



TUGAS AKHIR - RC184803

**ANALISIS PENILAIAN STABILITAS TIMBUNAN DAN  
PERKUATAN TANAH PADA *OPEN DUMPING* TPA  
NGIPIK GRESIK**

AQIL RAUSANFIKR MOHAMMAD  
NRP 3111640000106

Dosen Pembimbing I:  
Dr. Trihanyndio Rendy S., ST. MT

Dosen Pembimbing II:  
Dr. Ir. Ria A. A Soemitro, M. Eng

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





TUGAS AKHIR - RC184803

**ANALISIS PENILAIAN STABILITAS TIMBUNAN DAN  
PERKUATAN TANAH PADA *OPEN DUMPING* TPA  
NGIPIK GRESIK**

AQIL RAUSANFIKR MOHAMMAD  
NRP 3111640000106

Dosen Pembimbing I:  
Dr. Trihanyndio Rendy S., ST. MT

Dosen Pembimbing II:  
Dr. Ir. Ria A. A Soemitro, M. Eng

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

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



FINAL PROJECT - RC184803

**THE ANALYSIS OF LANDFILL STABILITY ASSESSMENT  
AND SOIL COMPOSITION ON OPEN DUMPING TPA  
NGIPIK GRESIK**

AQIL RAUSANFIKR MOHAMMAD  
NRP 3111640000106

Dosen Pembimbing I:  
Dr. Trihanyndio Rendy S., ST. MT

Dosen Pembimbing II:  
Dr. Ir. Ria A. A Soemitro, M. Eng

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

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**ANALISIS PENILAIAN STABILITAS TIMBUNAN DAN  
PERKUATAN TANAH PADA *OPEN DUMPING* TPA  
NGIPIK GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**AQIL RAUSANFIKR MOHAMMAD**

NRP. 031 116 4000 0106

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, S.T., M.T.  
(Pembimbing I)

2. Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemirno, M.Eng  
(Pembimbing II)



**SURABAYA  
15 AGUSTUS , 2020**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



# **ANALISIS PENILAIAN STABILITAS TIMBUNAN DAN PERKUATAN TANAH PADA *OPEN DUMPING* TPA NGIPIK GRESIK**

**Nama** : Aqil Rausanfikr Mohammad  
**NRP** : 03111640000106  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSPK – ITS  
**Dosen Pembimbing I** : Dr. Trihanyndio Rendy S., ST. MT.  
**Dosen Pembimbing II** : Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M. Eng

## ***Abstrak***

*TPA Ngipik merupakan tempat pembuangan akhir di Kabupaten Gresik yang memiliki dua timbunan sampah dengan ketinggian tumpukan sampah setinggi 10 meter dan 12 meter pada tahun 2018. TPA Ngipik merupakan TPA yang masih menggunakan sistem open dumping sehingga timbunan sampah akan terus bertambah ketinggiannya hingga mencapai ketinggian maksimum. Untuk menanggulangi kelongsoran timbunan sampah maka diperlukan untuk mengetahui tinggi timbunan eksisting TPA dan relokasi sampah ke area TPA baru. TPA Ngipik memiliki luas  $\pm 8$  hektare pada daerah eksisting dan mempunyai luas  $\pm 6$  hektare area kosong yang akan digunakan untuk perencanaan TPA baru. Oleh karena itu dibutuhkan analisa dan perencanaan TPA Ngipik mengenai kestabilan lereng, tinggi maksimum yang akan dicapai, dan perkuatan tanah untuk penguatan tanah dasar.*

*Dalam merencanakan TPA Ngipik akan meninjau tiga hal, yaitu analisa kondisi stabilitas timbunan sampah eksisting TPA Ngipik, analisa stabilitas lereng terhadap tinggi timbunan sampah dengan tinggi timbunan maksimum yang akan terjadi pada area baru TPA, stabilitas pemampatan tanah dasar terhadap penimbunan bertahap sampah, dan alternatif-alternatif perkuatan tanah sebagai peningkat daya dukung tanah dan menahan terjadi kelongsoran timbunan sampah pada tinggi timbunan maksimum. Pada penulisan Tugas Akhir ini membahas area TPA Ngipik baru*

*dengan alternatif perkuatan tanah minipile, geotextile, dan stone column dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,50 sesuai SNI 8460 Tahun 2017 terhadap tinggi timbunan sampah 15 m, 20 m, dan 30 m.*

*Hasil dari Tugas Akhir ini, area eksisting TPA Ngipik pada tahun 2020 mendapati kelebihan volume daya tampung dengan tinggi timbunan eksisting 14,11 m dan nilai faktor keamanan 1,230. Pada area baru TPA Ngipik tinggi kritis timbunan yang dapat dicapai adalah 9,22 m dengan nilai pemampatan akibat timbunan bertahap selama 128 minggu sebesar 2,254 m. Untuk alternatif perkuatan tanah tinggi timbunan sampah maksimum yang dicapai adalah 30 m. Dalam hasil analisis didapatkan perkuatan tanah terhadap tinggi timbunan sampah 15 m dapat menggunakan minipile 8 buah dengan jarak 1,75 m, atau geotextile 3 lapis dengan total Panjang 64,11 m/m', atau stone column diameter 0,3 m dengan jarak 2,25 m. Untuk perkuatan tanah terhadap tinggi timbunan 20 m dapat menggunakan minipile 30 buah dengan jarak 0,922 m, atau geotextile 11 lapis dengan total panjang 293,44 m/m', atau stone column diameter 0,6 m dengan jarak 2,05 m. Untuk perkuatan tanah terhadap tinggi timbunan 30 m dapat menggunakan minipile menggunakan minipile 74 buah dengan jarak 0,303 m, atau geotextile 24 lapis dengan total panjang 595,92 m/m', atau stone column diameter 0,8 m dengan jarak 1,711 m.*

***Kata kunci : Geotextile, Minipile, Open Dumping, Stone Column, TPA Ngipik.***

**THE ANALYSIS OF LANDFILL STABILITY  
ASSESSMENT AND SOIL COMPOTION ON OPEN  
DUMPING TPA NGIPIK GRESIK**

**Nama** : Aqil Rausanfibr Mohammad  
**NRP** : 03111640000106  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSPK – ITS  
**Dosen Pembimbing I** : Dr. Trihanyndio Rendy S., ST. MT.  
**Dosen Pembimbing II** : Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M. Eng

***Abstract***

*TPA Ngipik is the final disposal in Gresik Regency, which has two landfills with a pile height of 10 meters high and 12 meters in 2018. TPA Ngipik is a TPA that still uses open dumping system so that the garbage heap will continue to increase its height until reaching the maximum height. In order to overcome the loosening of landfill, it is necessary to know the height of the landfill excitation and relocate the garbage to the new landfill area. The TPA Ngipik has an area of  $\pm 8$  hectares in existing areas and has an area of  $\pm 6$  hectares empty area which will be used for planning new landfill. Therefore, the need for analysis and planning of TPA Ngipik about the stability of slope, maximum height to be achieved, and strengthening the soil to strengthen the base land.*

*In planning TPA Ngipik will review three things, that is analysis of the stability condition of the garbage heap of existing landfill, the stability analysis of slope to high landfill with the maximum heap height that will occur in the new area of TPA, the stability of the basic soil compression of the gradual stockpile of garbage, and the alternatives of soil engineering as a soil support power enhancer and withstand the garbage heap loosening on the maximum heap height On the writing of this final task discusses area TPA Ngipik Baru with the alternative of Minipile, Geotextile, and stone column with a security factor value of 1.50 in*

*accordance with SNI 8460 year 2017 against the landfill height of 15 m, 20 m, and 30 m.*

*The result of this final task is that the existing area of TPA Ngipik in 2020 found the excess volume of the capacity with existing heap height 14.11 m and security factor value 1.230. In the new area of TPA Ngipik, high critical heap that can be achieved is 9.22 m with the compression value due to a gradual heap for 128 weeks of 2.254 m. For alternative height of landfill, the maximum landfill is 30 m. The analysis shows that obtained soil resistance to high garbage heap 15 m can use 8 Minipiles with a distance of 1.75 m, or geotextile 3 layers with a total length of 64.11 m/m', or stone column diameter 0.3 m with a distance of 2.25 m. For soil retrofitting to high pile of 20 m, it can use 30 Minipiles with a distance of 0.922 m, or geotextile 11 layers with a total length of 293.44 m/m', or stone column diameter of 0.6 m with a distance of 2.05 m. For soil resistance to high heap 30 m, it can use Minipile using 74 Minipiles with distance 0.03 m, or geotextile 24 layers with a total length of 595.92 m/m', or stone column diameter of 0.8 m with a distance of 1.711 m.*

***Keywords: Geotextile, Minipile, Open Dumping, Stone Column, TPA Ngipik.***

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur bagi Allah SWT atas limpahan petunjuk dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini membahas “Analisis Penilaian Stabilitas Timbunan dan Perkuatan Tanah pada *Open Dumping* TPA Ngipik Gresik”

Pada akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Trihanyndio Rendy S., ST. MT selaku dosen pembimbing I Tugas Akhir.
2. Ibu Dr. Ir. Ria Asih Aryani S., M. Eng selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir.
3. Bapak dan Ibu dosen serta staff pengajar Jurusan Teknik Sipil FTSLK – ITS.
4. Kedua orang tua saya, Mohammad Nurfatoni dan Siti Rondiyah, yang senantiasa memberi dukungan, kasih sayang dan materiil yang tak terhitung banyaknya
5. Saudara kandung saya, Azka Izzudin Mohammad, Rosyad Hizbussalam Mohammad, Faza Fakjrul Fatkhi Mohammad, dan Zada Kanza Makhfiah Mohammad, yang telah memberi dukungan dan doa kepada saya.
6. Rekan – rekan S-59 serta semua pihak yang telah membantu penyusunan tugas akhir ini.
7. Sahabat saya, Dewi Wulandari, Muhammad Fikri Ali, Fitri Mar’atush Sholihah yang telah memberikan dukungan dan motivasinya untuk pengerjaan tugas akhir ini.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, saya menyadari bahwa masih ada kekurangan. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis dan semua pihak yang terkait.

Surabaya, 15 Agustus 2020

(Penulis)

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xxv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xixx</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penulisan .....	4
1.4. Manfaat Penulisan .....	5
1.5. Batasan Masalah .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Tempat Pembuangan Akhir.....	7
2.1.1 Metode Pengelolaan Sampah Akhir .....	7
2.2 Settlement Timbunan .....	9
2.3 Stabilitas Timbunan .....	12
2.3.1 Teori Kestabilan Lereng (Metode Irisan Konvensional) .....	12
2.3.2 Geotextile pada Perkuatan Lereng .....	16
2.4 Cerucuk/Minipile .....	18
2.4.1 Penentuan Kekuatan Minipile dalam Memikul Beban Horizontal... ..	18
2.4.2 Penentuan Jumlah Cerucuk .....	21
2.5 Stone Coloumn .....	22
<b>BAB III METODOLOGI PERENCANAAN</b> .....	<b>29</b>
3.1 Definisi Metode Perencanaan.....	29
3.2 Kerangka Perencanaan .....	29
3.3 Uraian Tahapan Perencanaan .....	31
3.3.1 Studi Literatur .....	31
3.3.2 Pengumpulan Data Proyek .....	31
3.3.3 Perencanaan Tinggi Timbunan Sampah dan Stabilitas	31
3.3.4 Perencanaan Pemasangan Geotextile, cerucuk dan Stone Column.....	32

<b>BAB IV DATA DAN ANALISA.....</b>	<b>33</b>
4.1 Data Tanah .....	33
4.1.1 Korelasi nilai coefficient of consolidation vertical ( $C_v$ ).....	34
4.1.2 Korelasi nilai coefficient of consolidation horizontal ( $C_h$ ) .....	35
4.1.3 Korelasi nilai cohesion undrained ( $C_u$ ) .....	36
4.1.4 Korelasi nilai <i>effective cohesion</i> ( $C'$ ).....	37
4.1.5 Korelasi nilai <i>friction angle</i> ( $\phi$ ).....	38
4.1.6 Korelasi nilai <i>effective friction angle</i> ( $\phi'$ ).....	39
4.1.7 Korelasi nilai <i>compression index</i> ( $C_c$ ).....	40
4.1.8 Korelasi nilai <i>compression ratio</i> ( $C_r$ ).....	41
4.2 Stratigrafi Tanah .....	43
4.3 Data Material Timbunan Sampah .....	46
4.4 Data Material <i>Geotextile</i> .....	33
4.5 Data Material Minipile .....	33
4.6 Data Material Stone column .....	34
<b>BAB V ANALISA EKSISTING TPA .....</b>	<b>51</b>
5.1 Mencari Tinggi Timbunan Pertahun Eksisting TPA .....	52
5.1.1 Prediksi jumlah penduduk untuk 10 tahun.....	52
5.1.2 Prediksi Jumlah Sampah Kab. Gresik.....	55
5.1.3 Kapasitas Daya Tampung TPA .....	58
5.2 Stabilitas Lereng Timbunan Sampah Maksimum .....	59
5.2.1 Stabilitas lereng akibat <i>overall stability</i> .....	59
5.2.2 Stabilitas Lereng akibat Bearing Capacity .....	60
5.3 Stabilitas Pemampatan pada Timbunan Eksisting TPA Ngipik.....	61
<b>BAB VI PERENCANAAN TIMBUNAN DAN PERBAIKAN TANAH DASAR DI AREA BARU TPA .....</b>	<b>65</b>
6.1 Stabilitas Lereng Timbunan Sampah .....	65
6.1.1 Stabilitas lereng akibat <i>overall stability</i> .....	65
6.1.2 Stabilitas Lereng Akibat Daya Dukung Tanah .....	68
6.2 Ketinggian Kritis Timbunan Terpakai .....	71
6.3 Perhitungan Pemampatan Tanah Dasar .....	71
6.4 Perubahan Parameter Tanah .....	76
6.5 Penimbunan Bertahap.....	78



6.6	Distribusi dan Perubahan Tegangan Akibat Timbunan Bertahap .....	78
6.6	Perhitungan Kenaikan Daya Dukung Tanah Dasar .....	80
6.7	Cek Stabilitas Akibat Overall Stability Tinggi Timbunan Sampah 9,22 m .....	81
6.7	Perhitungan Pemampatan Akibat Timbunan Bertahap .....	83
6.8	Perhitungan Cek Stabilitas Timbunan Bertahap .....	86
<b>BAB VII PERENCANGAN PERKUATAN TANAH.....</b>		<b>89</b>
7.1	Perkuatan Minipile .....	89
7.1.1	Perhitungan tinggi timbunan sampah 15 m .....	89
7.1.2	Perhitungan tinggi timbunan sampah 20 m .....	92
7.1.3	Perhitungan minipile tinggi timbunan sampah 30 m .....	94
7.1.4	Perhitungan kontrol daya dukung tanah .....	95
7.2	Perencanaan Perkuatan Geotextile .....	96
7.2.1	Perhitungan geotextile tinggi timbunan sampah 15 m .....	97
7.2.2	Perhitungan geotextile tinggi timbunan sampah 20 .....	100
7.2.3	perhitungan geotextile tinggi timbunan sampah 30 m .....	102
7.3	Perencanaan Perkuatan <i>Stone Column</i> .....	103
7.3.1	Perhitungan stone column tinggi timbunan sampah 15 m .....	104
7.3.2	Perhitungan stone column tinggi timbunan sampah 20 m .....	107
7.3.3	Perhitungan stone column tinggi timbunan sampah 30 m .....	110
7.3.4	Kontrol <i>overall stability</i> pemasangan stone column .....	113
<b>BAB VIII KESIMPULAN .....</b>		<b>115</b>
8.1	Kesimpulan .....	115
8.2	Saran .....	116
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>117</b>
<b>LAMPIRAN 1 .....</b>		<b>119</b>
<b>LAMPIRAN 2 .....</b>		<b>125</b>
<b>LAMPIRAN 3 .....</b>		<b>173</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>		<b>185</b>

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Gambaran Lokasi TPA Ngipik .....	2
Gambar 2.1 Diagram dari Sistem Open Dumping .....	8
Gambar 2.2 Grafik Faktor Pengaruh Akibat Beban Trapesium ..	11
Gambar 2.3 Lereng dengan Busur Lingkaran Bidang.....	13
Gambar 2.4 Perkuatan Geotextile untuk Meningkatkan Stabilitas Lereng .....	17
Gambar 2.5 Design Manual, NAVFAC DM-1971 .....	20
Gambar 2. 6 Design Manual, NAVFAC DM-7 1971 .....	21
Gambar 2. 7 Ketahanan geser kolom batu pada stabilitas lereng (Mitchell, 1981).....	24
Gambar 2. 8 Idealisasi Sel Unit (Bachus, 1989).....	26
Garmbar 2.9 Faktor Konsentrasi Tegangan – n (Bachus, 1989)	28
Garmbar 3.1 Alir Diagram Perencanaan.....	30
Gambar 4. 1 Layout Lokasi Titik Boreholes .....	33
Gambar 4. 2 Hasil Stratigrafi Tanah pada BH-1, BH-2 dan BH-3 .....	44
Gambar 4. 3 Data Borlog BH-02.....	45
Garmbar 4.4 Geometrik Timbunan sampah dan Tanah Dasar ....	47
Garmbar 5.1 Layout Eksisting TPA Ngipik Gresik .....	51
Garmbar 6.1 Nilai Stabilitas Timbunan Lereng Akibat Overall Stability .....	67
Garmbar 6.2 Grafik Hubungan Antara Tinggi Timbunan dengan Faktor Keamanan Akibat Overall Stability .....	68
Garmbar 6.3 Grafik Hubungan antara Faktor Keamanan dengan Ketinggian Timbunan Akibat Daya Dukung Tanah .....	71
Garmbar 6.4 Hasil Analisa Stabilitas Lereng Akibat 112 Minggu Tahap Penimbunan.....	83
Garmbar 6.5 Grafik Nilai Pemampatan Akibat Timbunan Bertahap .....	85
Garmbar 6.6 Grafik Hubungan antara FAKtor Keamanan dengan Tinggi Timbunan .....	87

Garmbar 6.7 Grafik Hubungan antara nilai pemampatan dengan waktu penimbunan pada 128 minggu .....	88
Garmbar 7.1 Mencari Harga Koefisien Modulus Tanah (f).....	91
Gambar 7. 2 Detail Jarak Pemasangan antar Geotextile .....	97
Gambar 7. 3 Sketsa Bidang Longsor pada Timbunan Sampah ...	98
Garmbar 7.4 Kontrol Overall Stability Pemasangan Stone Column .....	114

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Korelasi Nilai $C_v$ .....	34
Tabel 4.2 Hasil Korelasi Nilai Coefficient of Consolidation Horizontal ( $C_h$ ) .....	35
Tabel 4.3 Hasil Korelasi Nilai Cohesion Undrained ( $C_u$ ) .....	36
Tabel 4.4 Hasil Korelasi Nilai effective cohesion ( $C'$ ) .....	38
Tabel 4.5 Hasil Korelasi Nilai Friction Angle ( $\phi$ ) .....	39
Tabel 4.6 Hasil Korelasi Nilai Effective Friction Angle ( $\phi'$ ) .....	40
Tabel 4.7 Hasil Korelasi nilai <i>compression index</i> ( $C_c$ ) .....	41
Tabel 4.8 Hasil Korelasi Nilai compression ratio ( $C_r$ ) .....	42
Tabel 4.9 Hasil Korelasi Nilai swell index ( $C_s$ ) .....	43
Tabel 4.10 Hasil uji statistik terhadap parameter tanah .....	46
Tabel 4.11 Stablenka Geotextile Woven .....	33
Tabel 4.12 spesifikasi Spun Pile .....	33
Tabel 5.1 Data Penduduk tahun 2015-2019 .....	52
Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Rasio Pertambahan Penduduk .....	54
Tabel 5.3 Hasil Prediksi Jumlah Penduduk Tahun 2020-2024 ...	55
Tabel 5.4 Data Hubungan Jumlah Penduduk dan Jumlah Sampah .....	56
Tabel 5.5 Hasil Prediksi Jumlah Sampah Tahun 2020-2024 .....	57
Tabel 5.6 Rekapitulasi Jumlah Penduduk dan Jumlah Sampah Tahun 2015-2024 .....	58
Tabel 5.7 Data Daya Tampung Perencanaan TPA Ngipik .....	58
Tabel 6.1 Nilai faktor Keamanan dengan Variasi Tinggi tertentu .....	68
Tabel 6.2 Nilai Faktor Keamanan akibat daya dukung tanah dengan variasi tinggi timbunan .....	70
Tabel 6.3 Hasil perhitungan Tegangan Overburden ( $\sigma_o'$ ) .....	73
Tabel 6.4 Hasil perhitungan Tegangan Prakonsolidasi, $\sigma'$ .....	73
Tabel 6.5 Hasil Perhitungan Distribusi tegangan ( $\Delta\sigma$ ) .....	74
Tabel 6.6 Hasil Perhitungan $S_c$ Kumulatif .....	76

Tabel 6.7 Hasil Perubahan Parameter Angka Pori ( $e_0$ ) .....	77
Tabel 6.8 Hasil Perubahan Parameter Berat Volume ( $\gamma$ ).....	78
Tabel 6.9 Nilai Peningkatan Cu Baru Akibat Pemampatan .....	81
Tabel 6.10 Hasil nilai SF terhadap Tinggi Timbunan.....	86
Tabel 7.1. Data Parameter Fisik Tanah untuk Stone Column ...	104
Tabel 7.2 Hasil $Q_{ult}$ pada Stone Column pada Tinggi Timbunan Sampah 15 m.....	107
Tabel 7.3 Hasil $Q_{ult}$ pada Stone Column pada Tinggi Timbunan Sampah 20 m.....	110
Tabel 7.4 Hasil $Q_{ult}$ pada Stone Column pada Tinggi timbunan Sampah 30 m.....	113
Tabel 7.1. Data Parameter Fisik Tanah untuk Stone Column ...	104
Tabel 7.2 Hasil $Q_{ult}$ pada Stone Column pada Tinggi Timbunan Sampah 15 m.....	107
Tabel 7.3 Hasil $Q_{ult}$ pada Stone Column pada Tinggi Timbunan Sampah 20 m.....	110
Tabel 7.4 Hasil $Q_{ult}$ pada Stone Column pada Tinggi timbunan Sampah 30 m.....	113

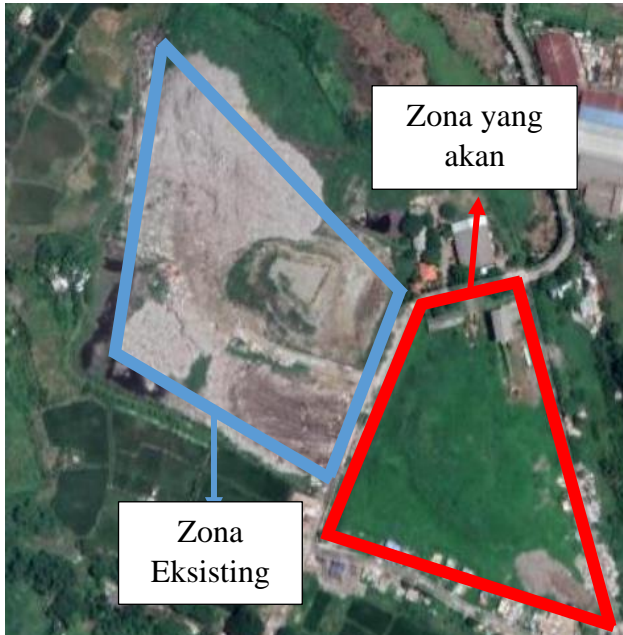
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Kabupaten Gresik memiliki jumlah penduduk sebesar 1.313.826 jiwa pada tahun 2019 dengan luas wilayah Kabupaten Gresik sekitar 1.191,25 km<sup>2</sup>. Dari data BLH kota Gresik tahun 2017, volume sampah penduduk kota sebesar 657.16 m<sup>3</sup>/hari atau sebesar 219,9 ton/hari. Dalam hal pengelolaan sampah, Kabupaten Gresik hanya memiliki satu fasilitas TPA yaitu di TPA Ngipik. TPA Ngipik (*open dumping*) terletak di area perindustrian dengan kapasitas penampungan sampah yang hampir mencapai maksimal. Timbunan sampah yang berada di lokasi ini berjumlah dua timbunan sampah dengan ketinggian tumpukan sampah setinggi 10 meter dan 12 meter yang akan terus bertambah ketinggian tumpukannya karena merupakan salah satu pengolahan sampah untuk kepentingan industri PT. Petrokimia Gresik. Pemilihan sistem *open dumping* dikarenakan dapat menampung sampah yang ada pada luasan lahan, investasi awal lebih murah, dan tempat pembuangan sampah masih dapat digunakan untuk kepentingan lainnya. Pada **Gambar 1.1** TPA Ngipik mempunyai luas ± 8 hektare pada daerah eksisting dan mempunyai luas ± 6 ha pada zona yang akan dibangun.

TPA Ngipik dengan sistem *open dumping* akan direncanakan mampu menahan timbunan sampah dengan tinggi maksimum timbunan sampah yang akan terjadi. Sehingga perlu dihitung stabilitas timbunan sampahnya. Stabilitas timbunan sampah yang tidak memenuhi syarat dan besarnya *displacement* menyebabkan kelongsoran TPA. Seperti yang terjadi pada TPA Leuwihgadajah Bandung pada tahun 2005 yang memakan ratusan korban jiwa dan kerugian yang besar bagi warga sekitar karena kapasitas timbunan sampah yang terlalu banyak.



Gambar 1. 1 Gambaran Lokasi TPA Ngipik  
(sumber : *googleearth.com*)

Selain stabilitas timbunan sampah, yang harus diperhatikan adalah perkuatan TPA Ngipik sebagai peningkat daya dukung tanah dasar. Menurut *Navarro Ferronato* tahun 2019, apabila lahan TPA berkurang hal tersebut dapat diatasi dengan penguatan struktur tanah sehingga dapat memaksimalkan volume timbunan sampah dan dapat menghemat uang operator TPA. Sedangkan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum tahun 2012, dalam hal penempatan pada tanah lunak dan gambut tidak dapat dihindari maka TPA dapat direkayasa secara teknologi sehingga dapat diperkuat dengan kontruksi perbaikan tanah bawah. Terdapat beberapa metode perbaikan tanah yang dapat direkayasa pada TPA Ngipik. Pada perencanaan ini akan menganalisa



stabilitas timbunan sampah akibat daya dukung tanah dan akibat *overall stability*, menghitung nilai pemampatan akibat konsolidasi dan tanpa konsolidasi, menghitung nilai pemampatan akibat beban timbunan sampah bertahap yang masuk ke area TPA dan membandingkan alternatif-alternatif perkuatan tanah bawah menggunakan geotextile, minipile, dan *stone column* berdasarkan *safety factor* yang akan dicapai dan biaya kontruksi yang paling termurah.

TPA Ngipik merupakan tanah lunak dengan golongan A-7-6 Menurut klasifikasi AASHTO (Ardiansyah, 2017). Timbunan sampah yang dibangun di atas tanah lunak memiliki kecenderungan untuk menyebar secara lateral akibat tekanan tanah horizontal yang bekerja di dalam timbunan. Tekanan tanah ini menimbulkan tegangan geser horizontal pada dasar timbunan yang harus ditahan oleh tanah pondasi. Apabila tanah pondasi tidak memiliki tahanan geser yang cukup maka akan terjadi keruntuhan. Pemasangan geotekstil berkekuatan tinggi yang direncanakan dengan tepat akan berfungsi sebagai perkuatan untuk meningkatkan stabilitas serta mencegah keruntuhan. Geotextile juga mengurangi pergeseran horizontal dan vertikal tanah di bawahnya, sehingga dapat mengurangi penurunan differensial.

Penggunaan cerucuk dan *stone column* dimaksudkan untuk menaikkan tahanan geser tanah dan meningkatkan daya dukung tanah. Namun dari sisi teknik memperbaiki kinerja tanah mempunyai hal yang berbeda, penggunaan cerucuk dianggap sebagai kelompok tiang dengan *rigid cap* di muka tanah yang menerima gaya horizontal dan gaya horizontal tersebut merupakan tegangan geser yang terjadi di sepanjang bidang gelincir (Mochtar, I.B. 2000). Sedangkan untuk penggunaan *stone column* yaitu melalui proses pemadatan tanah granular di sekitarnya dan melalui penguatan tanah dengan kekuatan geser yang lebih tinggi dan kaku dari kolom batu yang terbentuk (Hussin, 2006).

Konsep dasar perencanaan tempat pembuangan akhir yaitu memiliki permeabilitas rendah, memiliki daya dukung tanah tinggi, dan kuat geser terhadap longsor. Dari penjelasan di atas, pada tugas

akhir ini akan membahas dan menganalisa mengenai kondisi eksisting TPA Ngipik dengan sistem *open dumping*, stabilitas timbunan sampah dan perkuatan tanah menggunakan alternatif geotextile, cerucuk, dan *stone column* untuk mendapatkan kekuatan yang diperlukan pada TPA Ngipik. Perencanaan perkuatan tanah dilakukan terhadap tinggi maksimum sampah dengan variasi tinggi 15 m, 20 m, dan 30 m dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,50. Variasi tinggi sampah direncanakan dengan tujuan dapat mengetahui volume alternatif perkuatan yang ingin dicapai sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan oleh pihak berwenang untuk menentukan tinggi maksimum sampah dengan perkuatannya. Maka perencanaan ini dirasa perlu untuk memberikan alternatif perencanaan kepada Pemerintahan Kabupaten Gresik untuk mengadakan perluasan zona di TPA Ngipik.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah pada Tugas Akhir ini yaitu :

1. Bagaimana kondisi stabilitas timbunan sampah di area eksisting TPA Ngipik?
2. Bagaimana nilai stabilitas timbunan sampah di area baru stabilitas timbunan sampah di area baru TPA Ngipik pada saat mencapai kapasitas tinggi maksimum?
3. Bagaimana peningkatan daya dukung tanah pada TPA Ngipik dengan menggunakan perkuatan *geotextile*, *minipile*, dan *stone column* pada tinggi timbunan 15 m, 20 m dan 30 m?

### **1.3. Tujuan Penulisan**

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui kondisi stabilitas timbunan sampah di area eksisting TPA Ngipik

2. Mengetahui nilai stabilitas timbunan sampah pada saat mencapai kapasitas tinggi maksimum di area baru TPA Ngipik
3. Mengetahui peningkatan daya dukung tanah pada TPA Ngipik dengan menggunakan perkuatan geotextile, minipile, dan *stone column* pada tinggi timbunan 15 m, 20 m dan 30 m.

#### **1.4. Manfaat Penulisan**

Manfaat dari penulisan tugas akhir adalah sebagai bahan masukan bagi Pemerintahan Kabupaten Gresik terkait analisa stabilitas timbunan sampah dan metode perbaikan tanah Tempat Pengolahan Akhir (TPA) Ngipik menggunakan sistem *open dumping* dan sebagai pertimbangan pihak berwenang untuk dapat menentukan tinggi maksimum sampah pada area baru TPA Ngipik.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Pada Tugas Akhir ini memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Menghitung tinggi timbunan dan stabilitas eksisting TPA Ngipik
2. Menghitung pemampatan open dumping TPA Ngipik
3. Menghitung perkuatan tanah akibat timbunan sampah



*“Halaman ini sengaja dikosongkan.”*



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

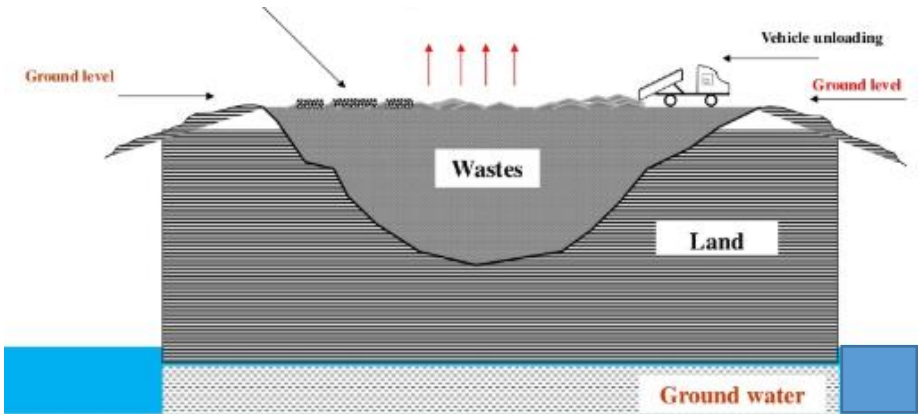
#### **2.1 Tempat Pembuangan Akhir**

Menurut SNI 03-3241-1994, tempat pembuangan akhir (TPA) sampah adalah sarana fisik untuk berlangsungnya kegiatan pembuangan akhir sampah berupa tempat yang digunakan untuk mengkarantina sampah kota secara aman. Sedangkan menurut UU No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, TPA adalah sarana fisik untuk berlangsungnya kegiatan pemrosesan akhir sampah. Proses akhir sampah adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan. TPA sampah menjadi tempat akhir dan bisa jadi menjadi komponen paling penting dalam proses panjang dan kompleks dari pengelolaan sampah suatu daerah. Oleh karena itu mengenai pengambilan keputusan untuk penentuan lokasi TPA sampah menjadi sangat penting agar diperhatikan karena pengelolaan sampah yang tidak efektif akan berdampak negatif terhadap kehidupan sehari-hari warga di suatu daerah tersebut.

##### **2.1.1 Metode Pengelolaan Sampah Akhir**

Secara garis besar ada 2 metode pengelolaan sampah yang dilakukan, yaitu:

1. Metode Open Dumping, yaitu sistem pembuangan sampah yang dilakukan secara terbuka. Hal ini akan menjadi masalah jika sampah yang dihasilkan adalah sampah organik yang membusuk karena menimbulkan gangguan pembauan dan estetika serta menjadi sumber penularan penyakit. Adapun diagram dari open dumping dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut;



Gambar 2.1 Diagram dari Sistem Open Dumping (CPCB, 2012)

2. Metode *Sanitary landfill* (lahan urug saniter), *Sanitary landfill* merupakan penimbunan sampah dengan cara mengurug sampah secara berlapis-lapis pada lahan yang telah disiapkan, diratakan dan dipadatkan, kemudian ditutup dengan tanah penutup setiap akhir operasi. Ketika air hujan berinfiltrasi ke permukaan landfill dan air ini mengalir keluar dari landfill akan membawa berbagai mineral dan zat organik dalam bentuk suspensi yang tak dapat dipisahkan (Samang, 2012). Dibandingkan dengan open dumping, pengelolaan sampah yang lebih baik adalah sistem *sanitary landfill* (penimbunan secara sehat). *Sanitary landfill* didesain sedemikian rupa untuk mencegah merembesnya leachate ke dalam air tanah. Di dasar TPA, dipasang clay liner yaitu tanah lempung yang dipadatkan lapis demi lapis dengan energi dan kadar air tertentu. Di atas clay liner, dipasang geomembrane yang juga berfungsi mencegah merembesnya leachate ke dalam air tanah (Bagchi, 1994).



## 2.2 Settlement Timbunan

Langkah menghitung penurunan (settlement) akibat timbunan tanah adalah:

- Menentukan suatu harga  $q$  tertentu atau  $h$  timbunan tertentu. Misalnya  $q = 3 \text{ ton/m}^2$  atau timbunan setinggi 5 m dengan berat jenis  $1.8 \text{ t/m}^3$
- Menghitung tegangan efektif akibat tanah dasar itu sendiri ( $\gamma'$ ) yang di hitung tiap tebal 1 m lapisan tanah dasar. Rumus perhitungan  $\gamma'$  adalah sebagai berikut
 
$$\gamma' = (\gamma_{sat} - \gamma_{water}) \cdot z \quad (2.1)$$

Dimana  $z$  adalah kedalaman tanah dasar (titik tinjau). Data – data seperti  $e_0$ ,  $C_c$ ,  $\gamma_{sat}$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma_c$  diperoleh dari data tanah yang tersedia.  $C_s$  didapatkan dari  $1/10 C_c$ . Data tanah dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

- Dengan asumsi  $q$  tersebut dan bentuk timbunan yang dikehendaki, dicari penurunan konsolidasi maksimum tanah akibat konsolidasi. Penurunan dapat dicari dengan menggunakan rumus :

- Pemampatan untuk NC-Soil ( $OCR < 1$ )

$$S_{c\sim} = \frac{H}{1+e_0} \left[ C_c \log \left( \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \quad (2.2)$$

- Pemampatan untuk OC Soil ( $OCR > 1$ )

Bila  $(\sigma_o' + \Delta\sigma) \leq \sigma_c'$

$$S_{c\sim} = \frac{H}{1+e_0} \left[ C_s \log \left( \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \quad (2.3)$$

Namun bila  $(\sigma_o' + \Delta\sigma) > \sigma_c'$

$$S_{c\sim} = \left[ \frac{H}{1+e_0} C_s \log \frac{\sigma_c'}{\sigma_o'} \right] + \left[ \frac{H}{1+e_0} C_c \log \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_c'} \right] \quad (2.4)$$

dimana :

Sci : Pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah yang ditinjau, lapisan ke  $i$

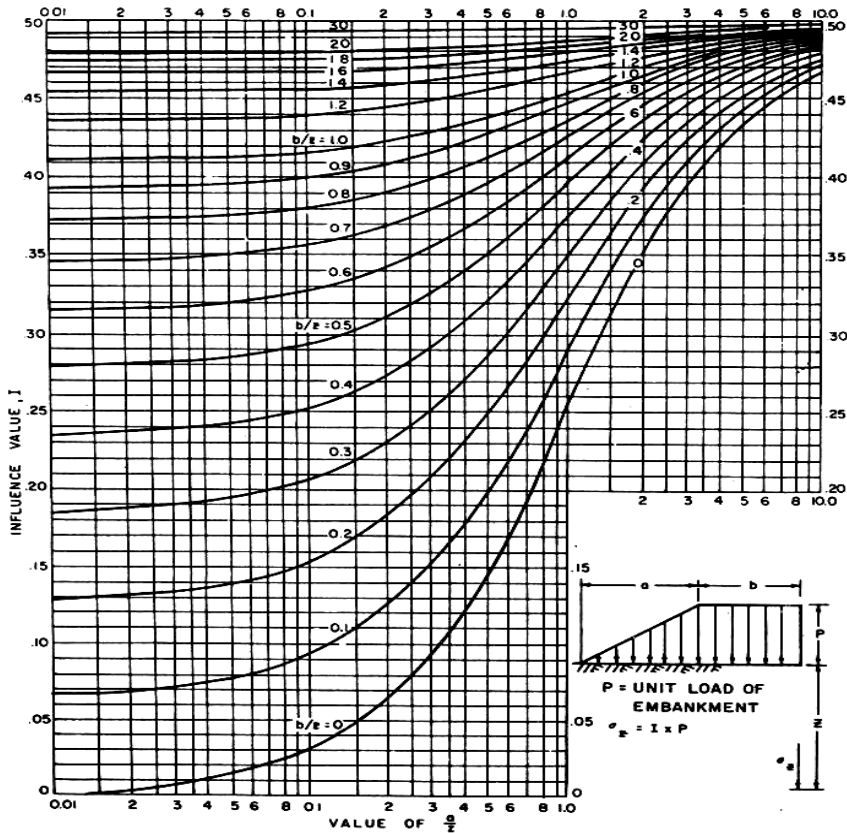
Hi : Tebal lapisan tanah ke  $i$

- $e_o$  : Angka pori awal dari lapisan tanah ke i  
 $C_c$  : Compression Index dari lapisan tanah tersebut (lapisan ke i)  
 $C_s$  : Swelling Index dari lapisan tanah tersebut (lapisan ke i)  
 $\sigma_o'$  : Tekanan tanah vertical effective di suatu titik ditengah-tengah lapisan ke i akibat beban tanah sendiri di atas titik tersebut di lapangan (= *effective overburden pressure*).  
 $\sigma_c'$  : *effective past overburden pressure*, tegangan konsolidasi effective dimasa lampau yang lebih besar dari pada  $p_o'$  (dapat dilihat dari kurva konsolidasinya).  
 $\Delta\sigma$  : penambahan tegangan vertical di titik yang ditinjau (di tengah lapisan ke i) akibat beban timbunan jalan yang baru

$\Delta\sigma$  didapatkan dari rumus :

$$\Delta\sigma = 2 \times q_o \times I$$

dimana I adalah faktor pengaruh dari beban tersebut ke dalam titik tinjau ke lapisan dasar dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Grafik Faktor Pengaruh Akibat Beban Trapesium

- d. Setelah didapatkan  $S_c$  akibat timbunan dapat dicari tinggi awal ( $H$  initial) dengan menggunakan rumus

$$H_{\text{inisial}} = \frac{Q_{\text{final}} + (S_c \cdot (\gamma_{\text{timb}} + \gamma_w - \gamma_{\text{sat timb}}))}{\gamma_{\text{timb}}} \quad (2.5)$$

## 2.3 Stabilitas Timbunan

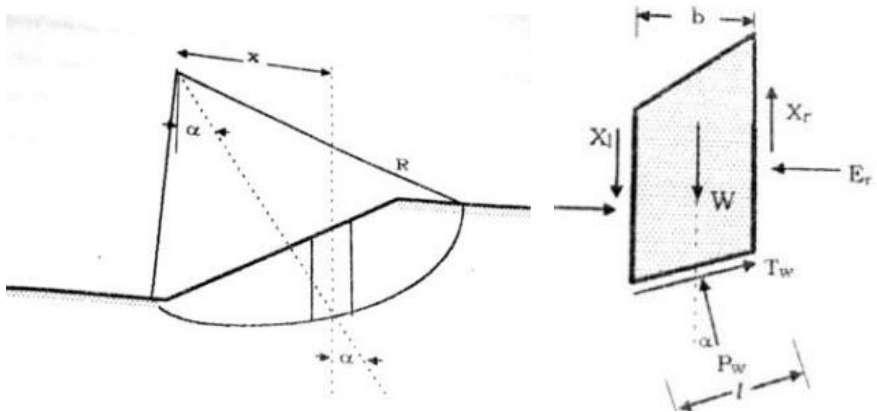
### 2.3.1 Teori Kestabilan Lereng (Metode Irisan Konvensional)

Metode Fellenius (Ordinary Method of Slice) diperkenalkan pertama oleh Fellenius (1927,1936) berdasarkan bahwa gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan FK dihitung dengan keseimbangan momen. Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja ditengah-tengah slice. Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisan adalah sama dengan nol, atau dengan kata lain bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan. Jadi total asumsi yang dibuat oleh metode ini adalah:

- Posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan :  $n$
- Resultan gaya antar irisan sama dengan nol :  $n - 1$ , Total :  $2n - 1$

Dengan anggapan-anggapan ini maka dapat diuji persamaan keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi dan diperoleh suatu nilai Faktor Keamanan.

