



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**ALTERNATIF PERBAIKAN TANAH DASAR DAN
PERKUATAN TIMBUNAN PADA JALAN TOL KRIAN-
LEGUNDI-BUNDER-MANYAR (STA 0+610 s/d STA 0+900)**

FATHIRUL RACHMAN
NRP.3116105001

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II
Dr. Yudhi Lastiasih, ST. MT.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**ALTERNATIF PERBAIKAN TANAH DASAR DAN
PERKUATAN TIMBUNAN PADA JALAN TOL KRIAN-
LEGUNDI-BUNDER-MANYAR (STA 0+610 s/d STA 0+900)**

FATHIRUL RACHMAN
NRP.3116105001

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II
Dr. Yudhi Lastiasih, ST. MT.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – RC-141501

**ALTERNATIVE OF SOIL GROUND IMPROVEMENT AND
EMBANKMENTS REINFORCEMENT ON KRIAN-
LEGUNDI-BUNDER-MANYAR TOLL ROAD (STA 0+610
up to STA 0+900)**

FATHIRUL RACHMAN
NRP.3116105001

Supervisor I
Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D.

Supervisor II
Dr. Yudhi Lastiasih, ST. MT.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering, Environment and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

**ALTERNATIF PERBAIKAN TANAH DASAR DAN
PERKUATAN TIMBUNAN PADA JALAN TOL
KRIAN-LEGUNDI-BUNDER-MANYAR (STA 0+610
s/d STA 0+900)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

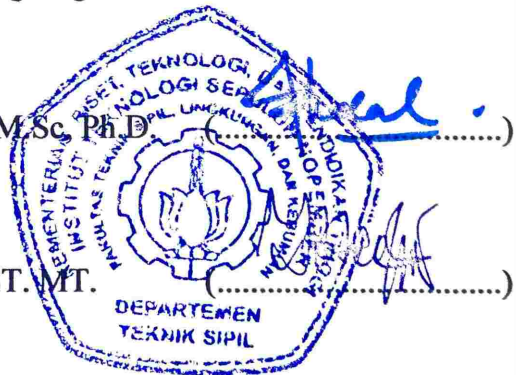
Program Studi S-1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Fathirul Rachman
NRP. 03111645000001

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc, Ph.D.)
2. Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT.)



SURABAYA

JULI, 2018

ALTERNATIF PERBAIKAN TANAH DASAR DAN PERKUATAN TIMBUNAN PADA JALAN TOL KRIAN- LEGUNDI-BUNDER-MANYAR (STA 0+610 s/d STA 0+900)

Nama Mahasiswa : Fathirul Rachman
NRP : 3116105001
Jurusan : S1 Teknik Sipil FTSLK – ITS
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc, Ph.D.
2. Dr. Yudhi Lastiasih, ST. MT.

ABSTRAK

Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar (KLBM) menghubungkan Kabupaten Sidoarjo dan Kabupaten Gresik Jawa Timur. Jalan tol ini terdapat oprit jembatan yang melewati sungai Kali Surabaya dengan tinggi oprit rencana paling tinggi 10,2 meter pada STA 0+610 s/d 0+900. Selain itu penyelidikan tanah di lokasi tersebut menunjukkan bahwa tanah dasar pada rencana jalan tol KLBM merupakan tanah lempung lunak sehingga diperlukan perbaikan tanah dasar. Apabila suatu timbunan tinggi dibangun di atas tanah dasar lunak yg relatif tebal maka akan dapat terjadi kelongsoran. Sehingga perlu dilakukan perkuatan timbunan dan perbaikan tanah dasar untuk menghindari kelongsoran jalan. Kendala lainnya adalah dengan adanya timbunan yang tinggi perlu kemiringan lereng timbunan yang landai sehingga membutuhkan lahan lebih luas dan lebih mahal.

Tersedia beberapa alternatif desain untuk konstruksi oprit. Dalam tugas akhir ini akan menganalisa alternatif perencanaan perkuatan timbunan dari segi kemiringan lereng timbunan. Alternatif pertama adalah dengan menggunakan lereng perbandingan 1:2, 1:1, dan timbunan tegak. Pada timbunan dengan lereng miring digunakan perkuatan dengan menggunakan geotextile atau stone column. Pada timbunan tegak digunakan perkuatan menggunakan dinding segmental (multiblock) kombinasi geogrid. Untuk perbaikan tanah dasar menggunakan preloading kombinasi PVD. Hal ini bertujuan untuk

mempercepat proses konsolidasi, sehingga waktu yang diperlukan untuk mencapai penurunan total dapat diselesaikan dengan waktu yang lebih singkat.

Hasil dari perhitungan adalah berupa jarak pemasangan PVD pola segitiga jarak 1,4 dan masing-masing alternatif perkuatan. Dari masing-masing perkuatan dihitung kebutuhan biaya material. Perkuatan menggunakan geotekstil pada kemiringan timbunan 1:2 memerlukan biaya sebesar 18,34 milyar dan 15,08 milyar untuk kemiringan 1:1. Perkuatan menggunakan stone column pada kemiringan timbunan 1:2 memerlukan biaya sebesar 18,64 milyar dan 15,94 milyar untuk kemiringan 1:1. Alternatif perkuatan menggunakan geogrid kombinasi multiblok memerlukan tambahan perkuatan pada tanah dasar yaitu menggunakan micropile disebabkan tidak memenuhi bearing stability. Pada timbunan tegak memerlukan biaya sebesar 18,2 milyar

Kata kunci : PVD, stone column, geotextile, multiblocks, geogrid.

**ALTERNATIVE OF SOIL GROUND IMPROVEMENT
AND EMBANKMENTS REINFORCEMENT ON KRIAN-
LEGUNDI-BUNDER-MANYAR TOLL ROAD (STA 0+610
up to STA 0+900)**

Name : Fathirul Rachman
NRP/Register Number : 3116105001
Department : Civil Engineering FTSLK – ITS
Supervisor : 1. Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc, Ph.D.
2. Dr. Yudhi Lastiasih, ST. MT.

