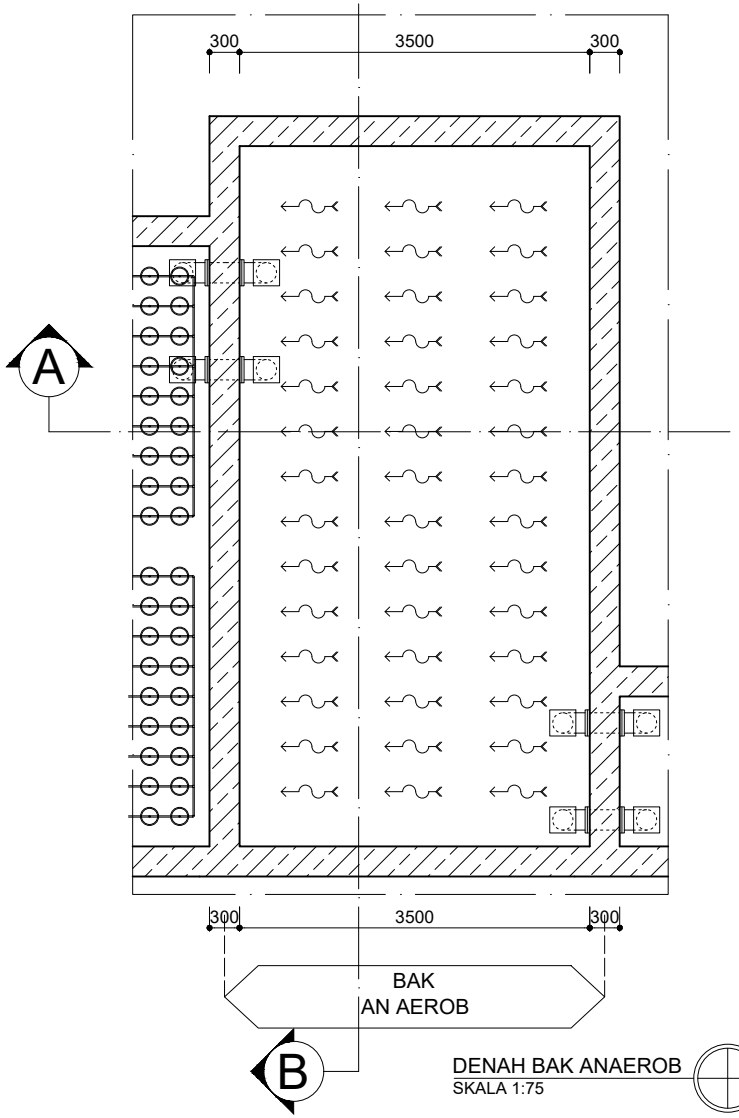


POTONGAN A-A
SKALA 1:75

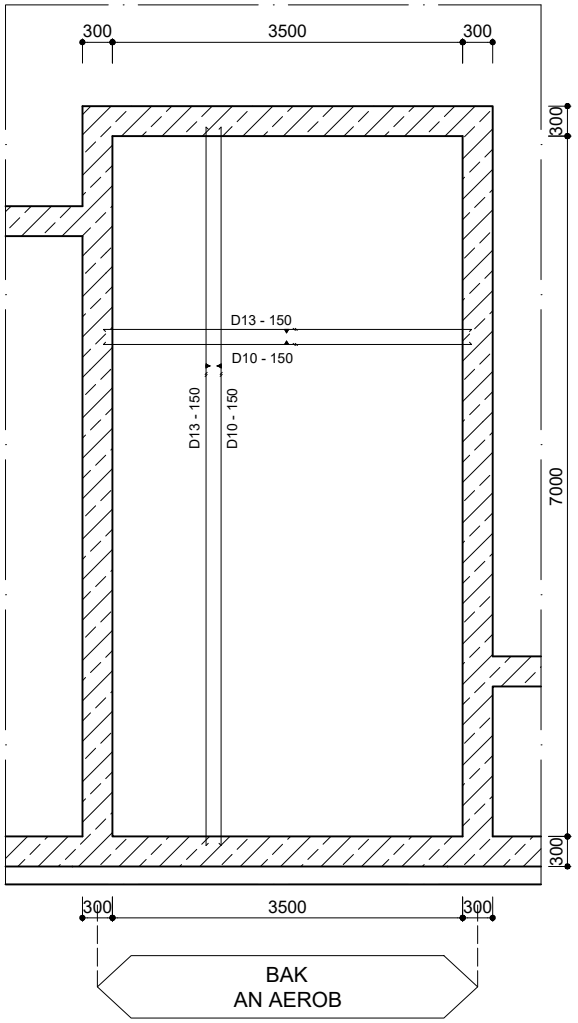


POTONGAN B-B
SKALA 1:75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	7	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