Pada Gambar 2.3 diperlihatkan suatu lereng dengan sistem irisan untuk berat sendiri massa tanah ( $W$ ) serta analisis komponen gaya-gaya yang timbul dari berat massa tanah tersebut, yang terdiri dari gayagaya antar irisan yang bekerja di samping kanan irisan ( $E_r$  dan  $X_t$ ). Pada bagian alas irisan, gaya berat ( $W$ ) diuraikan menjadi gaya reaksi normal  $P_w$  yang bekerja tegak lurus alas irisan dan gaya tangensial  $T_w$  yang bekerja sejajar irisan. Besarnya lengan gaya ( $W$ ) adalah  $x = R \sin \alpha$ , dimana  $R$  adalah jari-jari lingkaran longsor dan sudut  $\alpha$  adalah sudut pada titik O yang dibentuk antara garis vertikal dengan jari-jari lingkaran longsor.



Gambar 2.3 Lereng dengan Busur Lingkaran Bidang

Dengan menggunakan prinsip dasar serta asumsi-asumsi yang telah dikemukakan di atas, maka selanjutnya dapat diuraikan analisis Faktor Keamanannya sebagai berikut:

Kriteria Keruntuhan Mohr–Coulomb:

$$s = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (2.6)$$

dengan:

$s$  = Kuat geser tanah

$c'$  = Kohesi tanah efektif

$\sigma'$  = Tegangan normal efektif

$\phi'$  = sudut geser dalam tanah efektif

Tegangan Normal Efektif dinyatakan sebagai:

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.7)$$

dengan:

$\sigma$  = Tegangan normal total

$u$  = Tekanan air pori

Kemudian tegangan normal total yang bekerja pada bidang longsor dinyatakan sebagai:

$$\sigma = \frac{P_w}{l.1} \quad (2.8)$$

dengan:

$P_w$  = Gaya normal akibat berat sendiri tanah

$l$  = lebar alas irisan

$1$  = satu satuan lebar bidang longsor

Substitusi persamaan (2.7) ke dalam persamaan (2.6) menghasilkan :

$$s = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \quad (2.9)$$

dan substitusi persamaan (2.7) pada persamaan (2.9) menghasilkan :

$$s = c' + \left( \frac{P_w}{1.1} - u \right) \tan \phi \quad (2.10)$$

Agar supaya lereng menjadi stabil maka gaya-gaya yang diperlukan untuk mengakibatkan longsor haruslah lebih kecil dari pada gaya-gaya yang ada sehingga faktor keamanan akan menjadi lebih besar atau sama dengan satu.

Dengan kata lain:

$$FK = \frac{\text{Tegangan geser yang ada}}{\text{Tegangan geser penyebab longsor}} \quad (2.11)$$

dengan:

$FK > 1,5$  menunjukkan lereng stabil

$FK = 1,5$  kemungkinan lereng tidak stabil

$FK < 1,5$  menunjukkan lereng tidak stabil

Atau dalam bentuk rumus dinyatakan sebagai:

$$F = \frac{S}{\tau} \quad (2.12)$$

Dan tegangan geser adalah:

$$\tau = \frac{S}{F} \quad (2.13)$$

Gaya geser yang diperlukan adalah:

$$S = \tau \cdot l \cdot 1 \quad (2.14)$$

dengan:

$\tau$  = Tegangan geser

$S$  = Gaya geser

Jika persamaan (2.13) disubstitusikan pada persamaan (2.14), maka diperoleh:

$$S = \frac{1}{F} (s \cdot l) \quad (2.15)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.9) ke dalam persamaan (2.14), diperoleh:

$$S = \left[ \frac{1}{F} (c' + \left\{ \frac{P_w}{l} - u \right\} \tan \emptyset' \right] \quad (2.16)$$

$$S = \left[ \frac{1}{F} (c' \cdot l + \left\{ \frac{P_w \cdot l}{l} - u \cdot l \right\} \tan \emptyset' \right] \quad (2.17)$$

$$S = \left[ \frac{1}{F} (c' \cdot l + \{ P_w - u \cdot l \} \tan \emptyset' \right] \quad (2.18)$$

Komponen gaya tangensial atau gaya yang bekerja sejajar irisan (Tw) adalah:

$$T_w = \tau \cdot l \cdot 1 \quad (2.19)$$

Substitusi persamaan (2.12) pada persamaan (2.19) menghasilkan:

$$T_w = \frac{S}{F} l \cdot 1 \quad (2.20)$$

Persamaan (2.19) identik dengan persamaan (2.14) sehingga Tw dapat dinyatakan sebagai:

$$T_w = S \quad (2.21)$$

Dengan memasukkan harga s dari persamaan (2.18) maka persamaan (2.21) dapat dinyatakan kembali menjadi:

$$T_w = \left[ \frac{1}{F} (c' \cdot l + \{ P_w - u \cdot l \} \tan \emptyset' \right] \quad (2.22)$$

Komponen gaya normal (Pw) yang bekerja pada pusat alas irisan akibat berat sendiri tanah (W) adalah:

$$P_w = W \cdot \cos \alpha \quad (2.23)$$

Komponen gaya tangensial (Tw) akibat berat massa tanah adalah:

$$T_w = W \cdot \sin \alpha \quad (2.24)$$

Selanjutnya dengan menguji kesetimbangan momen dari seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi yaitu titik O maka diperoleh suatu bentuk persamaan:

$$\sum M = 0 \quad (2.25)$$

$$\sum W \cdot l_w - \sum T_w \cdot R = 0 \quad (2.26)$$

dengan:  $l_w = x = R \cdot \sin \alpha$

$$T_w = \left[ \frac{1}{F} (c' \cdot l + \{ P_w - u \cdot l \} \tan \emptyset' \right] \quad (2.27)$$

Dengan memasukkan nilai  $l_w$  dan  $T_w$  ke dalam persamaan (2.26) diperoleh:

$$\sum W . R \sin \alpha = \sum \left[ \frac{1}{F} (c' . l + \{ Pw - u . l \} \tan \emptyset') \right] R = 0 \quad (2.28)$$

$$\sum W . R \sin \alpha = \sum \left[ \frac{1}{F} (c' . l + \{ Pw - u . l \} \tan \emptyset') \right] R \quad (2.29)$$

$$\sum W . \sin \alpha = \frac{1}{F} \sum [(c' . l + \{ Pw - u . l \} \tan \emptyset')] \quad (2.30)$$

F pada ruas kanan ditukarkan dengan komponen momen l gaya penggerak longsor yaitu  $\sum W \sin \alpha$  maka diperoleh suatu persamaan Faktor Keamanan sebagai berikut:

$$FK = \frac{[c' . l + \{ Pw - u . l \} \tan \emptyset']}{\sum W . \sin \alpha} \quad (2.31)$$

Selanjutnya dengan mensubstitusikan besarnya nilai komponen gaya normal akibat berat tanah (W) pada persamaan (2.23) ke dalam persamaan (2.31) maka diperoleh Persamaan Faktor Keamanan akibat berat tanah (W) sebagai berikut:

$$FMW = \frac{\sum [(c' . l + \{ W \cos \alpha - u . l \} \tan \emptyset')]}{\sum W . \sin \alpha} \quad (2.32)$$

Ini merupakan rumus dasar Faktor Keamanan akibat berat sendiri tanah (W) yang dirumuskan oleh Fellenius yang didapat dengan cara meninjau kesetimbangan momen seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi O. Nilai Faktor Keamanan ini adalah sama dengan perbandingan antara seluruh komponen momen penahan longsor dengan momen penyebab longsor untuk seluruh irisan yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$FMW = \frac{\sum \text{Momen penahan longsor}}{\sum \text{momen penyebab longsor}} \quad (2.33)$$

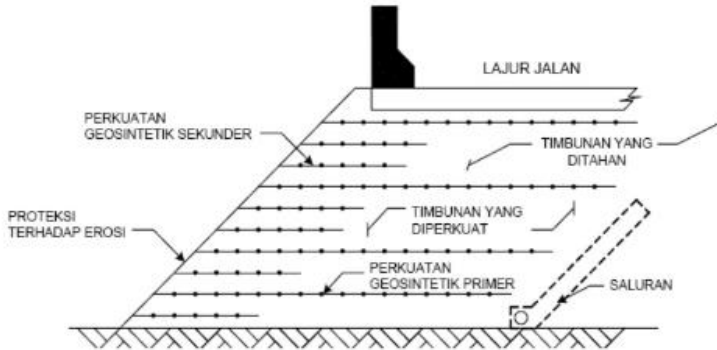
(Anderson dan Richard, 1987)

### 2.3.2 Geotextile pada Perkuatan Lereng

Pemasangan geotextile berkekuatan tinggi yang direncanakan dengan tepat akan berfungsi sebagai perkuatan untuk meningkatkan stabilitas serta mencegah keruntuhan. Lereng tanah yang diperkuat merupakan suatu bentuk stabilisasi tanah secara mekanis dengan menggunakan elemen perkuatan sebidang dalam suatu lereng yang mempunyai kemiringan muka kurang dari 70 derajat. Pemasangan geotextile dapat meningkatkan stabilitas lereng terutama jika diinginkan sudut kemiringan lereng lebih



besar tetapi tetap aman dibandingkan dengan lereng yang tidak diperkuat. Pemasangan geotextile untuk meningkatkan stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut :



Gambar 2.4 Perkuatan Geotextile untuk Meningkatkan Stabilitas Lereng

Adapun panjang geotextile yang diperlukan untuk memeperkuat timbunan dapat dihitung menggunakan rumus:

$$L_e = \frac{T_{allow} \times SF}{(\tau_1 + \tau_2) \times E} \quad (2.34)$$

Dimana :

$T_{allow}$  = kekuatan geotextile yang tersedia

SF = Angka keamanan

$\tau_1$  = tegangan geser antar tanah timbunan dengan geotextile  
 $= \tau_1 = c + \sigma_v(tg\delta)$

$\tau_2$  = tegangan geser antar tanah dasar dengan geotextile  
 $= \tau_2 = c + \sigma_v(tg\delta)$

E = Efisiensi

Maka panjang geotextile dibelakang geotextile adalah

$$L_e = \frac{T_{allow} \times SF}{[c + \sigma_v(tg\delta)]_1 + [c + \sigma_v(tg\delta)]_2 \times E} \quad (2.35)$$

## 2.4 Cerucuk/Minipile

### 2.4.1 Penentuan Kekuatan Minipile dalam Memikul Beban Horizontal

Metode cerucuk dengan micropile adalah salah satu cara stabilisasi dengan cara memasukkan micropile ke dalam tanah dasar. Untuk menghitung kebutuhan cerucuk per-meter, terlebih dahulu ditentukan kekuatan (satu) tiang / cerucuk untuk menahan gaya horizontal. Kemudian berdasarkan perbandingan dari besarnya momen penggerak dengan momen penahan yang dibutuhkan, ditentukan jumlah tiang/cerucuk yang diperlukan. Sesuai dengan syarat kestabilan lereng, harga angka keamanan dari kestabilan lereng yang telah diberi cerucuk harus dibuat menjadi sekurang-kurangnya 1.10 untuk kondisi dengan beban sementara (kendaraan) dan sekurang-kurangnya 1.50 untuk kondisi hanya beban timbunan/ embankment saja.

Untuk menghitung kekuatan 1 (satu) cerucuk, terlebih dahulu harus ditentukan faktor kekuatan relatif (T) dari cerucuk seperti yang telah dijelaskan dalam NAVFAC DM-7, 1971 yaitu :

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{1/5} \quad (2.36)$$

Dimana :

E = modulus elastis tiang (cerucuk), kg/cm<sup>2</sup>

I = momen inersia tiang (cerucuk), cm<sup>4</sup>

f = koefisien dari variasi modulus tanah, kg/cm<sup>3</sup>

T = faktor kekuatan relatif, cm

Harga f didapat dengan bantuan Gambar 2.5 (Design Manual, NAVFAC DM-1971) yang merupakan grafik hubungan antara f dengan unconfined compression strength,  $q_u = 2 C_u$ .

Harga T yang telah diperoleh dipakai untuk menghitung gaya horizontal (P) yang mampu ditahan oleh 1 (satu) tiang dengan formula

$$P = \left(\frac{Mp}{F_{mx}T}\right) \quad (2.37)$$

Dimana :

$M_p$  = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban  $P$ , kg-cm

$F_m$  = koefisien momen akibat gaya lateral  $P$

$P$  = gaya horizontal yang diterima cerucuk, kg

$T$  = faktor kekuatan relatif, cm

Harga  $F_m$  ditentukan dengan menggunakan Gambar 2.6 (Design Manual, NAVFAC DM-7 1971) dengan terlebih dahulu merencanakan panjang cerucuk yang tertahan dii bawah bidang gelincir ( $L$ ). Dengan bantuan Gambar 2.6, harga  $L/T$  kemudian dipakai untuk menentukan harga  $F_m$  pada kedalaman  $Z$ .

Bila kekuatan bahan cerucuk ( $\sigma_{\text{mak-bahan}}$ ) dan dimensinya diketahui, maka momen maksimum lentur cerucuk ( $M_p$ ) adalah :

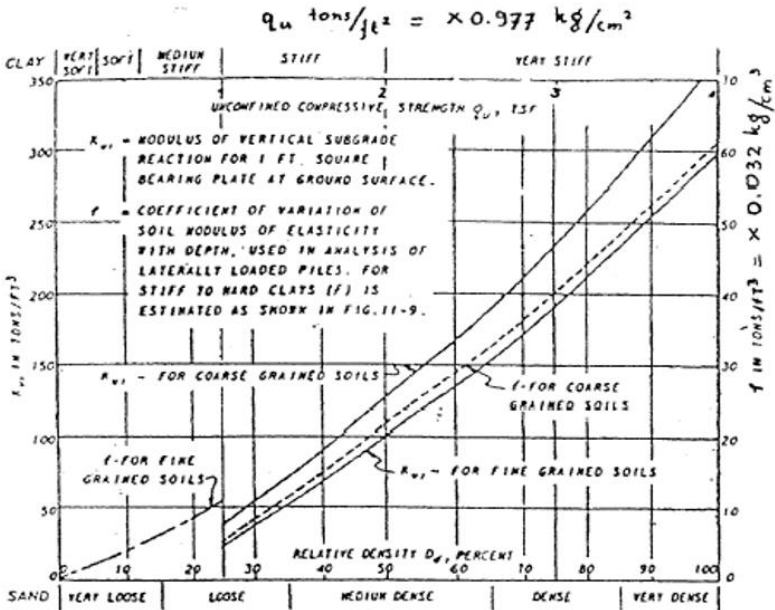
$$M_{p_{\text{mak-1cerucuk}}} = \frac{\sigma_{\text{mak-bahan}} \times I_n}{D/2} \quad (2.38)$$

Dimana :

$\sigma_{\text{maks}}$  = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban  $P$ , kg-cm

$I_n$  = momen inersia penampang cerucuk terhadap garis netral penampang.

$D$  = diameter cerucuk



Gambar 2.5 Design Manual, NAVFAC DM-1971

Harga  $M_p$  yang telah diperoleh kemudian dipergunakan untuk menghitung gaya maksimum ( $P_{max}$ ) yang dapat ditahan oleh satu cerucuk, yaitu :

$$P_{max} = 1 \text{ cerucuk} = \frac{M_{pmax1} \text{ cerucuk} \cdot F_k}{F_{mxT}} \quad (2.39)$$

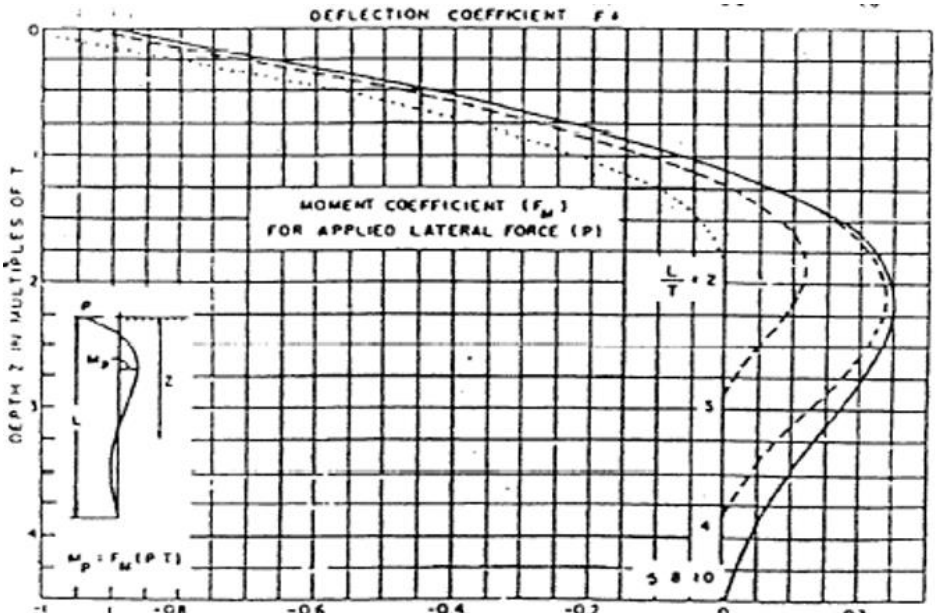
Dimana menurut Mochtar & Arya (2002),

$$F_k = 2,643 \left[ \frac{0,89 + 0,12 \frac{L}{D}}{2,69} \right] \left[ \frac{0,855 \cdot C_u^{-0,392}}{2,865} \right]. \quad (2.40)$$

Dimana :

$L$  = Panjang cerucuk di bawah bidang gelincir

$D$  = diameter cerucuk



Gambar 2. 6 Design Manual, NAVFAC DM-7 1971

## 2.4.2 Penentuan Jumlah Cerucuk

Untuk menghitung banyaknya tiang/cerucuk persatuan panjang, pertama sekali ditentukan gaya horizontal tambahan pada tiang gelincir (Pt) yang diperlukan untuk menambah kekuatan geser tanah. Gaya horizontal Pt tersebut kemudian direncanakan untuk dipikul oleh cerucuk. Untuk itu, momen dorong ( $M_D$ ) yang terjadi akibat beban timbunan dan beban lain yang ada perlu dihitung.

Dengan menggunakan program Geoslope diperoleh angka keamanan minimum ( $Sf_{min}$ ), Momen Penahan ( $M_R$ ), titik pusat bidang longsor, dan jari-jari kelongsoran. Dari data yang diperoleh tersebut kemudian dihitung Momen Dorong ( $M_D$ ), yaitu :

$$\text{Momen Dorong } (M_D) = [(M_R) / SF_{min}] \quad (2.41)$$

Dimana :

- SF = Safety Factor / angka keamanan  
 $M_R = \sum \Delta C_u \times L \times R$   
 $\Delta C_u$  = tegangan geser undrained tanah dasar  
 L = panjang bidang gelincir  
 R = jari-jari bidang gelincir

Setelah besarnya  $M_D$  dan  $M_R$  diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung momen penahan tambahan ( $\Delta M_R$ ) yang diperlukan untuk meningkatkan angka keamanan, yaitu :

$$\Delta M_R = (Sf_{ren} - SF_{min}) \times M_D$$

Dengan diperolehnya harga  $\Delta M_R$ , besarnya tambahan gaya yang harus dipikul oleh cerucuk (Pt) dapat ditentukan dengan cara :

$$Pt = [\Delta M_R / R], \text{ di mana } R = \text{jari-jari kelongsoran}$$

Jumlah cerucuk (n) yang harus dipasang persatuan panjang adalah

$$N = [Pt / P_{\text{mak-1cerucuk}}] = [\Delta M_R / \{R \times P_{\text{mak-1cerucuk}}\}] \quad (2.42)$$

## 2.5 Stone Coloumn

Teknik kolom batu (*stone column technique*) merupakan pengembangan dari teknik vibroflotation, dengan menggunakan material pengisi dari kerikil besar atau batu. Jika dikatakan bahwa teknik *vibroflotation* efektif diterapkan untuk tanah granuler yang belum konsiten, maka teknik *stone column* dapat digunakan untuk pemadatan tanah yang mengandung lempung dan lanau yang bergradasi halus sampai tanah organik, dimana partikel-partikelnya tidak dapat diatur ulang oleh getaran. Kolom-kolom batu memungkinkan perlakuan terhadap jenis tanah ini melalui penggabungan bahan granular (kadang-kadang disebut pemberat) yang dipadatkan dengan sistem tahap yang meningkat (*ascending steps*). Untuk penerapan *stone column* material batu bisa digantikan dengan blok-blok beton atau mortar dari adukan semen dengan material tanah sebagai bahan pengisi.

Prosedur penerapan *stone column* secara ringkas adalah dimulai di bagian bawah pada kedalaman tanah yang akan diperbaiki, dan berlanjut ke arah permukaan. Vibrator dapat

menembus lapisan tanah dengan bantuan beras sendirinya. Ujung depan loader menempatkan batu di sekitar vibroflot di permukaan tanah dan batu jatuh ke ujung *vibroflot* dengan bantuan air yang disiram di sekitar bagian luar vibroflot. Vibrator ini kemudian diangkat beberapa kaki dan batu jatuh di sekitar vibroflot ke ujungnya, mengisi rongga yang terbentuk saat *vibroflot* dinaikkan. *Vibroflot* kemudian berulang kali diangkat dan diturunkan, sehingga dapat memadatkan tanah sekaligus dapat menggeser batu sampai 2 - 3 kaki ke samping (0,75 sampai 0,9 m). Air pembilasan biasanya diarahkan ke cekungan deformasi yang terbentuk, dimana suspensi partikel tanah yang halus berkumpul.

Daya dukung pada kolom batu merupakan fungsi dari sudut geser dalam dari bahan kolom dan tekanan pasif yang bekerja pada kolom di lapangan. Sudut geser dalam pada kolom batu umumnya berkisar antara 40 derajat sampai 45 derajat, tergantung pada bahan yang digunakan (Bell, 1975). Namun, untuk memasukkan faktor keamanan, praktik umum diambil sudut geser dalam sebesar 38 derajat untuk tujuan desain (Besancon, 1982). Berdasarkan informasi di atas, rumusan disain yang disederhanakan adalah sebagai berikut (Besancon, 1982) :

$$n_1 = 4.P_1 \quad (2.43)$$

Yang mana :

$n_1$  = tekanan vertikal total

$P_1$  = tekanan lateral terbatas

Pada tahun 1984, D.A. Greenwood mengusulkan sebuah formula untuk menentukan daya dukung akhir kolom batu tunggal. Hal ini dimengerti, di tanah liat atau pada dasarnya tanah liat terisi, batas penurunan yang diizinkan akan terjadi sebelum daya dukung akhir dari kolom batu tercapai. Oleh karena itu, desain kolom batu biasanya akan didasarkan pada angka penurunan. Sebagai panduan umum, kekuatan geser ( $c_u$ ) dari bahan kohesif minimal 20 kilo Newton per meter persegi, agar kolom batu bekerja efektif. Walaupun demikian dalam keadaan khusus, tanah yang telah diperbaiki dengan kolom batu, kekuatan geser yang diperhitungkan

hanya 15 kilo Newton per meter persegi. Daya dukung akhir dari kolom batu yang berdiri tunggal dapat diperoleh dari (Greenwood, 1984) :

$$\sigma_{vc} = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \cdot (F \cdot C_u + \sigma'_{r0s} - U_o) \quad (2.44)$$

Yang mana :

$\sigma_{vc}$  = Daya dukung akhir Kolom Batu Tunggal

$\sigma'_{r0s}$  = Tekanan lateral termasuk beban tambahan

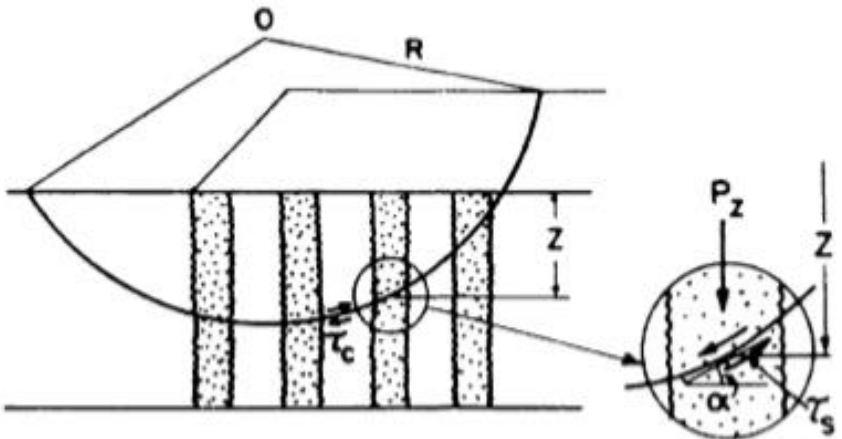
F = Faktor kelipatan (Gibson & Anderson, sarankan F = 4)

$U_o$  = 0 ; apabila kolom efektif dalam mengurangi tekanan air pori

$C_u$  = kuat geser undrained, untuk kolom batu kecil

$C_u$  = C' (kohesi efektif), untuk kolom batu yang besar

$\phi$  = Sudut geser dalam dari material kolom batu



Gambar 2. 7 Ketahanan geser kolom batu pada stabilitas lereng (Mitchell, 1981)



Dalam desain kolom batu tiga hal yang tidak dapat dipisahkan pembahasannya, yaitu daya dukung (bearing capacity), spasi (spacing), dan penurunan (settlement). Menurut Griffith (1991), bahwa pada sistem kolom batu yang diterapkan pada tanah lunak dan kompresibel dapat berfungsi sebagai pondasi tiang, tanpa pile cap, tanpa penulangan, tanpa struktur penyambung, dan tidak lagi memerlukan penetrasi pondasi. Selain itu, kolom batu bersifat kompresibel dan akan berubah bentuk menjadi kekuatan yang termobilisasi, dan dapat mengurangi tegangan selama aplikasi beban. Penggunaan kolom batu untuk mendukung peningkatan daya dukung dan memperkecil penurunan selalu menjadi perhatian utama. Bila kolom batu digunakan untuk tujuan stabilitas pada tanggul atau lereng, kekuatan geser kolom batu merupakan perhatian utama (Mitchell, 1981), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 berikut.

Sebagai mana diketahui bahwa jika bahan tumpukan dikompres secara aksial, maka secara alami akan berusaha untuk memperluas radialnya, sehingga menyebabkan material kohesif sekitarnya ikut memobilisasi tekanan tanah pasif. Perlawanan pasif pada ujung tumpukan bahan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut (Griffith, 1991) :

$$\sigma_r = \gamma \cdot z \cdot k \rho c + 2C\sqrt{k \rho c} \quad (2.45)$$

Yang mana :

- $\sigma_r$  = Ketahanan pasif dari tanah
- $k \rho c$  = Koefisien pasif tanah dari Rankine
- $C$  = Kohesi tanah
- $\rho$  = Berat volume tanah
- $z$  = Kedalaman tanah

Dengan menggunakan nilai yang diperoleh untuk ketahanan pasif di atas, maka tegangan tertinggi yang dimiliki oleh kolom batu adalah (Griffith, 1991) :

$$q_u = \sigma_r \cdot k \rho c \quad (2.46)$$

Yang mana :

$q_u$  = tegangan batas

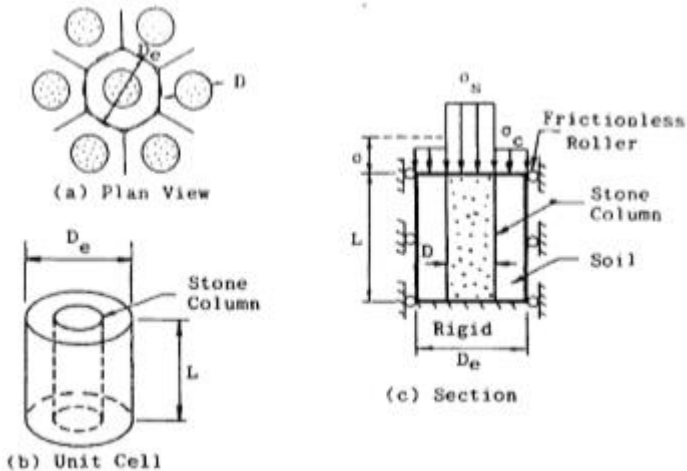
$\sigma_r$  = Ketahanan pasif dari tanah

$k \rho c$  = Koefisien pasif tanah dari Rankine

=  $\tan^2(45 + \phi/2)$

$\phi$ , adalah sudut ketahanan geser dari material kolom batu.

Untuk memperhitungkan jarak (spacing) dan penurunan (settlement) pada kolom batu yang ditempatkan di dasar tanah yang lunak, penting untuk mengembangkan model yang menjadi dasar semua jenis kinerja. Oleh karena kompleksitas rancangan, maka secara ekonomi tidak layak untuk memodelkan semua kemungkinan besaran jarak (spacing) dan kombinasi beban. Sehingga banyak insinyur yang mengadopsi penggunaan 'unit sel' untuk memodelkan efek dari kolom batu yang ditempatkan pada lapisan tanah lunak. Konsep 'sel unit (unit cell)' ini ditunjukkan pada Gambar 2.8 sebagai berikut.



Gambar 2. 8 Idealisasi Sel Unit (Bachus, 1989)

Faktor penting dalam desain kolom batu adalah jumlah tanah yang digantikan oleh batu. Parameter ini harus

dipertimbangkan dalam desain, dan juga diukur di lapangan selama penempatan kolom batu yang sebenarnya. Rasio penggantian area antara tanah dengan batu, didefinisikan sebagai berikut (Bachus, 1989) :

$$a_s = A_s / A \quad (2.47)$$

Yang mana :

- $a_s$  = Rasio penggantian area
- $A_s$  = Luas kolom batu
- $A$  = Luas total di unit

Rasio penggantian area juga dapat didefinisikan sebagai berikut (Griffith, 1991);

$$a_s = 0,907 (D/S)^2 \quad (2.48)$$

Yang mana :

- $a_s$  = Rasio penggantian area
- $D$  = Diameter kolom batu.
- $S$  = Spasi kolom batu.

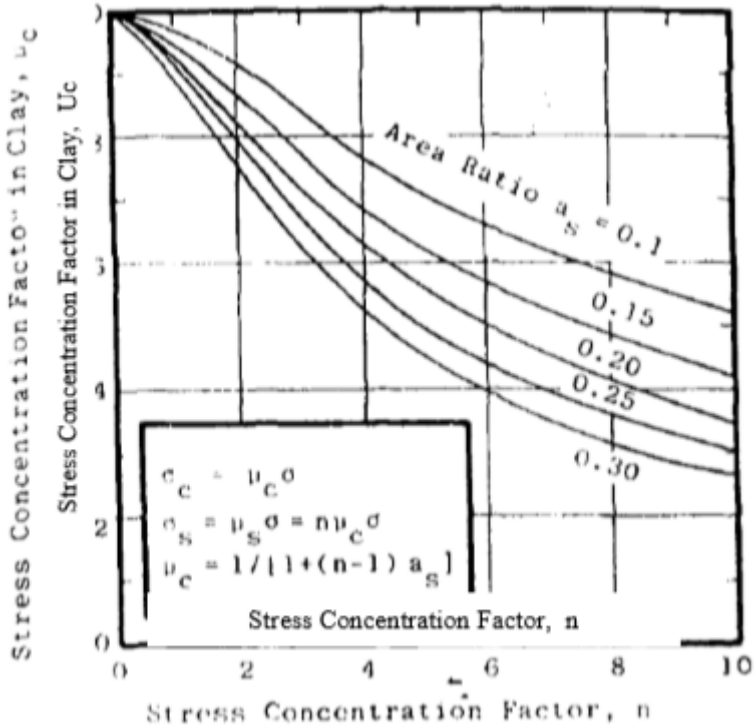
Pada tahun 1989, Bachus memasukkan faktor tegangan dan unit sel ke dalam teori penurunan satu dimensi (one dimension settlement theory), dan menawarkan suatu cara yang disebut Metode Keseimbangan (Equilibrium Method). Sebagai bagian dari metode keseimbangan yang ditawarkan oleh Bachus, maka angka penurunan didefinisikan sebagai berikut :

$$S_T/S = 1 / \{ 1 + (n+1).a_s \} = U_c \quad (2.49)$$

Yang mana :

- $S_T$  = Penurunan kolom batu pada tanah yang diperbaiki.
- $S$  = Penurunan total pada tanah yang tidak diperbaiki.
- $a_s$  = Rasio penggantian area.
- $n$  = Faktor konsentrasi tegangan

Faktor konsentrasi tegangan (bachus, 1989) dapat dilihat pada Gambar 2.9 sebagai berikut.



Garmbar 2.9 Faktor Konsentrasi Tegangan – n (Bachus, 1989)

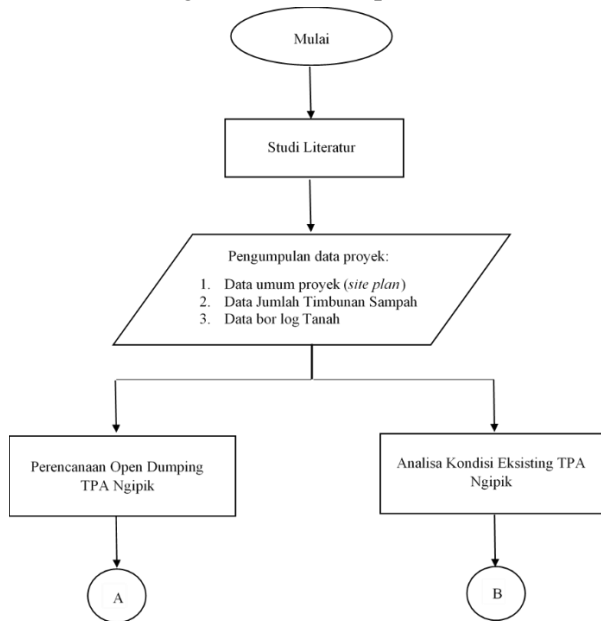
## BAB III METODOLOGI PERENCANAAN

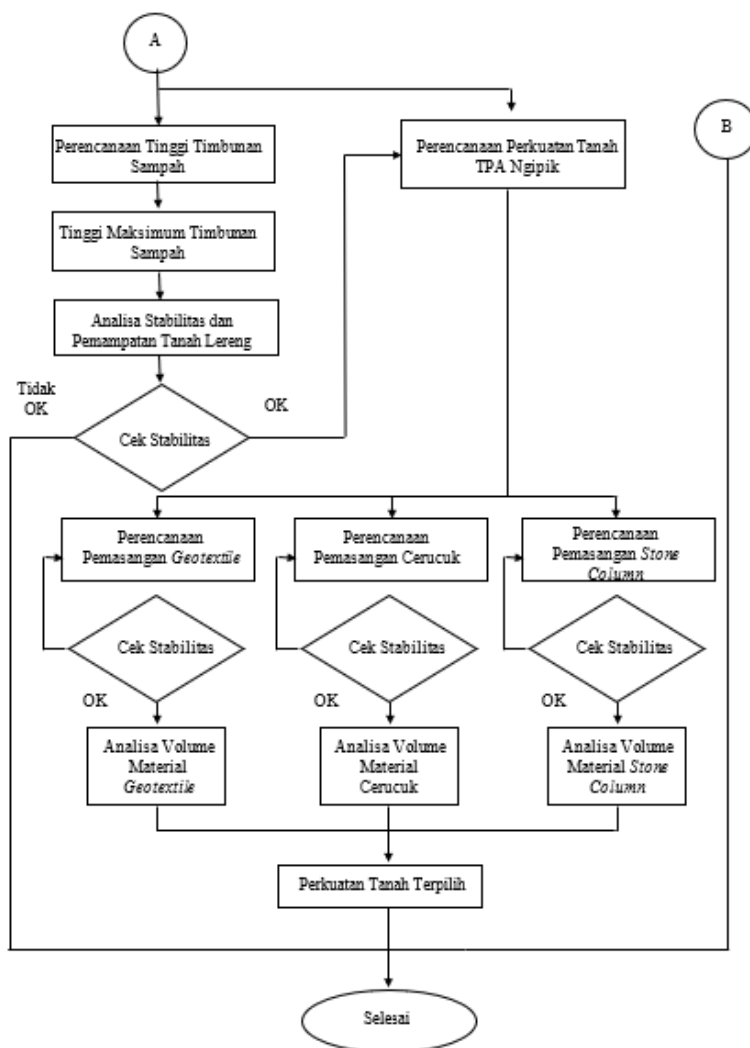
### 3.1 Definisi Metode Perencanaan

Maksud dari metode perencanaan ini yaitu untuk merumuskan langkah – langkah yang akan dilakukan dalam pelaksanaan perencanaan perkuatan tanah dan analisa stabilitas lereng timbunan sampah. Langkah – langkah ini meliputi pengumpulan data, analisis, pengembangan rencana, serta hasil perkiraan. Sehingga dari hasil perencanaan nantinya dapat menjadi bahan masukan bagi Pemerintah Kota Gresik dalam hal pengelolaan sampah.