ABSTRACT

Krian-Legundi-Bunder-Manyar (KLBM) toll road connects Sidoarjo and Gresik East Java This toll road consists of approaching bridge which crosses Kali Surabaya River with the highest approaching bridge is designed in 10,2 m on STA 0+610 until 0+900. Furthermore, site investigation on the existing location proved that the soil base layer has can be classified as soft soil clay, hence it is necessary to be improved by using soil improvement. When a high soil embankment is placed on the above of soft soil layer which relatively thick, it may lead a slide for the soil embankment. Therefore, it is required to get a soil improvement in order to avoid road sliding. Another obstacle is the high embankment needs a gentle slope which requires a wide area and higher cost.

There are other alternative designs for approaching bridge construction. In this assignment, some alternative designs for soil improvement will be analyzed from its slope. The first alternative, is by using slope ratio 1:2 and 1:1 and also with upright slope. On the embankment with slope, soil improvement will be designed by using geotextile or stone column. On the upright embankment, soil improvement will be designed by using segmental wall (multiblock) which is combined with geogrid. And for the base layer of soil, preloading that combined with PVD will be used as the soil improvement. It is purposed to accelerate the

consolidation, hence the duration for total subsidence can be achieved in a shorter term.

The results of the calculations are, spacing for the PVD with triangle pattern is 1,4 m and height for each soil improvement alternative also the total consolidation for the embankment reach 1,7 m. Material cost is also calculated in this assignment. The results for material cost calculations are soil improvement by using geotextile with slope 1:2 needs 18,34 billion rupiahs and 15.08 billion rupiahs for the slope 1:1. Soil improvement by using stone column with slope 1:2 requires 18,64 billion rupiahs and for slope 1:1 requires 15,94 billion rupiahs. For geogrid soil improvement with multiblock combination needs an additional soil improvement by using micropile since the upright embankment needs the material cost as much as 18,2 billion rupiahs

Keywords : PVD, stone column, geotextile, multiblocks, geogrid.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya serta kekuatan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini disusun guna melengkapi dan memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan pada Program Studi Lintas Jalur Strata I Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tersusunnya Tugas Akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih terutama kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya
2. Ibu Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc, Ph.D., dan Ibu Dr. Yudhi Lastiasih, ST. MT. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Kedua orang tua penulis
4. Rekan-rekan mahasiswa

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan.....	8
1.4 Batasan Masalah.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Umum.....	11
2.2 Parameter Tanah.....	11
2.2.1 Korelasi Parameter Tanah	11
2.2.2 Pengelompokan tanah.....	11
2.2.3 Penentuan parameter tanah.....	12
2.3 Analisa Jenis Konsolidasi Tanah.....	15
2.4 Settlement.....	16
2.4.1 Waktu Penurunan Tanah	19
2.5 Daya Dukung.....	21
2.6 Perencanaan Tinggi Timbunan (H inisial dan H akhir).....	23
2.7 Teori PVD	25
2.7.1 Metode Percepatan Pemampatan dengan PVD	25
2.7.2 Menentukan Kedalaman PVD.....	25
2.7.3 Menentukan Pola dan Jarak Pemasangan PVD.....	25
2.7.5 Menentukan Nilai Fungsi Penghambat $F(n)$	26
2.7.6 Menentukan derajat konsolidasi horizontal (U_h)	29
2.7.7 Menentukan derajat konsolidasi Vertikal (U_v)	29
2.7.8 Menentukan derajat konsolidasi total (U_{tot}).....	30
2.8 Teori <i>Stone Column</i>	30
2.8 Perkuatan Tanah Dengan <i>Geotekstil</i>	34
2.8.1 Cek Internal Stability.....	36

2.8.2 Cek Overall Stability	37
2.8.3 Cek Foundation Stability	37
2.9 Perkuatan Tanah Menggunakan <i>Geogrid</i>	38
2.9.1. Internal Stability (Geotextile Wall Reinforcement)...	40
2.9.2. External Stability (Geotextile Wall Reinforcement) .	41
2.10 Perkuatan Tanah Dengan <i>Multiblocks</i>	43
2.11 Perkuatan Tanah dengan <i>Micropile</i>	45
2.11.2 Perhitungan Kekuatan Satu Cerucuk.....	46
2.11.3 Penentuan Kebutuhan Jumlah Cerucuk.....	48
BAB III METODOLOGI	51
3.1 Diagram Alir	51
3.2 Pengumpulan Data.....	53
3.3 Studi Literatur.....	53
3.4 Perbaikan Tanah Metode Preloading.....	54
3.5 Perencanaan Perkuatan Lereng Timbunan	56
3.6 Perhitungan Volume Material	59
3.7 Perhitungan Biaya	59
3.8 Kesimpulan.....	60
BAB IV DATA DAN ANALISIS.....	61
4.1 Data Tanah	61
4.1.1 Data Tanah Dasar	61
4.1.2 Data Tanah Timbunan	64
BAB V PERENCANAAN TIMBUNAN & TANAH DASAR ..	71
5.1 Penentuan Tinggi Awal Timbunan.....	71
5.1.2 Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan	74
5.1.3 Menghitung <i>Settlement</i> Akibat Beban Timbunan.....	76
5.1.4 Menghitung <i>Settlement</i> Akibat Perkerasan Jalan	77
5.2 Waktu Pemampatan.....	84
5.3 Perencanaan PVD.....	86
5.3.1 Perhitungan <i>Rate of Settlement</i>	89
5.3.2 Perhitungan Biaya PVD.....	91
5.3.3 Perhitungan Biaya PHD.....	93
5.4 Penimbunan Bertahap.....	94
5.4.1 Tinggi Timbunan Kritis (Hcr)	95
5.4.2 Perhitungan peningkatan <i>Cohession Undrained</i> (Cu)96	