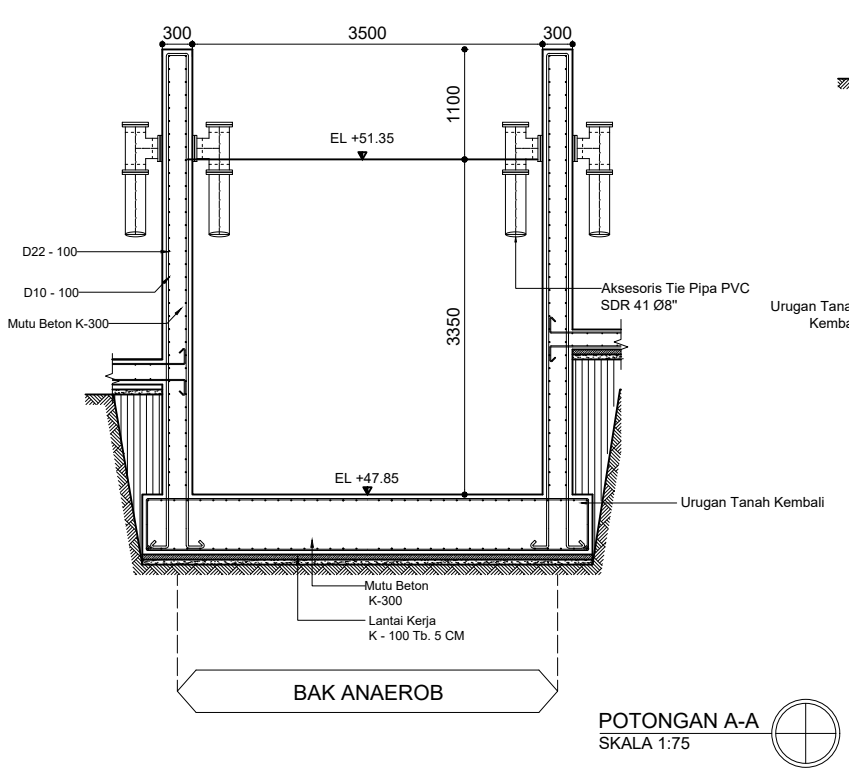


DENAH BAK ANAEROB
SKALA 1:75

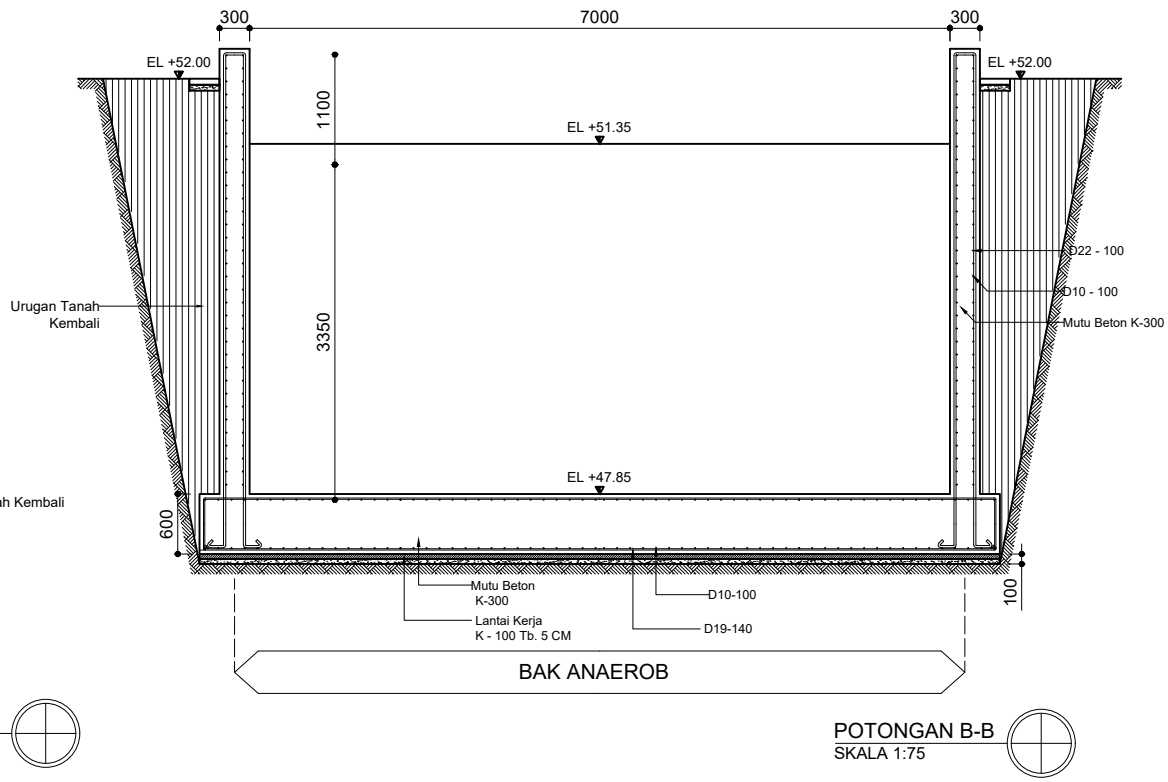


DENAH PLAT LANTAI BAK ANAEROB
SKALA 1:75

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
	TUGAS AKHIR	8	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