### 3.2 Kerangka Perencanaan

Berikut ini adalah diagram alir dalam perencanaan ini:





Garmbar 3.1 Alir Diagram Perencanaan

### 3.3 Uraian Tahapan Perencanaan

Dari diagram alur di atas dapat dijelaskan metodologi yang dipakai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

#### 3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pemahaman lebih lanjut terhadap permasalahan yang ada serta sebagai acuan dalam perencanaan ini. Diperlukan beberapa literatur untuk mendapatkan teori-teori yang relevan untuk membahas hal-hal berikut:

- a. Analisa kondisi stabilitas timbunan sampah eksisting TPA Ngipik
- b. Perhitungan stabilitas timbunan dengan tinggi maksimum timbunan yang akan terjadi berdasarkan waktu tinggi maksimum timbunan itu dapat terjadi.
- c. Perhitungan dan perencanaan menggunakan geotextile, cerucuk, dan stone column untuk peningkatan daya dukung tanah TPA Ngipik.

#### 3.3.2 Pengumpulan Data Proyek

Data proyek yang digunakan merupakan data sekunder yang terdiri dari data-data sebagai berikut :

- a. Data umum proyek: merupakan data *site plan*, lokasi zona TPA yang akan dibangun, dan keadaan lingkungan di sekitarnya.
- b. Jumlah Timbunan sampah harian di TPA Ngipik untuk menghitung beban timbunan sampah.
- c. Data bor log dan *soil properties*: data yang dibutuhkan adalah data N-SPT dan *soil properties* yang didapat dari hasil tes laboratorium yang akan digunakan untuk melakukan perhitungan tegangan tanah yang terjadi.

#### 3.3.3 Perencanaan Tinggi Timbunan Sampah dan Stabilitas

Tinggi timbunan sampah merupakan faktor yang berpengaruh dalam perencanaan TPA Ngipik. Perencanaan tinggi

timbunan sampah dihitung pada saat mencapai kapasitas tinggi maksimum dari hasil ketinggian maksimum yang terjadi di daerah eksisting TPA Ngipik. Setelah mendapatkan Tinggi Maksimum timbunan sampah maka dihitung stabilitas lereng dan pemampatan tanah. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui tinggi timbunan sampah yang aman dan tidak terjadi kelongsoran.

### **3.3.4 Perencanaan Pemasangan Geotextile, cerucuk dan Stone Column**

Adapun beberapa alternatif perkuatan tanah TPA Ngipik:

1. *Pemasangan Geotextile*
  - Menghitung lembar geotextile yang diperlukan
  - Menghitung panjang geotextile yang diperlukan
2. *Pemasangan Cerucuk*
  - Menghitung Panjang cerucuk yang diperlukan
  - Menghitung Jumlah cerucuk yang diperlukan
3. *Pemasangan Stone Column*
  - Menghitung panjang stone column yang diperlukan
  - Menghitung Jumlah stone column yang diperlukan



## **BAB IV DATA DAN ANALISA**

### **4.1 Data Tanah**

Dalam perencanaan dibutuhkan data yang akurat dan pasti, untuk perencanaan perbaikan tanah ini dibutuhkan data tanah. Data tanah yang digunakan adalah data tanah hasil pengujian di lapangan dan di laboratorium dalam laporan akhir TPA Ngipik (Ria Asih, 2018) . Pengujian dan pengambilan sampel di lapangan dilakukan di 3 titik bor dalam pada eksisting TPA Ngipik seperti yang terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Layout Lokasi Titik Boreholes

Karena titik pengeboran yang berada pada area timbunan sampah eksisting adalah BH-02 maka data yang digunakan untuk perhitungan lebih lanjut adalah menggunakan data pada BH-02 yang nantinya akan distratigrafi dan uji parameter fisik tanah dengan nilai validasi <30 %. data tanah tersebut berupa hasil

*boreholes* seperti yang terdapat pada lampiran 1 maka dilakukan korelasi parameter tanah yang dibutuhkan sebagai berikut:

#### 4.1.1 Korelasi nilai *coefficient of consolidation vertical* ( $C_v$ )

Nilai *coefficient of consolidation vertical* ( $C_v$ ) ditentukan berdasarkan data nilai *Liquid Limit* (LL) dan korelasinya menurut U.S Navy (1971). Contoh korelasi nilai  $C_v$  untuk kedalaman dasar lapisan 2 m pada titik BH-2 :

$$LL = 71.33\%$$

$$C_v = 1.976 \text{ m}^2/\text{tahun}$$

Hasil korelasi Nilai *coefficient of consolidation vertical* ( $C_v$ ) pada titik BH-1 ditampilkan pada **Tabel 4.1** :

Tabel 4.1 Hasil Korelasi Nilai  $C_v$

Kedalaman (m)	LL (%)	$C_v$ m <sup>2</sup> /year
2	71,330	1,976
4	45,840	6,975
6	68,950	2,034
8	76,090	1,795
10	76,130	1,786
12	63,970	2,425
14	72,030	1,874
16	70,20	2,000
18	62,40	2,612
20	70,680	1,976
22	71,060	1,921
24	65,70	2,412
26	60,950	3,127
28	54,440	3,973
30	68,740	2,069

#### 4.1.2 Korelasi nilai coefficient of consolidation horizontal ( $C_h$ )

Nilai *coefficient of consolidation horizontal* ( $C_h$ ) ditentukan berdasarkan data  $C_v$  tanah korelasinya Menggunakan metode *Log Time Fitting*. Contoh korelasi nilai  $C_h$  untuk kedalaman dasar lapisan 2 m pada titik BH-1 :

$$C_v = 0.3975 C_h + 0.1121$$

$$C_v = 1.976 \text{ m}^2/\text{tahun}$$

$$C_h = 4.689 \text{ m}^2/\text{tahun}$$

Hasil korelasi nilai *coefficient of consolidation vertical* ( $C_v$ ) pada titik BH-1 ditampilkan pada **Tabel 4.2** :

Tabel 4.2 Hasil Korelasi Nilai *Coefficient of Consolidation Horizontal* ( $C_h$ )

Kedalaman (m)	$C_v$ m <sup>2</sup> /year	$C_h$ m <sup>2</sup> /year
2	1,976	4,689
4	6,975	17,265
6	2,034	4,835
8	1,795	4,234
10	1,786	4,211
12	2,425	5,819
14	1,874	4,432
16	2,000	4,749
18	2,612	6,289
20	1,976	4,689
22	1,921	4,551
24	2,412	5,786

Tabel 4.2 Hasil Korelasi Nilai *Coefficient of Consolidation Horizontal* ( $C_h$ ) (Lanjutan)

Kedalaman	$C_v$	$C_h$
(m)	m <sup>2</sup> /year	m <sup>2</sup> /year
26	3,127	7,585
28	3,973	9,713
30	2,069	4,923

#### 4.1.3 Korelasi nilai cohesion undrained ( $C_u$ )

Nilai *cohesion undrained* ( $C_u$ ) ditentukan menggunakan interpolasi berdasarkan data SPT tanah menggunakan tabel NSPT dan korelasinya menurut Mochtar (2002). Lapisan tanah dengan NSPT 2,5-5. Contoh korelasi nilai  $C_u$  untuk kedalaman dasar lapisan 2 m pada titik BH-1 :

$$\text{NSPT} = 4$$

$$C_u = 12.5 \text{ Kpa}$$

Hasil korelasi nilai *cohesion undrained* ( $C_u$ ) pada titik BH-1 ditampilkan pada **Tabel 4.3** :

Tabel 4.3 Hasil Korelasi Nilai *Cohesion Undrained* ( $C_u$ )

Kedalaman	N-SPT	$C_u$
(m)		Kpa
2	4	12,50
4	5	15,00
6	7	15,00
8	12	37,50
10	15	45,00
12	13	60,00

Tabel 4.3 Hasil Korelasi Nilai *Cohesion Undrained* ( $C_u$ )  
(lanjutan)

Kedalaman (m)	N-SPT	$C_u$ Kpa
14	18	60,00
16	19	65,00
18	21	67,50
20	22	60,00
22	20	62,50
24	23	57,50
26	22	130,00
28	25	130,00
30	26	135,00

#### 4.1.4 Korelasi nilai *effective cohesion* ( $C'$ )

Nilai *effective cohesion* ( $C'$ ) ditentukan berdasarkan data nilai  $C_u$  dan korelasinya menurut Soronsen & Okkles (2013) Contoh korelasi nilai  $C'$  untuk kedalaman dasar lapisan 2 m pada titik BH-1 :

$$C_u = 12,5 \text{ Kpa}$$

$$C' = 1,25 \text{ Kpa}$$

Hasil korelasi nilai *effective cohesion* ( $C'$ ) pada titik BH-1 ditampilkan pada **Tabel 4.4** :

Tabel 4.4 Hasil Korelasi Nilai *effective cohesion* ( $C'$ )

Kedalaman	Cu	$C'$
(m)	Kpa	Kpa
2	20	1,25
4	25	1,50
6	35	1,50
8	60	3,75
10	75	4,50
12	65	6,00
14	90	6,00
16	95	6,50
18	105	6,75
20	110	6,00
22	100	6,25
24	115	5,75
26	110	13,00
28	125	13,00
30	130	13,50

#### 4.1.5 Korelasi nilai *friction angle* ( $\phi$ )

Nilai *friction angle* ( $\phi$ ) ditentukan berdasarkan data nilai  $C'$  dan korelasinya menurut Burt Look (2013) Contoh korelasi nilai  $\phi$  untuk kedalaman dasar lapisan 2 m pada titik BH-1 :

$$C' = 2 \text{ Kpa}$$

$$\phi = 1^\circ$$

Hasil korelasi nilai *friction angle* ( $\phi$ ) pada titik BH-1 ditampilkan pada **Tabel 4.5** :

Tabel 4.5 Hasil Korelasi Nilai *Friction Angle* ( $\phi$ )

Kedalaman	C'	$\phi$
(m)	Kpa	( $^{\circ}$ )
2	2	1,00
4	3	2,00
6	4	2,00
8	6	3,00
10	8	4,00
12	7	4,00
14	9	4,00
16	10	4,00
18	11	4,00
20	11	4,00
22	10	4,00
24	12	4,00
26	11	5,00
28	13	5,00
30	13	5,00

#### 4.1.6 Korelasi nilai *effective friction angle* ( $\phi'$ )

Nilai *effective friction angle* ( $\phi'$ ) ditentukan berdasarkan data nilai  $\phi$  dan korelasinya menurut Burt Look (2013) Contoh korelasi nilai  $\phi$  untuk kedalaman dasar lapisan 2 m pada titik BH-1 :

$$\phi = 1^{\circ}$$

$$\phi' = 0.67^{\circ}$$

Hasil korelasi nilai *friction angle* ( $\phi$ ) pada titik BH-1 ditampilkan pada **Tabel 4.6** :

Tabel 4.6 Hasil Korelasi Nilai *Effective Friction Angle* ( $\phi'$ )

Kedalaman	$\Phi$	$\phi'$
(m)	( $^{\circ}$ )	( $^{\circ}$ )
2	1,00	0,67
4	2,00	1,33
6	3,00	1,33
8	3,00	2,00
10	3,00	2,67
12	3,00	2,67
14	5,00	2,67
16	5,00	2,67
18	5,00	2,67
20	5,00	2,67
22	5,00	2,67
24	5,00	2,67
26	5,00	3,33
28	5,00	3,33
30	8,00	3,33

#### 4.17 Korelasi nilai *compression index* ( $C_c$ )

Nilai *compression index* ( $C_c$ ) ditentukan berdasarkan data nilai  $e_o$  dan korelasinya menurut Ameratunga (2016) Contoh korelasi nilai  $C_c$  untuk kedalaman dasar lapisan 2 m pada titik BH-2 :

$$e_o = 1,1$$

$$C_c = 0,86$$

Hasil korelasi nilai *compression index* ( $C_c$  pada titik BH-2 ditampilkan pada **Tabel 4.7** :



Tabel 4.7 Hasil Korelasi nilai *compression index* ( $C_c$ )

Kedalaman (m)	$e_o$	$C_c$
2	1,1	0,86
4	1,19	0,97
6	1,37	1,17
8	0,89	0,62
10	1,04	0,79
12	0,91	0,64
14	0,82	0,54
16	0,97	0,71
18	1,07	0,83
20	1,06	0,82
22	0,91	0,64
24	0,84	0,56
26	0,95	0,69
28	1,59	1,43
30	0,95	0,69

#### 4.18 Korelasi nilai *compression ratio* ( $C_r$ )

Nilai *compression ratio* ( $C_r$ ) ditentukan berdasarkan data nilai  $w_c$  dan korelasinya menurut Djonanaidi (2016) Contoh korelasi nilai  $C_r$  untuk kedalaman dasar lapisan 2 m pada titik BH-2 :

$$w_c = 32,740 \%$$

$$C_r = 0.321$$

Hasil korelasi nilai *compression ratio* ( $C_r$ ) pada titik BH-2 ditampilkan pada **Tabel 4.8** :

Tabel 4.8 Hasil Korelasi Nilai *compression ratio* ( $C_r$ )

Kedalaman (m)	wc (%)	$C_r$
2	32,740	0,321
4	33,610	0,206
6	48,940	0,310
8	29,300	0,342
10	29,360	0,343
12	31,230	0,288
14	27,010	0,324
16	33,090	0,316
18	28,250	0,281
20	40,780	0,318
22	27,870	0,320
24	31,980	0,296
26	31,980	0,274
28	41,130	0,245
30	30,670	0,309

#### 4.1.9 Korelasi nilai *swell index* ( $C_s$ )

Nilai *swell index* ( $C_s$ ) ditentukan berdasarkan data nilai LL dan korelasinya menurut Nagaraj & Murty (1985) Contoh korelasi nilai  $C_s$  untuk kedalaman dasar lapisan 2 m pada titik BH-2 :

$$LL = 71,330 \%$$

$$C_s = 0,173$$

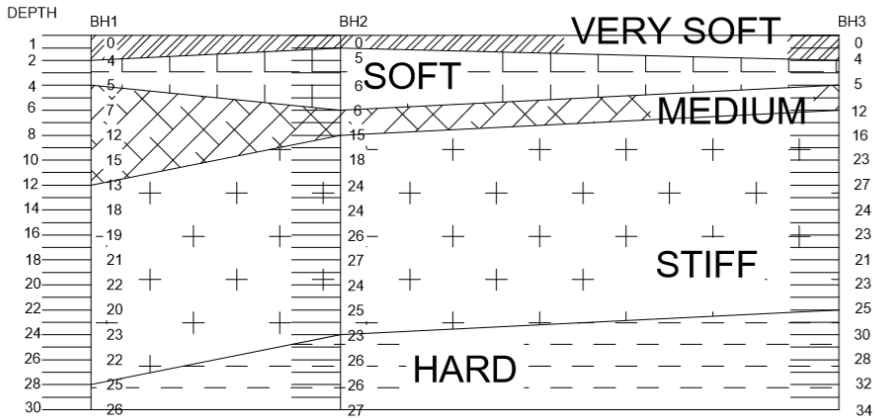
Hasil korelasi nilai *swell index* ( $C_s$ ) pada titik BH-2 ditampilkan pada **Tabel 4.9** :

Tabel 4.9 Hasil Korelasi Nilai *swell index* ( $C_s$ )

Kedalaman (m)	LL (%)	$C_s$
2	71,330	0,173
4	45,840	0,193
6	68,950	0,235
8	76,090	0,124
10	76,130	0,159
12	63,970	0,129
14	72,030	0,108
16	70,20	0,143
18	62,40	0,166
20	70,680	0,163
22	71,060	0,129
24	65,70	0,113
26	60,950	0,138
28	54,440	0,285
30	68,740	0,138

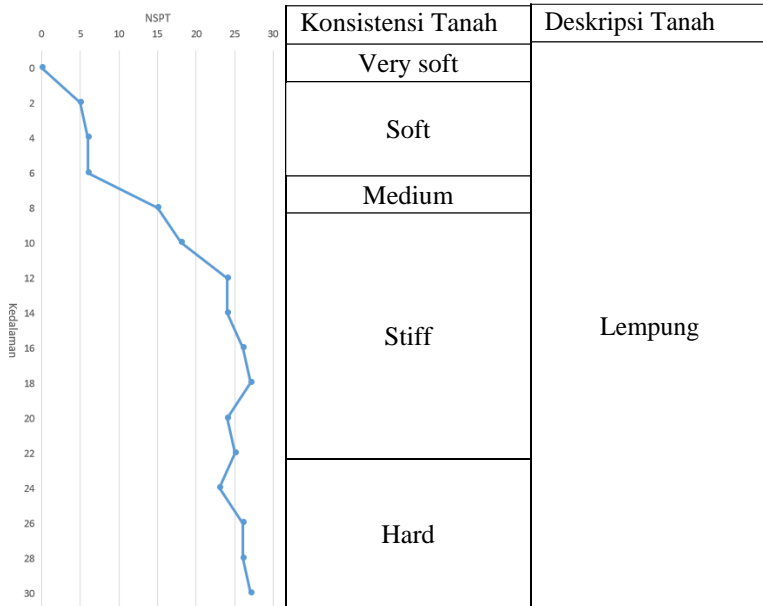
## 4.2 Stratigrafi Tanah

Dari hasil pengujian 3 titik bor dilapangan dilakukan evaluasi dengan cara membuat stratigrafi tanah dan pengelompokan berdasarkan jenis dan konsistensi tanah. Pembagian layer tanah dilakukan setiap 2,0 m untuk mendapatkan nilai yang lebih detail. Stratigrafi yang didapatkan dari hasil pengolahan diberikan pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4. 2 Hasil Stratigrafi Tanah pada BH-1, BH-2 dan BH-3

Hasil pengujian NSPT pada 3 titik bor memberikan hasil konsistensi very soft pada kedalaman 1-2 m, soft pada kedalaman 2-6, medium di kedalaman 6-8 m, stiff di kedalaman 8-24 dan hard hingga kedalaman 30 m (end of boring). Hasil Borlog BH-02 diberikan pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4. 3 Data Borlog BH-02

Hasil analisa statistik parameter pada setiap parameter fisik menggunakan derajat kepercayaan 90% dan nilai  $\alpha$  sebesar 0,1 sehingga hasil dari uji statistik pada parameter berat jenis  $\gamma_{sat}$  ditampilkan pada **Tabel 4.10** sebagai berikut :

Tabel 4.10 Hasil uji statistik terhadap parameter tanah

$\gamma_{\text{sat}}$ (g/cc)								
Ketebalan	Jumlah Data	v	Mean	Standart Deviasi	Batas Atas	Batas Bawah	$\gamma_{\text{sat}}$	CoV
m	(n)	n-1	t/m <sup>3</sup>		t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	(%)
0-2	2	1	1.6845	0.064	1.685	1.684	1.684	3.820
2-6	3	2	1.6997	0.094	1.701	1.699	1.699	5.504
6-12	3	2	1.7030	0.139	1.704	1.702	1.702	8.137
12-28	3	2	1.8520	0.027	1.852	1.852	1.852	1.451
28-30	3	2	1.882	0.018	1.882	1.882	1.882	0.957

Hasil Analisa statistic parameter  $\gamma_{\text{sat}}$  menunjukkan hasil bervariasi sekitar 1,684- 1,882 t/m<sup>3</sup> dengan nilai *coeffition of variation* (CoV) kurang dari 30 % sehingga data valid untuk digunakan.

Rekap anailisi data tanah dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

### 4.3 Data Material Timbunan Sampah

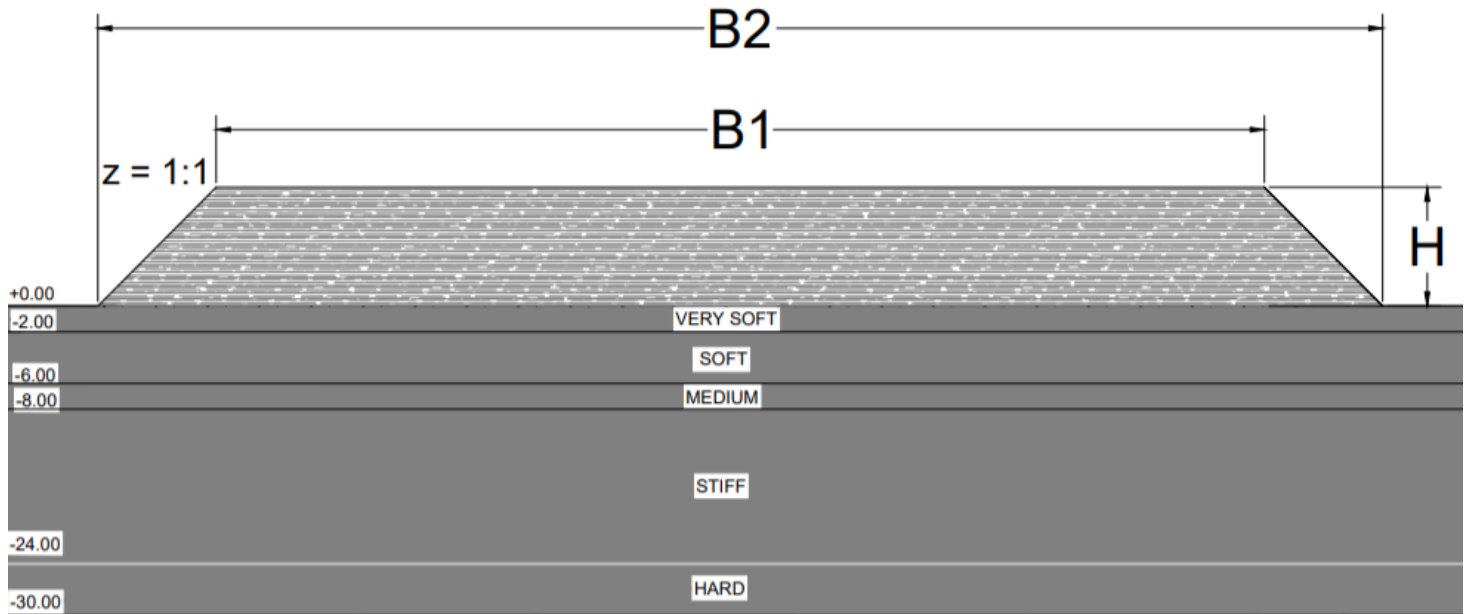
Data Material Timbunan dalam perencanaan ini, timbunan direncanakan menggunakan material sampah dengan parameternya berdasarkan data sekunder dari penelitian terdahulu pada TPA Ngipik, yaitu:

Berat volume,  $\gamma = 0.8 \text{ t/m}^3$

Sudut geser dalam tanah,  $\phi = 15^\circ$

Kohesi,  $c = 0,2 \text{ kg/cm}^2$

Untuk geometrik timbunan rencana dan deskripsi Tanah ditampilkan seperti pada **Gambar 4.4** sebagai berikut :



Gambar 4.4 Geometrik Timbunan sampah dan Tanah Dasar





#### 4.4 Data Material *Geotextile*

Untuk perkuatan pada perencanaan ini akan digunakan woven geotextile stabilenka yang diproduksi oleh Huesker dan distributor di Indonesia adalah PT. Geotechnical Systemindo. Perkuatan yang direncanakan akan menggunakan seperti pada **Tabel 4.11**.

Tabel 4.11 Stabilenka *Geotextile Woven*

Jenis Stabilenka	Tensile Strenght		Berat (g/m <sup>2</sup> )	Ukuran Per Roll	
	Transverse (kN/m)	Longitudinal (kN/m)		Lebar (m)	Panjang (m)
200/45	45	200	390	5	300

Untuk spesifikasi yang lebih lengkap geotextile dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

#### 4.5 Data Material Minipile

Jenis minipile yang digunakan pada perencanaan ini adalah Spun Pile dari PT. Wika dengan bahan beton, pada perencanaan ini akan digunakan spesifikasi material minipile seperti ditampilkan pada **Tabel 4.12**.

Tabel 4.12 Spesifikasi *Spun Pile*

Diameter Luar	Tipe (kelas)	Ketebalan (mm)	Cross Section Area (cm <sup>2</sup> )	Allowable Bearing Capacity (ton)	Cracking Bending Moment (t.m)	Ultimate Bending Moment (t.m)
300	B	60	452,4	46	4,0	8,0

Untuk spesifikasi lengkap dari cerucuk dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

#### **4.6 Data Material Stone column**

Perkuatan tanah dengan stone column menggunakan kerikil dengan diameter 1 cm dan berat 475 gram dibungkus oleh geotextile dengan spesifikasi geotextile woven UW-200 Dimensi 4m x 200 m.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan.”*



## BAB V

### ANALISA EKSISTING TPA

Analisa Eksisting TPA dilakukan untuk mengetahui tinggi maksimum aman yang dapat dicapai dan nilai faktor keamanan yang dapat dicapai. Analisa Eksisting TPA dilakukan dengan menghitung tinggi maksimum TPA yang melebihi dari kapasitas rencana, menghitung stabilitas lereng timbunan sampah akibat *overall stability*, dan stabilitas lereng timbunan sampah akibat *bearing capacity*, menghitung nilai stabilitas pemampatan timbunan akibat beban timbunan sampah maksimum.

Berdasarkan data dari TPA Ngipik sendiri memiliki tanah luas aktif sebesar 80.000 m<sup>2</sup> atau 8 Ha, tinggi timbunan rencana setinggi 8 m, umur rencana 10 tahun. Layout dari area eksisting TPA Ngipik dapat dilihat pada **Gambar 5.1**



Garmbar 5.1 Layout Eksisting TPA Ngipik Gresik

## 5.1 Mencari Tinggi Timbunan Pertahun Eksisting TPA

### 5.1.1 Prediksi jumlah penduduk untuk 10 tahun

Untuk memprediksi jumlah penduduk, formula yang digunakan adalah persamaan geometrik sebagai berikut:

$$P_t = P_a(1 + r)^n,$$

dimana  $P_t$  adalah jumlah penduduk pada tahun ke- $t$  proyeksi,  $P_a$  adalah jumlah penduduk pada tahun awal proyeksi dalam tugas akhir ini  $P_a$  adalah jumlah penduduk tahun 2019,  $r$  dalam (%) sebagai rata-rata pertambahan penduduk pertahun dan  $n$  adalah selang waktu proyeksi dalam tahun. Selanjutnya akan dijabarkan mengenai perhitungan prediksi penduduk dengan menggunakan data pada **Tabel 5.1** berikut:

Tabel 5.1 Data Penduduk tahun 2015-2019

Tahun ( $t$ )	Jumlah penduduk ( $P_t$ )
2015	1.254.497
2016	1.269.841
2017	1.284.934
2018	1.299.769
2019	1.303.773

1. Menghitung rasio pertumbuhan penduduk setiap tahun
  - a. Rasio pertumbuhan penduduk tahun 2015-2016

$$\begin{aligned}
 &= \frac{P_{2016} - P_{2015}}{P_{2015}} (100\%) \\
 &= \frac{1.269.841 - 1.254.497}{1.254.497} (100\%)
 \end{aligned}$$

$$= 1,223\%.$$

b. Rasio pertumbuhan penduduk tahun 2016-2017

$$\begin{aligned} &= \frac{P_{2017} - P_{2016}}{P_{2016}} (100\%) \\ &= \frac{1.284.934 - 1.269.841}{1.269.841} (100\%) \\ &= 1,189\%. \end{aligned}$$

c. Rasio pertumbuhan penduduk tahun 2017-2018

$$\begin{aligned} &= \frac{P_{2018} - P_{2017}}{P_{2017}} (100\%) \\ &= \frac{1.299.769 - 1.284.934}{1.284.934} (100\%) \\ &= 1,155\%. \end{aligned}$$

d. Rasio pertumbuhan penduduk tahun 2018-2019

$$\begin{aligned} &= \frac{P_{2019} - P_{2018}}{P_{2018}} (100\%) \\ &= \frac{1.303.773 - 1.299.769}{1.299.769} (100\%) \\ &= 0,308\%. \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan rasio pertambahan penduduk untuk setiap tahun, selanjutnya dapat dicari nilai rata-rata rasio pertambahan penduduk yaitu:

$$= \frac{1,223 + 1,189 + 1,155 + 0,308}{4} (\%) = 0,969\%.$$

Hasil tersebut dirangkum dalam **Tabel 5.2** berikut :

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Rasio Pertambahan Penduduk

no	Tahun ( $t$ )	Jumlah penduduk ( $P_t$ )	Rasio pertambahan (%)
1	2015	1.254.497	
2	2016	1.269.841	1,223
3	2017	1.284.934	1,189
4	2018	1.299.769	1,155
5	2019	1.303.773	0,308
		<b>Rata-rata</b>	<b>0,969</b>

2. Menghitung prediksi jumlah penduduk untuk 5 tahun
  - a. Prediksi jumlah penduduk tahun 2020

$$\begin{aligned}
 P_{2020} &= P_{2019}(1 + 0,969\%)^1 \\
 &= 1.303.773(1 + 0,969\%) \\
 &= 1.316.401
 \end{aligned}$$

Hasil prediksi jumlah penduduk untuk tahun 2020 hingga 2024 ditampilkan dalam **Tabel 5.3** berikut:



Tabel 5.3 Hasil Prediksi Jumlah Penduduk Tahun 2020-2024

no	Tahun	Jumlah penduduk
1	2020	1.316.401
2	2021	1.329.151
3	2022	1.342.025
4	2023	1.355.023
5	2024	1.368.148
Jumlah Penduduk		6.710.748

### 5.1.2 Prediksi Jumlah Sampah Kab. Gresik

Untuk memprediksi jumlah sampah yang masuk ke TPA Ngipik Gresik pada tahun 2020 hingga 2024, formula yang digunakan adalah persamaan regresi sebagai berikut:

$$A = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$B = \frac{n(\sum X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$Y = A + BX$$

Data dan hasil perhitungan  $X_i^2$  dan  $X_i Y_i$  yang digunakan untuk prediksi jumlah sampah adalah data yang terlampir pada **Tabel 5.4** berikut:

Tabel 5.4 Data Hubungan Jumlah Penduduk dan Jumlah Sampah

Tahun	Jumlah Penduduk (X)	Jumlah Sampah (Y)	$X_i^2$	$X_i Y_i$
2015	1.254.497	210.000	1,57376E+12	2,63444E+11
2016	1.269.841	247.301	1,6125E+12	3,14033E+11
2017	1.284.934	278.768	1,65106E+12	3,58198E+11
2018	1.299.769	305.600	1,6894E+12	3,97209E+11
2019	1.303.773	328.759	1,69982E+12	4,28627E+11
Jumlah	6.412.814	1.370.428	8,22654E+12	1,76151E+12

Melalui hasil pada Tabel 5.4, nilai  $A$  dan  $B$  yang didapat adalah

$$A = \frac{(1370428)(8,227E + 12) - (6412814)(1,762E + 12)}{5(8,227E + 12) - (4,11242E + 13)}$$

$$= -2630460,25130093.$$

$$B = \frac{5(1,7615E + 12) - (6.412.814)(1.370.428)}{5(8,227E + 12) - 4,11242E + 13}$$

$$= 2,264$$

Sehingga nilai  $Y$  yang didapat adalah

$$Y_t = A + BX_t = -2630460 + 2.264X_t,$$

dimana  $Y_t$  adalah jumlah sampah pada tahun ke- $t$  dan  $X_t$  adalah jumlah penduduk pada tahun ke- $t$ .

Dengan rumus  $Y$  tersebut, selanjutnya dicari prediksi jumlah sampah dari tahun 2020 hingga 2024 dengan substitusi  $X$  dengan prediksi jumlah penduduk yang tertera pada Tabel 5.3.

a. Prediksi jumlah sampah tahun 2020

$$\begin{aligned} Y_{2020} &= -2630460 + 2.264X_{2020} \\ &= 349871.778290354. \end{aligned}$$

Hasil prediksi jumlah sampah tahun 2020-2024 terlampir pada **Tabel 5.5** berikut:

Tabel 5.5 Hasil Prediksi Jumlah Sampah Tahun 2020-2024

no	Tahun ( <i>t</i> )	Timbulan sampah (ton)
1	2020	349.872
2	2021	378.738
3	2022	407.885
4	2023	437.313
5	2024	467.027

Rekapitulasi hasil prediksi jumlah penduduk dan prediksi jumlah sampah terlampir dalam **Tabel 5.6**.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Jumlah Penduduk dan Jumlah Sampah Tahun 2015-2024

No	Tahun	X (jiwa)	Y (ton)
1	2015	1.254.497	210.000
2	2016	1.269.841	247.301
3	2017	1.284.934	278.768
4	2018	1.299.769	305.600
5	2019	1.303.773	328.759
6	2020	1.316.401	349.872
7	2021	1.329.151	378.738
8	2022	1.342.025	407.885
9	2023	1.355.023	437.313
10	2024	1.368.148	467.027
Jumlah		<b>13.123.562</b>	<b>3.411.263</b>

### 5.1.3 Kapasitas Daya Tampung TPA

Untuk mencari kapasitas daya tampung setelah usia rencana habis, perhatikan Tabel 5.6 yang berisi data TPA berikut:

Tabel 5.7 Data Daya Tampung Perencanaan Prelim TPA Ngipik

Luas lahan ( $m^2$ )	80.000
Tinggi timbunan rencana ( $m$ )	8
Umur rencana (tahun)	10
Faktor padat ( $ton/m^3$ )	1,5
Volume daya tampung TPA yang direncanakan ( $m^3$ )	640.000

Kapasitas daya tampung tahun 2015-2024 dapat dicari dengan membagi total jumlah sampah seperti pada Tabel 5.6 dengan faktor padat, sehingga didapat hasil berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kapabilitas Daya Tampung 2015 – 2020} &= \frac{3.411.263}{1,5} \\ &= 1.146.866,51 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

Selanjutnya, tinggi timbunan pada tahun 2020 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Tinggi timbunan pada tahun 2020} &= \frac{1.146.866,52}{80000} \\ &= 14,1 \text{ m}. \end{aligned}$$

Kapabilitas daya tampung tahun 2020 adalah:

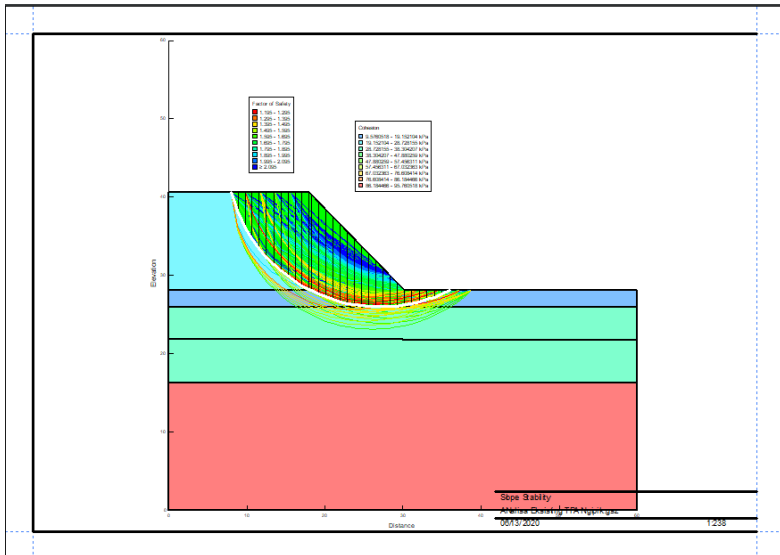
$$\begin{aligned} &= 640.000 + 1.146.866,52 \\ &= 1.786.866,51 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Jadi, sejak awal tahun perencanaan hingga tahun 2024 yang akan datang, daya tampung TPA Ngipik yang diprediksi adalah sebesar  $1.786.866,51 \text{ m}^3$ . Sehingga akhir tahun rencana sampai dengan tahun 2020, TPA Ngipik akan sudah kelebihan muatan sebesar  $1.146.866,519 \text{ m}^3$  dengan tinggi timbunan sebesar  $14,11 \text{ m}$ .

## 5.2 Stabilitas Lereng Timbunan Sampah Maksimum

### 5.2.1 Stabilitas lereng akibat overall stability

Dari hasil perhitungan volume timbunan sampah TPA Ngipik pada tahun 2020 sebesar  $1.146.866,519 \text{ m}^3$  dan mempunyai tinggi  $14,11 \text{ m}$  kemudian dianalisa stabilitas lereng akibat *overall stability* untuk mendapatkan nilai faktor keamanan pada tinggi maksimum timbunan sampah TPA Ngipik sebesar  $1.230$ . Hasil stabilitas lereng dapat dilihat pada **Gambar 5.2**.



Garmbar 5.2 Stabilitas Lereng akibat *Overall Stability Area* Eksisting TPA

### 5.2.2 Stabilitas Lereng akibat *Bearing Capacity*

Dari hasil perhitungan volume timbunan sampah TPA Ngipik pada tahun 2020 sebesar  $1.146.866,519 \text{ m}^3$  dan mempunyai tinggi 14,11 m kemudian dianalisa stabilitas lereng akibat *bearing capacity* untuk membandingkan nilai faktor keamanan dengan nilai dari *overall stability*. Untuk menghitung *bearing capacity*. Berikut adalah contoh perhitungan stabilitas lereng akibat *bearing capacity* :

$$N_c = 5,468$$

$$C_u = 12,5 \text{ kPa}$$

$$\text{Berat Volume Sampah} = 0.8 \text{ t/m}^3$$

$$Q_{ult} = 0.5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma + C \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q$$

Karena perhitungan daya dukung ini terletak pada landfill, maka nilai B dan D diabaikan, sehingga untuk mencari  $Q_{ult}$  menggunakan rumus

$$Q_{ult} = C \cdot N_c = 12.5 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,468 = 68.575 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} SF &= Q_{ult} / \text{daya dukung} \\ &= 68,575 / 112,88 = 0.608 \end{aligned}$$

### 5.3 Stabilitas Pemampatan pada Timbunan Eksisting TPA Ngipik

Sebelum menghitung pemampatan tanah dasar dihitung terlebih dahulu tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah. Tegangan yang dihitung adalah tegangan overburden ( $\sigma_o'$ ) yaitu tegangan tanah vertikal efektif, tegangan prakonsolidasi ( $\sigma_c'$ ) yaitu tegangan yang pernah terjadi pada tanah pada masa lampau, dan distribusi tegangan ( $\Delta\sigma$ ) yaitu tegangan akibat beban yang bekerja pada tanah. Perhitungan tegangan ditinjau pada setiap kedalaman dengan interval 1 m. Berikut adalah contoh perhitungan tegangan untuk kedalaman 0-1 m dengan tinggi timbunan 8m.

$$HR = 14.11 \text{ m}$$

$$z = 0,5 \text{ m}$$

$$q_o = 11.288 \text{ t/m}^2$$

- Tegangan overburden ( $\sigma_o'$ ):

$$\begin{aligned} \sigma_o' &= \gamma' \times z \\ &= (1,68-1) \times 0.5 = 0,340 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

- Tegangan prakonsolidasi ( $\sigma_c'$ ):

Diketahui bahwa,

$$H_{\text{fluktuasi}} = 1,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\sigma_c' &= \sigma_o' + h_{\text{fluktuasi}} \\ &= 0,340 + 2,0 = 2,340 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

- Distribusi tegangan ( $\Delta\sigma$ ):

Dengan nilai

$$B1 = 35.89 \text{ m}$$

$$B2 = 14.11 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{35.89+14.11}{0,5} \text{ rad} - \tan^{-1} \frac{35.89}{14.11} \text{ rad} = 0.225$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \frac{35.89}{0,5} \text{ rad} = 89.202$$

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{1/2\text{timb}} &= \frac{11,288}{\pi} \left[ \frac{42+8}{8} \text{ rad} (0.225+89.202) - \frac{42}{8} 89.202 \right] \\ &= 5,644 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\Delta\sigma = 2 \times \Delta\sigma_{1/2\text{timb}} = 2 \times 5,644 = 11,288 \text{ t/m}^2$$

Setelah mendapatkan tegangan pada tanah, dihitung pemampatan konsolidasi primer (*consolidation settlement*) yang terjadi akibat beban beban variasi timbunan. Perhitungan pemampatan menggunakan persamaan 2.2 untuk tanah NC (*Normally Consolidated*) dan 2.3 atau 2.4 untuk tanah OC (*Overconsolidated*). Berikut adalah contoh perhitungan pemampatan konsolidasi akibat tinggi timbunan 14.11 m dengan kedalaman 0-1 m.

$$H_i = 1 \text{ m}$$

$$e_o = 1,43$$

$$C_c = 1,24$$

$$C_s = 0,20$$

$$\sigma_o' = 0,340 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_c' = 2,340 \text{ t/m}^2$$



$$\Delta\sigma = 5,644 \text{ t/m}^2$$

$$\text{OCR} = \frac{2,340}{0,340} = 6,882$$

Oleh karena nilai OCR lebih dari 1 maka tanah termasuk *Overconsolidated* (OC). Hal ini dikarenakan area TPA Ngipik merupakan area yang dipengaruhi oleh adanya fluktuasi muka air tanah.