BAB VI PERENCANAAN PERKUATAN TIMBUNAN	107
6.1 Perkuatan Menggunakan <i>Geotextile</i>	107
6.1.1 Cek Stabilitas.....	115
6.2 Perkuatan dengan <i>Geogrid</i> kombinasi <i>Multiblock</i>	117
6.2.1 Perhitungan <i>Micropiles</i>	120
6.3 Perkuatan Menggunakan <i>Stone Column</i>	127
BAB VII KESIMPULAN	135
7.1 Kesimpulan	135
7.2 Saran	137

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Rute jalan tol krian-legundi-bunder-manyar	2
Gambar 1. 2 Desain rencana jembatan STA 0+334 – 0+737	3
Gambar 1. 3 Potongan melintang rencana oprit jembatan	4
Gambar 1. 4 Desain rencana kemiringan lereng timbunan	5
Gambar 1. 5 Lokasi pengambilan sampel tanah.....	6
Gambar 2. 1 Distribusi tegangan vertikal dalam tanah.....	18
Gambar 2. 2 Grafik faktor pengaruh beban segiempat.....	19
Gambar 2. 3 Pembagian zona kekuatan tanah.....	22
Gambar 2. 4 Pembagian zona Cu baru timbunan jalan	23
Gambar 2. 5 Grafik hubungan antara tinggi timbunan dan beban traffic	24
Gambar 2. 6 Pola segitiga.....	26
Gambar 2. 7 Pola bujur sangkar	26
Gambar 2. 8 Diameter lingkaran ekivalen PVD.....	26
Gambar 2. 9 pola pemasangan stone column	31
Gambar 2. 10 Ilustrasi jarak dan kuat tarik geotekstile	34
Gambar 2. 11 Kondisi internal stability	36
Gambar 2. 12 Gaya tarik geotekstil pada overall stability	37
Gambar 2. 13 Geotextile sebagai dinding penahan	39
Gambar 2. 14 Grafik untuk menentukan σ_{hL}	41
Gambar 2. 15 External stability geotekstil wall terhadap guling, geser, ambles.	42
Gambar 2. 16 Multiblock tipe tensar wall 1	44
Gambar 2. 17 Harga f dari berbagai jenis tanah.....	46
Gambar 2. 18 Grafik untuk menentukan besarnya F_m	47
Gambar 3. 1 Diagram Alir.	53
Gambar 3. 2 Sketsa potongan melintang perkuatan timbunan dengan geotextile.....	56
Gambar 3. 3 Sketsa potongan melintang perkuatan timbunan dengan stone column.....	57

Gambar 3. 4 Sketsa potongan melintang perkuatan timbunan dengan geotextile kombinasi stone column.....	58
Gambar 3. 5 Sketsa perkuatan timbunan dengan multiblocks kombinasi geogrid	59
Gambar 4. 1 Grafik parameter tanah menurut kedalaman.....	65
Gambar 4. 2 Stratigrafi tanah BH2 STA 0+400 dan BH2 STA 0+540.....	65
Gambar 5. 1 Sketsa lapisan yang ditinjau.....	72
Gambar 5. 2 Hubungan antara tinggi final vs tinggi initial pada timbunan lereng 1:2.....	80
Gambar 5. 3 Hubungan antara Sc vs tinggi initial pada timbunan lereng 1:2.....	81
Gambar 5. 4 Hubungan antara tinggi final vs tinggi initial pada timbunan lereng 1:1	82
Gambar 5. 5 Hubungan antara Sc vs tinggi initial pada timbunan lereng 1:1	82
Gambar 5. 6 Hubungan antara tinggi final vs tinggi initial pada timbunan lereng tegak	83
Gambar 5. 7 Hubungan antara Sc vs tinggi initial pada timbunan lereng tegak	83
Gambar 5. 8 Pemampatan tanah dasar tanpa adanya perbaikan tanah	86
Gambar 5. 9 Grafik Hubungan Antara Waktu Konsolidasi dengan Derajat Konsolidasi untuk Pola Gabungan pemasangan PVD	89
Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Tinggi Timbunan VS SF.....	96
Gambar 5. 11 Analisa timbunan lereng 1:2 tinggi 4,3m.....	102
Gambar 5. 12 Hasil analisa timbunan lereng 1:2 tinggi 5 m	103
Gambar 5. 13 Grafik settlement akibat penimbunan bertahap pada timbunan kemiringan lereng 1:2 tinggi akhir 10,2 m	105

Gambar 6. 1 Output DXSTABLE pada timbunan kemiringan lereng 1:2 tinggi 10,2 m	107
Gambar 6. 2 Output DXSTABLE pada timbunan kemiringan lereng 1:2 tinggi 10,2 m	108
Gambar 6. 3 Pemasangan geotextile pada timbunan kemiringan lereng 1:2 tinggi 10,2 m	113
Gambar 6. 4 Nilai SF longsor timbunan tegak tinggi 10,2m.....	121
Gambar 6. 5 Grafik NAVFAC untuk menentukan f	124
Gambar 6. 6 Grafik NAVFAC untuk menentukan F_m	125
Gambar 6. 7 Instalasi geogrid dan micropile pada timbunan tegak tinggi 10,2 m	126
Gambar 6. 8 Sket pemasangan stone column.....	129
Gambar 6. 9 Pemasangan stone column pada timbunan lereng tegak tinggi 10,2 m.....	133