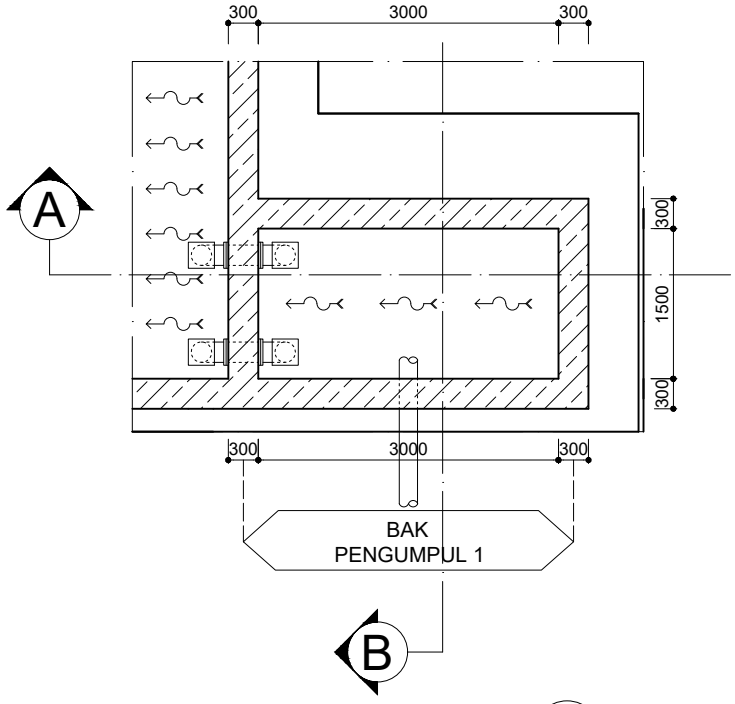


POTONGAN A-A
SKALA 1:75

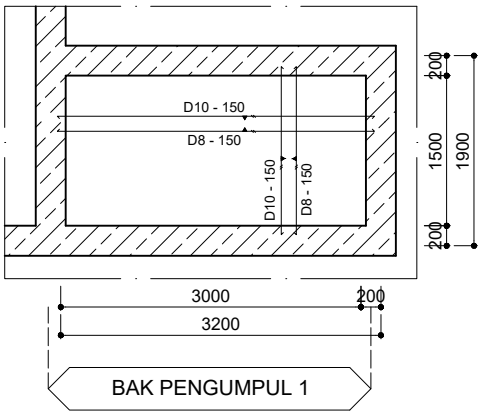


POTONGAN B-B
SKALA 1:75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	9	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