$\sigma_o' + \Delta\sigma = 0,340 + 5,644 = 5,984 \text{ t/m}^2 > \sigma_c' \rightarrow$  maka perhitungan pemampatan menggunakan persamaan 2.4 :

$$S_{ci} = \left[ \frac{H}{1 + e_0} C_s \log \frac{\sigma_c'}{\sigma_o'} \right] + \left[ \frac{H}{1 + e_0} C_c \log \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_c'} \right]$$

$$S_{ci} = \left[ \frac{1}{1 + 1,43} 0,2 \log \frac{1,84}{0,34} \right] + \left[ \frac{1}{1 + 1,43} 1,24 \log \frac{0,34 + 5,644}{1,84} \right]$$

$$S_{ci} = 0,469 \text{ m}$$

Hasil pemampatan pada setiap kedalaman dijumlahkan, sehingga didapatkan besarnya pemampatan total dari tinggi timbunan 14.11 m pada area eksisting adalah 2,078 m seperti pada **Tabel 5.8**.

Tabel 5.8 Hasil Perhitungan  $S_c$  Kumulatif Akibat beban 14,11 m

<b>Kedalaman</b>	<b>Z</b>	<b>eo</b>	<b>Cs</b>	<b>Cc</b>	<b>Sc</b>	<b>Sc kumulatif</b>
<b>(m)</b>	<b>(m)</b>				<b>m</b>	<b>m</b>
0-1	0.5	1.43	0.20	1.24	0.469	0.469
1-2	1.5	1.43	0.20	1.24	0.384	0.853
2-3	2.5	1.81	0.17	1.01	0.233	1.086
3-4	3.5	1.81	0.17	1.01	0.207	1.293
4-5	4.5	1.81	0.17	1.01	0.187	1.480

5-6	5.5	1.81	0.17	1.01	0.171	1.651
6-7	6.5	1.33	0.16	1.19	0.222	1.873
7-8	7.5	1.33	0.16	1.19	0.206	2.078

## **BAB VI**

### **PERENCANAAN TIMBUNAN DAN PERBAIKAN TANAH DASAR DI AREA BARU TPA**

Perencanaan timbunan dilakukan untuk mengetahui besarnya tinggi timbunan yang diperlukan agar hasil akhir sesuai dengan yang direncanakan. Perbaikan tanah dasar direncanakan umumnya dilakukan untuk tanah yang dominan lunak yang bertujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah sehingga mengurangi resiko terjadinya kegagalan tanah.

Perencanaan timbunan dan perbaikan tanah dasar dilakukan di area baru TPA Ngipik untuk. Layout area baru TPA Ngipik ditampilkan pada Gambar 6.1

#### **6.1 Stabilitas Lereng Timbunan Sampah**

Dengan luas lahan yang akan dijadikan relokasi sampah sebesar 60.000 m<sup>2</sup> atau 6 Ha maka akan dicari tinggi timbunan maksimum yang akan menyebabkan nilai kritis pada faktor keamanan dan nilai pemampatannya. Maka dilakukan stabilitas lereng timbunan sampah dengan variasi ketinggian 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, dan 16 meter untuk mendapatkan  $H_{kritis}$  dari timbunan sampah tersebut.

##### **6.1.1 Stabilitas lereng akibat *overall stability***

Dalam perencanaan timbunan perlu dicari besarnya nilai faktor keamanan dari lereng. Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi kelongsoran lereng yang diakibatkan oleh *overall stability* lereng timbunan sampah tersebut. Untuk menghitung stabilitas lereng digunakan aplikasi program bantu GeoSlope/W 2020.

Kemiringan tinggi timbunan sampah digunakan dengan ketinggian variasi timbunan sebesar 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, dan 16 meter untuk mencari nilai faktor keamanan pada tinggi timbunan sampah variasi tersebut.

Luas lahan  $= 60.000 \text{ m}^2$

Sudut geser dalam tanah dasar,  $\phi = 2^\circ$

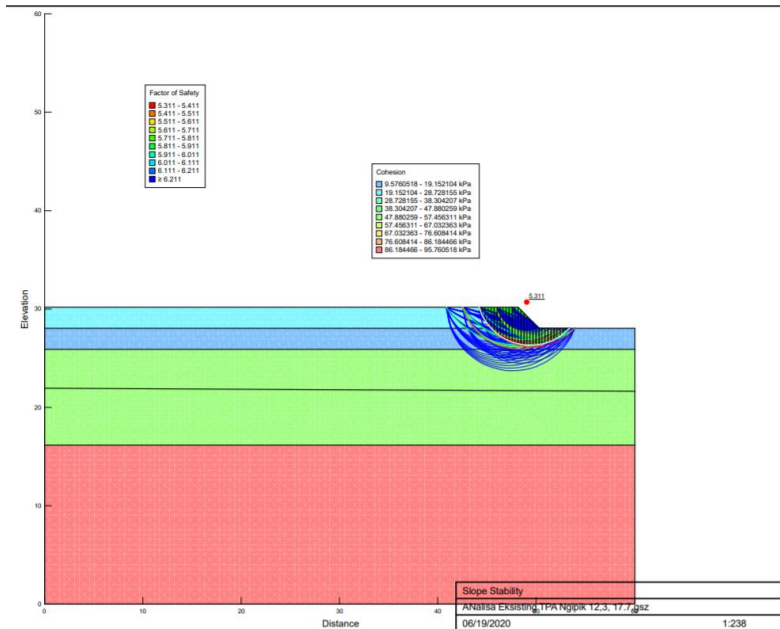
Tinggi timbunan,  $= 2 \text{ meter}$

*Cohesion undrained*,  $C_u = 12,5 \text{ kPa}$

Berat volume sampah,  $\gamma = 8 \text{ kN/m}^2$

Berat volume tanah dasar,  $\gamma = 16,84 \text{ kN/m}^2$

Contoh nilai faktor keamanan pada tinggi variasi timbunan sampah sebesar 2 m dari hasil program alat bantu GeoSlope/W ditampilkan pada **Gambar 6.1** :



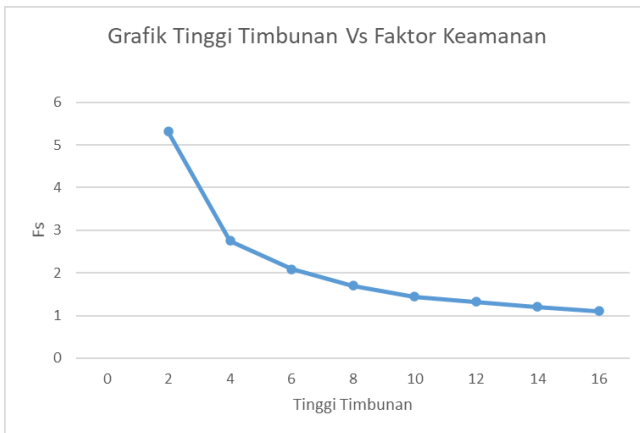
Gambar 6.1 Nilai Stabilitas Timbunan Lereng Akibat Overall Stability

Dari hasil penilai stabilitas lereng akibat overall stability menggunakan Geoslope didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 5.311.

Hasil stabilitas lereng akibat *overall stability* menggunakan alat bantu Geoslope dengan variasi ketinggian 2 meter hingga 16 meter dengan *range* sebesar 2 m ditampilkan pada **Tabel 6.1** dan **Gambar 6.2**.

Tabel 6.1 Nilai faktor Keamanan dengan Variasi Tinggi tertentu

Tinggi Timbunan (m)	Faktor Keamanan
2	5.312
4	2.749
6	2.088
8	1.699
10	1.445
12	1.326
14	1.201
16	1.106

Gambar 6.2 Grafik Hubungan Antara Tinggi Timbunan dengan Faktor Keamanan Akibat *Overall Stability*

### 6.1.2 Stabilitas Lereng Akibat Daya Dukung Tanah

Selain dihitung akibat *overall stability*, nilai faktor keamanan dihitung akibat daya dukung tanah dasar supaya dapat mengetahui daya dukung tanah dasar lempung TPA Ngipik

terhadap stabilitas lereng timbunan sampah tersebut. Untuk perhitungan stabilitas lereng menggunakan rumus dari Terzaghi dan menggunakan tabel  $N_c$ ,  $N_q$  dan  $N_\gamma$  dari Caquet & Kerisel dengan *bearing capacity* untuk beban sentris dan vertikal dengan pendekatan pondasi dangkal menerus. Contoh perhitungan nilai factor keamanan akibat daya dukung tanah ketinggian timbunan sampah sebesar 2 meter.

$$\text{Luas lahan} = 60.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Sudut geser dalam tanah dasar, } \phi = 2^\circ$$

$$\text{Tinggi timbunan,} = 2 \text{ meter}$$

$$\text{Cohesion undrained, } C_u = 12,5 \text{ kPa}$$

$$\text{Berat volume sampah, } \gamma = 8 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat volume tanah dasar, } \gamma = 16,84 \text{ kN/m}^2$$

Maka nilai

$$N_c = 5,486$$

Karena nilai lebar pondasi (B) terlalu besar dan nilai kedalaman pondasi (D) tidak ada, maka kedua nilai itu diabaikan sehingga digunakan rumus :

$$q_{ult} = 5.486 C_u$$

$$q_{ult} = 5.486 C_u$$

$$= 5.486 \cdot 12,5$$

$$= 68.575 \text{ kPa}$$

$$\text{Menghitung } q_{ijin}, = \text{ketinggian} \times \text{berat volume sampah}$$

$$= 2 \text{ m} \times 8 \text{ kN/m}^2$$

$$= 16 \text{ kPa}$$

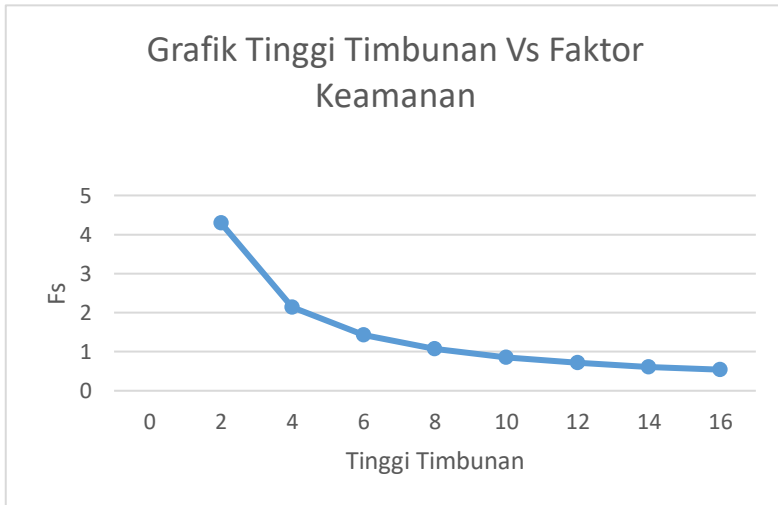
$$\begin{aligned}
 \text{Menghitung faktor Keamanan,} &= q_{\text{ult}} / q_{\text{ijin}} \\
 &= 68.575 \text{ kPa} / 16 \text{ kPa} \\
 &= 4.286
 \end{aligned}$$

Hasil stabilitas lereng akibat daya dukung tanah dengan variasi ketinggian 2 meter hingga 16 meter dengan *range* sebesar 2 m ditampilkan pada **Tabel 6.2** dan **Gambar 6.3**.

Tabel 6.2 Nilai Faktor Keamanan akibat daya dukung tanah dengan variasi tinggi timbunan

Ketinggian Timbunan Sampah(m)	Faktor Keamanan
2	4,29
4	2,14
6	1,43
8	1,07
10	0,86
12	0,71
14	0,61
16	0,54





Gambar 6.3 Grafik Hubungan antara Faktor Keamanan dengan Ketinggian Timbunan Akibat Daya Dukung Tanah

## 6.2 Ketinggian Kritis Timbunan Terpakai

Untuk menghitung stabilitas pemampatan timbunan sampah maka dibutuhkan tinggi kritis ( $H_{\text{kritis}}$ ).  $H_{\text{kritis}}$  didapatkan dari nilai faktor keamanan terkecil perbandingan antara faktor keamanan akibat overall stability dengan akibat daya dukung tanah. Untuk nilai faktor keamanan lereng tanah yang dipakai adalah 1,5 (SNI 8460, 2017). Maka dari perbandingan nilai faktor keamanan antara daya dukung tanah dengan *overall stability* yang terdapat pada **Tabel 6.1** dan **Tabel 6.2** didapatkan tinggi kritis timbunan sampah sebesar 8 meter.

## 6.3 Perhitungan Pemampatan Tanah Dasar

Sebelum menghitung pemampatan tanah dasar dihitung terlebih dahulu tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah.

Tegangan yang dihitung adalah tegangan overburden ( $\sigma_o'$ ) yaitu tegangan tanah vertikal efektif, tegangan prakonsolidasi ( $\sigma_c'$ ) yaitu tegangan yang pernah terjadi pada tanah pada masa lampau, dan distribusi tegangan ( $\Delta\sigma$ ) yaitu tegangan akibat beban yang bekerja pada tanah. Perhitungan tegangan ditinjau pada setiap kedalaman dengan interval 1 m. Berikut adalah contoh perhitungan tegangan untuk kedalaman 0-1 m dengan tinggi timbunan 8m.

$$HR = 8 \text{ m}$$

$$z = 0,5 \text{ m}$$

$$q_o = 6,4 \text{ t/m}^2$$

Tegangan overburden ( $\sigma_o'$ ):

$$\begin{aligned}\sigma_o' &= \gamma' \times z \\ &= (1,68-1) \times 0,5 = 0,340 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Hasil perhitungan tegangan overburden ( $\sigma_o'$ ) untuk setiap kedalaman ditunjukkan pada **Tabel 6.3**.

Tegangan prakonsolidasi ( $\sigma_c'$ ):

Diketahui bahwa,

$$H_{\text{fluktuasi}} = 2,0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\sigma_c' &= \sigma_o' + H_{\text{fluktuasi}} \\ &= 0,340 + 2,00 = 2,340 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Hasil perhitungan tegangan prakonsolidasi untuk setiap kedalaman ditunjukkan pada **Tabel 6.4**.

Tabel 6.3 Hasil perhitungan Tegangan Overburden ( $\sigma_o'$ )

<b>Kedalaman</b>	<b>Tebal Lapisan</b>	<b>Z</b>	$\gamma$	$\sigma_o'$
<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>(t/m<sup>2</sup>)</b>
0-1	1	0.5	1.68	0.340
1-2	1	1.5	1.68	1.020
2-3	1	2.5	1.7	1.750
3-4	1	3.5	1.7	2.450
4-5	1	4.5	1.7	3.150
5-6	1	5.5	1.7	3.850
6-7	1	6.5	1.7	4.550
7-8	1	7.5	1.7	5.250

Tabel 6.4 Hasil perhitungan Tegangan Prakonsolidasi,  $\sigma_c'$ 

<b>Kedalaman</b>	<b>Tebal Lapisan</b>	<b>Z</b>	$\gamma$	$\sigma_o'$	<b>h fluktuasi</b>	$\sigma_c'$
<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>(t/m<sup>2</sup>)</b>	<b>m</b>	<b>(t/m<sup>2</sup>)</b>
0-1	1	0.5	1.68	0.340	2	2.340
1-2	1	1.5	1.68	1.020	2	3.020
2-3	1	2.5	1.7	1.750	2	3.750
3-4	1	3.5	1.7	2.450	2	4.450
4-5	1	4.5	1.7	3.150	2	5.150
5-6	1	5.5	1.7	3.850	2	5.850
6-7	1	6.5	1.7	4.550	2	6.550
7-8	1	7.5	1.7	5.250	2	7.250

Distribusi tegangan ( $\Delta\sigma$ ):

Dengan nilai

$$B1 = 42 \text{ m}$$

$$B2 = 8 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{42+8}{0,5} \text{ rad} - \tan^{-1} \frac{42}{8} \text{ rad} = 0.109$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \frac{42}{0,5} \text{ rad} = 89.318$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{1/2\text{timb}} &= \frac{6,4}{\pi} \left[ \frac{42+8}{8} \text{ rad} (0.109+89.318) - \frac{42}{8} 89.318 \right] \\ &= 3,200 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\Delta\sigma = 2 \times \Delta\sigma_{1/2\text{timb}} = 2 \times 3,200 = 6,4 \text{ t/m}^2$$

Hasil perhitungan distribusi tegangan ( $\Delta\sigma$ ) pada setiap kedalaman untuk tinggi timbunan 8 m ditunjukkan pada **Tabel 6.5**.

Tabel 6.5 Hasil Perhitungan Distribusi tegangan ( $\Delta\sigma$ )

<b>Kedalaman</b>	<b>Z</b>	<b><math>\alpha_1</math></b>	<b><math>\alpha_2</math></b>	<b><math>\Delta\sigma</math></b>
<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>rad</b>	<b>rad</b>	<b>(t/m<sup>2</sup>)</b>
0-1	0.5	0.239	88.807	4.800
1-2	1.5	0.714	86.424	4.800
2-3	2.5	1.183	84.053	4.798
3-4	3.5	1.643	81.703	4.796
4-5	4.5	2.089	79.380	4.791
5-6	5.5	2.519	77.093	4.783
6-7	6.5	2.929	74.846	4.773
7-8	7.5	3.318	72.646	4.759

Setelah mendapatkan tegangan pada tanah, dihitung pemampatan konsolidasi primer (*consolidation settlement*) yang terjadi akibat beban variasi timbunan. Perhitungan pemampatan menggunakan persamaan 2.2 untuk tanah NC (*Normally Consolidated*) dan 2.3 atau 2.4 untuk tanah OC (*Overconsolidated*). Berikut adalah contoh perhitungan pemampatan konsolidasi akibat tinggi timbunan 8 m dengan kedalaman 0-1 m.

$$H_i = 1 \text{ m}$$

$$e_0 = 1,43$$

$$C_c = 1,24$$

$$C_s = 0,20$$

$$\sigma_o' = 0,340 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_c' = 1,840 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta\sigma = 6,400 \text{ t/m}^2$$

$$\text{OCR} = \frac{1,840}{0,340} = 5,412$$

karena nilai OCR lebih dari 1 maka tanah termasuk *Overconsolidated* (OC).

$\sigma_o' + \Delta\sigma = 0,340 + 6,400 = 6,740 \text{ t/m}^2 > \sigma_c' \rightarrow$  maka perhitungan pemampatan menggunakan persamaan 2.4 :

$$S_{ci} = \left[ \frac{H}{1 + e_0} C_s \log \frac{\sigma_c'}{\sigma_o'} \right] + \left[ \frac{H}{1 + e_0} C_c \log \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_c'} \right]$$

$$S_{ci} = \left[ \frac{1}{1 + 1,43} 0,2 \log \frac{1,84}{0,34} \right] + \left[ \frac{1}{1 + 1,43} 1,24 \log \frac{0,34 + 6,40}{1,84} \right]$$

$$S_{ci} = 0,288 \text{ m}$$

Hasil pemampatan pada setiap kedalaman dijumlahkan, sehingga didapatkan besarnya pemampatan total dari satu variasi timbunan seperti pada **Tabel 6.6**.

Tabel 6.6 Hasil Perhitungan  $S_c$  Kumulatif

Kedalaman	Z	e <sub>o</sub>	C <sub>s</sub>	C <sub>c</sub>	Sc	S <sub>c</sub> kumulatif
(m)	(m)				m	m
0-1	0,5	1,43	0,20	1,24	0,348	0,348
1-2	1,5	1,43	0,20	1,24	0,272	0,620
2-3	2,5	1,81	0,17	1,01	0,160	0,779
3-4	3,5	1,81	0,17	1,01	0,138	0,918
4-5	4,5	1,81	0,17	1,01	0,123	1,040
5-6	5,5	1,81	0,17	1,01	0,110	1,151
6-7	6,5	1,33	0,16	1,19	0,140	1,290
7-8	7,5	1,33	0,16	1,19	0,128	1,419

#### 6.4 Perubahan Parameter Tanah

Beban timbunan yang diletakkan secara bertahap akan menyebabkan kenaikan daya dukung tanah dasar dan perubahan parameter tanah tersebut. Perubahan parameter tanah ini meliputi angka pori (e) dan berat jenis ( $\gamma$ ) dan kadar air (wc). Perubahan parameter tersebut diperlukan untuk menghitung pemampatan akibat beban yang mulai bekerja saat tanah dasar dibawah timbunan sudah memampat dan daya dukungnya meningkat. Berikut contoh perhitungan angka pori baru (e<sub>o</sub>) dan perhitungan perubahan berat volume ( $\gamma$ ) :

- Contoh perhitungan perubahan angka pori =
 
$$e_o = 1,43$$

$$S_c/\Delta H = 0,071 \text{ m}$$

$$H = 1 \text{ m}$$

$$\Delta H/H = 0,071$$

$$\Delta e = (1+e) \times (S_c/H)$$

$$= (1+ 1,43) \times 0,071 = 0,17$$

$$e_{\text{baru}} = e_0 - \Delta e = 1,43 - 0,17 = 1,26$$

Hasil perubahan parameter angka pori ( $e_0$ ) pada setiap kedalaman dapat dilihat pada **Tabel 6.7**

Tabel 6.7 Hasil Perubahan Parameter Angka Pori ( $e_0$ )

No	Kedalaman	Z	$e_0$	$e_0$ baru
	(m)	(m)		
1	0-1	0,5	1,43	1,26
2	1-2	1,5	1,43	1,29
3	2-3	2,5	1,81	1,72
4	3-4	3,5	1,81	1,73
5	4-5	4,5	1,81	1,74
6	5-6	5,5	1,81	1,75
7	6-7	6,5	1,33	1,26
8	7-8	7,5	1,33	1,27
Total			12,76	12,02
Rata-rata			1,60	1,50

- Contoh perhitungan perubahan berat volume ( $\gamma$ )

$$\gamma = 1,5 \text{ t/m}^2$$

$$W_c = 53,9 \%$$

$$G_s = 2,789$$

$$e_{\text{baru}} = 1,26$$

$$w_{c\text{baru}} = e_{\text{baru}}/G_s = 1,26/2,789 = 45,04\%$$

$$\gamma_{\text{baru}} = [(G_s(1+w_c))/(1+e_{\text{baru}})] \times \gamma_w$$

$$\gamma_{\text{baru}} = [(2,789(1+45,04))/(1+1,26)] \times 1 = 1,793 \text{ t/m}^3$$

Hasil perubahan parameter berat volume ( $\gamma$ ) pada setiap kedalaman dapat dilihat pada **Tabel 6.8**

Tabel 6.8 Hasil Perubahan Parameter Berat Volume ( $\gamma$ )

No	Kedalaman	Z	$\gamma$	$\gamma$ baru
	(m)	(m)	( $t/m^3$ )	( $t/m^3$ )
1	0-1	0,5	1,68	1,79
2	1-2	1,5	1,68	1,78
3	2-3	2,5	1,70	1,68
4	3-4	3,5	1,70	1,68
5	4-5	4,5	1,70	1,68
6	5-6	5,5	1,70	1,67
7	6-7	6,5	1,70	1,75
8	7-8	7,5	1,70	1,74
Total			13,56	13,77
Rata-rata			1,70	1,72

### 6.5 Penimbunan Bertahap

Pelaksanaan timbunan di lapangan diletakkan secara bertahap dengan kecepatan penimbunan sesuai yang direncanakan. Dalam tugas akhir ini ditinjau timbunan tinggi pelaksanaan (HR) yaitu 8 m. Dengan volume masuk sampah perharinya 615,67  $m^3$ /hari dan dengan luas lahan sebesar 60.000  $m^2$  maka setiap minggunya TPA Ngipik akan terjadi penambahan timbunan sampah sebesar 0,072 m/minggu. Maka kecepatan penimbunan yang digunakan adalah 0,072 m/ minggu. Maka untuk mencapai tinggi timbunan 8 m dibutuhkan 112 tahap atau minggu.

### 6.6 Distribusi dan Perubahan Tegangan Akibat Timbunan Bertahap

Untuk menghitung kenaikan daya dukung tanah dasar perlu dihitung tegangan yang diterima oleh tanah dasar akibat



timbunan per tahapnya. Berikut adalah contoh perhitungan tegangan untuk kedalaman 0-1 m untuk timbunan tahap 1.

$$\begin{aligned}
 \text{umur tahap} &= 1 \text{ minggu} \\
 U_{112} &= 5,926 \% = 0,0593 \\
 HR &= 0,072 \text{ m} \\
 z &= 0,5 \text{ m} \\
 q &= 0,072 \times 0,80 = 0,0576 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Tegangan *overburden* ( $\sigma_o'$ ) setelah mengalami perubahan parameter tanah

$$\begin{aligned}
 \sigma_o' &= \gamma' \times z \\
 &= (1,793-1) \times 0,5 = 0,396 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Distribusi tegangan akibat tahap 1 ( $\Delta\sigma_1$ ) Ketika  $U = 100\%$

$$\begin{aligned}
 B_1 &= 49,928 \text{ m} \\
 B_2 &= 0,072 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{49,928 + 0,072}{0,5} \text{ rad} - \tan^{-1} \frac{49,928}{0,072} \text{ rad} = 0,001$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \frac{49,928}{0,5} \text{ rad} = 89,426$$

$$\begin{aligned}
 \Delta\sigma_{1/2\text{timb}} &= \frac{0,0576}{\pi} \left[ \frac{49,928 + 0,072}{0,072} \text{ rad} \right. \\
 &\quad \left. (0,001 + 89,426) - \frac{49,928}{0,072} 89,426 \right] \\
 &= 0,029 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\Delta\sigma = 2 \times \Delta\sigma_{1/2\text{timb}} = 2 \times 0,029 = 0,058 \text{ t/m}^2$$

Perubahan tegangan akibat tahap 1 ( $\sigma_1'$ ) Ketika  $U = 100\%$

$$\sigma_n' = \sigma_{n-1}' + \Delta\sigma_n'$$

$$\sigma_1' = \sigma_o' + \Delta\sigma_1$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,396 + 0,058 \\
 &= 0,454 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama dihitung perubahan tegangan akibat setiap tahap. Hasil perhitungan perubahan tegangan untuk setiap tahap ketika  $U = 100 \%$  ditunjukkan pada Lampiran 2.

Distribusi tegangan akibat tahap 1 ( $\Delta\sigma_1$ ) ketika  $U < 100 \%$

$$\begin{aligned}
 \Delta\sigma_1 &= \left[ \left( \frac{\sigma_1'}{\sigma_0'} \right)^{U^1} \times \sigma_0' \right] - \sigma_0' \\
 \Delta\sigma_1 &= \left[ \left( \frac{0,454}{0,396} \right)^{0,0593} \times 0,396 \right] - 0,396 \\
 &= 0,038 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Perubahan tegangan akibat tahap 1 ( $\sigma_1'$ ) Ketika  $U < 100\%$

$$\begin{aligned}
 \sigma_1' &= \sigma_0' + \Delta\sigma_1 \\
 &= 0,396 + 0,038 \\
 &= 0,434 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan perubahan tegangan per minggu ditunjukkan pada **Lampiran 2**.

## 6.6 Perhitungan Kenaikan Daya Dukung Tanah Dasar

Dengan adanya kenaikan tegangan yang diterima oleh tanah dasar, maka terjadi kenaikan daya dukung ( $c_u$ ). Setelah mendapatkan perubahan tegangan per minggu dapat dihitung kenaikan daya dukung tanah dasar ( $c_u$ ). Perhitungan kenaikan daya dukung menggunakan rumus Ardana dan Mochtar (1999). Berikut adalah contoh perhitungan kenaikan daya dukung tanah minggu ke-2 pada kedalaman 0-1 m

$$C_{uawal} = 5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_1' = 0,454 \text{ t/m}^2 = 0,0454 \text{ kg/cm}^2$$

$$PI = 67\%$$

$$c_{\text{baru}} = 0,0737 + (0,1899 - 0,0016PI)$$

$$\begin{aligned} \sigma_1' &= 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 \times 67\%) \times 0,0454 \\ &= 0,0823 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Perubahan harga  $c_u$  akan digunakan dalam analisis stabilitas timbunan. **Gambar 6.4** menunjukkan hasil analisis stabilitas timbunan untuk tinggi timbunan 8 m ( $H_{cr}$ ) sebesar 1,560 setelah terjadi perubahan harga  $c_u$  dengan harga  $c_u$  ditunjukkan pada **Tabel 6.9**

Tabel 6.9 Nilai Peningkatan  $C_u$  Baru Akibat Pemampatan

Kedalaman	$\sigma_{84}'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$C_u$ baru (kg/cm <sup>2</sup> )
0-1	0.588	0.122
1-2	0.756	0.136
2-3	0.944	0.182
3-4	1.115	0.202
4-5	1.286	0.221
5-6	1.456	0.241
6-7	1.626	0.250
7-8	1.796	0.268

## 6.7 Cek Stabilitas Akibat Overall Stability Tinggi Timbunan Sampah 8 m

Untuk mengetahui apakah stabilitas lereng akibat timbunan 112 minggu dikategorikan aman sesuai SNI 8460; 2017 dengan nilai

faktor keamanan 1,50, maka dibutuhkan cek stabilitas dengan *overall stability* dengan parameter data tanah sebagai berikut :

Luas lahan = 60.000 m<sup>2</sup>

Sudut geser dalam tanah dasar very soft,  $\phi = 1^\circ$

Sudut geser dalam tanah dasar soft,  $\phi = 2^\circ$

Sudut geser dalam tanah dasar medium,  $\phi = 3^\circ$

Sudut geser dalam tanah dasar stiff,  $\phi = 4^\circ$

Sudut geser sampah,  $\phi = 15^\circ$

Tinggi timbunan, = 9,22 meter

Lebar timbunan, = 100 m

*Cohesion undrained* tanah dasar very soft,  $C_u = 5$  kPa

*Cohesion undrained* tanah dasar very soft,  $C_u = 12,5$  kPa

*Cohesion undrained* tanah dasar very soft,  $C_u = 30$  kPa

*Cohesion undrained* tanah dasar very soft,  $C_u = 65$  kPa

Berat volume tanah dasar very soft,  $\gamma = 16,84$  kN/m<sup>2</sup>

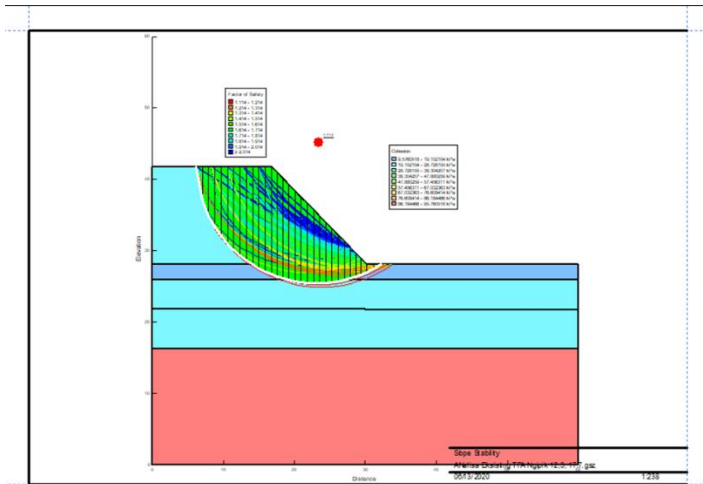
Berat volume tanah dasar soft,  $\gamma = 16,99$  kN/m<sup>2</sup>

Berat volume tanah dasar medium,  $\gamma = 17,02$  kN/m<sup>2</sup>

Berat volume tanah dasar stiff,  $\gamma = 18,52$  kN/m<sup>2</sup>

Berat volume sampah,  $\gamma = 8$  kN/m<sup>2</sup>

Nilai kohesi sampah  $c = 0,2$  kg/m<sup>2</sup>



Gambar 6.4 Hasil Analisa Stabilitas Lereng Akibat 112 Minggu Tahap Penimbunan

## 6.7 Perhitungan Pemampatan Akibat Timbunan Bertahap

Untuk menghitung pemampatan konsolidasi yang terjadi sesuai tahapan timbunan menggunakan salah satu persamaan sesuai dengan perubahan tegangan akibat setiap tahap timbunan. Berikut adalah contoh perhitungan pemampatan akibat timbunan bertahap akibat tahap 1 pada kedalaman 1 m:

$$z = 0,5 \text{ m}$$

Perubahan tegangan akibat tahap 1 ( $\sigma_1'$ ) ketika  $U = 100\%$

$$\begin{aligned}\sigma_1' &= \sigma_0' + \Delta\sigma_1 \\ &= 0,396 + 0,038 \\ &= 0,434 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$\sigma_1' < \sigma_c'$ , maka menggunakan persamaan

$$S_{c1} = \left[ \frac{H}{1 + e_0} C_s \log \frac{\sigma_1'}{\sigma_0'} \right]$$

$$S_{c1} = \left[ \frac{H}{1+1,26} 0,20 \log \frac{0,434'}{0,396'} \right]$$

$$= 0,005 \text{ m}$$

Akibat Tahapke-27 :

Perubahan tegangan akibat tahap 27 ( $\sigma_{27}'$ ) ketika  $U = 100\%$

$$\sigma_{26}' = 3,061 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{27}' = \sigma_{26}' + \Delta\sigma_{27}$$

$$= 3,168 \text{ t/m}^2 \text{ (Lampiran 2)}$$

Karena  $\sigma_0' + \sigma_{27}' > \sigma_c'$  maka menggunakan persamaan

$$S_{c1} = \left[ \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_0' + \dots + \sigma_{27}'}{\sigma_0' + \dots + \sigma_{26}'} \right]$$

$$S_{c1} = \left[ \frac{1,24 \text{ m}}{1 + 1,26} \log \frac{3,436}{3,321} \right]$$

$$= 0,008 \text{ m}$$

Dengan cara yang sama seperti di atas, dihitung pemampatan setiap lapisan dengan interval 1 m akibat setiap tahap. Hasil pemampatan pada setiap kedalaman dijumlahkan, sehingga didapatkan besarnya pemampatan akibat setiap tahap. Hasil perhitungan pemampatan akibat timbunan bertahap ditunjukkan pada Lampiran 2.

Besarnya pemampatan akibat tiap tahap digunakan untuk menghitung pemampatan per minggu sesuai derajat konsolidasi. Berikut adalah contoh perhitungan pemampatan untuk:

Minggu 1:

$$S_c \text{ kumulatif} = S_{c1} = 0,010 \text{ m}$$

$$U_1 = 5,926 \% = 0,0593$$

$$S_c \text{ minggu-1} = S_c \text{ kumulatif} \times U_1$$

$$= 0,010 \times 0,0593$$

$$= 0,0006 \text{ m}$$

Minggu 2:

$$S_c \text{ kumulatif} = S_{c2} = 0,028 \text{ m}$$

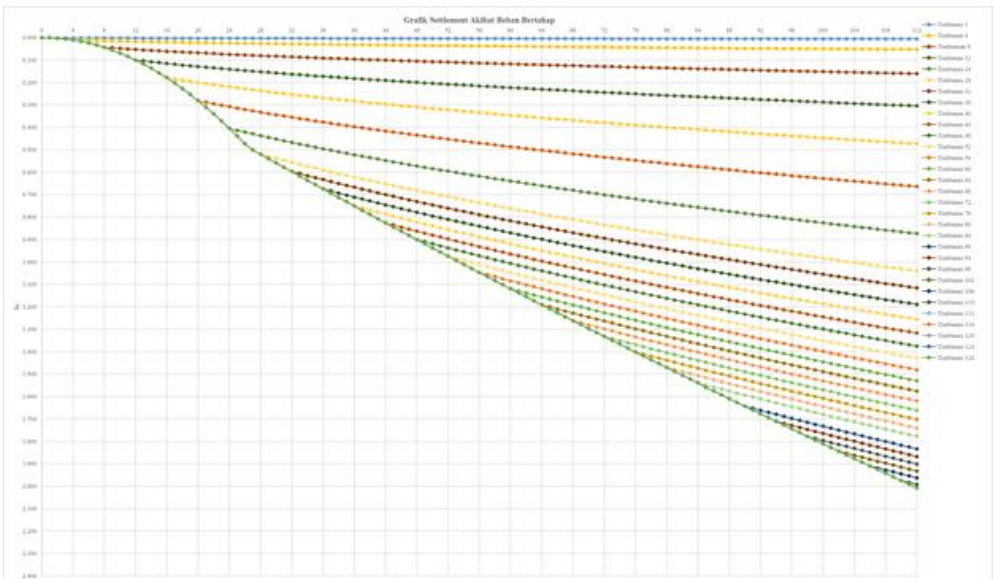
$$U_2 = 8,381 \% = 0,0838$$

$$S_c \text{ minggu-1} = S_c \text{ kumulatif} \times U_1$$

$$= 0,028 \times 0,0838$$

$$= 0,0024 \text{ m}$$

Perhitungan pemampatan per minggu dapat dilihat pada **Lampiran 2**. Selanjutnya dapat dibuat grafik untuk mengetahui pemampatan yang terjadi setiap minggunya. Grafik pemampatan akibat timbunan bertahap selama 112 minggu ditunjukkan pada **Gambar 6.5**.