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Rekap Hasil Uji Laboratorium STA 0+540	6
Tabel 2. 1 Nilai Probabilitas (t).....	13
Tabel 2. 2 Korelasi N-SPT	14
Tabel 2. 3 Nilai Numerik Parameter Tanah Untuk $G_s=2,7$ (Biarez & Favre)	15
Tabel 2. 4 Derajat Konsolidasi dan Faktor Waktu	21
Tabel 2. 5 Nilai F_{Sid} , F_{Scr} , F_{Scd} dan F_{Sbd}	35
Tabel 2. 6 Nilai N_c , N_q , N_γ dari Caquot & Kerisel	45
Tabel 4. 1 Pengelompokan Jenis Dan Konsistensi Tanah	62
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Nilai γ	66
Tabel 4. 3 Rekapitulasi Hasil Analisa γ	67
Tabel 4. 4 Rekapitulasi Nilai Parameter Tanah	68
Tabel 4. 5 Spesifikasi Beban Perkerasan yang Digunakan	70
Tabel 5. 1 Perhitungan Tegangan Overburden.....	73
Tabel 5. 2 Perhitungan Tegangan Pra Konsolidasi	74
Tabel 5. 3 Perhitungan Settlement Akibat Timbunan	76
Tabel 5. 4 Perhitungan Settlement Akibat Perkerasan	78
Tabel 5. 5 Perhitungan settlement total pada tiap percobaan q timbunan.....	80
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Tinggi Awal, Tinggi Akhir, Dan Settlement Pada Setiap Alternatif Timbunan	84
Tabel 5. 7 Nilai C_v Gabungan.....	85
Tabel 5. 8 Nilai Fungsi Hambatan (F_n).....	87
Tabel 5. 9 Derajat Konsolidasi Pola Segitiga Jarak 1,4m	87
Tabel 5. 10 Perhitungan Rate of Settlement Tanpa PVD	90
Tabel 5. 11 Perhitungan Harga PVD.....	92
Tabel 5. 12 Perhitungan Harga PHD.....	94
Tabel 5. 13 Faktor Aman Tiap Tinggi Timbunan	95
Tabel 5. 14 Tahapan Penimbunan H Kritis	97

Tabel 5. 15 Nilai Δp Akibat Timbunan Tahap 1	98
Tabel 5. 16 Tegangan Akibat H Kritis	98
Tabel 5. 17 Perubahan Tegangan Tiap Lapisan pada Derajat Konsolidasi $U < 100\%$	100
Tabel 5. 18 Hasil Cu Baru pada H Kritis Minggu 9	101
Tabel 5. 19 Perhitungan Cu Baru Timbunan 5 m Minggu 10 ...	102
Tabel 6. 1 Kebutuhan Geotextile Lereng 1:2 Tinggi 10,2m.....	109
Tabel 6. 2 Kebutuhan Panjang Le Pada Timbunan Kemiringan Lereng 1:2 Tinggi 10,2 M	111
Tabel 6. 3 Kebutuhan Panjang Total Pada Timbunan Kemiringan Lereng 1:2 Tinggi 10,2 M	113
Tabel 6. 4 Rekap Harga Geotekstil Pada Setiap Alternatif	115
Tabel 6. 5 Perhitungan Le dan Lr Geogrid.....	118
Tabel 6. 6 Rekapitulasi Perhitungan Biaya pada Alternatif Timbunan Lereng Tegak	127
Tabel 6. 7 Rekap Kebutuhan Stone Column Pada Timbunan Tinggi 10,2 Meter Kemiringan lereng 1:2.....	130
Tabel 6. 8 Rekap Kebutuhan Stone Column Pada Setiap Alternatif Kemiringan Lereng Timbunan.....	132
Tabel 7. 1 Rekapitulasi Tinggi Awal, Tinggi Akhir, Dan Settlement Pada Setiap Alternatif Timbunan.....	135
Tabel 7. 2 Rekapitulasi Biaya pada Tiap Alternatif	136

BAB I

PENDAHULUAN

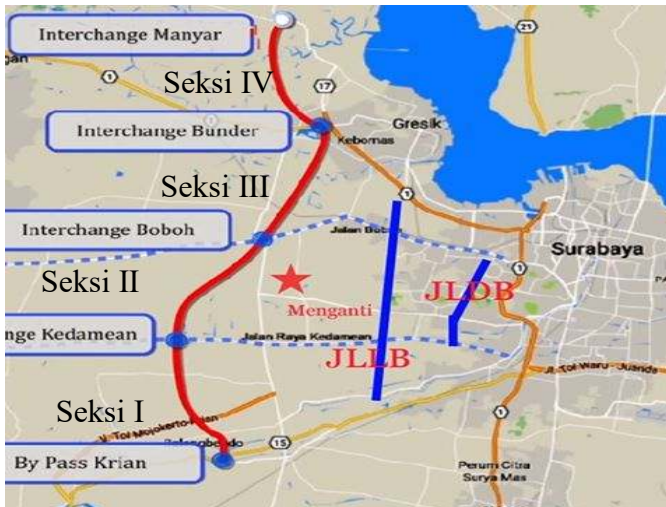
1.1. Latar Belakang

Pembangunan jalan tol diperlukan untuk memperlancar mobilitas kendaraan, dengan adanya jalan tol, maka proses distribusi barang dan jasa dari daerah-daerah yang saling terhubung oleh jalan tol tersebut dapat berlangsung dengan lebih cepat dan efisien. Adanya peningkatan jumlah kendaraan sebanding dengan peningkatan jumlah penduduk dan kebutuhan ekonomi. Pada daerah padat industri misalnya di wilayah Jawa Timur seperti di Sidoarjo dan Gresik sangat membutuhkan akses yang dapat mempermudah mobilitas distribusi barang dan jasa. Pembangunan Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar (KLBM) merupakan salah satu akses transportasi yang bisa menjadi solusinya. Pembangunan jalan tol tersebut diharapkan dapat mempermudah akses untuk mobilisasi barang ataupun manusia karena dapat meminimalkan potensi kemacetan di daerah tersebut.

Jalan tol KLBM ini dibangun sepanjang $\pm 38,29$ km melewati 2 kabupaten di Jawa Timur yaitu Sidoarjo dan Gresik. Pembangunan dibagi menjadi 4 seksi yakni:

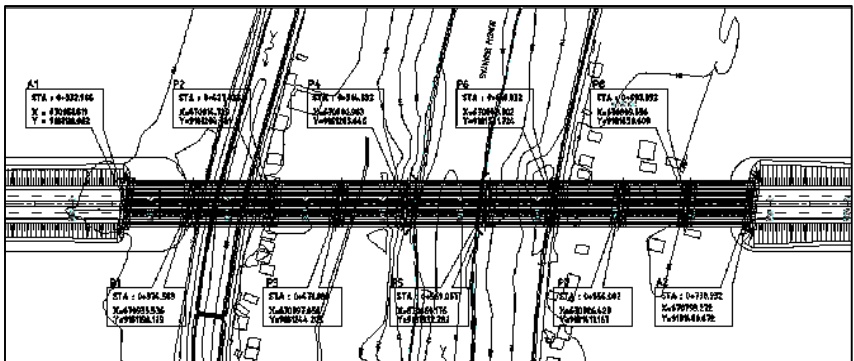
- Seksi I: Krian-Kedamean dengan panjang 9,5 km.
- Seksi II: Kedamean-Boboh dengan panjang 9,1 km.
- Seksi III: Boboh-Bunder dengan panjang 10,57 km.
- Seksi IV: Bunder-Manyar dengan panjang 9,12 km.