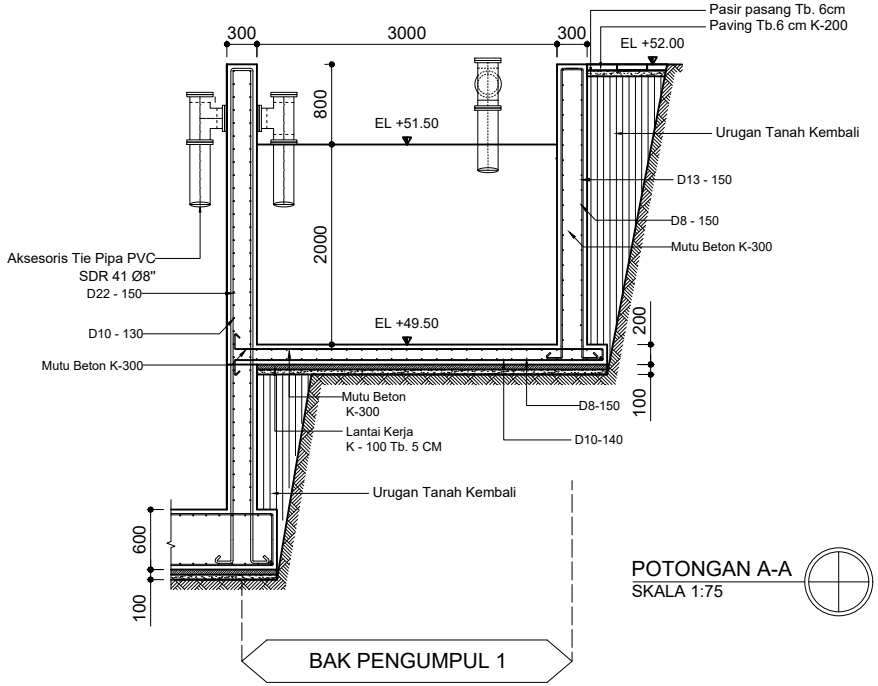


DENAH BAK PENGUMPUL 1
SKALA 1:75

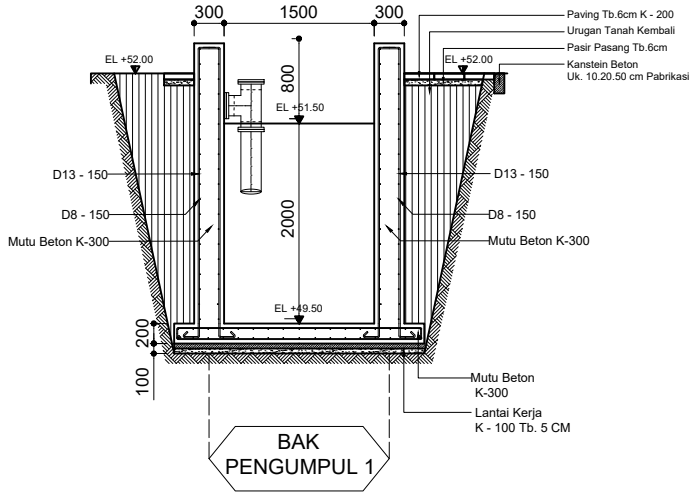


DENAH PLAT LANTAI BAK PENGUMPUL 1
SKALA 1:75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	10	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