Garmbar 6.5 Grafik Nilai Pemampatan Akibat Timbunan Bertahap

## 6.8 Perhitungan Cek Stabilitas Timbunan Bertahap

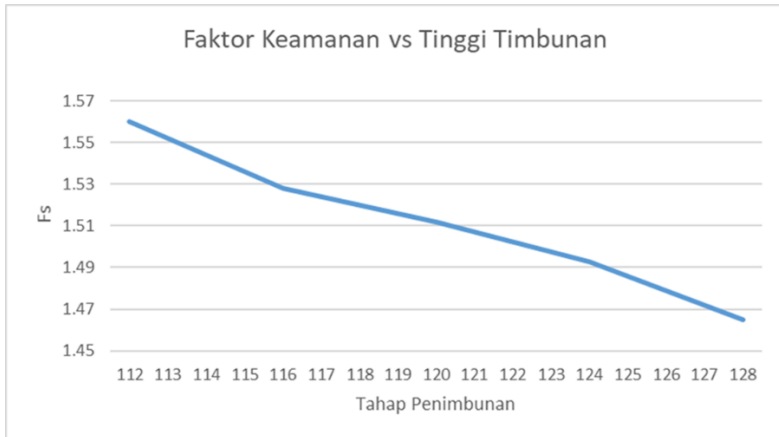
Pada perhitungan timbunan bertahap selama 112 minggu didapatkan nilai penurunan akibat timbunan bertahap yaitu 2.2002 m, sedangkan nilai pemampatan yang umumnya terjadi (Sanjeev Kumar, 1998) yaitu dengan *range* 5-50% dari tinggi timbunan sampah total. Dibutuhkan cek stabilitas hingga pemampatan lebih dari 50% tinggi timbunan total, namun karena untuk mencapai melebihi 50% dari tinggi timbunan total terlalu lama, maka dianggap aman hingga umur rencan dan tidak diperhitungkan

Kemudian nilai SF pada timbunan 112 minggu sebesar 1.560 dan masih aman dengan batas  $<1,50$ . Maka diperlukan untuk mencari berapa tinggi timbunan dan berapa minggu tahap penimbunan agar bisa di cek stabilitas aman untuk nilai  $SF < 1,50$ . Sehingga dihitung secara perlahan setiap bulan atau 4 minggunya dan melihat berapa nilai SF yang didapat. Berikut hasil nilai SF pada tahapan penimbunan minggu ke 116, minggu ke 120, minggu ke 124 dan minggu ke 128 ditampilkan pada **Tabel 6.10 Dan Gambar 6.6**

Tabel 6.10 Hasil nilai SF terhadap Tinggi Timbunan

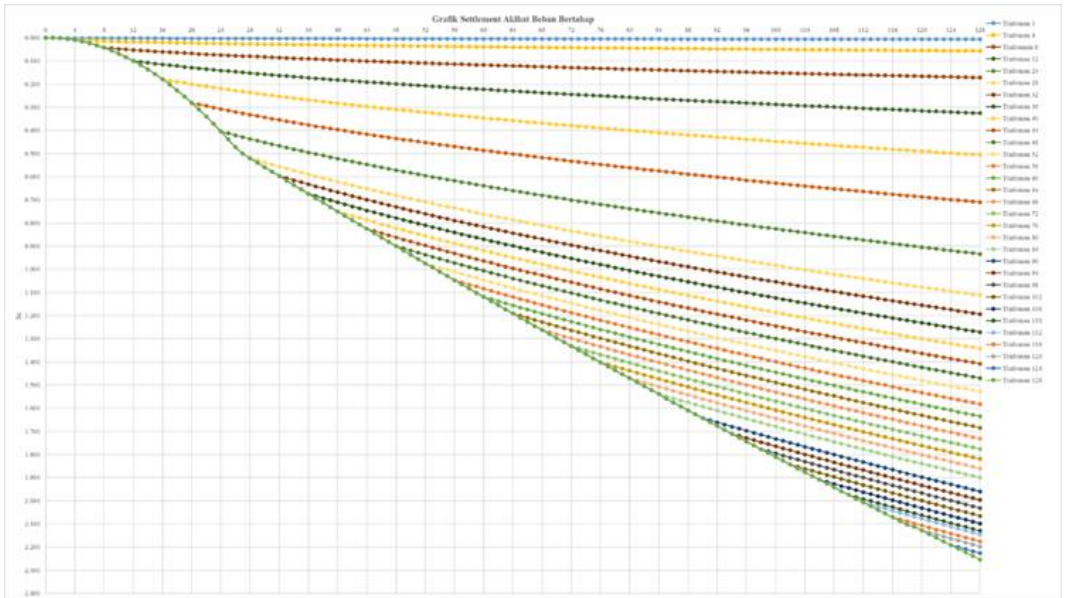
Tahap Penimbunan (Minggu)	Tinggi Timbunan (m)	Nilai SF
112	8,064	1.560
116	8,352	1.528
120	8,640	1.512
124	8,928	1.493
128	9,216	1.465





Garmbar 6.6 Grafik Hubungan antara FAktor Keamanan dengan Tinggi Timbunan

Kemudian untuk nilai pemampatan akibat 128 minggu sebesar 3,363 m dan pemampatan akibat beban bertahap dengan derajat konsolidasi 62,735% sebesar 2,254 m. Grafik hubungan antara pemampatan dengan waktu pentahapan timbunan dapat dilihat pada **Gambar 6.7**.



Garmbar 6.7 Grafik Hubungan antara nilai pemampatan dengan waktu penimbunan pada 128 minggu

Geometrik Timbunan pada tahap 128 minggu dapat dilihat pada gambar di **Lampiran 3**.

Dari hasil tersebut dibutuhkan perhitungan lebih lanjut terkait kekuatan tanah dengan geotextile, minipile dan stone column untuk meningkatkan daya dukung tanah pada area baru TPA Ngipik.hingga mencapai tinggi maksimum sampah yang akan terjadi sehingga dihitung variasi tinggi timbunan maksimum sebesar 15 m, 20 m, dan 30 m.

## **BAB VII**

### **PERENCANGAN PERKUATAN TANAH**

Perkuatan tanah timbunan sampah direncanakan untuk menjaga stabilitas timbunan di atas tanah lunak agar tidak terjadi kelongsoran timbunan sampah. Perkuatan tanah direncanakan dengan beberapa alternatif perkuatan tanah seperti pemasangan minipile, geotextile, dan stone column dengan nilai faktor keamanan yang ingin dicapai sebesar 1,5. Perkuatan tanah dihitung terhadap tinggi timbunan maksimum sampah yang akan terjadi sehingga digunakan variasi tinggi timbunan maksimum sampah sebesar 15 m, 20 m, dan 30 m. Hasil dari perhitungan setiap alternatif berupa diameter, jarak pemasangan, dan panjang alternative yang dipakai. Perkuatan tanah akan dipasang secara permanen sebelum ditimbun sampah sehingga dapat menjadi acuan pemerintah untuk spesifikasi alternative perkuatan tanah yang dipakai.

#### **7.1 Perkuatan Minipile**

Minipile direncanakan sebagai alternatif perkuatan pada timbunan sampah. Minipile direncanakan untuk menambah kekuatan geser tanah dasar. Perkuatan minipile dihitung dengan tinggi timbunan maksimum sebesar 15, 20 m, dan 30 m dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,5.

##### **7.1.1 Perhitungan tinggi timbunan sampah 15 m**

Berikut adalah tahapan dalam perencanaan minipile :

Diketahui data hasil analisis timbunan sampah setinggi 15 m sebagai berikut:

SF	= 1,2
jari-jari kelongsoran (r)	= 21,94 m
Momen penahan	= 5.628 kNm
Momen dorong	= 4.684 kNm
SF rencana	= 1,5

$$\begin{aligned} \Delta \text{Momen} &= (4.684 \times 1,5) - 5.628 = 1398 \text{ kNm} \\ P_{\text{minimum 1 tiang}} &= \Delta \text{Momen} / \text{Radius} \\ &= 1398 / 21,94 = 63,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

Direncanakan minipile:

$$\text{Dimensi} = 30 \times 30 \text{ cm}$$

$$f_c' = 52 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastisitas (E)} &= 4700 \times f_c' = 4700 \times 52 \\ &= 33892,182 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Momen Inersia (I)} = 6,75 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\text{Panjang bidang longsor} = 13,94 \text{ m}$$

$$\text{Momen retak (M}_{cr}) = 34,4 \text{ kN}$$

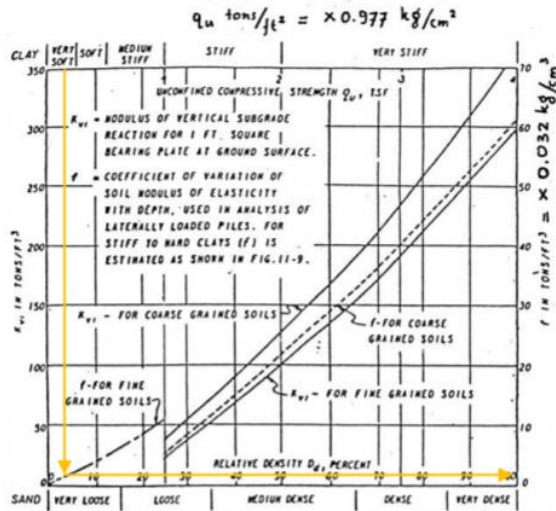
$$\text{Momen ultimate (M}_u) = 51,9 \text{ kN}$$

$$\text{Panjang (L)} = 8,17 \text{ m}$$

Menghitung koefisien modulus tanah (f) dengan menggunakan Gambar 6.4.

$$c_u = 0,15 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_u = 2 \times 0,15 / 0,977 = 0.31 \text{ ton/ft}^2$$



Garmbar 7.1 Mencari Harga Koefisien Modulus Tanah (f)

dari Gambar 7.1 didapatkan :

$$f = 3,6 \text{ ton/ft}^3 = 3,6 \times 0,0322$$

$$= 0,11592 \text{ kg/cm}^3$$

Menghitung faktor kekakuan relatif (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{1/5} = \left(\frac{33892,182 \times 6,75 \times 10^8}{0,11592}\right)^{1/5}$$

$$= 180,88 \text{ cm}$$

Menghitung koefisien momen lentur ( $F_M$ ) dengan menggunakan **Gambar 7.2**

$$F_M = 1$$

Menghitung Faktor Koreksi ( $F_k$ )

$$F_k = 2,643 \left[ \frac{0,89 + 0,12 \frac{L}{D}}{2,69} \right] \left[ \frac{0,855 \cdot C_u^{-0,392}}{2,865} \right]$$

$$F_k = 2,643 \left[ \frac{0,89 + 0,12 \frac{6}{0,3}}{2,69} \right] \left[ \frac{0,855 \cdot 0,8^{-0,392}}{2,865} \right]$$

$$= 0,427$$

Menghitung gaya maksimum 1 Tiang ( $P_{\max}$ )

$$P_{\max} \text{ 1 tiang} = \frac{M_{\text{crack}} \cdot F_k}{F_{m \times T}}$$

$$= \frac{34,4 \times 0,427}{1 \times 1,809}$$

$$= 8,593 \text{ kN}$$

Menghitung jumlah kebutuhan minipile per m (n)

$$n = P_{\text{minimum}} / P_{\max} \text{ 1 tiang}$$

$$= 63,72 / 8,539$$

$$= 7,46 \approx 8 \text{ buah}$$

Jarak antar minipile

$$s = \text{Panjang bidang longsor} / n$$

$$= 13,94 \text{ m} / 8$$

$$= 1,75 \text{ m}$$

Sehingga diameter dan jarak pemasangan yang digunakan untuk minipile dengan tinggi timbunan sampah sebesar 15 m adalah 8 buah dan 1,75 m. Detail gambar rencana dapat dilihat pada Lampiran 3.

### 7.1.2 Perhitungan tinggi timbunan sampah 20 m

Berikut adalah tahapan dalam perencanaan minipile :

Diketahui data hasil analisis timbunan sampah setinggi 20 m sebagai berikut:

$$SF = 0,918$$

$$\text{jari-jari kelongsoran (r)} = 25,42 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen penahan} &= 9.940 \text{ kNm} \\
 \text{Momen dorong} &= 10.832 \text{ kNm} \\
 \text{SF rencana} &= 1,5 \\
 \Delta \text{Momen} &= 10.832 \times 1,5 - 9.940 = 6.308 \text{ kNm} \\
 \text{P minimum} &= \Delta \text{Momen} / \text{Radius} \\
 &= 6.308 / 25,42 = 248.15 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Direncanakan minipile:

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi} &= 30 \times 30 \text{ cm} \\
 f_c' &= 52 \text{ MPa} \\
 \text{Modulus Elastisitas (E)} &= 4700 \times f_c' = 4700 \times 52 \\
 &= 33892,182 \text{ MPa} \\
 \text{Momen Inersia (I)} &= 6,75 \times 10^8 \text{ mm}^4 \\
 \text{Panjang bidang longsor} &= 13,58 \text{ m} \\
 \text{Momen retak (Mcr)} &= 34,4 \text{ kN} \\
 \text{Momen ultimate (Mu)} &= 51,9 \text{ kN} \\
 \text{Panjang (L)} &= 8,17 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Untuk nilai Kekakuan relatif (T), nilai  $f$ , nilai  $F_m$ , nilai  $P_{\max}$  1 tiang, nilai  $F_k$  sama seperti pada perhitungan pada sub-bab 7.1.1 sehingga jumlah minipile dan jarak minipile adalah

$$\begin{aligned}
 n &= P_{\text{minimum}} / P_{\text{max}} \text{ 1 tiang} \\
 &= 248,15 / 8,539 \\
 &= 29,07 \approx 30 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jarak antar minipile

$$\begin{aligned}
 s &= \text{Panjang bidang longsor} / n \\
 &= 27,67 \text{ m} / 30 \\
 &= 0,922 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga diameter dan jarak pemasangan yang digunakan untuk minipile dengan tinggi timbunan sampah sebesar 20 m adalah 30

buah dan 0,922 m. Detail gambar rencana dapat dilihat pada Lampiran 3.

### 7.1.3 Perhitungan minipile tinggi timbunan sampah 30 m

Berikut adalah tahapan dalam perencanaan minipile:

Diketahui data hasil analisis timbunan sampah setinggi 30 m sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 SF &= 0,760 \\
 \text{jari-jari kelongsoran (r)} &= 33,45 \text{ m} \\
 \text{Momen penahan} &= 18.557 \text{ kNm} \\
 \text{Momen dorong} &= 24.412 \text{ kNm} \\
 SF \text{ rencana} &= 1,5 \\
 \Delta \text{Momen} &= 24.412 \times 1,5 - 18.557 = 21.061 \text{ kNm} \\
 P \text{ minimum} &= \Delta \text{Momen} / \text{Radius} \\
 &= 21.061 / 33.45 = 629,62 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Direncanakan minipile:

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi} &= 30 \times 30 \text{ cm} \\
 f_c' &= 52 \text{ MPa} \\
 \text{Modulus Elastisitas (E)} &= 4700 \times f_c' = 4700 \times 52 \\
 &= 33892,182 \text{ MPa} \\
 \text{Momen Inersia (I)} &= 6,75 \times 10^8 \text{ mm}^4 \\
 \text{Panjang bidang longsor} &= 22,37 \text{ m} \\
 \text{Momen retak (Mcr)} &= 34,4 \text{ kN} \\
 \text{Momen ultimate (Mu)} &= 51,9 \text{ kN} \\
 \text{Panjang (L)} &= 8,17 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Untuk nilai Kekakuan relatif (T), nilai f, nilai Fm, nilai  $P_{\max}$  1 tiang, nilai Fk sama seperti pada perhitungan pada sub-bab 7.1.1 sehingga jumlah minipile dan jarak minipile adalah

$$\begin{aligned}
 n &= P_{\text{minimum}} / P_{\text{max}} \text{ 1 tiang} \\
 &= 629,62 / 8,539 \\
 &= 73,74 \approx 74 \text{ buah}
 \end{aligned}$$



Jarak antar minipile

$$\begin{aligned}
 s &= \text{Panjang bidang longsor} / n \\
 &= 22.37 \text{ m} / 74 \\
 &= 0,303 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga diameter dan jarak pemasangan yang digunakan untuk minipile dengan tinggi timbunan sampah sebesar 30 m adalah 74 buah dan 0,303 m. Detail gambar rencana dapat dilihat pada Lampiran 3.

#### 7.1.4 Perhitungan kontrol daya dukung tanah

Untuk mengetahui minipile aman digunakan selain menghitung keamanan akibat overall stability menggunakan alat bantu Geostudio, diharapkan menghitung keamanan akibat daya dukung tanah. Kontrol daya dukung tanah bertujuan untuk menentukan apakah minipile aman terhadap gaya aksial dari timbunan tersebut. Perhitungan kontrol daya dukung tanah diambil pada pemasangan minipile terbanyak dengan anggapan sangat kritis daripada banyak pemasangan yang lain. Sehingga perhitungan kontrol daya dukung tanah dihitung pada tinggi timbunan 30 m dengan jumlah minipile 74 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 17,5 \text{ kN/m}^3 \\
 B &= 22,37 \text{ m} \\
 D &= 8,17 \text{ m} \\
 N_{\gamma} &= 0,4 \\
 N_q &= 1,24 \\
 N_c &= 5,468 \\
 C_u &= 12,5 \text{ kPa} \\
 \text{Berat volume sampah} &= 8 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= 0.5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_{\gamma} + C_u \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q \\
 &= 0,5 \cdot 17,5 \cdot 22,37 \cdot 0,4 + 12,5 \cdot 5,468 + 17,5 \cdot 8,17 \cdot 1,24 \\
 &= 323,339 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ijin} &= \text{Tinggi timbunan} \times \text{Berat volume sampah} \\
 &= 30 \text{ m} \times 8 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 240 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai faktor keamanan} &= Q_{ult} / Q_{ijin} \\
 &= 323,339 / 240 = 1,35 \text{ (kritis} > 1,25)
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk pemasangan minipile pada tinggi timbunan maksimum 30 m adalah kritis karena melebihi 1,25, maka pemasangan minipile dapat dilakukan hingga tinggi maksimum 30 m dengan jumlah minipile 74 buah.

## 7.2 Perencanaan Perkuatan Geotextile

Geotextile digunakan sebagai perkuatan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar di bawah timbunan. Dalam perencanaan ini akan dihitung dengan *Tensile strength* ( $T_{ult}$ ) sebesar 200 kN/m.

$$T_{allow} = T_{ult} \left[ \frac{1}{FS_{id} \times FS_{cr} \times FS_{cd} \times FS_{bd}} \right]$$

$$FS_{id} = 1,5 \qquad FS_{cd} = 1,25$$

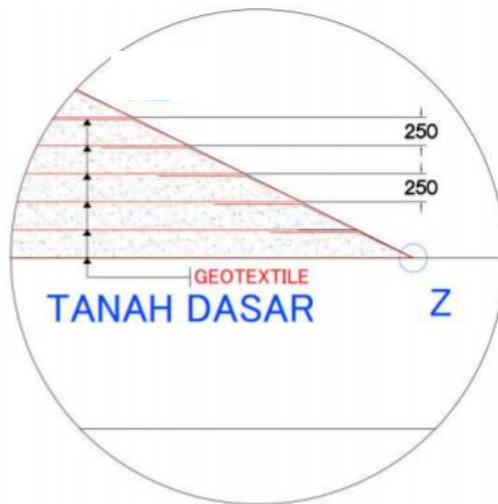
$$FS_{cr} = 3 \qquad FS_{bd} = 1,15$$

$$T_{allow} = 200 \left[ \frac{1}{1,5 \times 3 \times 1,25 \times 1,15} \right] = 30,79 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan geotextile dibutuhkan nilai SF, jari-jari bidang longsor, momen resisten, dan momen dorong yang didapat dari hasil analisa program bantu GeoStudio. Perhitungan geotextile dilakukan pada tinggi timbunan sampah maksimum sebesar 15 m, 20 m, dan 30 m dengan nilai faktor keamanan yang ingin dicapai sebesar 1,5.

### 7.2.1 Perhitungan geotextile tinggi timbunan sampah 15 m

Tinggi timbunan pada TPA ini adalah 15 m. Selanjutnya menghitung kebutuhan geotextile untuk timbunan sampah dengan menggunakan nilai  $T_{allow}$  dikali jarak pasang masing-masing geotextile terhadap titik pusat jari-jari kelongsoran hingga memenuhi  $T_{allow} \times \Sigma R_i \geq \Delta M_R$ . Jarak pemasangan antar geotextile yang direncanakan adalah 25 cm dari permukaan tanah dasar (Gambar 7.2)



Gambar 7. 2 Detail Jarak Pemasangan antar Geotextile

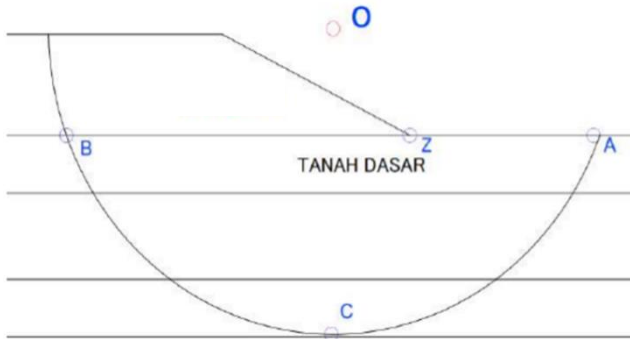
Pemasangan geotextile tepat di atas tanah dasar pada awalnya akan ditimbun sirtu setinggi 0,5 m sebagai lantai kerja untuk pekerjaan sebelumnya. Berikut adalah perhitungan kebutuhan dan Panjang geotextile pada alternatif yang terpilih :

Dari Analisa program bantu GeoStudio didapat :

$$\begin{aligned} SF &= 1,2 \\ R &= 21,94 \text{ m} \end{aligned}$$

$$M_R = 5.628 \text{ kNm}$$

$$SF_{\text{rencana}} = 1,5$$



Gambar 7. 3 Sketsa Bidang Longsor pada Timbunan Sampah

- Koordinat dasar timbunan di titik Z (Gambar 7.3)
 
$$X_z = 50$$

$$Y_z = 8$$
- Koordinat pusat bidang longsor (titik O pada Gambar 7.3)
 
$$X_o = 46,17$$

$$Y_o = 28,74$$
- Koordinat Dasar bidang longsor (titik C pada Gambar 7.3)
 
$$X_c = 45,58$$

$$Y_c = 7,16$$
- Koordinat batas longsor (titik A dan B pada Gambar 7.3)
 
$$X_A = 53,21$$

$$Y_A = 8$$

$$X_B = 39,56$$

$$Y_B = 8$$
- Momen dorong
 
$$M_{\text{dorong}} = \frac{M_{\text{resistan}}}{SF}$$

- $$= \frac{5.628}{1,2} = 4.684 \text{ kNm}$$
- $M_{\text{res rencana}} = M_{\text{dorong}} \times SF_{\text{rencana}}$   
 $= 4.684 \times 1,5 = 7.026 \text{ kNm}$
  - $\Delta M_R = M_{\text{res rencana}} - M_R$   
 $= 1.398 \text{ kNm}$
  - Jari-jari momen geotextile  
 $R_{\text{geotextile 1}} = Y_0 - Y_z$   
 $= 28,74 - 8 = 20,74 \text{ m}$   
 $R_{\text{geotextile 2}} = R_{\text{geotextile 1}} - \text{jarak antar geotextile}$   
 $= 20,74 - 0,25 = 20,49 \text{ m}$   
 $R_{\text{geotextile 3}} = R_{\text{geotextile 2}} - \text{jarak antar geotextile}$   
 $= 20,49 - 0,25 = 20,24 \text{ m}$   
 Jari-jari geotextile dihitung sampai nilainya 0.
  - $M_{\text{geotextile}} = T_{\text{allow}} \times \Sigma R_i$   
 $= 30,92 \times 20,74 \text{ m}$   
 $= 641,28 \text{ kNm}$
  - $L_c = \frac{T_{\text{allow}} \times FS}{(\tau_1 + \tau_2) + E}$   
 $= \frac{30,92 \times 1,5}{(83,27) + 0,8}$   
 $= 0,696 \text{ m dipakai 1 m}$

Dengan syarat  $\Sigma \text{momen} > \Delta M_R$  maka didapat jumlah geotextile yang diperlukan supaya timbunan stabil. Dari hasil perhitungan  $T_{\text{allow}} \times \Sigma R_i, \geq \Delta M_R$ , yaitu  $1.900,52 \geq 1.398 \text{ kNm}$  didapat kebutuhan geotextile sebanyak 3 lapis. Dari perhitungan diatas didapat Panjang geotextile di depan bidang longsor adalah 10,44 m untuk lapis pertama. Dari Analisa didapat total Panjang geotextile yang dibutuhkan pada timbunan 15 m adalah 64.11 m/m' seperti pada gambar pada **Lampiran 3**.

Panjang total geotextile dapat dilihat pada Lampiran 2.

### 7.2.2 Perhitungan geotextile tinggi timbunan sampah 20 m

Seperti perhitungan sub-bab 7.2.1, jarak pemasangan geotextile yang digunakan adalah 0,25 m atau 25 cm dengan kebutuhan geotextile harus memenuhi syarat  $T_{\text{allow}} \times \Sigma R_i \geq \Delta M_R$ . perhitungan geotextile dapat dilihat sebagai berikut :

Dari Analisa program bantu GeoStudio didapat :

$$\begin{aligned} SF &= 0,918 \\ R &= 25,42 \text{ m} \\ M_R &= 9940 \text{ kNm} \\ SF_{\text{rencana}} &= 1,5 \end{aligned}$$

- Koordinat dasar timbunan di titik Z (Gambar 7.3)
 
$$\begin{aligned} X_z &= 50 \\ Y_z &= 8 \end{aligned}$$
- Koordinat pusat bidang longsor (titik O pada Gambar 7.3)
 
$$\begin{aligned} X_o &= 43,07 \\ Y_o &= 29,31 \end{aligned}$$
- Koordinat Dasar bidang longsor (titik C pada Gambar 7.3)
 
$$\begin{aligned} X_c &= 43,37 \\ Y_c &= 3,27 \end{aligned}$$
- Koordinat batas longsor (titik A dan B pada Gambar 7.3)
 
$$\begin{aligned} X_A &= 57,04 \\ Y_A &= 8 \\ X_B &= 29,11 \\ Y_B &= 8 \end{aligned}$$
- Momen dorong
 
$$\begin{aligned} M_{\text{dorong}} &= \frac{M_{\text{resistan}}}{SF} \\ &= \frac{9.940}{0,918} = 10.832 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- $M_{\text{res rencana}} = M_{\text{dorong}} \times SF_{\text{rencana}}$   
 $= 10.832 \times 1,5 = 16.248 \text{ kNm}$
- $\Delta M_R = M_{\text{res rencana}} - M_R$   
 $= 16.248 - 9.940 \text{ kNm}$   
 $= 6.308 \text{ kNm}$
- Jari-jari momen geotextile  
 $R_{\text{geotextile 1}} = Y_0 - Y_Z$   
 $= 29,31 - 8 = 21,31 \text{ m}$   
 $R_{\text{geotextile 2}} = R_{\text{geotextile 1}} - \text{jarak antar geotextile}$   
 $= 21,31 - 0,25 = 21,06 \text{ m}$   
 $R_{\text{geotextile 3}} = R_{\text{geotextile 2}} - \text{jarak antar geotextile}$   
 $= 21,06 - 0,25 = 20,81 \text{ m}$   
 Jari-jari geotextile dihitung sampai nilainya 0.
- $M_{\text{geotextile}} = T_{\text{allow}} \times \Sigma R_i$   
 $= 30,92 \text{ m} \times 21,31$   
 $= 658.81 \text{ kN/m}$
- $L_e = \frac{T_{\text{allow}} \times FS}{(\tau_1 + \tau_2) + E}$   
 $= \frac{30,92 \times 1,5}{(78,24 + 21,12) + 0,8}$   
 $= 0,58 \text{ m dipakai } 1 \text{ m}$

Dengan syarat  $\Sigma \text{momen} > \Delta M_R$  maka didapat jumlah geotextile yang diperlukan supaya timbunan stabil. Dari hasil perhitungan  $T_{\text{allow}} \times \Sigma R_i \geq \Delta M_R$ , yaitu  $6.822 \geq 6.308 \text{ kNm}$  didapat kebutuhan geotextile sebanyak 11 lapis. Dari perhitungan diatas didapat Panjang geotextile di depan bidang longsor adalah 20,89 m untuk lapis pertama. Dari Analisa didapat total Panjang geotextile yang dibutuhkan pada timbunan 20 m adalah 293,44 m/m' seperti gambar pada **Lampiran 3**.

Panjang total geotextile dapat dilihat pada Lampiran 2.

### 7.2.3 Perhitungan geotextile tinggi timbunan sampah 30 m

Dari Analisa program bantu Geo5 didapat :

$$\begin{aligned} SF &= 0,760 \\ R &= 33,45 \text{ m} \\ M_R &= 18.557 \text{ kNm} \\ SF_{\text{rencana}} &= 1,5 \end{aligned}$$

- Koordinat dasar timbunan di titik Z (Gambar 7.3)
 
$$\begin{aligned} X_z &= 50 \\ Y_z &= 8 \end{aligned}$$
- Koordinat pusat bidang longsor (titik O pada Gambar 7.3)
 
$$\begin{aligned} X_o &= 40,96 \\ Y_o &= 39,61 \end{aligned}$$
- Koordinat Dasar bidang longsor (titik C pada Gambar 7.3)
 
$$\begin{aligned} X_c &= 40,96 \\ Y_c &= 6 \end{aligned}$$
- Koordinat batas longsor (titik A dan B pada Gambar 7.3)
 
$$\begin{aligned} X_A &= 53,10 \\ Y_A &= 8 \\ X_B &= 29,29 \\ Y_B &= 8 \end{aligned}$$
- Momen dorong
 
$$\begin{aligned} M_{\text{dorong}} &= \frac{M_{\text{resistan}}}{SF} \\ &= \frac{18.557}{0,760} = 24.412 \text{ kNm} \end{aligned}$$
- $M_{\text{res rencana}} = M_{\text{dorong}} \times SF_{\text{rencana}}$ 

$$= 24.412 \times 1,5 = 36.618 \text{ kNm}$$
- $\Delta M_R = M_{\text{res rencana}} - M_R$ 

$$\begin{aligned} &= 36.618 - 18.557 \text{ kNm} \\ &= 18.061 \text{ kNm} \end{aligned}$$
- Jari-jari momen geotextile
 
$$R_{\text{geotextile 1}} = Y_o - Y_z$$



$$= 39,61 - 8 = 31,61 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{geotextile } 2} &= R_{\text{geotextile } 1} - \text{jarak antar geotextile} \\ &= 31,61 - 0,25 = 31,36 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{geotextile } 3} &= R_{\text{geotextile } 2} - \text{jarak antar geotextile} \\ &= 31,36 - 0,25 = 31,11 \text{ m} \end{aligned}$$

Jari-jari geotextile dihitung sampai nilainya 0.

- $M_{\text{geotextile}} = T_{\text{allow}} \times \Sigma R_i$   
 $= 30,92 \text{ m} \times 31,61$   
 $= 977,38$
- $L_c = \frac{T_{\text{allow}} \times FS}{(\tau_1 + \tau_2) + E}$   
 $= \frac{30,92 \times 1,5}{(107,35 + 24,18) + 0,8}$   
 $= 0,44 \text{ m}$  dipakai 1 m

Dengan syarat  $\Sigma \text{momen} > \Delta M_R$  maka didapat jumlah geotextile yang diperlukan supaya timbunan stabil. Dari hasil perhitungan  $T_{\text{allow}} \times \Sigma R_i \geq \Delta M_R$ , yaitu  $21.322 \geq 21.066 \text{ kNm}$  didapat kebutuhan geotextile sebanyak 24 lapis. Dari perhitungan diatas didapat Panjang geotextile di depan bidang longsor adalah 20,71 m untuk lapis pertama. Dari Analisa didapat total Panjang geotextile yang dibutuhkan pada timbunan 30 m adalah 595,92 m/m' seperti gambar pada **Lampiran 3**.

Panjang total geotextile dapat dilihat pada **Lampiran 2**.

### 7.3 Perencanaan Perkuatan *Stone Column*

Metode *Stone Column* biasanya digunakan untuk perbaikan tanah kohesif lunak untuk menaikkan daya dukung tanah dan untuk mengurugi penurunan tanah yang akan terjadi. Dengan perbaikan menggunakan teknik *stone column* ini, diharapkan tanah lempung dapat menghasilkan kapasitas daya dukung besar sehingga beban timbunan yang bekerja menjadi lebih besar.

Untuk tugas akhir ini, tipe pemasangan yang digunakan adalah *fixed type*, dimana pemasangan stone column diasumsikan sampai mencapai tanah yang cukup keras. Selain itu untuk pola pemasangan stone column yang digunakan adalah pola segitiga sama sisi. Perhitungan stone column dilakukan pada ketinggian maksimum sampah yang akan terjadi sebesar 15 m, 20 m, dan 30 m dengan nilai faktor keamanan yang dicapai sebesar 1,5. Perhitungan stone colum menggunakan data parameter fisik seperti pada **Tabel 7.1**.

Tabel 7.1. Data Parameter Fisik Tanah untuk Stone Column

Kedalaman (m)	$e_0$	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\Phi$	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$C_c$	$C_s$	$n$	$E_c$ (Mpa)
0-1,5	1,28	7,5	1	17,86	1,239	0,20	0,58	5
1,5-3,5	1,72	13,75	2	16,79	1,013	0,17	0,54	26,12
3,5-5,5	1,74	16,25	2	16,74	1,013	0,17	0,54	26,12
5,5-7,5	1,27	34,5	3	17,46	1,187	0,16	0,56	37,72

### 7.3.1 Perhitungan stone column tinggi timbunan sampah 15 m

Dengan data parameter fisik yang digunakan pada stone column selanjutnya dihitung diameter dan jarak pemasangan stone column hingga mencapai nilai faktor keamanan sebesar 1,5 dengan tinggi tinggi timbunan sampah 15 m. berikut adalah Analisa perhitungan perkuatan stone column :

$$\begin{aligned} \text{Diameter} &= 0,3 \text{ m} \\ \text{Jarak} &= 2,25 \text{ m} \\ H &= 7,5 \text{ m} \\ \phi_s &= 40^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat timbunan sampah} &= H_{\text{timbunan}} \times \text{berat volume sampah} \\ &= 15 \text{ m} \times 8 \text{ kN/m}^2 = 120 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

- Diameter ekuivalen ( $D_e$ )
 
$$\begin{aligned}D_e &= 1,05 \times S \\ &= 1,05 \times 2,25 \text{ m} = 2,363 \text{ m}\end{aligned}$$
- Luas penampang stone column ( $A_s$ )
 
$$\begin{aligned}A_s &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 0,3^2 = 0,071 \text{ m}^2\end{aligned}$$
- Luas penampang *unit cell* ( $A$ )
 
$$\begin{aligned}A &= \frac{1}{4} \pi D_c^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 2,363^2 = 4,39 \text{ m}^2\end{aligned}$$
- Luas penampang tanah *unit cell* ( $A_c$ )
 
$$\begin{aligned}A_c &= A - A_s \\ &= 4,39 - 0,071 = 4,313 \text{ m}^2\end{aligned}$$
- Area *replacement ratio stone column* ( $a_s$ )
 
$$\begin{aligned}a_s &= A_s/A \\ &= 0,071 / 4,39 = 0,01612\end{aligned}$$
- Area *replacement ratio tanah* ( $a_c$ )
 
$$\begin{aligned}a_c &= 1 - a_s \\ &= 1 - 0,01612 = 0,9839\end{aligned}$$
- Rasio tegangan pada *stone column* ( $\mu_s$ )
 
$$\begin{aligned}\mu_s &= \frac{n}{(1+(n-1) \times a_s)} \\ &= \frac{5}{(1+(5-1) \times 0,074)} = 4,559\end{aligned}$$
- Rasio tegangan pada tanah di sekitar *stone column* ( $\mu_c$ )
 
$$\begin{aligned}\mu_c &= \frac{n}{(1+(n-1) \times a_c)} \\ &= \frac{5}{(1+(5-1) \times 0,926)} = 0,145\end{aligned}$$
- Tegangan yang terjadi pada *Stone Column* ( $\sigma_s$ )
 
$$\begin{aligned}\sigma_s &= \mu_s \times \sigma \\ &= 4,559 \times 120 = 547,071 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- Tegangan yang terjadi pada tanah disekitar *Stone Column* ( $\sigma_c$ )
 
$$\begin{aligned}\sigma_c &= \mu_c \times \sigma \\ &= 0,145 \times 120 = 17,383 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$
- Nilai total tegangan horizontal ( $\sigma_{ro}$ ) Pada lapisan tanah 1
 
$$\begin{aligned}K_o &= 1 - \sin \phi \\ &= 1 - \sin 1 = 0,983 \\ \sigma_v &= \gamma_{\text{sat}} \times h \times 0,5 \\ &= 17,86 \times 1,5 \times 0,5 = 13,398 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_{ro} &= K_o \times \sigma_v \\ &= 0,983 \times 13,398 = 13,163\end{aligned}$$
- Perlawanan pasif dari tanah di sekeliling stone column ( $\sigma_3$ )
 
$$\begin{aligned}\sigma_3 &= \sigma_{ro} + C_u \left( 1 + \ln \frac{Ec}{(2C_u + (1 + \nu))} \right) \\ &= 13,163 + 7,5 \left( 1 + \ln \frac{5}{(2 \times 7,5 + (1 + 0,5))} \right) \\ &= 45,688 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Untuk hasil Analisa lebih lengkap terkait nilai  $\sigma_3$  dapat dilihat pada **Tabel 7.2** berikut ini:

Tabel 7.2 Hasil  $Q_{ult}$  pada Stone Column pada Tinggi Timbunan Sampah 15 m

Z	Tegangan Vertikal ( $S_v$ ) - kN/m <sup>2</sup>				$\Sigma\sigma_v$ perlapis	$\Sigma\sigma_{ro}$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma_3$ kN/m <sup>2</sup>	$K_{pc}$	$q_{ult}$ kN/m <sup>2</sup>
	Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4					
0-1.5	13.40				13.40	13.16	45.69	4,599	210,121
1.5-3.5	26.80	13.82			40.62	39.19	129.89	4,599	597,363
3.5-5.5	26.80	27.64	13.82		68.25	65.87	175.77	4,599	808,35
5.5-7.5	26.80	27.64	27.64	15.16	97.23	92.08	364.06	4,599	1674,3
Jumlah									2.146,21
Rata-rata									536,551

- Nilai faktor keamanan (SF)

$$\begin{aligned} SF &= q_{ult} / \text{daya dukung} \\ &= 822,533 / 547,071 \\ &= 1,503 \end{aligned}$$

Sehingga diameter dan jarak pemasangan yang digunakan dengan perkuatan stone column pada tinggi timbunan sampah 15 m adalah 0,3 m dan 2,25 m dengan nilai faktor keamanan 1,503. Detail gambar perencanaan stone column dapat dilihat pada gambar di **Lampiran 3**.

### 7.3.2 Perhitungan stone column tinggi timbunan sampah 20m

Dengan data parameter fisik yang digunakan pada stone column selanjutnya dihitung diameter dan jarak pemasangan stone column hingga mencapai nilai faktor keamanan sebesar 1,5 dengan

tinggi tinggi timbunan sampah 20 m. berikut adalah Analisa perhitungan perkuatan stone column :

$$\text{Diameter} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Jarak} = 2,05 \text{ m}$$

$$H = 7,5 \text{ m}$$

$$\phi_s = 40^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Berat timbunan sampah} &= H_{\text{timbunan}} \times \text{berat volume sampah} \\ &= 20 \text{ m} \times 8 \text{ kN/m}^2 = 160 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Diameter ekuivalen ( $D_e$ )

$$\begin{aligned} D_e &= 1,05 \times S \\ &= 1,05 \times 2,05 \text{ m} = 2,1525 \text{ m} \end{aligned}$$

- Luas penampang stone column ( $A_s$ )

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 0,6^2 = 0,283 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Luas penampang *unit cell* ( $A$ )

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi D_e^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 2,1525^2 = 3,639 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Luas penampang tanah *unit cell* ( $A_c$ )

$$\begin{aligned} A_c &= A - A_s \\ &= 3,639 - 0,283 = 3,356 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Area *replacement ratio stone column* ( $a_s$ )

$$\begin{aligned} a_s &= A_s/A \\ &= 0,283 / 3,639 = 0,0777 \end{aligned}$$

- Area *replacement ratio tanah* ( $a_c$ )

$$\begin{aligned} a_c &= 1 - a_s \\ &= 1 - 0,0777 = 0,9223 \end{aligned}$$

- Rasio tegangan pada *stone column* ( $\mu_s$ )

$$\begin{aligned} \mu_s &= \frac{n}{(1+(n-1) \times a_s)} \\ &= \frac{5}{(1+(5-1) \times 0,074)} = 3,41 \end{aligned}$$

- Rasio tegangan pada tanah di sekitar *stone column* ( $\mu_c$ )

$$\begin{aligned}\mu_c &= \frac{n}{(1+(n-1)\alpha c)} \\ &= \frac{5}{(1+(5-1)\alpha 0,926)} = 0,1531\end{aligned}$$

- Tegangan yang terjadi pada *Stone Column* ( $\sigma_s$ )
 
$$\begin{aligned}\sigma_s &= \mu_s \times \sigma \\ &= 3,41 \times 160 = 546,63 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$
- Tegangan yang terjadi pada tanah disekitar *Stone Column* ( $\sigma_c$ )
 
$$\begin{aligned}\sigma_c &= \mu_c \times \sigma \\ &= 0,1531 \times 160 = 24.488 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$
- Nilai total tegangan horizontal ( $\sigma_{ro}$ ) Pada lapisan tanah 1
 
$$\begin{aligned}K_o &= 1 - \sin \phi \\ &= 1 - \sin 1 = 0.983 \\ \sigma_v &= \gamma_{\text{sat}} \times h \times 0,5 \\ &= 17,86 \times 1,5 \times 0,5 = 13,398 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_{ro} &= K_o \times \sigma_v \\ &= 0,983 \times 13,398 = 13,163\end{aligned}$$
- Perlawanan pasif dari tanah di sekeliling stone column ( $\sigma_3$ )
 
$$\begin{aligned}\sigma_3 &= \sigma_{ro} + C_u \left( 1 + \ln \frac{E_c}{(2C_u + (1+\nu))} \right) \\ &= 13,163 + 7,5 \left( 1 + \ln \frac{5}{(2 \times 7,5 + (1+0,5))} \right) \\ &= 45,688 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Untuk hasil Analisa lebih lengkap terkait nilai  $\sigma_3$  dapat dilihat pada **Tabel 7.3** berikut ini:

Tabel 7.3 Hasil  $Q_{ult}$  pada Stone Column pada Tinggi Timbunan Sampah 20 m

Z	Tegangan Vertikal ( $S_v$ ) - kN/m <sup>2</sup>				$\Sigma\sigma_v$ perlapis	$\Sigma\sigma_{ro}$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma_3$ kN/m <sup>2</sup>	$K_{pc}$	$q_{ult}$ kN/m <sup>2</sup>
	Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4					
0-1.5	13.40				13.40	13.16	45.69	4,599	210,121
1.5-3.5	26.80	13.82			40.62	39.19	129.89	4,599	597,363
3.5-5.5	26.80	27.64	13.82		68.25	65.87	175.77	4,599	808,35
5.5-7.5	26.80	27.64	27.64	15.16	97.23	92.08	364.06	4,599	1674,3
Jumlah									3,290,13
Rata-rata									822,533

- Nilai faktor keamanan (SF)

$$\begin{aligned}
 SF &= q_{ult} / \text{daya dukung} \\
 &= 822,533 / 546,63 \\
 &= 1,508
 \end{aligned}$$

Sehingga diameter dan jarak pemasangan yang digunakan dengan perkuatan stone column pada tinggi timbunan sampah 20 m adalah 0,6 m dan 2,05 m dengan nilai faktor keamanan 1,50. Detail gambar perencanaan stone column dapat dilihat pada gambar di **Lampiran 3**.