Gambar 1.1 menunjukkan rute dan pembagian seksi dari proyek jalan tol KLMB.

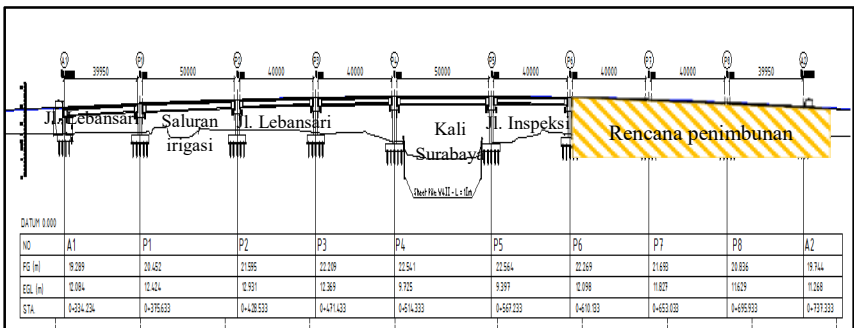


*Gambar 1. 1 Rute jalan tol krian-legundi-bunder-manyar
(sumber: maps.google.com)*

Trase jalan pada perencanaan jalan tol seksi I melewati beberapa sungai, salah satunya adalah kali Surabaya yang mempunyai lebar ± 130 meter. Oleh karena itu diperlukan jembatan untuk menghubungkan jalan tol tersebut. Desain rencana jembatan yang akan dibangun pada STA 0+334 sampai STA 0+737 menggunakan jenis jembatan beton pratekan dengan bentangan 40 m sampai 50 m yang terdiri atas 8 pilar serta 2 buah abutment seperti pada Gambar 1.2:



(a)



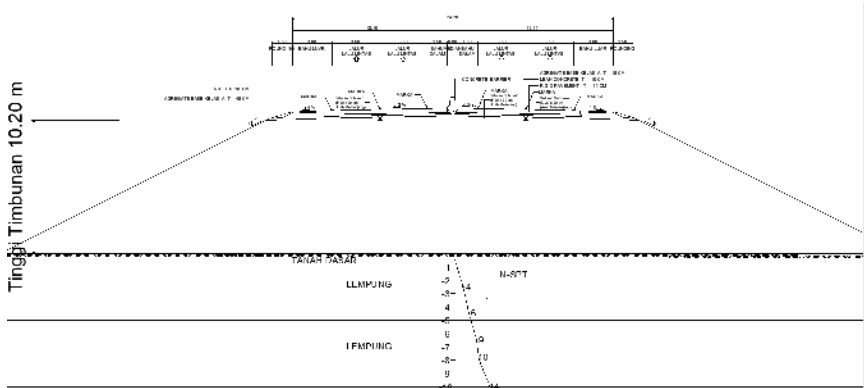
(b)

Gambar 1. 2 Desain rencana jembatan pada STA 0+334 – 0+737
jalan tol KLBM
a Tampak Atas b. Tampak Samping
(sumber: ITS Kemitraan)

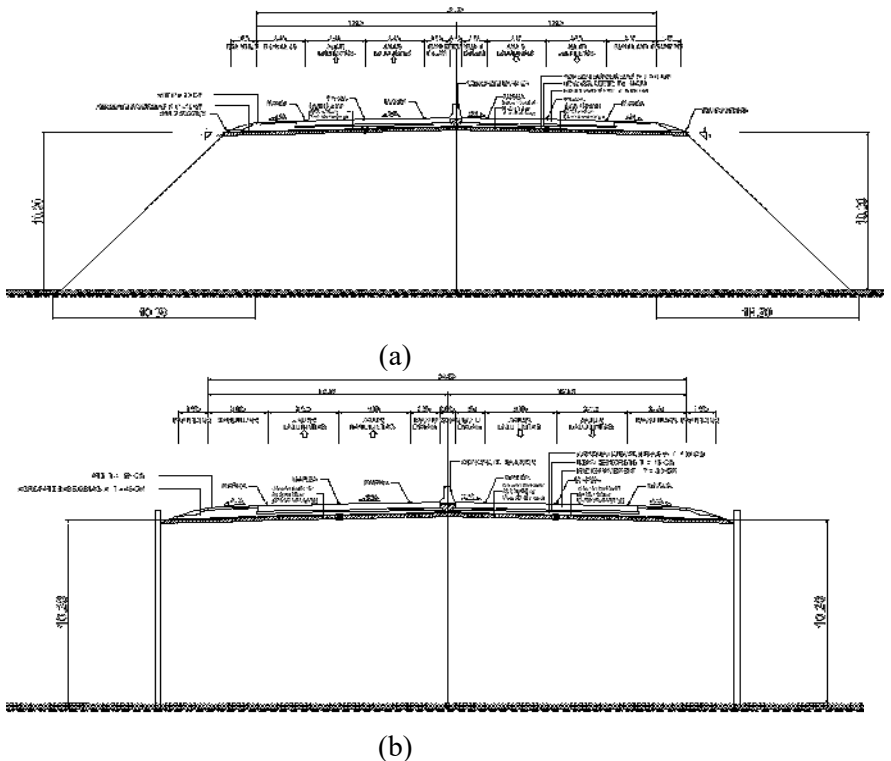
Kondisi eksisting jembatan pada STA 0+567 – 0+737 menggunakan pilar seperti terlihat pada Gambar 1.2.b. Akan tetapi pada STA 0+610 – 0+737 seperti yang diarsir, struktur pilar yang menyangga jembatan didesain ulang dan diganti dengan timbunan. Hal ini dikarenakan pada posisi tersebut di bawah jembatan tidak terlewati jalan atau saluran. Desain seperti ini diharapkan akan lebih menghemat biaya konstruksi jembatan tersebut. Berbeda