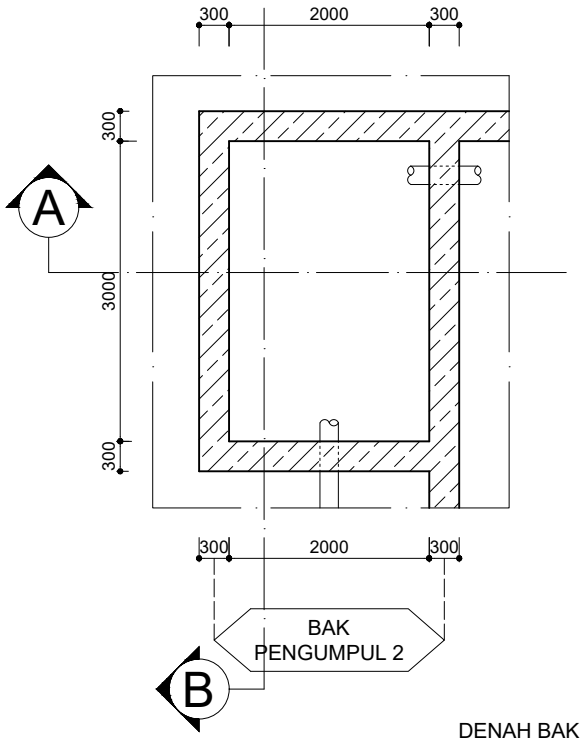


POTONGAN A-A
SKALA 1:75

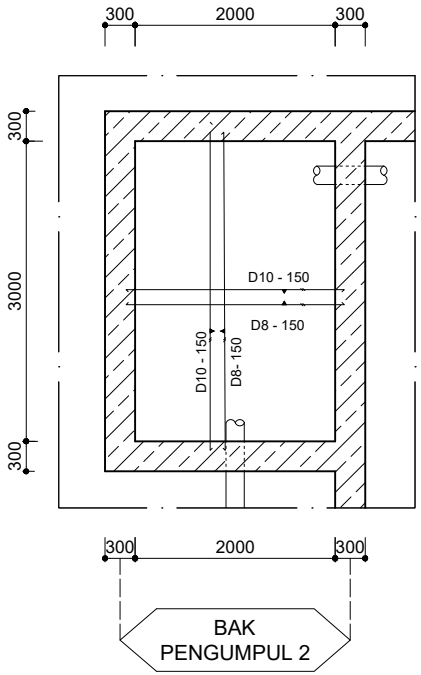


POTONGAN B-B
SKALA 1:75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	11	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