### 7.3.3 Perhitungan stone column tinggi timbunan sampah 30m

Dengan data parameter fisik yang digunakan pada stone column selanjutnya dihitung diameter dan jarak pemasangan stone column hingga mencapai nilai faktor keamanan sebesar 1,5 dengan



tinggi tinggi timbunan sampah 30 m. berikut adalah Analisa perhitungan perkuatan stone column :

$$\text{Diameter} = 0,8 \text{ m}$$

$$\text{Jarak} = 1,71 \text{ m}$$

$$H = 7,5 \text{ m}$$

$$\phi_s = 40^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Berat timbunan sampah} &= H_{\text{timbunan}} \times \text{berat volume sampah} \\ &= 30 \text{ m} \times 8 \text{ kN/m}^2 = 240 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Diameter ekuivalen ( $D_e$ )
 
$$\begin{aligned} D_e &= 1,05 \times S \\ &= 1,05 \times 1,71 \text{ m} = 1,7955 \text{ m} \end{aligned}$$
- Luas penampang stone column ( $A_s$ )
 
$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 0,8^2 = 0,503 \text{ m}^2 \end{aligned}$$
- Luas penampang *unit cell* ( $A$ )
 
$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi D_e^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 1,7955^2 = 2,532 \text{ m}^2 \end{aligned}$$
- Luas penampang tanah *unit cell* ( $A_c$ )
 
$$\begin{aligned} A_c &= A - A_s \\ &= 2,532 - 0,503 = 2,029 \text{ m}^2 \end{aligned}$$
- Area *replacement ratio stone column* ( $a_s$ )
 
$$\begin{aligned} a_s &= A_s / A \\ &= 0,503 / 2,532 = 0,199 \end{aligned}$$
- Area *replacement ratio tanah* ( $a_c$ )
 
$$\begin{aligned} a_c &= 1 - a_s \\ &= 1 - 0,199 = 0,801 \end{aligned}$$
- Rasio tegangan pada *stone column* ( $\mu_s$ )
 
$$\begin{aligned} \mu_s &= \frac{n}{(1+(n-1) \times a_s)} \\ &= \frac{7}{(1+(7-1) \times 0,199)} = 2,281 \end{aligned}$$
- Rasio tegangan pada tanah di sekitar *stone column* ( $\mu_c$ )

$$\begin{aligned}\mu_c &= \frac{n}{(1+(n-1)xac)} \\ &= \frac{5}{(1+(7-1)x0,926)} = 0,172\end{aligned}$$

- Tegangan yang terjadi pada *Stone Column* ( $\sigma_s$ )
 
$$\begin{aligned}\sigma_s &= \mu_s \times \sigma \\ &= 2,281 \times 240 = 547,662 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$
- Tegangan yang terjadi pada tanah disekitar *Stone Column* ( $\sigma_c$ )
 
$$\begin{aligned}\sigma_c &= \mu_c \times \sigma \\ &= 0,172 \times 240 = 41,316 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$
- Nilai total tegangan horizontal ( $\sigma_{ro}$ ) Pada lapisan tanah 1
 
$$\begin{aligned}K_o &= 1 - \sin \phi \\ &= 1 - \sin 1 = 0,983 \\ \sigma_v &= \gamma_{sat} \times h \times 0,5 \\ &= 17,86 \times 1,5 \times 0,5 = 13,398 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_{ro} &= K_o \times \sigma_v \\ &= 0,983 \times 13,398 = 13,163\end{aligned}$$
- Perlawanan pasif dari tanah di sekeliling stone column ( $\sigma_3$ )
 
$$\begin{aligned}\sigma_3 &= \sigma_{ro} + C_u \left( 1 + \ln \frac{Ec}{(2C_u + (1+\nu))} \right) \\ &= 13,163 + 7,5 \left( 1 + \ln \frac{5}{(2 \times 7,5 + (1+0,5))} \right) \\ &= 45,688 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Untuk hasil Analisa lebih lengkap terkait nilai  $\sigma_3$  dapat dilihat pada **Tabel 7.4** berikut ini:

Tabel 7.4 Hasil  $Q_{ult}$  pada Stone Column pada Tinggi timbunan Sampah 30 m

Z	Tegangan Vertikal ( $S_v$ ) - kN/m <sup>2</sup>				$\Sigma\sigma_v$ perlapis	$\Sigma\sigma_{ro}$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma_3$ kN/m <sup>2</sup>	$K_{pc}$	$q_{ult}$ kN/m <sup>2</sup>
	Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4					
0-1.5	13.40				13.40	13.16	45.69	4,599	210,121
1.5-3.5	26.80	13.82			40.62	39.19	129.89	4,599	597,363
3.5-5.5	26.80	27.64	13.82		68.25	65.87	175.77	4,599	808,35
5.5-7.5	26.80	27.64	27.64	15.16	97.23	92.08	364.06	4,599	1674,3
Jumlah									3,290,13
Rata-rata									822,533

- Nilai faktor keamanan (SF)

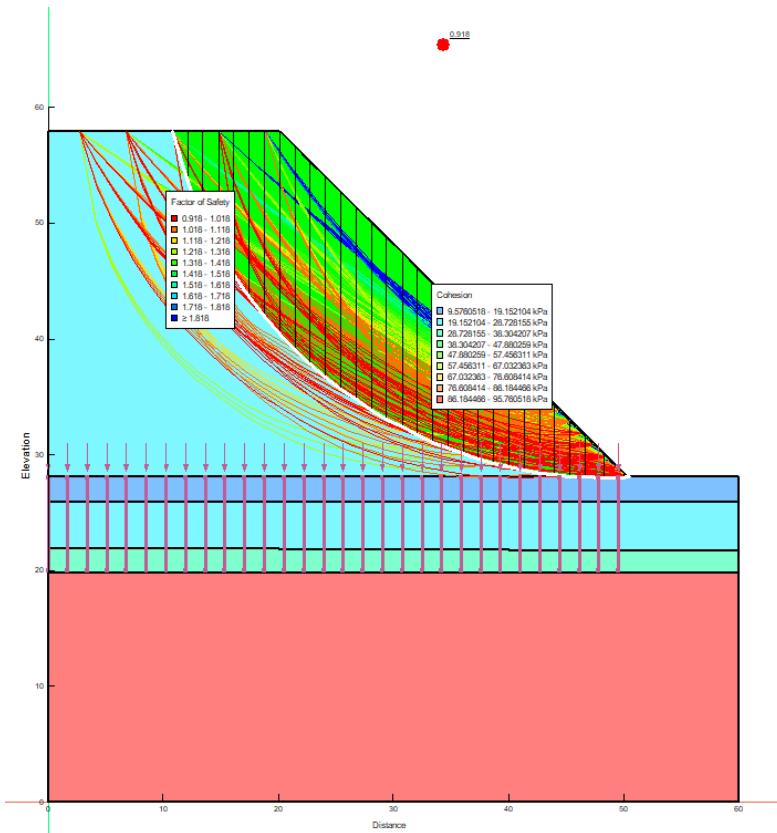
$$\begin{aligned}
 SF &= q_{ult} / \text{daya dukung} \\
 &= 822,533 / 547,662 \\
 &= 1,502
 \end{aligned}$$

Sehingga diameter dan jarak pemasangan yang digunakan dengan perkuatan stone column pada tinggi timbunan sampah 30 m adalah 0,8 m dan 1,71 m dengan nilai faktor keamanan 1,50. Detail gambar perencanaan stone column dapat dilihat pada gambar di **Lampiran 3**.

### 7.3.4 Kontrol *overall stability* pemasangan stone column

Untuk mengetahui pemasangan Stone column aman atau tidak, selain menghitung faktor keamanan melalui daya dukung tanah seperti pada sub-bab 7.3.1-7.3.3, dapat juga dikontrol faktor keamanan terhadap *overall stability*. Kontrol *overall stability* ini

dilakukan pada tinggi maksimum timbunan sampah yaitu 30 m dengan anggapan 30 m adalah tinggi paling kritis, sehingga dengan diameter stone column 0,8 m dan 1,71 m jarak pemasangan stone column maka didapatkan nilai faktor keamanannya adalah 1.473 seperti pada **Gambar 7.4**. Maka dapat dikatakan pemasangan stone column pada tinggi timbunan 30 m tersebut aman.



Garmbar 7.4 Kontrol Overall Stability Pemasangan Stone Column

## **BAB VIII**

### **KESIMPULAN**

#### **8.1 Kesimpulan**

Dari Tugas Akhir ini didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada eksisting TPA Ngipik dengan luas 8 ha telah mengalami kelebihan volume sampah sebesar  $1.146.866,519 \text{ m}^3$  dengan tinggi timbunan 14,11 m pada tahun 2020 dan memiliki nilai faktor keamanan akibat *overall stability* sebesar 1,230 dan akibat daya dukung tanah sebesar 0,671. Timbunan area Eksisting memiliki nilai pemampatan tak hingga sebesar 2,078 m.
2. Pada lahan baru dengan luas 6 Ha didapatkan tinggi timbunan sampah kritis sebesar 9,22 m dengan nilai pemampatan tak hingga akibat tanah dasar sebesar 1,415 m dan pemampatan akibat timbunan bertahap dengan kecepatan 0,072 m/minggu selama 128 minggu sebesar 2,254 m. Pada ketinggian maksimum 9,22 m memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1,465.
3. Perkuatan tanah dengan minipile untuk timbunan sampah 15 m digunakan dengan jarak 1,75 m dan sebanyak 8 buah. Perkuatan tanah dengan minipile untuk timbunan sampah 20 m digunakan dengan jarak 0,922 m dan sebanyak 30 buah. Perkuatan tanah dengan minipile untuk timbunan sampah 30 m digunakan dengan jarak 0,303 m dan sebanyak 74 buah.  
Perkuatan tanah dengan geotextile untuk timbunan 15 m digunakan tensile  $200 \text{ kN/m}^2$  dengan jumlah 3 lapis dan panjang total 64,11 m/m'. Perkuatan tanah dengan geotextile untuk timbunan 20 m digunakan tensile  $200 \text{ kN/m}^2$  dengan jumlah 11 lapis dan panjang total 293,44 m/m'. Perkuatan tanah dengan geotextile untuk timbunan 30 m digunakan tensile  $200 \text{ kN/m}^2$  dengan jumlah 24 lapis dan panjang total

595,92 m/m<sup>3</sup>.

Perkuatan tanah dengan stone column untuk timbunan sampah 15 m digunakan diameter stone column 0,3 m dan jarak stone column 2,25 m. Perkuatan tanah dengan stone column untuk timbunan sampah 20 m digunakan diameter stone column 0,6 m dan jarak stone column 2,05 m. Perkuatan tanah dengan stone column untuk timbunan sampah 30 m digunakan diameter stone column 0,8 m dan jarak stone column 1,71 m.

## **8.2 Saran**

Dari tugas akhir ini diharapkan untuk penelitian selanjutnya membahas stabilitas timbunan sampah terkait timbunan sampah akibat hujan dan akibat dekomposisi sampah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Augello. (1995). **Studi Analisis Stabilitas Lereng Pada Timbunan Dengan Metode**, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
- Darwis. (2017). **Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah**, Pustaka AQ, Yogyakarta
- Das, Braja M. (2010). **Principles of Geotechnical Engineering Seventh Edition**, Cengage Learning, USA
- Fajar, Irawan. (2011). **Prediksi Kebutuhan Daya Tampung TPA Sukosari Jumantono Karanganyar Tahun 2016**. Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Ivtitah, Anita P. (2015). **Perbaikan Tanah dengan Geosintetik**, Jurusan Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Semarang
- James L. Hanson. (2010). **Compaction Characteristic of Municipal Solid Waste**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. ASCE
- Kumar, Sanjeev. (1998). **Procedure to Predict Settlement of Solid Waste Landfills Using Power Creep Law**. Fourth international conference on case histories in geotechnical engineering, Missouri University of Science, Missouri.
- Mochtar. B, Indrasurya. (2000). **Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)**. ,Jurusan Teknik Sipil – FTSP ITS, Surabaya
- N.E., Mochtar (2012), **Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah**, Jurusan Teknik Sipil ITS, Surabaya
- Nazhary. Rahmat. (2014). **Studi Perencanaan TPA Masukau dengan Sistem Sanitary Landfill di kabupaten Tebalong Kalimantan Selatan**. Jurnal UMM. Malang

- Nurlita, Siti. (2018). **Penilaian Stabilitas Timbunan dan Potensi Kebocoran Lindi Akibat Pengaruh Seismik di Tempat Pembuangan Akhir Ngipik, Gresik**. Tesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Pekerjaan Umum Perumahan Rakyat, Peraturan Menteri, Republik Indonesia, **Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenisnya**. 2012
- Sihombing, Imanuel. (2016). **Studi Parameter Perencanaan Stone Column untuk Perbaikan Bearing Capacity dan Settlement pada Tanah Lempung**, Fakultas Teknik Sipil ITB, Bandung
- Soemitro, Ria Asih A., Dwa Desa Warnana, Hitrapiya Suprayitno. (2018). **Assessment To Buffer Material For Open Dumping Waste**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Wahyudi, Herman. (2012). **Daya Dukung Pondasi Dangkal. Edisi kesatu**. Surabaya: ITS Press.
- Wardhani, K. Maulinna. (2018). **Studi Komparasi Pengurangan Timbulan Sampah Berbasis Masyarakat Menggunakan Prinsip Bank Sampah di Surabaya**. Jurnal Pamator Trunojoyo, Madura.
- Widianti, Anita. (2012), **Pengaruh Jumlah Lapisan dan Spasi Perkuatan Geosintetik terhadap Kuat Dukung dan Penurunan Tanah Lempung Lunak**, Semesta Teknika Vol. 15, Yogyakarta



**LAMPIRAN 1**  
**DATA PERENCANAAN**

**DAFTAR ISI**

<b>Gambar 1.</b> Data Boreholes Tanah di titik BH-2 dan Repaitulasi Data tanah.....	106
<b>Garmbar 2.</b> Spesifikasi Geotextile Nonwoven .....	108
<b>Garmbar 3.</b> Spesifikasi Minipile .....	109

**Tabel 1.** Data Boreholes Tanah di titik BH-2 Rekapitulasi Data Tanah

Depth (m)	Soil Classification			Grain Size Distribution					Physical Properties					Atterberg's Limit		
	Soil type	Consistency	USCS	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	$\gamma$ (g/cc)	$\gamma_d$ (g/cc)	Wc (%)	Gs -	e -	Sr (%)	n -	LL (%)	PL (%)	PI (%)
1	silty clay			11.00	18.00	71.00										
2	clayey silt	soft	CH	18.56	74.95	6.49	1.795	1.353	32.74	2.85	1.10	84.38	0.52	71.33	27.01	44.33
4	Silty Sand	soft	SC	60.77	36.89	2.35	1.773	1.327	33.61	2.91	1.19	82.05	0.54	45.84	17.81	28.03
6	silty clay	soft	CH	6.54	21.34	72.12	1.671	1.122	48.94	2.66	1.37	94.94	0.58	68.95	37.21	31.74
8	clayey silt	medium	CH	22.5	50.8	26.7	1.863	1.441	29.30	2.72	0.89	89.59	0.47	76.09	22.4	53.69
10	silty clay	stiff	CH	5.47	4.22	52.31	1.871	1.446	29.36	2.96	1.04	83.14	0.51	76.13	25.08	51.05
12	silty clay	stiff	CH	1.38	42.17	56.44	1.857	1.415	31.23	2.71	0.91	92.52	0.48	63.97	16.5	47.47
14	silty clay	stiff	CH	0.27	45.49	54.24	1.834	1.444	27.01	2.63	0.82	86.57	0.45	72.03	8.49	63.54
16	silty clay	hard	CH	1.27	41.29	57.45	1.823	1.369	33.09	2.70	0.97	91.81	0.49	70.2	13.27	56.92
18	silty clay	hard	CH	0.5	41.61	57.89	1.681	1.310	28.25	2.71	1.07	71.62	0.52	62.4	11.36	51.03
20	clayey silt	stiff	CH	3.13	52.46	44.41	1.753	1.245	40.78	2.57	1.06	98.59	0.51	70.68	12.96	57.72
22	silty clay	stiff	CH	0.81	47.53	51.65	1.839	1.438	27.87	2.75	0.91	84.07	0.48	71.06	14.83	55.86
24	clayey silt	stiff	CH	0.36	53.48	46.15	1.907	1.473	31.98	2.72	0.84	94.69	0.46	65.70	16.39	54.29
26	clayey silt	hard	CH	0.19	68.89	30.92	1.874	1.420	31.98	2.77	0.95	93.24	0.49	60.95	20.88	49.8
28	clayey silt	hard	CH	0.25	53.54	46.21	1.530	1.084	41.13	2.81	1.59	72.58	0.61	54.44	14.06	56.62
30	clayey silt	hard	CH	1.14	51.17	47.69	1.862	1.425	30.67	2.78	0.95	89.67	0.49	68.74	18.03	52.65

Kedalaman	Konsistensi Tanah	Nspt	$\gamma_{sat}$	$\gamma_d$	Wc	Gs	e	n
			(g/cc)	(g/cc)	(%)			
0-2	Very Soft	2	1.68	1.15	44.92	2.789	1.427	0.584
2-6	Soft	5	1.69	1.19	42.82	2.850	1.811	0.543
6-8	Medium	6	1.71	1.37	30.54	2.690	1.332	0.563
8-24	Stiff	12	1.85	1.45	28.19	2.790	0.943	0.579
24-30	Hard	23	1.88	1.44	30.43	2.780	0.927	0.480

Kedalaman	Konsistensi Tanah	Cc	Cr	Cs	Cv	Ch	Cu
					(m <sup>2</sup> /year)	(m <sup>2</sup> /year)	Kpa
0-2	Very Soft	1.239	0.412	0.197	1.048	2.355	5.00
2-6	Soft	1.013	0.390	0.167	1.435	3.328	12.50
6-8	Medium	1.187	0.374	0.155	1.418	3.286	30.00
8-24	Stiff	1.573	0.332	0.287	1.883	4.454	65.00
24-30	Hard	0.663	0.305	0.102	2.328	5.575	135.00

Kedalaman	Konsistensi Tanah	$\Phi'$ °	$\Phi$ °	v	Eu	Sr	LL
					Mpa	(%)	(%)
0-2	Very Soft	0.667	1	0.500	5.000	87.966	93.416
2-6	Soft	1.333	2	0.500	38.007	84.379	86.684
6-8	Medium	2.000	3	0.500	37.721	92.818	83.008
8-24	Stiff	2.667	4	0.500	61.642	73.362	73.767
24-30	Hard	3.333	5	0.500	200.00	91.235	67.815

# UnggulFelt

## Polyester Nonwoven Geotextile

## Technical Specifications

PROPERTIES	TEST METHOD	UNIT	UNW-150	UNW-200	UNW-250	UNW-300	UNW-350	UNW-400	UNW-450	UNW-500	UNW-600	UNW-700
<b>Physical</b>												
Thickness	ASTM D 5109	mm	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Polymer	-	PET	200	250	300	350	400	450	500	600	700	
Mass Per Unit Area	ASTM D 1777	g/m <sup>2</sup>	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White
Colour	-	-										
<b>Mechanical</b>												
Tensile Strength	ASTM D 4855	kN/m	5	7	9	12	15	18	21	23	26	30
- Machine Direction	ASTM D 4855	kN/m	3	5	6	7	8	9	12	14	16	18
- Cross Direction	-	-										
Elongation at Break	ASTM D 4855	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
- Machine Direction	-	-										
- Cross Direction	-	-										
CBR Puncture Resistance	ASTM D 6241	N	500	600	900	1200	1500	2000	2200	2800	3400	3800
Cone Drop Test	EN ISO 13433	mm	17	16	14	12	10	7	6	5	4	3
<b>Hydraulic</b>												
Permeability	ASTM D 4491	cm/s	3.6	3.2	3.0	2.8	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8
Flow Rate	ASTM D 4491	l/m <sup>2</sup>	160	150	143	100	50	40	35	30	25	20
Apparent Opening Size (AOS)	ASTM D 4751	µm	200	200	183	180	150	160	140	140	130	120
<b>Environmental</b>												
Effect of Soil Alkalinity	-	-	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil
Effect of Soil Acidity	-	-	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil
Effect of UV Light	-	-	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil
<b>Dimension</b>												
Roll Width	-	m	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Roll Length	-	m	100	100	100	100	100	100	100	100	50	50
Roll Area	-	m <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400	400	200	200	200

The information contained here is to the best of our knowledge accurate, but the circumstances and conditions in which it may be used are beyond our control, we do not accept any liability or damages, we warrant only the quality of our products and services, we do not do offer any warranty or indemnity against patent infringement (August 2017).

Distributed by : PT. TEKNIKO GEOSISTEM UNGGUL

Jl. Himpok I-banua Raya 15, Surabaya 60203, INDONESIA  
 Telp. 031-847 5062 Fax. 031-847 5063  
 Email : info@geosistem.co.id



PRESTRESSED CONCRETE SQUARE PILES SPECIFICATION									
Concrete Compressive Strength $f_c' = 42 \text{ MPa}$ (Cube $500 \text{ kg/cm}^2$ )									
Size (mm)	Cross Section ( $\text{cm}^2$ )	Section Inertia ( $\text{cm}^4$ )	Unit Weight ( $\text{kg/m}$ )	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile * (m)
					Crack (ton.m)	Ultimate (ton.m)			
250 x 250	625	32,552	156	A	2.29	3.46	81.40	28.10	6 - 10
				B	2.52	4.33	79.62	34.80	6 - 11
				C	2.78	5.19	77.92	41.30	6 - 11
300 x 300	900	67,500	225	A	3.64	5.19	118.59	35.40	6 - 11
				B	3.98	6.23	116.76	42.20	6 - 11
				C	4.48	7.47	114.66	50.20	6 - 12
				D	4.92	9.34	111.60	61.90	6 - 12
350 x 350	1,225	125,052	306	A	5.33	6.57	163.98	38.60	6 - 11
				B	6.07	8.72	160.68	50.90	6 - 12
				C	6.63	10.90	157.45	63.10	6 - 12
				D	7.30	13.08	154.32	75.00	6 - 13
400 x 400	1,600	213,333	400	A	7.89	9.96	213.96	51.40	6 - 12
				B	8.71	12.45	210.60	63.80	6 - 12
				C	9.51	14.95	207.32	76.00	6 - 13
				D	11.82	22.42	198.01	111.60	6 - 14
450 x 450	2,025	341,719	506	A	11.17	14.01	270.98	64.30	6 - 12
				B	12.10	16.81	267.61	76.80	6 - 13
				C	13.01	19.62	264.30	89.10	6 - 13
				D	14.78	25.22	257.88	113.30	6 - 14
500 x 500	2,500	520,833	625	A	15.16	18.68	335.12	77.30	6 - 13
				B	16.19	21.79	331.72	89.90	6 - 13
				C	17.21	24.91	328.38	102.20	6 - 14
				D	18.22	28.02	325.09	114.50	6 - 14

Note : \*) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position

Gambar 3. Spesifikasi Minipile



*“Halaman ini sengaja dikosongkan.”*





**LAMPIRAN 2**  
**PERENCANAAN TIMBUNAN DAN PERBAIKAN TANAH DASAR**

**DAFTAR ISI**

<b>Tabel 1.</b> Hasil perhitungan perubahan tegangan untuk setiap tahap ketika $U = 100\%$ .....	110
<b>Tabel 2.</b> Hasil perhitungan perubahan tegangan untuk setiap tahap ketika $U < 100\%$ .....	122
<b>Tabel 3.</b> Hasil pemampatan akibat timbunan bertahap .....	137
<b>Tabel 4.</b> Hasil Perhitungan Geotextile Tinggi Timbunan 9,22 m .....	146
<b>Tabel 5.</b> Hasil Perhitungan Geotextile Tinggi Timbunan 20 m .....	146
<b>Tabel 6.</b> Hasil Perhitungan Geotextile Tinggi Timbunan 30 m .....	146

**Tabel 1.** Hasil perhitungan perubahan tegangan untuk setiap tahap ketika  $U = 100\%$ 

Derajat konsolidasi $U = 100\%$											
Tegangan ( $t/m^2$ )	$\sigma_0$	$\sigma'1$	$\sigma'2$	$\sigma'3$	$\sigma'4$	$\sigma'5$	$\sigma'6$	$\sigma'7$	$\sigma'8$	$\sigma'9$	$\sigma'10$
Kedalaman (m)	H = 0	H = 0.072	H = 0.144	H = 0.216	H = 0.288	H = 0.36	H = 0.432	H = 0,504	H = 0,576	H = 0,648	H = 0,72
0-1	0.396	0.454	0.569	0.683	0.798	0.913	1.028	1.142	1.257	1.372	1.486
1-2	1.170	1.227	1.341	1.455	1.569	1.682	1.796	1.910	2.024	2.137	2.251
2-3	1.701	1.759	1.865	1.923	1.981	2.038	2.096	2.153	2.211	2.269	2.326
3-4	2.371	2.429	2.535	2.641	2.748	2.854	2.960	3.067	3.173	3.280	3.386
4-5	3.038	3.096	3.202	3.308	3.414	3.521	3.627	3.733	3.839	3.945	4.052
5-6	3.704	3.761	3.867	3.973	4.079	4.186	4.292	4.398	4.504	4.610	4.716
6-7	4.853	4.911	5.022	5.134	5.245	5.356	5.467	5.579	5.690	5.801	5.913
7-8	5.586	5.644	5.755	5.866	5.977	6.088	6.200	6.311	6.422	6.533	6.644

Derajat konsolidasi U = 100%											
Tegangan (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ 11	$\sigma'$ 12	$\sigma'$ 13	$\sigma'$ 14	$\sigma'$ 15	$\sigma'$ 16	$\sigma'$ 17	$\sigma'$ 18	$\sigma'$ 19	$\sigma'$ 20	$\sigma'$ 21
Kedalaman (m)	H = 0,792	H = 0,864	H = 0,936	H = 1,008	H = 1,08	H = 1,152	H = 1,224	H = 1,296	H = 1,368	H = 1,44	H = 1,512
0-1	1.601	1.716	1.830	1.945	2.060	2.174	2.289	2.404	2.519	2.633	2.748
1-2	2.365	2.478	2.590	2.702	2.820	2.933	3.047	3.161	3.275	3.388	3.502
2-3	2.384	2.931	3.035	3.139	3.251	3.358	3.464	3.571	3.677	3.784	3.891
3-4	3.492	3.599	3.702	3.805	3.918	4.024	4.130	4.237	4.343	4.449	4.556
4-5	4.158	4.264	4.366	4.468	4.582	4.689	4.795	4.901	5.007	5.113	5.219
5-6	4.822	4.928	5.029	5.130	5.246	5.352	5.458	5.564	5.670	5.776	5.882
6-7	6.024	6.135	6.241	6.346	6.469	6.580	6.691	6.802	6.914	7.025	7.136
7-8	6.755	6.866	6.971	7.076	7.199	7.310	7.421	7.533	7.644	7.755	7.866

Derajat konsolidasi U = 100%											
Tegangan (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ 22	$\sigma'$ 23	$\sigma'$ 24	$\sigma'$ 25	$\sigma'$ 26	$\sigma'$ 27	$\sigma'$ 28	$\sigma'$ 29	$\sigma'$ 30	$\sigma'$ 31	$\sigma'$ 32
Kedalaman (m)	H = 1,584	H = 1,656	H = 1,728	H = 1,8	H = 1,872	H = 1,944	H = 2,016	H = 2,088	H = 2,16	H = 2,232	H = 2,304
0-1	2.863	2.977	3.092	3.207	3.321	3.436	3.551	3.665	3.780	3.895	4.009
1-2	3.616	3.730	3.843	3.957	3.955	4.184	4.298	4.412	4.526	4.634	4.744
2-3	3.997	4.104	4.210	4.317	4.308	4.530	4.637	4.743	4.850	4.949	5.052
3-4	4.662	4.768	4.875	4.981	4.972	5.194	5.300	5.406	5.513	5.610	5.712
4-5	5.325	5.432	5.538	5.644	5.634	5.856	5.962	6.068	6.174	6.270	6.371
5-6	5.988	6.094	6.200	6.306	6.296	6.517	6.623	6.729	6.835	6.929	7.029
6-7	7.247	7.359	7.470	7.581	7.577	7.803	7.914	8.026	8.137	8.235	8.339
7-8	7.977	8.088	8.199	8.310	8.305	8.532	8.642	8.753	8.864	8.961	9.064

Derajat konsolidasi U = 100%											
Tegangan (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{33}$	$\sigma'_{34}$	$\sigma'_{35}$	$\sigma'_{36}$	$\sigma'_{37}$	$\sigma'_{38}$	$\sigma'_{39}$	$\sigma'_{40}$	$\sigma'_{41}$	$\sigma'_{42}$	$\sigma'_{43}$
Kedalaman (m)	H = 2,376	H = 2,448	H = 2,52	H = 2,592	H = 2,664	H = 2,736	H = 2,808	H = 2,88	H = 2,952	H = 3,024	H = 3,096
0-1	4.124	4.239	4.353	4.468	4.582	4.697	4.811	4.926	5.040	5.154	5.269
1-2	4.867	4.980	5.094	5.207	5.321	5.434	5.548	5.661	5.775	5.888	6.001
2-3	5.169	5.275	5.382	5.488	5.594	5.701	5.807	5.913	6.019	6.125	6.231
3-4	5.831	5.937	6.043	6.149	6.255	6.361	6.467	6.573	6.679	6.785	6.891
4-5	6.492	6.598	6.704	6.810	6.915	7.021	7.127	7.232	7.338	7.444	7.549
5-6	7.153	7.258	7.364	7.469	7.575	7.680	7.786	7.891	7.996	8.102	8.207
6-7	8.470	8.580	8.691	8.802	8.913	9.023	9.134	9.244	9.355	9.465	9.576
7-8	9.197	9.307	9.418	9.528	9.639	9.749	9.859	9.970	10.080	10.190	10.300

Derajat konsolidasi U = 100%											
Tegangan (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ 44	$\sigma'$ 45	$\sigma'$ 46	$\sigma'$ 47	$\sigma'$ 48	$\sigma'$ 49	$\sigma'$ 50	$\sigma'$ 51	$\sigma'$ 52	$\sigma'$ 53	$\sigma'$ 54
Kedalaman (m)	H = 3,168	H = 3,24	H = 3,312	H = 3,384	H = 3,456	H = 3,528	H = 3,6	H = 3,672	H = 3,744	H = 3,816	H = 3,888
0-1	5.383	5.498	5.612	5.726	5.841	5.955	6.069	6.183	6.298	6.412	6.526
1-2	6.115	6.228	6.341	6.455	6.568	6.681	6.794	6.907	7.021	7.134	7.247
2-3	6.338	6.444	6.550	6.656	6.762	6.868	6.974	7.080	7.185	7.291	7.397
3-4	6.996	7.102	7.208	7.313	7.419	7.525	7.630	7.736	7.841	7.947	8.052
4-5	7.655	7.760	7.866	7.971	8.076	8.182	8.287	8.392	8.497	8.603	8.708
5-6	8.312	8.418	8.523	8.628	8.733	8.838	8.943	9.048	9.153	9.258	9.363
6-7	9.686	9.797	9.907	10.01 7	10.12 7	10.23 8	10.34 8	10.45 8	10.56 8	10.67 8	10.78 8
7-8	10.41 0	10.52 0	10.63 1	10.74 1	10.85 0	10.96 0	11.07 0	11.18 0	11.29 0	11.39 9	11.50 9

Derajat konsolidasi U = 100%											
Tegangan (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'55$	$\sigma'56$	$\sigma'57$	$\sigma'58$	$\sigma'59$	$\sigma'60$	$\sigma'61$	$\sigma'62$	$\sigma'63$	$\sigma'64$	$\sigma'65$
Kedalaman (m)	H = 3,96	H = 4,032	H = 4,104	H = 4,176	H = 4,248	H = 4,32	H = 4,392	H = 4,464	H = 4,536	H = 4,608	H = 4,68
0-1	6.640	6.754	6.868	6.982	7.096	7.210	7.324	7.438	7.552	7.666	7.780
1-2	7.360	7.473	7.586	7.699	7.812	7.925	8.037	8.150	8.263	8.376	8.488
2-3	7.503	7.609	7.714	7.820	7.925	8.031	8.137	8.242	8.348	8.453	8.558
3-4	8.158	8.263	8.368	8.474	8.579	8.684	8.789	8.894	9.000	9.105	9.210
4-5	8.813	8.918	9.023	9.128	9.233	9.338	9.442	9.547	9.652	9.757	9.861
5-6	9.468	9.572	9.677	9.782	9.886	9.991	10.09 5	10.20 0	10.30 4	10.40 9	10.51 3
6-7	10.89 8	11.00 8	11.11 7	11.22 7	11.33 7	11.44 7	11.55 6	11.66 6	11.77 5	11.88 5	11.99 4
7-8	11.61 9	11.72 8	11.83 8	11.94 7	12.05 7	12.16 6	12.27 5	12.38 4	12.49 4	12.60 3	12.71 2

Derajat konsolidasi U = 100%											
Tegangan (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'66$	$\sigma'67$	$\sigma'68$	$\sigma'69$	$\sigma'70$	$\sigma'71$	$\sigma'72$	$\sigma'73$	$\sigma'74$	$\sigma'75$	$\sigma'76$
Kedalaman (m)	H = 4,752	H = 4,824	H = 4,896	H = 4,968	H = 5,04	H = 5,112	H = 5,184	H = 5,256	H = 5,328	H = 5,4	H = 5,472
0-1	7.893	8.007	8.121	8.234	8.348	8.348	8.462	8.575	8.689	8.802	8.916
1-2	8.601	8.714	8.826	8.939	9.051	9.051	9.164	9.276	9.389	9.496	9.613
2-3	8.664	8.769	8.874	8.980	9.085	9.085	9.190	9.295	9.400	9.500	9.610
3-4	9.315	9.419	9.524	9.629	9.734	9.734	9.839	9.943	10.05	10.15	10.26
4-5	9.966	10.07	10.18	10.28	10.38	10.38	10.48	10.59	10.69	10.79	10.91
5-6	10.62	10.72	10.83	10.93	11.03	11.03	11.14	11.24	11.35	11.44	11.55
6-7	12.10	12.21	12.32	12.43	12.54	12.54	12.65	12.76	12.87	12.97	13.08
7-8	12.82	12.93	13.04	13.15	13.26	13.26	13.36	13.47	13.58	13.682	13.799



Derajat konsolidasi U = 100%											
Tegangan (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ '77	$\sigma'$ '78	$\sigma'$ '79	$\sigma'$ '80	$\sigma'$ '81	$\sigma'$ '82	$\sigma'$ '83	$\sigma'$ '84	$\sigma'$ '85	$\sigma'$ '86	$\sigma'$ '87
Kedalaman (m)	H = 5,544	H = 5,616	H = 5,688	H = 5,76	H = 5,832	H = 5,904	H = 5,976	H = 6,048	H = 6,12	H = 6,192	H = 6,264
0-1	9.029	9.142	9.256	9.369	9.482	9.595	9.708	9.821	9.935	10.083	10.197
1-2	9.725	9.838	9.950	10.062	10.174	10.286	10.398	10.510	10.622	10.773	10.887
2-3	9.715	9.820	9.924	10.029	10.134	10.238	10.343	10.448	10.552	10.701	10.807
3-4	10.361	10.466	10.570	10.674	10.779	10.883	10.987	11.091	11.195	11.348	11.453
4-5	11.009	11.113	11.217	11.321	11.425	11.529	11.632	11.736	11.839	11.995	12.101
5-6	11.657	11.761	11.864	11.968	12.071	12.175	12.278	12.381	12.485	12.644	12.749
6-7	13.19	13.30	13.41	13.52	13.63	13.74	13.84	13.95	14.06	14.23	14.34
7-8	13.91	14.02	14.12	14.23	14.34	14.45	14.56	14.66	14.77	14.94	15.05

Derajat konsolidasi U = 100%											
Tegangan (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ 88	$\sigma'$ 89	$\sigma'$ 90	$\sigma'$ 91	$\sigma'$ 92	$\sigma'$ 93	$\sigma'$ 94	$\sigma'$ 95	$\sigma'$ 96	$\sigma'$ 97	$\sigma'$ 98
Kedalaman (m)	H = 6,336	H = 6,408	H = 6,48	H = 6,552	H = 6,624	H = 6,696	H = 6,768	H = 6,84	H = 6,912	H = 6,984	H = 7,056
0-1	10.312	10.426	10.541	10.655	10.769	10.884	10.998	11.112	11.227	11.341	11.455
1-2	11.000	11.114	11.227	11.340	11.454	11.568	11.680	11.793	11.907	12.020	12.133
2-3	10.913	11.019	11.125	11.231	11.337	11.445	11.549	11.655	11.761	11.867	11.973
3-4	11.559	11.665	11.770	11.876	11.982	12.089	12.193	12.299	12.404	12.510	12.615
4-5	12.206	12.312	12.417	12.522	12.628	12.734	12.838	12.944	13.049	13.154	13.259
5-6	12.854	12.959	13.064	13.169	13.274	13.381	13.484	13.589	13.694	13.799	13.904
6-7	14.45	14.56	14.67	14.78	14.89	15.00	15.11	15.22	15.33	15.44	15.55
7-8	15.16	15.27	15.38	15.49	15.60	15.71	15.82	15.93	16.04	16.15	16.26

Derajat konsolidasi U = 100%											
Tegangan (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{99}$	$\sigma'_{100}$	$\sigma'_{101}$	$\sigma'_{102}$	$\sigma'_{103}$	$\sigma'_{104}$	$\sigma'_{105}$	$\sigma'_{106}$	$\sigma'_{107}$	$\sigma'_{108}$	$\sigma'_{109}$
Kedalaman (m)	H = 7,128	H = 7,2	H = 7,272	H = 7,344	H = 7,416	H = 7,488	H = 7,56	H = 7,632	H = 7,704	H = 7,776	H = 7,848
0-1	11.57	11.684	11.798	11.912	12.027	12.141	12.255	12.369	12.484	12.598	12.712
1-2	12.24	12.360	12.473	12.586	12.699	12.812	12.925	13.039	13.152	13.265	13.378
2-3	12.07	12.185	12.291	12.397	12.503	12.609	12.714	12.820	12.926	13.032	13.137
3-4	12.72	12.827	12.932	13.038	13.143	13.248	13.354	13.459	13.565	13.670	13.775
4-5	13.36	13.470	13.575	13.680	13.785	13.890	13.995	14.100	14.205	14.310	14.415
5-6	14.009	14.113	14.218	14.323	14.428	14.532	14.637	14.742	14.846	14.951	15.055
6-7	15.66	15.77	15.88	15.99	16.10	16.21	16.32	16.43	16.54	16.65	16.76
7-8	16.37	16.48	16.59	16.70	16.81	16.92	17.02	17.13	17.24	17.35	17.46