dengan STA 0+334 – 0+610, kondisi dibawah jembatan masih dilewati jalan dan saluran sehingga tidak bisa digunakan timbunan. Penimbunan yang dilakukan di sekitar abutmen jembatan untuk mendapatkan elevasi yang sama dengan jalan selanjutnya dinamakan oprit atau *approaching bridge*. Oprit Jembatan yang ditinjau pada tugas akhir ini terletak pada Sta. 0+610 sampai dengan Sta. 0+900. Oprit jembatan tersebut berupa tanah timbunan yang diletakkan di atas tanah dasar dengan ketinggian pada abutmen adalah 10,2 meter seperti pada Gambar 1.3.

Timbunan dengan tinggi 10,2 meter akan memerlukan lahan yang lebih luas untuk membuat kemiringan lereng timbunan yang landai. Hal ini akan membutuhkan biaya yang lebih besar untuk pembebasan lahannya. Pada kondisi eksisting kemiringan lereng yang digunakan adalah 1:2. Mengingat jika lereng timbunan didesain lebih landai, maka akan membutuhkan lahan yang luas. Jadi, digunakan alternatif lain dengan kemiringan lereng perbandingan 1:1 dan timbunan tegak, seperti Gambar 1.4 :

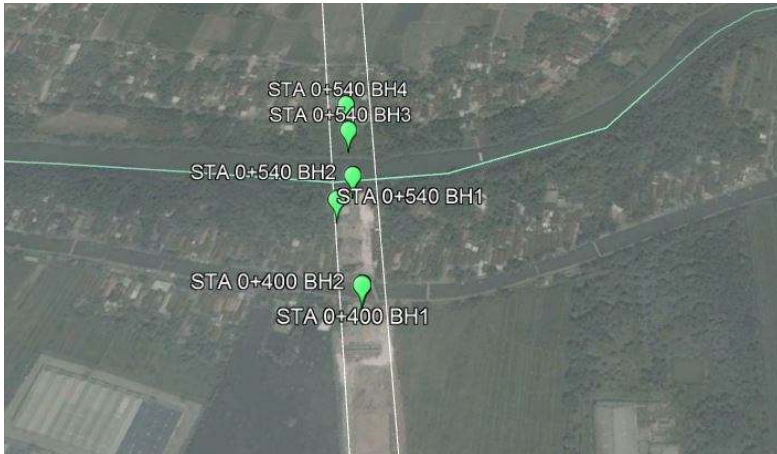


Gambar 1. 3 Potongan melintang rencana oprit jembatan pada STA 0+610
(sumber: penulis)



*Gambar 1. 4 Desain rencana kemiringan lereng timbunan
a. Perbandingan 1:1 b. Timbunan Tegak
(sumber: penulis)*

Berdasarkan data lapangan yang ada pada STA 0+540 nilai N SPT 10 berada pada kedalaman 8 meter. Untuk data laboratorium yang ada, pada STA 0+540 kedalaman 15,5 meter didapat nilai c yang sebesar $0,44 \text{ kg/cm}^2$ dan C_v sebesar $1,16 \text{ m}^2/\text{tahun}$, kedalaman 19,5 meter didapat nilai C sebesar 9 KPa dan C_v sebesar $1,9 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{detik}$, kedalaman 25,5 meter didapat C sebesar $7,5 \text{ KPa}$ dan C_v sebesar $1,7 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{detik}$. Berikut adalah rekap hasil uji laboratorium pada Tabel 1.1. dan lokasi pengambilan sampel tanah pada Gambar 1.5.



*Gambar 1. 5 Lokasi pengambilan sampel tanah
(sumber: Google Earth)*

*Tabel 1. 1 Rekap Hasil Uji Laboratorium STA 0+540
(sumber: Laboratorium Geoteknik ITS)*

Kedalaman	volumetric + gravimetric				Konsolidasi		Strength		Jenis Tanah
	Gs	e	Wc	γ	Cc	Cv	ϕ	c	
(m)			%	gr/cc		m ² /tahun	°	kg/cm ²	
15,5-16	2,670	1,06	30,23	1,680	0,17	1,166832	2	0,44	Soft clay
19,5-20	2,64	2,59	85,72	1,36	1	0,504576	2	0,09	Soft clay
25,5-26	2,650	1,18	41,15	1,720	0,23	0,599184	1	0,14	Medium silt

Melihat kondisi tanah seperti data pada Tabel 1.1, dapat diketahui bahwa tanah dominan lempung lunak hingga kedalaman 20 meter yang mempunyai daya dukung rendah, kemampuan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil. Permeabilitas tanah lunak yang kecil menyebabkan air pori sulit keluar dari dalam tanah, sehingga untuk pemampatan yang terjadi dalam waktu yang lama. Oleh sebab itu sangat perlu dilakukan perbaikan tanah yang

dapat mempercepat pemampatan. Perbaikan tanah dasar diperlukan karena pada saat jalan sudah dalam masa layan, diharapkan tidak terjadi penurunan yang dapat merusak struktur perkerasan jalan akibat *differential settlement* terutama pada oprit jembatan dengan abutmen.