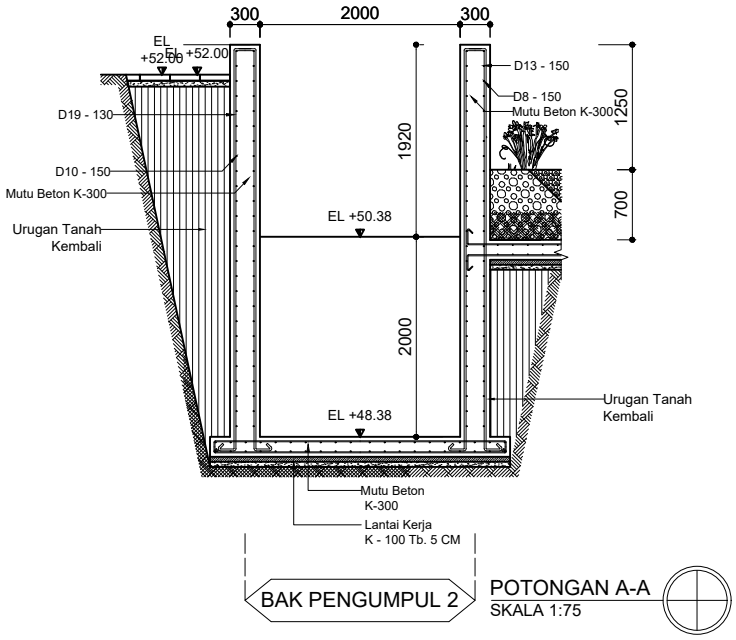


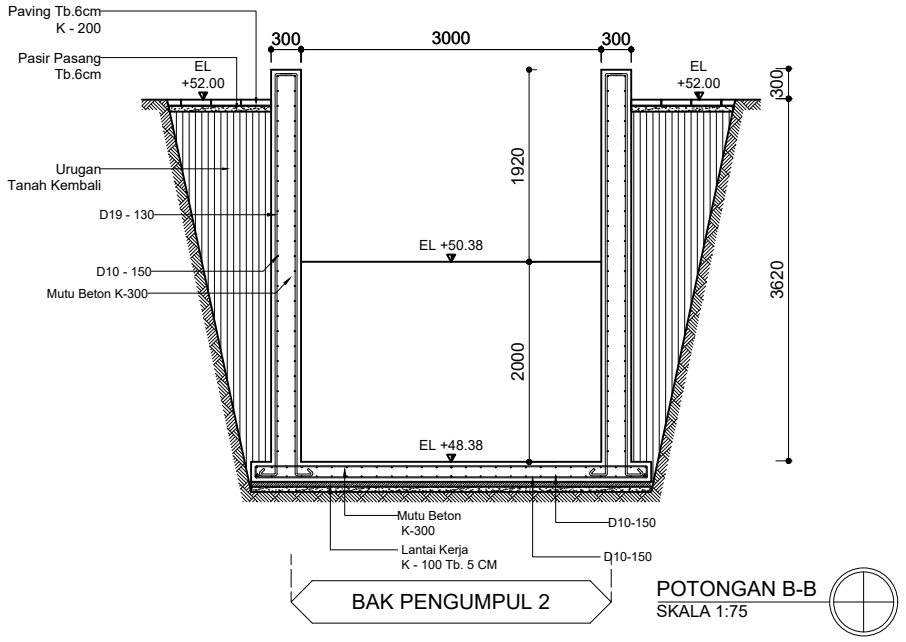
DENAH BAK PENGUMPUL 2
SKALA 1:75



DENAH PLAT LANTAI BAK PENGUMPUL 2
SKALA 1:75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	12	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)





	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	NAMA TUGAS	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		TUGAS AKHIR	13	13	Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi Mustain Arif, S.T.,M.T.	Muhammad Syamsu Bachri (03111740000002)

BIODATA PENULIS

Muhammad Syamsu Bachri
Lahir di Lumajang, 10 Desember 1998, merupakan anak pertama pasangan Abdul Munib dan Eni Susilowati. Penulis menempuh Pendidikan formal di TK Rosella Baru, MI. Nurul Islam Kota Lumajang, SMPN 5 Lumajang, dan SMAN 2 Lumajang. Setelah lulus dari SMAN 2 Lumajang, penulis mengikuti Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan diterima di Teknik Sipil ITS. Penulis mengambil bidang studi geoteknik dengan judul tugas akhir "Perencanaan Alternatif Tempat Pembuangan Akhir Karimunjawa dengan Sistem *Controlled Landfill*"

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan baik organisasi maupun kepanitiaan. Selain itu, penulis juga aktif mengikuti perlombaan baik dalam bidang Sipil. Apabila pembaca ingin berdiskusi lanjut dengan penulis dapat menghubungi melalui email: arisyamsu@gmail.com