Derajat konsolidasi U = 100%											
Tegangan (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ 110	$\sigma'$ 111	$\sigma'$ 112	$\sigma'$ 113	$\sigma'$ 114	$\sigma'$ 115	$\sigma'$ 116	$\sigma'$ 117	$\sigma'$ 118	$\sigma'$ 119	$\sigma'$ 120
Kedalaman (m)	H = 7,92	H = 7,992	H = 8,064	H = 8,136	H = 8,208	H = 8,28	H = 8,352	H = 8,424	H = 8,496	H = 8,568	H = 8,64
0-1	12.826	12.940	13.054	13.168	13.282	13.396	13.510	13.625	13.739	13.853	13.966
1-2	13.491	13.604	13.717	13.830	13.943	14.056	14.169	14.282	14.394	14.507	14.620
2-3	13.243	13.349	13.454	13.560	13.666	13.771	13.877	13.982	14.088	14.193	14.299
3-4	13.880	13.986	14.091	14.196	14.301	14.406	14.512	14.617	14.722	14.827	14.932
4-5	14.52	14.62	14.73	14.83	14.94	15.04	15.15	15.25	15.36	15.46	15.57
5-6	15.16	15.26	15.37	15.47	15.58	15.68	15.79	15.89	15.99	16.10	16.20
6-7	16.87	16.98	17.08	17.20	17.30	17.41	17.52	17.63	17.74	17.85	17.96
7-8	17.57	17.68	17.79	17.90	18.01	18.11	18.22	18.33	18.44	18.55	18.66

Derajat konsolidasi U = 100%								
Tegangan (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ 121	$\sigma'$ 122	$\sigma'$ 123	$\sigma'$ 124	$\sigma'$ 125	$\sigma'$ 126	$\sigma'$ 127	$\sigma'$ 128
Kedalaman (m)	H = 8,712	H = 8,784	H = 8,856	H = 9	H = 9,072	H = 9,144	H = 9,216	H = 9,288
0-1	14.080	14.194	14.308	14.422	14.536	14.650	14.764	14.877
1-2	14.733	14.846	14.958	15.071	15.184	15.297	15.409	15.522
2-3	14.404	14.510	14.615	14.721	14.826	14.931	15.036	15.142
3-4	15.037	15.142	15.247	15.352	15.456	15.561	15.666	15.771
4-5	15.672	15.776	15.881	15.985	16.090	16.194	16.298	16.403
5-6	16.308	16.412	16.516	16.620	16.724	16.828	16.932	17.036
6-7	18.069	18.178	18.287	18.396	18.505	18.614	18.722	18.831
7-8	18.768	18.876	18.985	19.093	19.202	19.310	19.419	19.527

**Tabel 2.** Hasil perhitungan perubahan tegangan untuk setiap tahap ketika  $U < 100\%$ 

<b>Perubahan Tegangan</b>	$\sigma'$	$\Delta\sigma'1$	$\Delta\sigma'2$	$\Delta\sigma'3$	$\Delta\sigma'4$	$\Delta\sigma'5$	$\Delta\sigma'6$	$\Delta\sigma'7$	$\Delta\sigma'8$
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 0	H = 0.072	H = 0.144	H = 0.216	H = 0.288	H = 0.36	H = 0.432	H = 0,504	H = 0,576
<b>Umur Timbunan</b>	-	112 minggu	111 minggu	110 minggu	109 minggu	108 minggu	107 minggu	106 minggu	7 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	0	62.715	62.434	62.152	61.869	61.585	61.299	61.012	60.723
<b>Kedalaman</b>									
0-1	0.396	0.038	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074
1-2	1.170	0.038	0.075	0.075	0.074	0.074	0.074	0.074	0.073
2-3	1.701	0.038	0.070	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.037
3-4	2.371	0.038	0.071	0.070	0.070	0.070	0.069	0.069	0.069
4-5	3.038	0.038	0.071	0.070	0.070	0.070	0.069	0.069	0.069
5-6	3.704	0.038	0.070	0.070	0.070	0.070	0.069	0.069	0.069
6-7	4.853	0.039	0.074	0.074	0.073	0.073	0.073	0.073	0.072
7-8	5.586	0.038	0.074	0.074	0.073	0.073	0.073	0.073	0.072

<b>Perubahan Tegangan</b>	$\Delta\sigma'9$	$\Delta\sigma'10$	$\Delta\sigma'11$	$\Delta\sigma'12$	$\Delta\sigma'13$	$\Delta\sigma'14$	$\Delta\sigma'15$	$\Delta\sigma'16$	$\Delta\sigma'17$
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 4.5	H = 5	H = 5.5	H = 6	H = 6.5	H = 7	H = 7.5	H = 8	H = 8.5
<b>Umur Timbunan</b>	6 minggu	5 minggu	4 minggu	3 minggu	2 minggu	1 minggu	2 minggu	1 minggu	4 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	60.434	60.142	59.850	59.556	59.260	58.963	58.664	58.364	58.063
<b>Kedalaman</b>									
0-1	0.073	0.073	0.073	0.073	0.072	0.072	0.072	0.072	0.071
1-2	0.073	0.073	0.073	0.072	0.071	0.071	0.074	0.071	0.071
2-3	0.037	0.037	0.037	0.338	0.066	0.066	0.070	0.067	0.066
3-4	0.069	0.068	0.068	0.068	0.065	0.065	0.071	0.067	0.066
4-5	0.069	0.068	0.068	0.068	0.065	0.065	0.072	0.067	0.066
5-6	0.069	0.068	0.068	0.068	0.064	0.064	0.073	0.067	0.066
6-7	0.072	0.072	0.071	0.071	0.067	0.067	0.077	0.070	0.070
7-8	0.072	0.072	0.071	0.071	0.067	0.066	0.078	0.070	0.069

<b>Perubahan Tegangan</b>	$\Delta\sigma'_{18}$	$\Delta\sigma'_{19}$	$\Delta\sigma'_{20}$	$\Delta\sigma'_{21}$	$\Delta\sigma'_{22}$	$\Delta\sigma'_{23}$	$\Delta\sigma'_{24}$	$\Delta\sigma'_{25}$	$\Delta\sigma'_{26}$
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 9	H = 9.5	H = 10	H = 8.6	H = 10	H = 9.6	H = 11	H = 8.7	H = 11
<b>Umur Timbunan</b>	3 minggu	2 minggu	1 minggu	0 minggu	1 minggu	2 minggu	3 minggu	4 minggu	5 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	57.760	57.455	57.148	56.840	56.530	56.219	55.906	55.591	55.274
<b>Kedalaman</b>									
0-1	0.071	0.071	0.070	0.070	0.070	0.069	0.069	0.069	0.068
1-2	0.071	0.070	0.070	0.070	0.069	0.069	0.069	0.068	0.067
2-3	0.066	0.066	0.066	0.065	0.065	0.065	0.064	0.064	0.063
3-4	0.066	0.066	0.065	0.065	0.065	0.065	0.064	0.064	0.063
4-5	0.066	0.066	0.065	0.065	0.065	0.065	0.064	0.064	0.063
5-6	0.066	0.066	0.065	0.065	0.065	0.064	0.064	0.064	0.063
6-7	0.069	0.069	0.069	0.068	0.068	0.068	0.067	0.067	0.066
7-8	0.069	0.069	0.069	0.068	0.068	0.068	0.067	0.067	0.066
<b>Perubahan Tegangan</b>	$D\sigma'_{27}$	$D\sigma'_{28}$	$D\sigma'_{29}$	$D\sigma'_{30}$	$D\sigma'_{31}$	$D\sigma'_{32}$	$D\sigma'_{33}$	$D\sigma'_{34}$	$D\sigma'_{35}$



<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 9.7	H = 12	H = 8.8	H = 12	H = 9.8	H = 13	H = 8.7	H = 11	H = 9.7
<b>Umur Timbunan</b>	6 minggu	7 minggu	8 minggu	9 minggu	10 minggu	11 minggu	12 minggu	13 minggu	14 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	54.956	54.635	54.313	53.988	53.662	53.334	53.004	52.671	52.337
<b>Kedalaman</b>									
0-1	0.068	0.068	0.068	0.067	0.067	0.066	0.066	0.066	0.065
1-2	0.066	0.067	0.067	0.067	0.063	0.064	0.071	0.065	0.065
2-3	0.062	0.063	0.063	0.063	0.058	0.060	0.068	0.061	0.061
3-4	0.062	0.063	0.063	0.062	0.057	0.059	0.069	0.061	0.061
4-5	0.062	0.063	0.063	0.062	0.056	0.059	0.070	0.061	0.061
5-6	0.062	0.063	0.063	0.062	0.055	0.058	0.071	0.061	0.060
6-7	0.065	0.066	0.066	0.065	0.057	0.061	0.076	0.064	0.063
7-8	0.065	0.066	0.066	0.065	0.056	0.060	0.077	0.064	0.063

<b>Perubahan Tegangan</b>	$\Delta\sigma'_{36}$	$\Delta\sigma'_{37}$	$\Delta\sigma'_{38}$	$\Delta\sigma'_{39}$	$\Delta\sigma'_{40}$	$\Delta\sigma'_{41}$	$\Delta\sigma'_{42}$	$\Delta\sigma'_{43}$	$\Delta\sigma'_{44}$
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 12	H = 8.8	H = 12	H = 9.8	H = 13	H = 8.9	H = 13	H = 9.9	H = 14
<b>Umur Timbunan</b>	15 minggu	16 minggu	17 minggu	18 minggu	19 minggu	20 minggu	21 minggu	22 minggu	23 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	52.000	51.662	51.321	50.977	50.632	50.284	49.933	49.581	49.225
<b>Kedalaman</b>									
0-1	0.065	0.065	0.064	0.064	0.064	0.063	0.063	0.063	0.062
1-2	0.065	0.064	0.064	0.063	0.063	0.063	0.062	0.062	0.062
2-3	0.060	0.060	0.060	0.059	0.059	0.059	0.058	0.058	0.058
3-4	0.060	0.060	0.060	0.059	0.059	0.059	0.058	0.058	0.058
4-5	0.060	0.060	0.060	0.059	0.059	0.059	0.058	0.058	0.057
5-6	0.060	0.060	0.059	0.059	0.059	0.058	0.058	0.058	0.057
6-7	0.063	0.063	0.062	0.062	0.062	0.061	0.061	0.061	0.060
7-8	0.063	0.063	0.062	0.062	0.062	0.061	0.061	0.060	0.060

<b>Perubahan Tegangan</b>	$\Delta\sigma'45$	$\Delta\sigma'46$	$\Delta\sigma'47$	$\Delta\sigma'48$	$\Delta\sigma'49$	$\Delta\sigma'50$	$\Delta\sigma'51$	$\Delta\sigma'52$	$\Delta\sigma'53$
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 8.8	H = 12	H = 9.8	H = 13	H = 8.9	H = 13	H = 9.9	H = 14	H = 8.10
<b>Umur Timbunan</b>	24 minggu	25 minggu	26 minggu	27 minggu	28 minggu	29 minggu	30 minggu	31 minggu	32 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	48.867	48.506	48.143	47.777	47.408	47.036	46.661	46.284	45.903
<b>Kedalaman</b>									
0-1	0.062	0.061	0.061	0.061	0.060	0.060	0.060	0.059	0.059
1-2	0.061	0.061	0.061	0.060	0.060	0.059	0.059	0.059	0.058
2-3	0.057	0.057	0.057	0.056	0.056	0.056	0.055	0.055	0.054
3-4	0.057	0.057	0.057	0.056	0.056	0.055	0.055	0.055	0.054
4-5	0.057	0.057	0.056	0.056	0.056	0.055	0.055	0.055	0.054
5-6	0.057	0.057	0.056	0.056	0.056	0.055	0.055	0.054	0.054
6-7	0.060	0.059	0.059	0.059	0.058	0.058	0.057	0.057	0.057
7-8	0.060	0.059	0.059	0.058	0.058	0.058	0.057	0.057	0.057

<b>Perubahan Tegangan</b>	$\Delta\sigma'_{54}$	$\Delta\sigma'_{55}$	$\Delta\sigma'_{56}$	$\Delta\sigma'_{57}$	$\Delta\sigma'_{58}$	$\Delta\sigma'_{59}$	$\Delta\sigma'_{60}$	$\Delta\sigma'_{61}$	$\Delta\sigma'_{62}$
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 14	H = 9.10	H = 15	H = 8.7	H = 11	H = 9.7	H = 12	H = 8.8	H = 12
<b>Umur Timbunan</b>	33 minggu	34 minggu	35 minggu	36 minggu	37 minggu	38 minggu	39 minggu	40 minggu	41 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	45.519	45.131	44.740	44.346	43.948	43.547	43.142	42.733	42.320
<b>Kedalaman</b>									
0-1	0.058	0.058	0.058	0.057	0.057	0.056	0.056	0.055	0.055
1-2	0.058	0.057	0.057	0.057	0.056	0.056	0.055	0.055	0.055
2-3	0.054	0.054	0.053	0.053	0.053	0.052	0.052	0.051	0.051
3-4	0.054	0.054	0.053	0.053	0.052	0.052	0.052	0.051	0.051
4-5	0.054	0.053	0.053	0.053	0.052	0.052	0.051	0.051	0.051
5-6	0.054	0.053	0.053	0.053	0.052	0.052	0.051	0.051	0.051
6-7	0.056	0.056	0.055	0.055	0.055	0.054	0.054	0.053	0.053
7-8	0.056	0.056	0.055	0.055	0.055	0.054	0.054	0.053	0.053

<b>Perubahan Tegangan</b>	$\Delta\sigma'63$	$\Delta\sigma'64$	$\Delta\sigma'65$	$\Delta\sigma'66$	$\Delta\sigma'67$	$\Delta\sigma'68$	$\Delta\sigma'69$	$\Delta\sigma'70$	$\Delta\sigma'71$
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 9.8	H = 13	H = 8.9	H = 13	H = 9.9	H = 14	H = 8.8	H = 12	H = 9.8
<b>Umur Timbunan</b>	42 minggu	43 minggu	44 minggu	45 minggu	46 minggu	47 minggu	48 minggu	49 minggu	50 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	41.903	41.482	41.057	40.627	40.192	39.753	39.309	38.859	38.405
<b>Kedalaman</b>									
0-1	0.055	0.054	0.054	0.053	0.053	0.052	0.052	0.052	0.000
1-2	0.054	0.054	0.053	0.053	0.052	0.052	0.051	0.051	0.000
2-3	0.051	0.050	0.050	0.049	0.049	0.049	0.048	0.048	0.000
3-4	0.050	0.050	0.050	0.049	0.049	0.048	0.048	0.048	0.000
4-5	0.050	0.050	0.049	0.049	0.049	0.048	0.048	0.047	0.000
5-6	0.050	0.050	0.049	0.049	0.049	0.048	0.048	0.047	0.000
6-7	0.053	0.052	0.052	0.051	0.051	0.050	0.050	0.050	0.000
7-8	0.052	0.052	0.052	0.051	0.051	0.050	0.050	0.049	0.000

<b>Perubahan Tegangan</b>	$\Delta\sigma'$ '72	$\Delta\sigma'$ '73	$\Delta\sigma'$ '74	$\Delta\sigma'$ '75	$\Delta\sigma'$ '76	$\Delta\sigma'$ '77	$\Delta\sigma'$ '78	$\Delta\sigma'$ '79	$\Delta\sigma'$ '80
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 13	H = 8.9	H = 13	H = 9.9	H = 14	H = 8.10	H = 14	H = 9.10	H = 15
<b>Umur Timbunan</b>	51 minggu	52 minggu	53 minggu	54 minggu	55 minggu	56 minggu	57 minggu	58 minggu	59 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	37.945	37.479	37.008	36.530	36.046	35.556	35.059	34.554	34.042
<b>Kedalaman</b>									
0-1	0.051	0.050	0.050	0.049	0.049	0.048	0.048	0.047	0.047
1-2	0.050	0.050	0.049	0.047	0.050	0.048	0.047	0.047	0.046
2-3	0.047	0.046	0.046	0.043	0.047	0.045	0.044	0.044	0.043
3-4	0.047	0.046	0.046	0.043	0.047	0.045	0.044	0.044	0.043
4-5	0.047	0.046	0.046	0.042	0.048	0.044	0.044	0.043	0.043
5-6	0.046	0.046	0.046	0.042	0.048	0.044	0.044	0.043	0.043
6-7	0.049	0.048	0.048	0.044	0.050	0.046	0.046	0.045	0.045
7-8	0.049	0.048	0.048	0.044	0.050	0.046	0.046	0.045	0.045

<b>Perubahan Tegangan</b>	$\Delta\sigma'$ '81	$\Delta\sigma'$ '82	$\Delta\sigma'$ '83	$\Delta\sigma'$ '84	$\Delta\sigma'$ '85	$\Delta\sigma'$ '86	$\Delta\sigma'$ '87	$\Delta\sigma'$ '88	$\Delta\sigma'$ '89
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 8.9	H = 13	H = 9.9	H = 14	H = 15	H = 16	H = 17	H = 18	H = 19
<b>Umur Timbunan</b>	60 minggu	61 minggu	62 minggu	63 minggu	64 minggu	65 minggu	66 minggu	67 minggu	68 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	33.523	32.995	32.458	31.913	31.357	30.792	30.217	29.630	29.031
<b>Kedalaman</b>									
0-1	0.046	0.046	0.045	0.045	0.044	0.057	0.044	0.043	0.043
1-2	0.046	0.045	0.045	0.044	0.044	0.059	0.043	0.043	0.042
2-3	0.043	0.042	0.042	0.041	0.041	0.058	0.041	0.040	0.040
3-4	0.043	0.042	0.042	0.041	0.041	0.059	0.041	0.040	0.040
4-5	0.043	0.042	0.042	0.041	0.041	0.060	0.040	0.040	0.039
5-6	0.042	0.042	0.041	0.041	0.040	0.062	0.040	0.040	0.039
6-7	0.044	0.044	0.043	0.043	0.042	0.065	0.042	0.042	0.041
7-8	0.044	0.044	0.043	0.043	0.042	0.066	0.042	0.042	0.041

<b>Perubahan Tegangan</b>	$\Delta\sigma'$ '90	$\Delta\sigma'$ '91	$\Delta\sigma'$ '92	$\Delta\sigma'$ '93	$\Delta\sigma'$ '94	$\Delta\sigma'$ '95	$\Delta\sigma'$ '96	$\Delta\sigma'$ '97	$\Delta\sigma'$ '98
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 20	H = 21	H = 22	H = 23	H = 24	H = 25	H = 26	H = 27	H = 28
<b>Umur Timbunan</b>	69 minggu	70 minggu	71 minggu	72 minggu	73 minggu	74 minggu	75 minggu	76 minggu	77 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	28.420	27.795	27.156	26.502	25.831	25.142	24.434	23.704	22.951
<b>Kedalaman</b>									
0-1	0.042	0.042	0.041	0.041	0.040	0.039	0.039	0.038	0.038
1-2	0.042	0.041	0.041	0.041	0.039	0.039	0.038	0.038	0.037
2-3	0.039	0.039	0.038	0.038	0.037	0.037	0.036	0.035	0.035
3-4	0.039	0.039	0.038	0.038	0.037	0.036	0.036	0.035	0.035
4-5	0.039	0.038	0.038	0.038	0.036	0.036	0.036	0.035	0.035
5-6	0.039	0.038	0.038	0.038	0.036	0.036	0.036	0.035	0.035
6-7	0.041	0.040	0.040	0.040	0.038	0.038	0.037	0.037	0.036
7-8	0.041	0.040	0.039	0.040	0.038	0.038	0.037	0.037	0.036



<b>Perubahan Tegangan</b>	$\Delta\sigma'_{99}$	$\Delta\sigma'_{100}$	$\Delta\sigma'_{101}$	$\Delta\sigma'_{102}$	$\Delta\sigma'_{103}$	$\Delta\sigma'_{104}$	$\Delta\sigma'_{105}$	$\Delta\sigma'_{106}$	$\Delta\sigma'_{107}$
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 29	H = 30	H = 31	H = 32	H = 33	H = 34	H = 35	H = 36	H = 37
<b>Umur Timbunan</b>	78 minggu	79 minggu	80 minggu	81 minggu	82 minggu	83 minggu	84 minggu	85 minggu	86 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	22.173	21.367	20.528	19.654	18.740	17.778	16.761	15.679	14.516
<b>Kedalaman</b>									
0-1	0.037	0.036	0.036	0.035	0.034	0.034	0.033	0.032	0.032
1-2	0.037	0.036	0.035	0.035	0.034	0.033	0.033	0.032	0.031
2-3	0.034	0.034	0.033	0.033	0.032	0.031	0.031	0.030	0.029
3-4	0.034	0.034	0.033	0.032	0.032	0.031	0.031	0.030	0.029
4-5	0.034	0.033	0.033	0.032	0.032	0.031	0.030	0.030	0.029
5-6	0.034	0.033	0.033	0.032	0.032	0.031	0.030	0.030	0.029
6-7	0.036	0.035	0.034	0.034	0.033	0.032	0.032	0.031	0.030
7-8	0.035	0.035	0.034	0.034	0.033	0.032	0.032	0.031	0.030

<b>Perubahan Tegangan</b>	$\Delta\sigma'$ 108	$\Delta\sigma'$ 109	$\Delta\sigma'$ 110	$\Delta\sigma'$ 111	$\Delta\sigma'$ 112	$\Delta\sigma'$ 113	$\Delta\sigma'$ 114	$\Delta\sigma'$ 115	$\Delta\sigma'$ 116
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 38	H = 39	H = 40	H = 41	H = 42	H = 43	H = 44	H = 45	H = 46
<b>Umur Timbunan</b>	87 minggu	88 minggu	89 minggu	90 minggu	91 minggu	92 minggu	93 minggu	94 minggu	95 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	13.251	11.852	10.264	8.381	5.926	55.906	55.591	55.274	54.956
<b>Kedalaman</b>									
0-1	0.031	0.030	0.029	0.029	0.028	0.027	0.026	0.025	0.024
1-2	0.031	0.030	0.029	0.028	0.028	0.027	0.026	0.025	0.024
2-3	0.029	0.028	0.027	0.026	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022
3-4	0.029	0.028	0.027	0.026	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022
4-5	0.028	0.028	0.027	0.026	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022
5-6	0.028	0.028	0.027	0.026	0.025	0.025	0.024	0.023	0.022
6-7	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023
7-8	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023

<b>Perubahan Tegangan</b>	$\Delta\sigma'$ 117	$\Delta\sigma'$ 118	$\Delta\sigma'$ 119	$\Delta\sigma'$ 120	$\Delta\sigma'$ 121	$\Delta\sigma'$ 122
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 47	H = 48	H = 49	H = 50	H = 51	H = 52
<b>Umur Timbunan</b>	96 minggu	97 minggu	98 minggu	99 minggu	100 minggu	101 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	54.635	54.313	53.988	53.662	53.334	53.004
<b>Kedalaman</b>						
0-1	0.023	0.022	0.021	0.020	0.019	0.018
1-2	0.023	0.022	0.021	0.020	0.019	0.018
2-3	0.022	0.021	0.020	0.019	0.018	0.016
3-4	0.022	0.021	0.020	0.019	0.018	0.016
4-5	0.021	0.021	0.020	0.019	0.017	0.016
5-6	0.021	0.020	0.019	0.018	0.017	0.016
6-7	0.022	0.021	0.020	0.019	0.018	0.017
7-8	0.022	0.021	0.020	0.019	0.018	0.017

<b>Perubahan Tegangan</b>	$\Delta\sigma'_{123}$	$\Delta\sigma'_{124}$	$\Delta\sigma'_{125}$	$\Delta\sigma'_{126}$	$\Delta\sigma'_{127}$	$\Delta\sigma'_{128}$
<b>Tinggi Timbunan</b>	H = 53	H = 54	H = 55	H = 56	H = 57	H = 58
<b>Umur Timbunan</b>	102 minggu	103 minggu	104 minggu	105 minggu	106 minggu	107 minggu
<b>Derajat Konsolidasi (U%)</b>	52.671	52.337	52.000	51.662	51.321	50.977
<b>Kedalaman</b>						
0-1	0.016	0.015	0.013	0.012	0.010	0.007
1-2	0.016	0.015	0.013	0.012	0.009	0.007
2-3	0.015	0.014	0.012	0.011	0.009	0.006
3-4	0.015	0.014	0.012	0.011	0.009	0.006
4-5	0.015	0.014	0.012	0.011	0.009	0.006
5-6	0.015	0.014	0.012	0.011	0.009	0.006
6-7	0.016	0.014	0.013	0.011	0.009	0.006
7-8	0.016	0.014	0.013	0.011	0.009	0.006

**Tabel 3.**Hasil Perhitungan Pemampatan Akibat Timbunan Bertahap

<b>Tahap</b>	<b>Rekap Settlement (m)</b>	<b>Rekap Settlement Kumulatif (m)</b>
14	0.066	0.615
15	0.069	0.684
16	0.071	0.755
17	0.073	0.828
18	0.075	0.903
19	0.077	0.980
20	0.079	1.059
21	0.081	1.140
22	0.083	1.223
23	0.084	1.307
24	0.086	1.393
25	0.087	1.480
26	0.085	1.565

<b>Tahap</b>	<b>Rekap Settlement (m)</b>	<b>Rekap Settlement Kumulatif (m)</b>
27	0.061	1.626
28	0.033	1.659
29	0.032	1.691
30	0.031	1.722
31	0.029	1.751
32	0.029	1.780
33	0.032	1.812
34	0.029	1.841
35	0.028	1.869
36	0.028	1.897
37	0.027	1.924
38	0.027	1.950
39	0.026	1.977

<b>Tahap</b>	<b>Rekap Settlement (m)</b>	<b>Rekap Settlement Kumulatif (m)</b>
40	0.026	2.002
41	0.025	2.028
42	0.025	2.052
43	0.024	2.077
44	0.024	2.101
45	0.024	2.124
46	0.023	2.148
47	0.023	2.170
48	0.023	2.193
49	0.022	2.215
50	0.022	2.237
51	0.022	2.258
52	0.021	2.280

<b>Tahap</b>	<b>Rekap Settlement (m)</b>	<b>Rekap Settlement Kumulatif (m)</b>
53	0.021	2.301
54	0.021	2.321
55	0.020	2.341
56	0.020	2.362
57	0.020	2.381
58	0.020	2.401
59	0.019	2.420
60	0.019	2.439
61	0.019	2.458
62	0.019	2.476
63	0.018	2.495
64	0.018	2.513
65	0.018	2.531



<b>Tahap</b>	<b>Rekap Settlement (m)</b>	<b>Rekap Settlement Kumulatif (m)</b>
66	0.018	2.548
67	0.017	2.566
68	0.017	2.583
69	0.017	2.600
70	0.017	2.617
71	0.017	2.633
72	0.016	2.650
73	0.016	2.666
74	0.015	2.681
75	0.017	2.698
76	0.016	2.714
77	0.016	2.729
78	0.015	2.745

<b>Tahap</b>	<b>Rekap Settlement (m)</b>	<b>Rekap Settlement Kumulatif (m)</b>
79	0.015	2.760
80	0.015	2.775
81	0.015	2.790
82	0.015	2.805
83	0.015	2.820
84	0.014	2.834
85	0.021	2.855
86	0.013	2.867
87	0.014	2.882
88	0.014	2.896
89	0.014	2.910
90	0.014	2.924
91	0.014	2.937

<b>Tahap</b>	<b>Rekap Settlement (m)</b>	<b>Rekap Settlement Kumulatif (m)</b>
92	0.014	2.951
93	0.013	2.965
94	0.013	2.978
95	0.013	2.991
96	0.013	3.004
97	0.013	3.017
98	0.013	3.030
99	0.013	3.043
100	0.013	3.056
101	0.013	3.068
102	0.012	3.081
103	0.012	3.093
104	0.012	3.105

<b>Tahap</b>	<b>Rekap Settlement (m)</b>	<b>Rekap Settlement Kumulatif (m)</b>
105	0.012	3.118
106	0.012	3.130
107	0.012	3.142
108	0.012	3.154
109	0.012	3.165
110	0.012	3.177
111	0.012	3.189
112	0.012	3.200
113	0.011	3.212
114	0.011	3.223
115	0.011	3.234
116	0.011	3.245
117	0.011	3.257

<b>Tahap</b>	<b>Rekap Settlement (m)</b>	<b>Rekap Settlement Kumulatif (m)</b>
118	0.011	3.268
119	0.000	3.268
120	0.011	3.278
121	0.011	3.289
122	0.011	3.300
123	0.011	3.311
124	0.011	3.321
125	0.010	3.332
126	0.010	3.342
127	0.010	3.352
128	0.010	3.363
118	0.011	3.268
119	0.000	3.268

**Tabel 4.**Hasil Perhitungan Geotextile Tinggi Timbunan 15 m

Panjang Geotextile di Belakang Bidang Longsor								
Jumlah Layer	Hi	Ti	$\tau_1$	$\tau_2$	Mgeotextile	$\Sigma M_{geotextile}$	Le	Le pakai
n	m	m	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kNm	kNm	m	m
1	15	20.74	63.68	19.59	641.24	641.24	0.70	1
2	14.75	20.49	62.95	62.95	633.51	1274.74	0.46	1
3	14.5	20.24	62.22	62.22	625.78	1900.52	0.47	1

Panjang Geotextile di Depan Bidang Longsor					
Jumlah	Koordinat	Koordinat pakai		Koordinat	Ld
n	Y geotextile	X	Y	X tepi timbunan	m
1	8	39.56	8	50	10.44
2	8.25	39.38	8.25	49.75	10.37
3	8.5	39.2	8.25	49.5	10.3

<b>Panjang Total Geotextile</b>				
Jumlah	1 sisi			
n	Le (m)	Ld (m)	Lo (m)	Ltotal (m)
1	1	10.44	0.5	11.94
2	1	10.37	0.5	11.87
3	1	10.3	0.5	11.8

**Tabel 5.**Hasil Perhitungan Geotextile Tinggi Timbunan 20 m

Panjang Geotextile di belakang bidang longsor								
Jumlah Layer	Hi	Ti	$\tau_1$	$\tau_2$	Mgeotextile	$\Sigma$ Mgeotextile	Le	Le pakai
n	m	m	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kNm	kNm	m	m
1	20	21.31	78.24	21.12	658.86	658.86	0.58	1
2	19.75	21.06	77.51	77.51	651.13	1309.99	0.37	1
3	19.5	20.81	76.78	76.78	643.40	1953.39	0.38	1
4	19.25	20.56	76.05	76.05	635.67	2589.06	0.38	1
5	19	20.31	75.32	75.32	627.94	3217.00	0.38	1
6	18.75	20.06	74.60	74.60	620.21	3837.22	0.39	1
7	18.5	19.81	73.87	73.87	612.48	4449.70	0.39	1
8	18.25	19.56	73.14	73.14	604.75	5054.45	0.40	1
9	18	19.31	72.41	72.41	597.02	5651.48	0.40	1
10	17.75	19.06	71.68	71.68	589.29	6240.77	0.40	1
11	17.5	18.81	70.96	70.96	581.57	6822.34	0.41	1



Panjang Geotextile di depan bidang longsor					
Jumlah	Koordinat	Koordinat pakai		Koordinat	Ld
n	Y geotextile	X	Y	X tepi timb	m
1	8	29.11	8	50	20.89
2	8.25	28.93	8.25	49.75	20.82
3	8.5	28.75	8.25	49.5	20.75
4	8.75	28.57	8.25	49.25	20.68
5	9	28.39	8.25	49	20.61
6	9.25	28.21	8.25	48.75	20.54
7	9.5	28.03	8.25	48.5	20.47
8	9.75	27.85	8.25	48.25	20.4
9	10	27.67	8.25	48	20.33
10	10.25	27.49	8.25	47.75	20.26
11	10.5	27.31	8.25	47.5	20.19

<b>Panjang Total Geotextile</b>				
<b>Jumlah</b>	<b>1 sisi</b>			
<b>n</b>	<b>Le (m)</b>	<b>Ld (m)</b>	<b>Lo (m)</b>	<b>Ltotal (m)</b>
1	1	20.89	0.5	22.39
2	1	20.82	0.5	22.32
3	1	20.75	0.5	22.25
4	1	20.68	0.5	22.18
5	1	20.61	0.5	22.11
6	1	20.54	0.5	22.04
7	1	20.47	0.5	21.97
8	1	20.4	0.5	21.9
9	1	20.33	0.5	21.83
10	1	20.26	0.5	21.76
11	1	20.19	0.5	21.69

**Tabel 6.**Hasil Perhitungan Geotextile Tinggi Timbunan 30 m

Panjang Geotextile di belakang bidang longsor								
Jumlah Layer	Hi	Ti	$\tau_1$	$\tau_2$	Mgeotextile	$\Sigma$ Mgeotextile	Le	Le pakai
n	m	m	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kNm	kNm	m	m
1	30	31.61	107.35	24.18	977.31	977.31	0.44	1
2	29.75	31.36	106.62	106.62	969.58	1946.90	0.27	1
3	29.5	31.11	105.90	105.90	961.86	2908.75	0.27	1
4	29.25	30.86	105.17	105.17	954.13	3862.88	0.28	1
5	29	30.61	104.44	104.44	946.40	4809.28	0.28	1
6	28.75	30.36	103.71	103.71	938.67	5747.94	0.28	1
7	28.5	30.11	102.99	102.99	930.94	6678.88	0.28	1
8	28.25	29.86	102.26	102.26	923.21	7602.09	0.28	1

9	28	29.61	101.53	101.53	915.48	8517.57	0.29	1
10	27.75	29.36	100.80	100.80	907.75	9425.31	0.29	1
11	27.5	29.11	100.07	100.07	900.02	10325.33	0.29	1
12	27.25	28.86	99.35	99.35	892.29	11217.62	0.29	1
13	27	28.61	98.62	98.62	884.56	12102.18	0.29	1
14	26.75	28.36	97.89	97.89	876.83	12979.01	0.30	1
15	26.5	28.11	97.16	97.16	869.10	13848.12	0.30	1
16	26.25	27.86	96.43	96.43	861.37	14709.49	0.30	1
17	26	27.61	95.71	95.71	853.64	15563.13	0.30	1
18	25.75	27.36	94.98	94.98	845.91	16409.04	0.31	1
19	25.5	27.11	94.25	94.25	838.18	17247.23	0.31	1
20	25.25	26.86	93.52	93.52	830.45	18077.68	0.31	1

21	25	26.61	92.79	92.79	822.72	18900.41	0.31	1
22	24.75	26.36	92.07	92.07	815.00	19715.40	0.31	1
23	24.5	26.11	91.34	91.34	807.27	20522.67	0.32	1
24	24.25	25.86	90.61	90.61	799.54	21322.20	0.32	1

Panjang Geotextile di depan bidang longsor					
Jumlah	Koordinat	Koordinat pakai		Koordinat	Ld
n	Y geotextile	X	Y	X tepi timb	m
1	8	29.29	8	50	20.71
2	8.25	29.11	8.25	49.75	20.64
3	8.5	28.93	8.25	49.5	20.57
4	8.75	28.75	8.25	49.25	20.5
5	9	28.57	8.25	49	20.43
6	9.25	28.39	8.25	48.75	20.36
7	9.5	28.21	8.25	48.5	20.29

8	9.75	28.03	8.25	48.25	20.22
9	10	27.85	8.25	48	20.15
10	10.25	27.67	8.25	47.75	20.08
11	10.5	27.49	8.25	47.5	20.01
12	10.75	27.31	8.25	47.25	19.94
13	11	27.13	8.25	47	19.87
14	11.25	26.95	8.25	46.75	19.8
15	11.5	26.77	8.25	46.5	19.73
16	11.75	26.59	8.25	46.25	19.66
17	12	26.41	8.25	46	19.59
18	12.25	26.23	8.25	45.75	19.52
19	12.5	26.05	8.25	45.5	19.45
20	12.75	25.87	8.25	45.25	19.38
21	13	25.69	8.25	45	19.31
22	13.25	25.51	8.25	44.75	19.24
23	13.5	25.33	8.25	44.5	19.17
24	13.75	25.15	8.25	44.25	19.1

Panjang Total Geotextile				
Jumlah	1 sisi			
n	Le (m)	Ld (m)	Lo (m)	Ltotal (m)
1	1	20.71	0.5	22.21
2	1	20.64	0.5	22.14
3	1	20.57	0.5	22.07
4	1	20.5	0.5	22
5	1	20.43	0.5	21.93
6	1	20.36	0.5	21.86
7	1	20.29	0.5	21.79
8	1	20.22	0.5	21.72
9	1	20.15	0.5	21.65
10	1	20.08	0.5	21.58
11	1	20.01	0.5	21.51
12	1	19.94	0.5	21.44
13	1	19.87	0.5	21.37
14	1	19.8	0.5	21.3

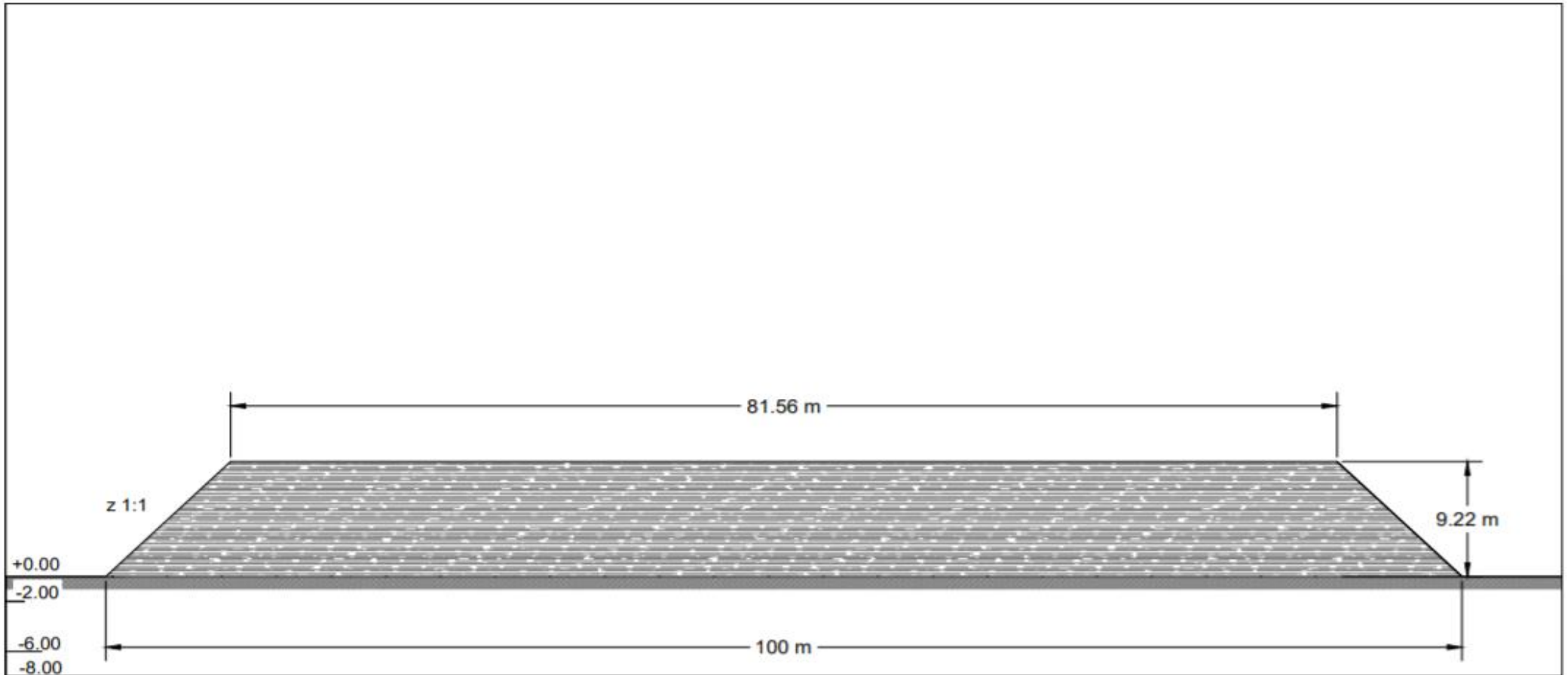
15	1	19.73	0.5	21.23
16	1	19.66	0.5	21.16
17	1	19.59	0.5	21.09
18	1	19.52	0.5	21.02
19	1	19.45	0.5	20.95
20	1	19.38	0.5	20.88
21	1	19.31	0.5	20.81
22	1	19.24	0.5	20.74
23	1	19.17	0.5	20.67
24	1	19.1	0.5	20.6