Adanya pemampatan yang terjadi mengakibatkan tinggi timbunan awal selama konstruksi menjadi berkurang. Maka dari itu perlu diperhitungkan berapa besar pemampatan dan berapa tinggi timbunan yang akan digunakan pada saat konstruksi sehingga mendapatkan tinggi timbunan yang direncanakan. Selain kendala pada pemampatan, terdapat permasalahan yang lain yaitu terkait dengan stabilitas lereng timbunan sehingga diperlukan perbaikan pada tanah dasar untuk memperkuat stabilitas lereng timbunan. Apabila tidak dilakukan perbaikan pada tanah dasarnya, dikhawatirkan akan terjadi kelongsoran ke arah sungai dan ke arah sisi oprit. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini akan direncanakan perbaikan tanah dasar dan perkuatan timbunan yang bertujuan untuk menghindari kegagalan yang terjadi pada oprit jembatan. Pada tugas akhir ini digunakan metode *preloading* kombinasi *vertical drains* untuk mempercepat pemampatannya.

Perkuatan untuk lereng timbunan digunakan untuk menstabilkan kekuatan lereng agar tidak terjadi kegagalan. Pada tugas akhir ini digunakan 2 alternatif yaitu pada timbunan dengan lereng miring menggunakan *geotextile*, *stone column*, atau *geotextile* kombinasi *stone column* sedangkan pada timbunan tegak menggunakan *geogrid* kombinasi dinding segmental (*multibloks*). Alasan pemilihan metode ini adalah area timbunan cukup luas dan material timbunan mudah didapat. Selain itu proses pelaksanaan yang mudah, cepat, dan murah. Pada alternatif perkuatan timbunan dicoba dengan beberapa metode diharapkan dari metode tersebut didapatkan harga yang lebih murah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang harus diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana kondisi tanah dasar di bawah timbunan?

2. Bagaimana desain lereng timbunan (miring atau tegak) agar timbunan stabil dan efisien?
3. Berapa besar pemampatan yang terjadi akibat timbunan jalan oprit?
4. Bagaimana merencanakan *vertical drain* yang efisien untuk mempercepat pemampatan?
5. Bagaimana merencanakan perkuatan timbunan agar mampu memikul beban *preloading* apabila digunakan *geotextile*, *stone column*, atau *geotextile* kombinasi *stone column* pada lereng timbunan miring dan menggunakan *multiblocks* kombinasi *geogrid* pada lereng timbunan tegak dan perkuatan tambahan micropile pada alternatif dengan stabilitas yang tidak memenuhi?
6. Alternatif mana yang membutuhkan biaya material paling ekonomis?

1.3 Tujuan

Dari permasalahan diatas, adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi tanah dasar di bawah timbunan.
2. Merencanakan desain lereng timbunan (miring atau tegak) agar memperoleh timbunan yang stabil dan efisien.
3. Mengetahui besar pemampatan akibat timbunan jalan
4. Merencanakan *vertical drain* yang efisien untuk mempercepat pemampatan.
5. Mengetahui perencanaan perkuatan timbunan agar mampu memikul beban *preloading* dengan menggunakan *geotextile*, *stone column*, atau *geotextile* kombinasi *stone column* pada lereng timbunan miring dan menggunakan *multiblocks* kombinasi *geogrid* pada lereng timbunan tegak perkuatan tambahan micropile pada alternatif dengan stabilitas yang tidak memenuhi
6. Mengetahui alternatif dengan biaya material paling ekonomis.

1.4 Batasan Masalah

Pada penulisan Tugas Akhir ini, agar tidak terjadi kerancuan pada penyelesaian masalah, maka permasalahan dibatasi pada pokok-pokok pembahasan sebagai berikut :

1. Perbaikan tanah hanya dilakukan pada STA. 0+610 sampai dengan STA. 0+900
2. Tidak direncanakan *upperstructure* jembatan, abutmen jembatan, drainase jalan, perkerasan jalan, dan metode pelaksanaan.
3. Peninjauan tinggi timbunan dan lahan sekitarnya pada setiap jarak 50 meter.
4. Perhitungan biaya hanya sebatas biaya material dan lahan saja.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai beberapa teori yang akan digunakan sebagai acuan dalam perencanaan perkuatan tanah dasar serta tanah timbunan. Berikut adalah beberapa teori yang akan digunakan :

1. Analisa parameter tanah
2. Analisa jenis konsolidasi tanah yaitu normally consolidated dan over consolidated
3. Pemampatan tanah atau *settlement*
4. Penentuan h inisial awal dan h final untuk mengetahui nilai *safety factor*
5. Teori pvd dan *preloading*
6. Perhitungan c_u daya dukung tanah.
7. Perhitungan perkuatan tanah dengan geotekstil, geogrid, dan *Stone Column*

2.2 Parameter Tanah

2.2.1 Korelasi Parameter Tanah

Analisa parameter tanah ini bertujuan untuk mengelompokkan jenis tanah yang beragam dilapangan menjadi beberapa jenis dengan pendekatan statistik sederhana. Dasar pengelompokanya yaitu dengan cara membuat stratigrafi nilai parameter tanah dari beberapa data hasil uji lapangan.

2.2.2 Pengelompokan tanah

Pendekatan statistik yang digunakan yaitu mengambil keputusan berdasarkan besar *coefisien variasi (CV)* dari suatu distribusi nilai parameter tanah. Berikut merupakan perumusan yang dapat digunakan:

$$\text{Rata-rata} = U = \frac{\sum_{n=1}^n x}{n} \quad (2.1)$$

$$\text{Standar Deviasi} = STD = \sqrt{\frac{\sum(x-U)^2}{n}} \quad (2.2)$$

$$\text{Koefisien Variasi} = CV = \frac{STD}{U} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dimana distribusi sebaran suatu nilai dapat diterima jika harga koefisien variasi dari sebaran tersebut lebih kecil dari 30%. Jika nilai sebaran tersebut >30%, maka harus dilakukan pembagian layer kembali.

2.2.3 Penentuan parameter tanah

Analisa parameter tanah dilakukan untuk mendapatkan parameter yang akan digunakan untuk perencanaan perbaikan tanah. Metode yang digunakan adalah cara statistik dengan selang kepercayaan yang baik, yaitu selang yang pendek dengan derajat kepercayaan yang tinggi, oleh karena itu digunakan selang kepercayaan 90%.