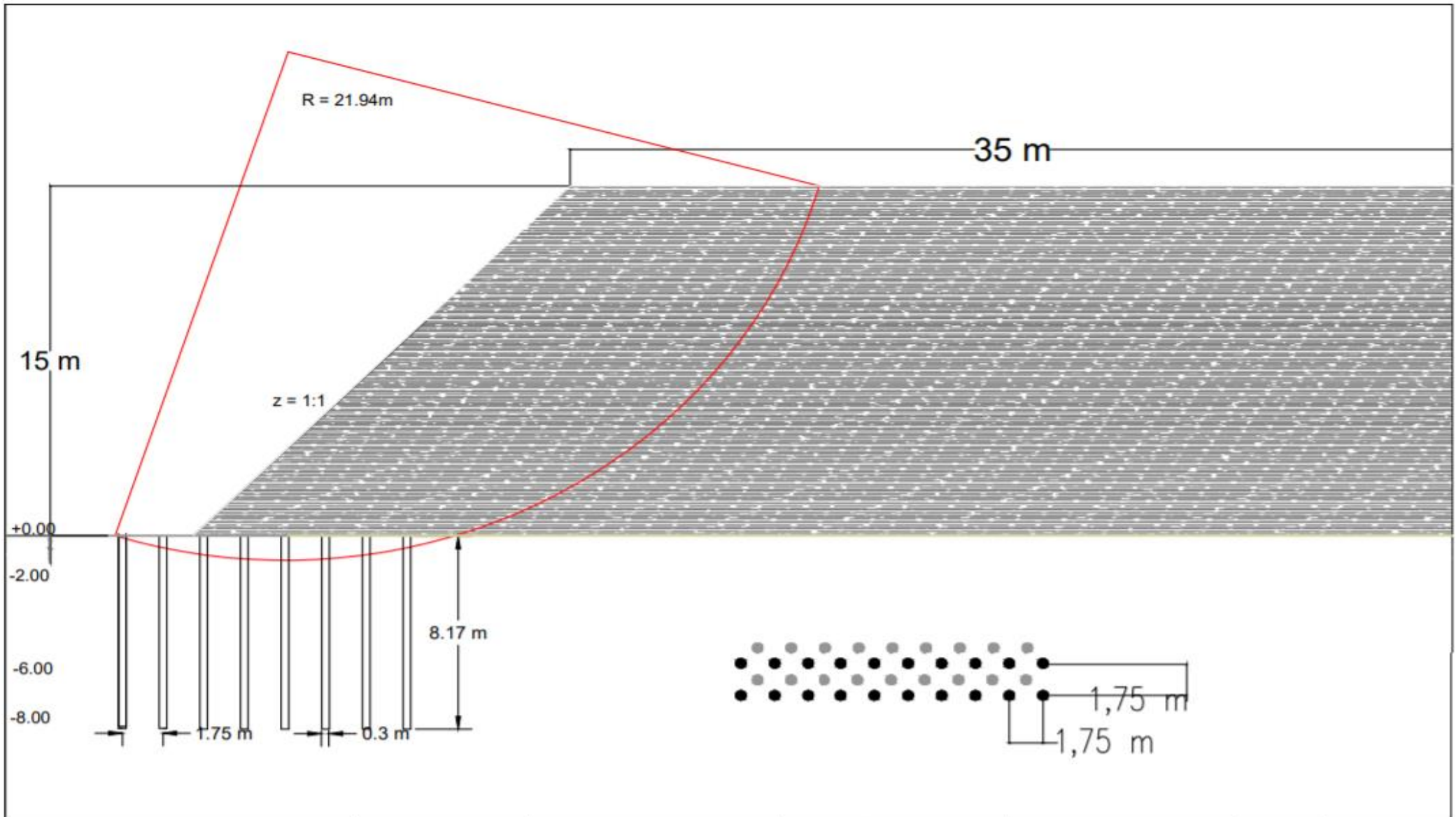
**LAMPIRAN 3**  
**GAMBAR DESAIN PERENCANAAN**

**DAFTAR ISI**

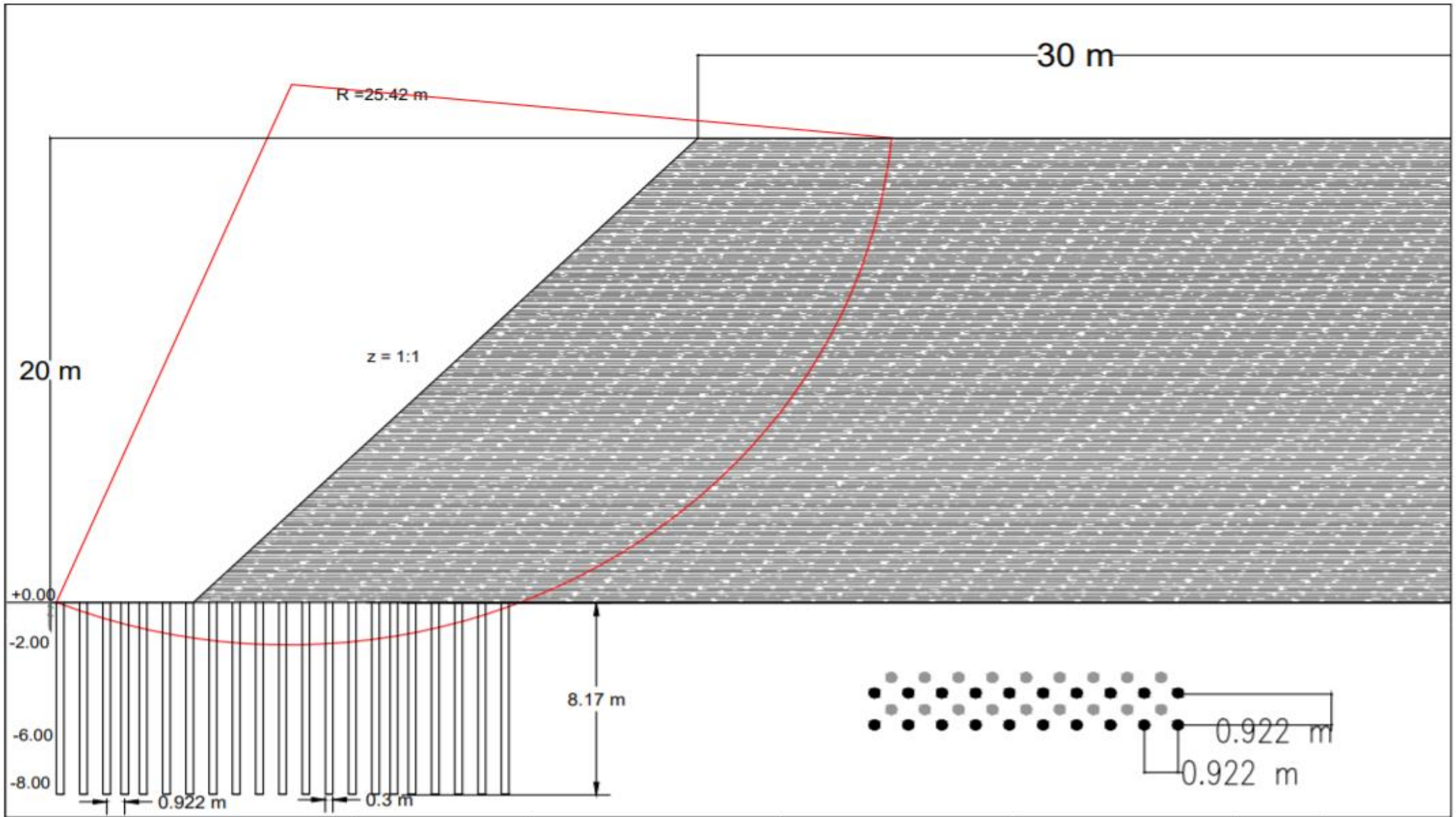
<b>Gambar 1.</b> Geometrik Timbunan Sampah Akibat 124 Minggu Penimbunan Bertahap .....	174
<b>Garmbar 2.</b> Pemasangan Minipile Tinggi Timbunan 15 m .....	175
<b>Garmbar 3.</b> Pemasangan Minipile Tinggi Timbunan 20 m .....	176
<b>Garmbar 4.</b> Pemasangan Minipile Tinggi Timbunan 30 m .....	177
<b>Garmbar 5.</b> Pemasangan Geotextile Tinggi Timbunan 15 m.....	178
<b>Garmbar 6.</b> Pemasangan Geotextile Tinggi Timbunan 20 m.....	179
<b>Garmbar 7.</b> Pemasangan Geotextile Tinggi Timbunan 30 m.....	180
<b>Gambar 8.</b> Pemasangan Stone Column Tinggi Timbunan 15 m.....	181
<b>Gambar 9.</b> Pemasangan Stone Column Tinggi Timbunan 20 m.....	182
<b>Gambar 10.</b> Pemasangan Stone Column Tinggi Timbunan 30 m.....	183
	173



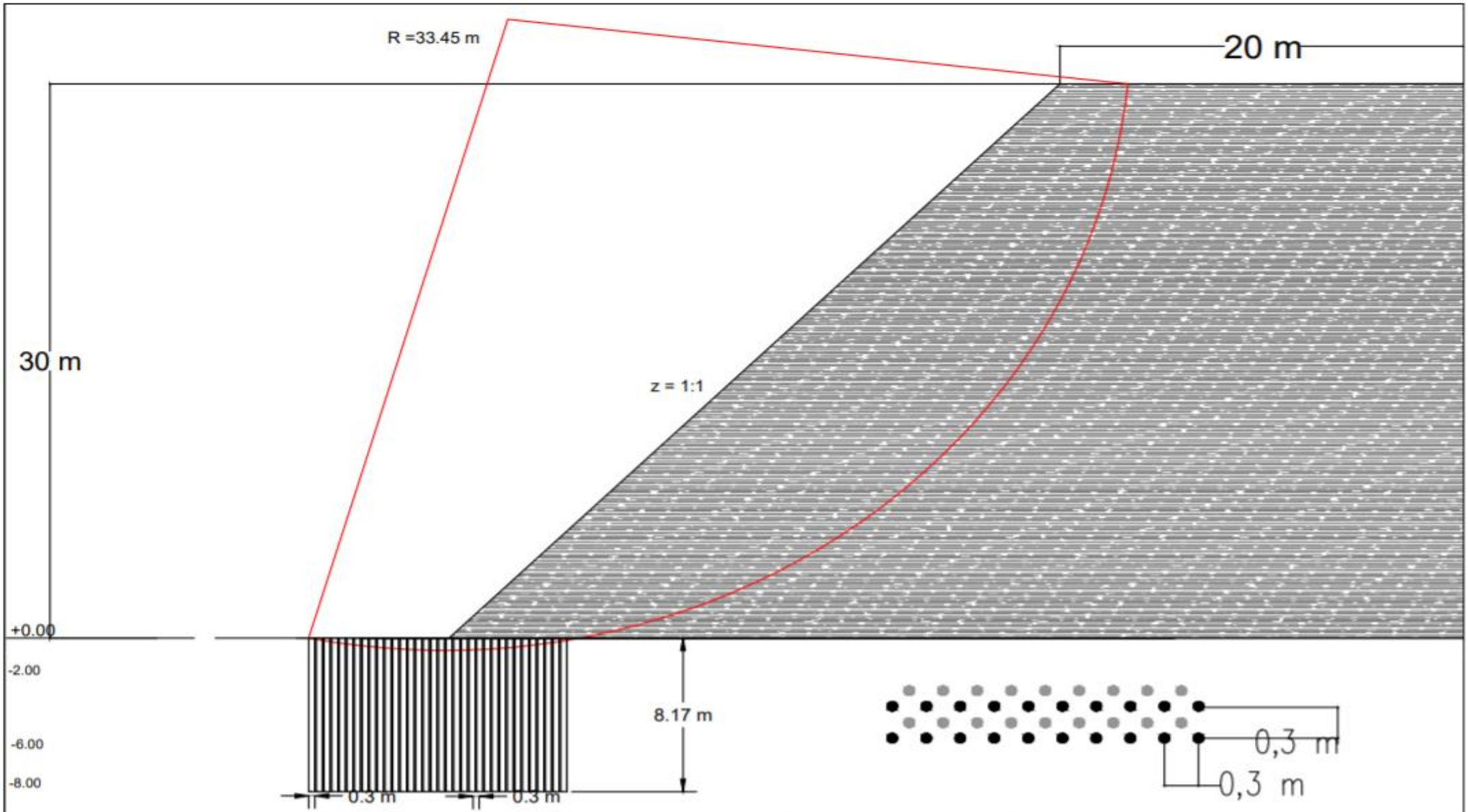
<p>PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL, FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2020</p>	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	TUGAS AKHIR	Dr. TRIHANYNDIO RENDY S., ST. MT Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI S., M. Eng	ACIL RAUSANFIKR MOHAMMAD 03111640000106	Geometrik Timbunan Sampah	1 : 250	1



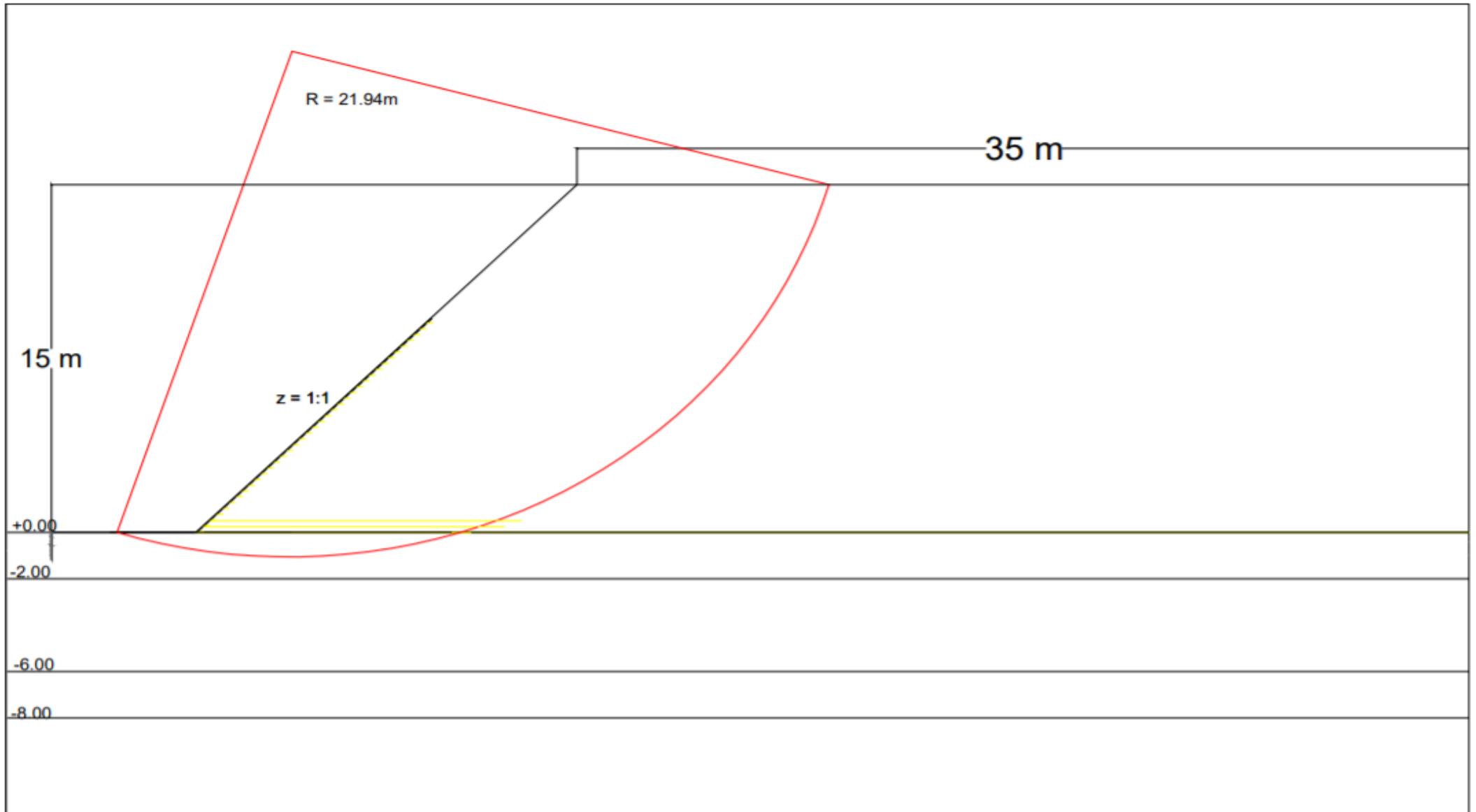
<p>PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2020</p>	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	TUGAS AKHIR	Dr. TRIHANYNDIO RENDY S., ST. MT Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI S., M. Eng	ACIL RAUSANFIKR MOHAMMAD 03111640000106	PERENCANAAN MINIPILE	1 : 500	2



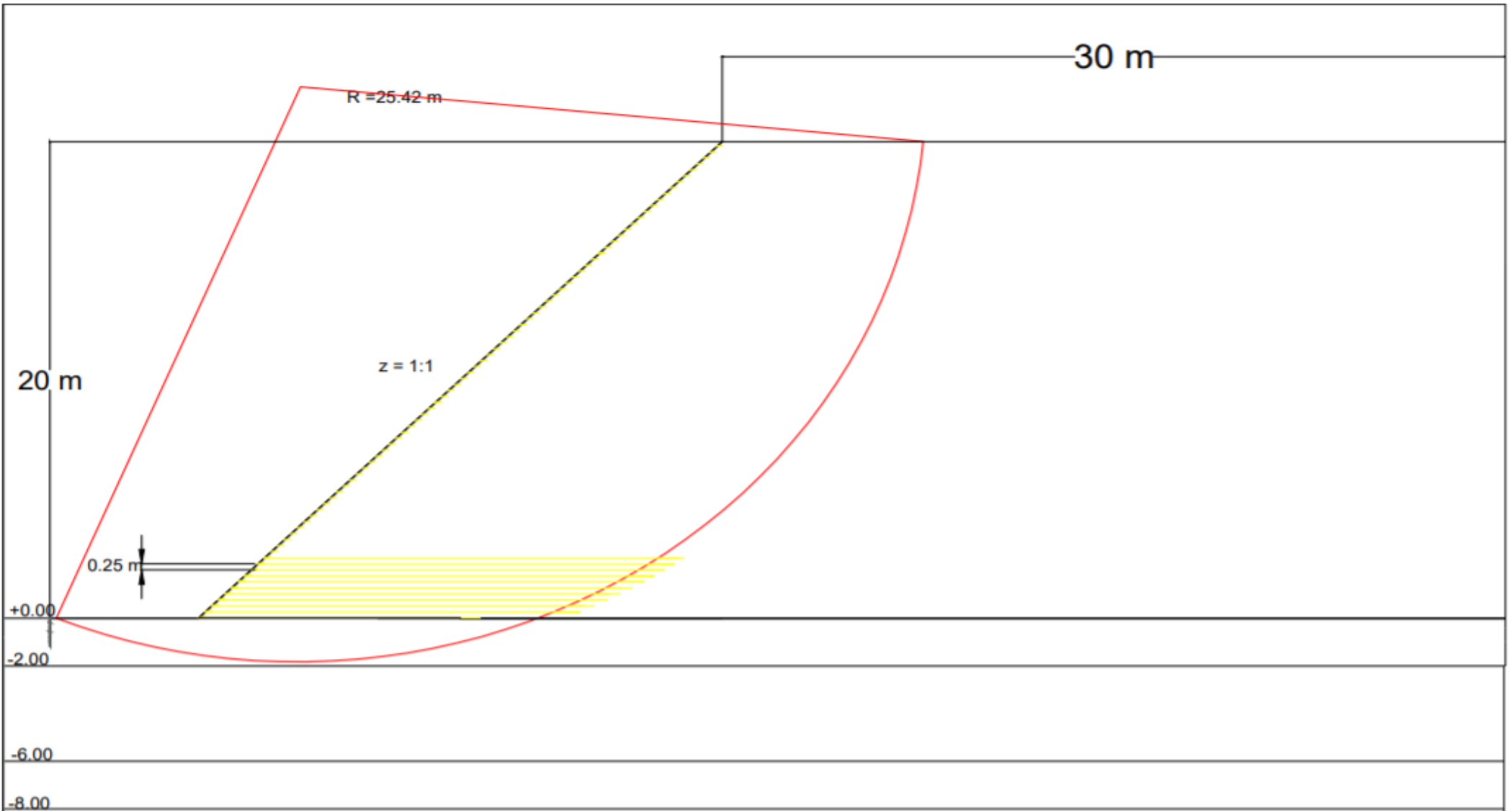
 PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2020	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	TUGAS AKHIR	Dr. TRIHANYNDIO RENDY S., ST. MT Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI S., M. Eng	AQIL RAUSANFIKR MOHAMMAD 03111640000106	PERENCANAAN MINIPILE	1 : 500	3



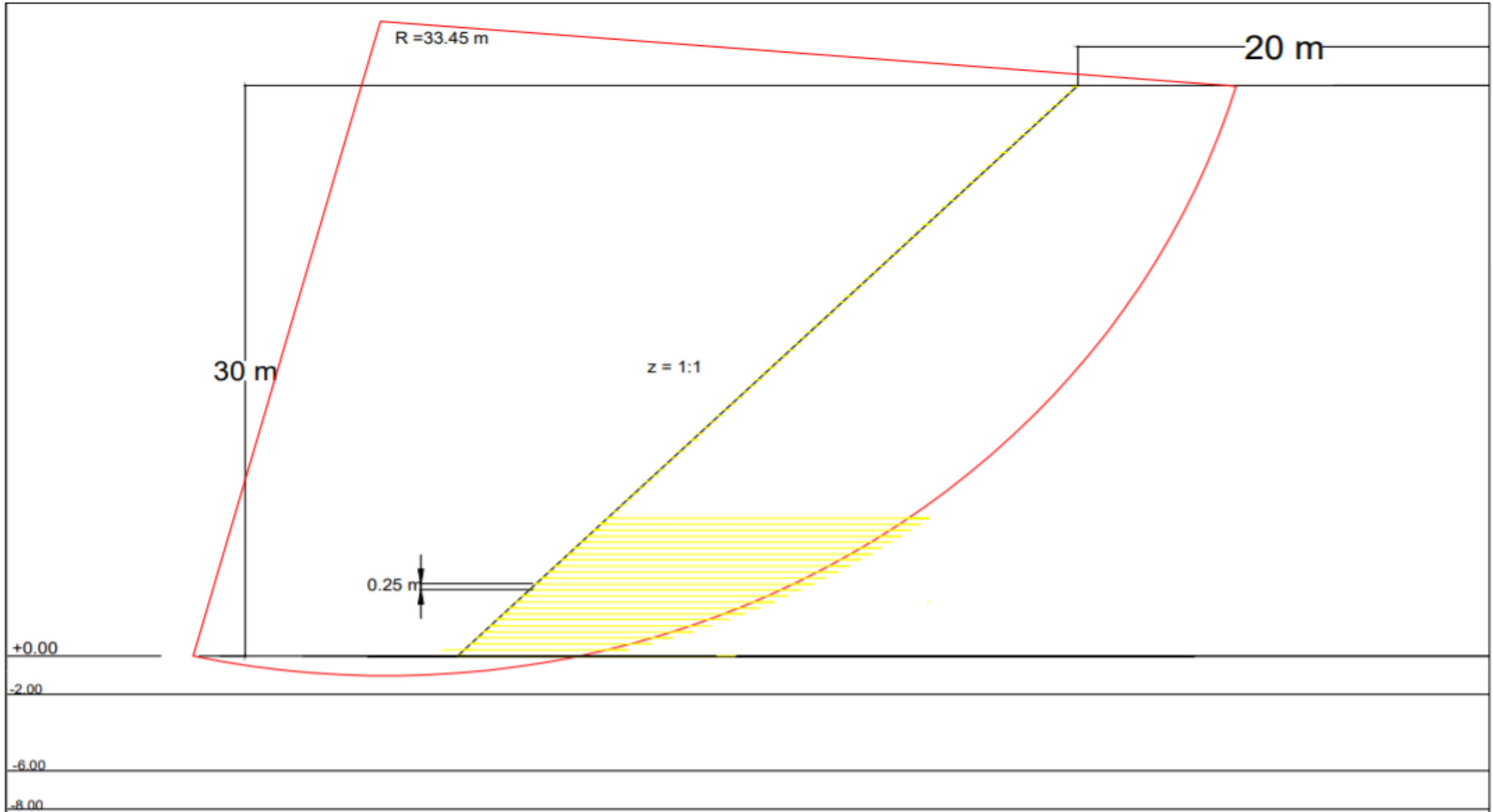
 PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2020	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	TUGAS AKHIR	Dr. TRIHANYNDIO RENDY S., ST. MT Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI S., M. Eng	AQIL RAUSANFIKR MOHAMMAD 03111640000106	PERENCANAAN MINIPILE	1 : 400	4



 PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2020	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	TUGAS AKHIR	Dr. TRIHANYNDIO RENDY S., ST. MT Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI S., M. Eng	AQIL RAUSANFIKR MOHAMMAD 03111643000106	PERENCANAAN GEOTEXTILE	1 : 500	5

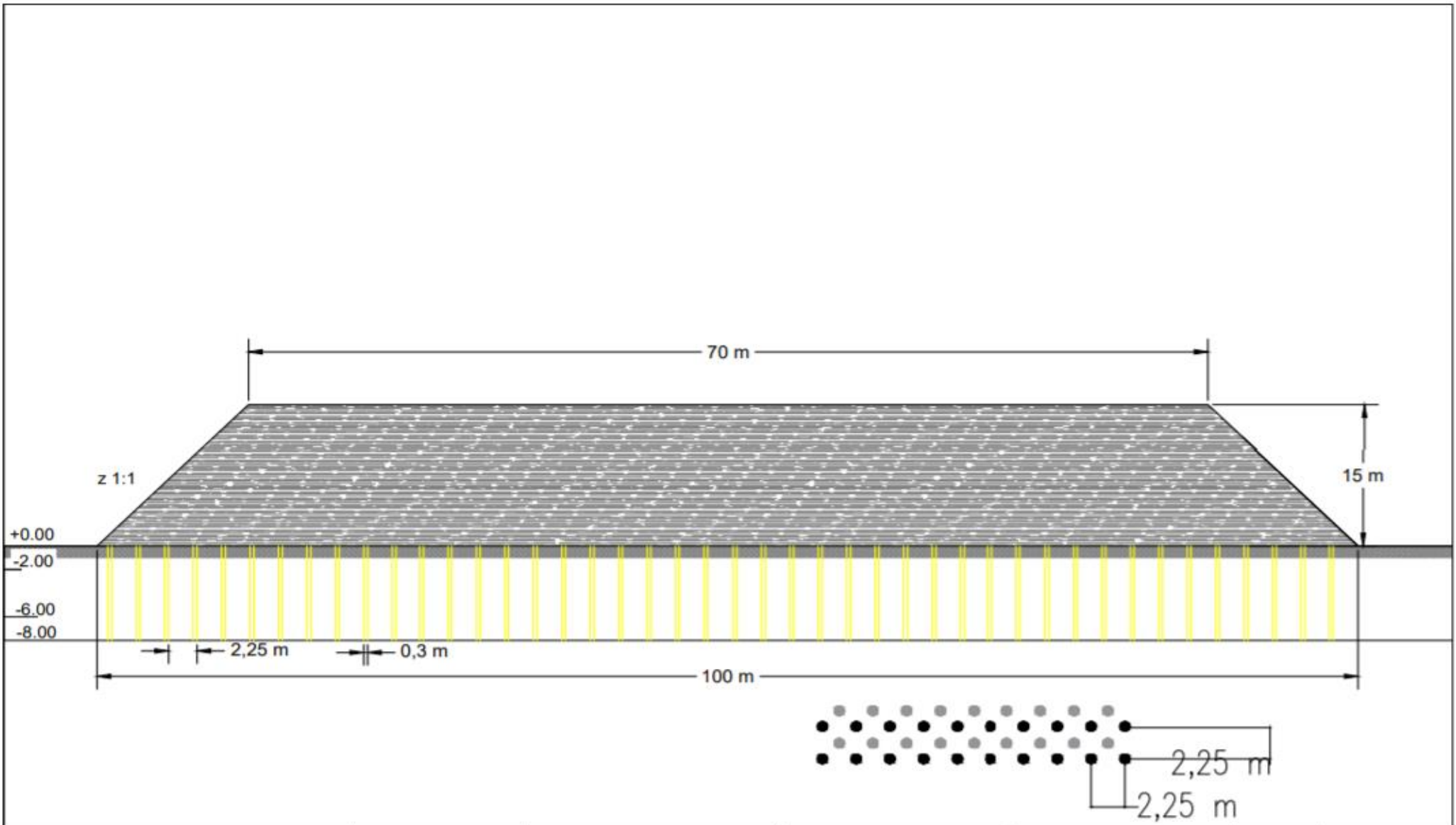


<p>PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL, FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2020</p>	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	TUGAS AKHIR	Dr. TRIHANYNDIO RENDY S., ST. MT Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI S., M. Eng	AQIL RAUSANFIKR MOHAMMAD 03111640000106	PERENCANAAN GEOTEXTILE	1 : 500	6

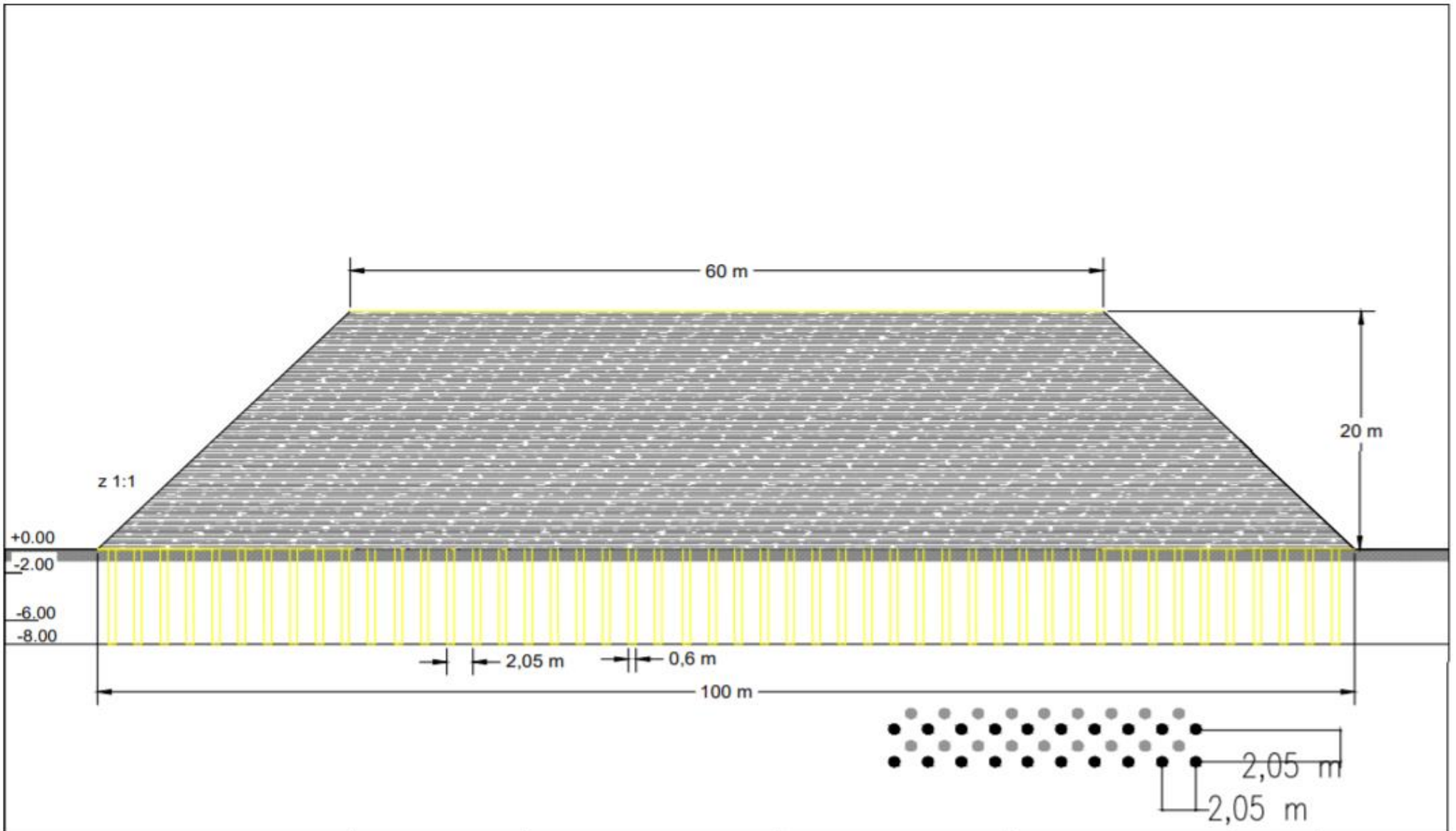


 PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL, FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2020	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	TUGAS AKHIR	Dr. TRIHANYNDIO RENDY S., ST. MT Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI S., M. Eng	AQIL RAUSANFIKR MOHAMMAD 03111640000106	PERENCANAAN GEOTEXTILE	1 : 300	7

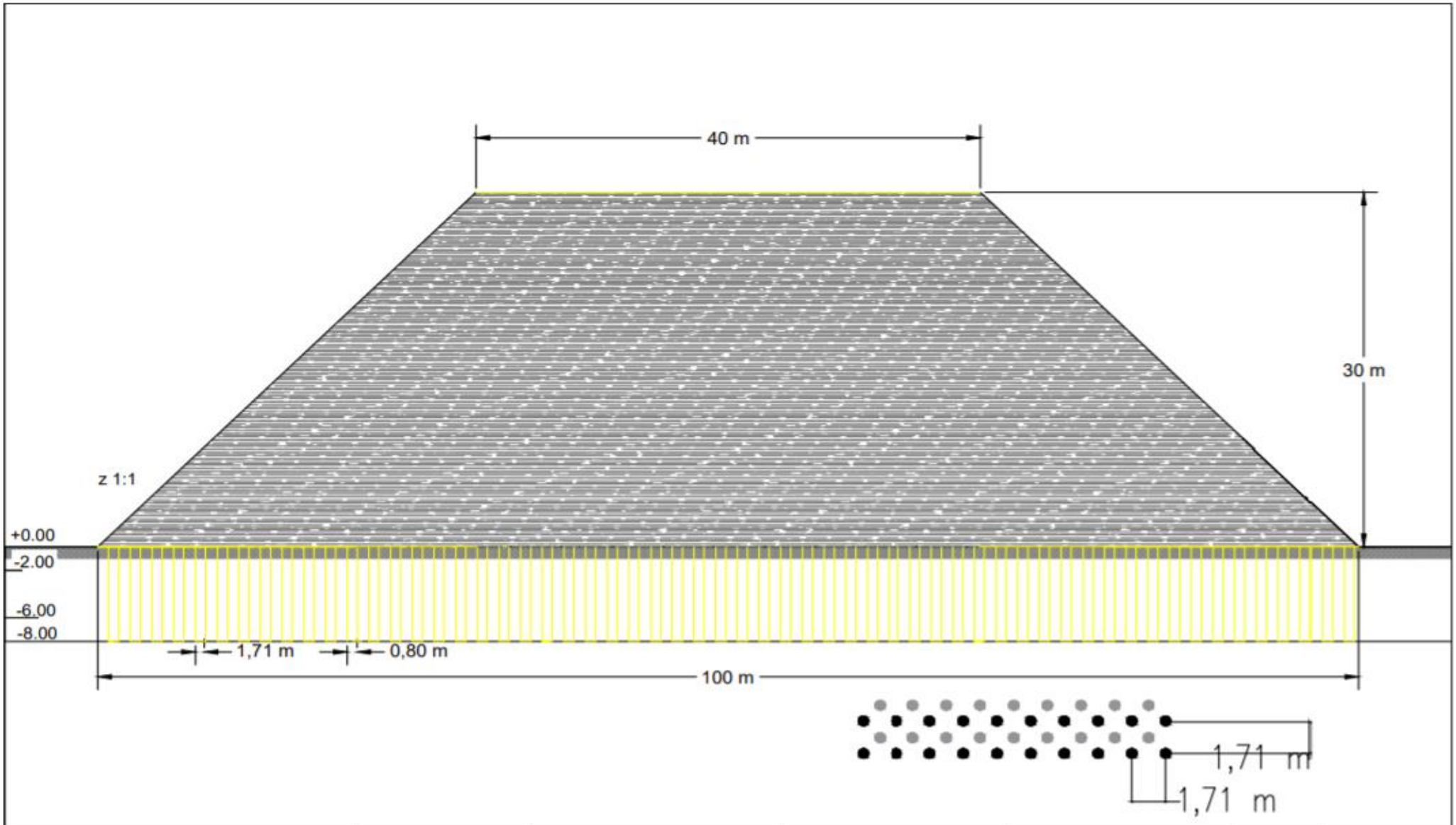




<p>PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL, FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2020</p>	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	TUGAS AKHIR	Dr. TRIHANYNDIO RENDY S., ST. MT Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI S., M. Eng	AQIL RAJUSANFIKR MOHAMMAD 03111640000106	Perencanaan Stone Column	1 : 250	8



<p>PROGRAM STUDI 5-1 TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL, FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2020</p>	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	TUGAS AKHIR	Dr. TRIHANYNDIO RENDY S., ST. MT Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI S., M. Eng	AQIL RAUSANFIKR MOHAMMAD 03111640000106	Perencanaan Stone Column	1 : 250	9



<p>PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL, FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2020</p>	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	TUGAS AKHIR	Dr. TRIHANYNDIO RENDY S., ST. MT Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI S., M. Eng	AQIL RAUSANFIKR MOHAMMAD 03111643000106	Perencanaan Stone Column	1 : 250	10



*“Halaman sengaja dikosongkan”*



## BIOGRAFI PENULIS



Aqil rausanfikr Mohammad, Penulis dilahirkan di Surabaya 03 Maret 1998, merupakan anak ketiga 5 bersaudara. Penulis telah menempuh Pendidikan formal di TK Nurul Iman (Gresik), SDI Nurul Iman (Gresik), SMP Plus Ar-Rahmat (Bojonegoro), SMA Darul Ulum 2 (Jombang), setelah lulus SMA pada tahun 2016, Penulis melanjutkan ke jenjang Pendidikan Strata-1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember di departemen Teknik Sipil dan terdaftar sebagai mahasiswa aktif dengan NRP 03111640000106. Dijurusan Teknik Sipil ITS penulis mengambil bidang Geoteknik. Penulis Aktif diberbagai organisasi Kampus Seperti Lembaga Dakwah Jurusan (LDJ), Himpunan Mahasiswa Sipil (HMS), Jamaah Masjid Manarul Ilmi (JMMI) dan Himpunan Mahasiswa Islam (HMI) Penulis merupakan finalis lomba Rancang Jembatan di UPN Jakarta dan 2 kali menjadi finalis Lomba Karya Tulis Ilmiah di Unair dan ITS.