Bentuk umum selang kepercayaan adalah Batas Bawah < (Parameter tanah) < Batas Atas. Dengan menggunakan „probabilitas t“ dan „probabilitas z“ yaitu :

- Probabilitas t digunakan apabila $n < 30$

$$\dot{x} - t \left(db: \frac{\alpha}{2} \right) \frac{s}{\sqrt{n}} < (\mu) < \dot{x} + t \left(db: \frac{\alpha}{2} \right) \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.4)$$

- Probabilitas z digunakan apabila $n > 30$

$$\dot{x} - z \left(\frac{\alpha}{2} \right) \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < (\mu) < \dot{x} + z \left(\frac{\alpha}{2} \right) \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.5)$$

Dimana :

\dot{x} = rata-rata

db = derajat kebebasan

α = tingkat kesalahan

s = standar deviasi

n = jumlah data

(μ) = nilai parameter tanah

Tabel 2. 1 Nilai Probabilitas (t)

db	α				
	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	3.078	6.3141	12.706	31.821	63.656
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704

Tabel 2.1 Nilai Probabilitas (Lanjutan)

db	α				
	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
50	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678
100	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	12.82	1.645	1.960	2.326	2.576

Nilai parameter tanah yang belum diketahui dapat dicari dengan menggunakan korelasi. Seperti korelasi nilai γ dapat menggunakan tabel korelasi N-SPT (J.E. Bowles, 1984) pada Tabel 2.2. Nilai e , C_v , dan W_c menggunakan nilai-nilai numerik parameter tanah (Biarez & Favre) pada Tabel 2.3. Sedangkan C_c menggunakan rumus empiris terhadap *water content* (Das, 1985) seperti pada persamaan 2.6 berikut:

$$C_c = 0,009 \times (W_c - 10) \quad (2.6)$$

Dimana:

C_c = Koefisien Konsolidasi

W_c = Kadar air (%)

Tabel 2. 2 Korelasi N-SPT
(Sumber: J.E. Bowles, 1984)

	<i>Cohesionless Soil/Sol Pulvérulent</i>				
	0 – 3	4 – 10	11 – 30	31 – 50	> 50
N (blows)	0 – 3	4 – 10	11 – 30	31 – 50	> 50
γ (KN/m ³)	-	12 – 16	14 – 18	16 – 20	18 – 23
\emptyset (°)	-	25 – 32	28 – 36	30 – 40	> 35
State	<i>Very Loose</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>
Dr (%)	0 - 15	15 - 35	35 - 65	65 - 85	85 - 100
	<i>Cohesive Soil/Sol Cohérent</i>				
	< 4	4 – 6	6 – 15	16 – 25	> 25
N (blows)	< 4	4 – 6	6 – 15	16 – 25	> 25
γ (KN/m ³)	14 – 18	16 – 18	16 – 18	16 – 20	> 20
q_u (kPa)	< 25	20 – 50	30 – 60	40 – 200	> 100
Consistency	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

Tabel 2. 3 Nilai Numerik Parameter Tanah Untuk $G_s=2,7$
(Biarez & Favre)
(Sumber:Herman Wahjudi, 2012)

Tabel 1.2. Nilai-nilai numerik parameter tanah untuk $G_s = 2,70$ (Biarez & Favre)

Sifat tanah		γ_s		e	n	W_{ur}		K			C_c		σ		$m_v - 1/E$	
		g/cm ³	lb cb ft			%	g/cm ³	cm/s	ft/year	lugcon	cm ² /s	ft ² /year	bars	psi	cm ² /kg	ft ² /ton
Silt, Clay	↑ lunak	0,5	31,25	4,40	0,80	163,0	1,31	10 ¹⁰	1,03 x 10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ³		0,01	0,142	100	97,6
		0,6	37,50	3,50	0,78	129,60	1,38						0,05	0,71	20	19,5
		0,7	43,75	2,86	0,74	105,8	1,44	10 ⁸	1,03 x 10 ⁻²	10 ⁻³	1 x 10 ⁻⁴	3,4				
		0,8	50,00	2,38	0,70	88,0	1,50				2 x 10 ⁻⁴	6,8	0,1	1,42	10	9,76
		0,9	56,25	2,00	0,67	74,1	1,57	10 ⁻⁷	1,03 x 10 ⁻¹	10 ⁻²	3 x 10 ⁻⁴	10,1	0,5	7,05	2	1,95
	↕ rata-rata	1,0	62,50	1,70	0,63	63,0	1,63	1 x 10 ⁶	1,03	10 ⁻¹	4 x 10 ⁻⁴	11,1	1	14,2	1	0,976
		1,1	68,75	1,45	0,59	53,9	1,69	2 x 10 ⁶	2,06		5 x 10 ⁻⁴	16,9	2	28,4	0,5	0,488
		1,2	75,00	1,25	0,56	46,3	1,76	3 x 10 ⁶	3,10		6 x 10 ⁻⁴	20,3	3	42,6	0,33	0,325
		1,3	81,25	1,08	0,52	39,9	1,82	4 x 10 ⁶	4,13		7 x 10 ⁻⁴	23,6	4	56,9	0,25	0,244
		1,4	87,50	0,93	0,48	34,4	1,88	5 x 10 ⁶	5,17		8 x 10 ⁻⁴	27,0	5	71,0	0,20	0,195
Gravel, Sand	↑ sand	1,5	93,75	0,80	0,44	29,6	1,94	6 x 10 ⁶	6,20		10 ³	33,8 x 10 ¹	6	85,3	0,17	0,163
		1,6	100,00	0,69	0,41	25,5	2,04	7 x 10 ⁶	7,24				7	99,5	0,14	0,144
		1,7	106,25	0,59	0,37	21,8	2,07	8 x 10 ⁶	8,26				8	113	0,12	0,122
		1,8	112,50	0,50	0,33	18,5	2,13	9 x 10 ⁶	9,30		10 ⁻²	33,8 x 10 ²	9	127	0,11	0,111
		1,9	118,75	0,42	0,30	15,6	2,20	10 ⁻¹	10,33	1			10	142	0,10	0,0976
	↓ gravel	2,0	125,00	0,35	0,26	13,0	2,26	10 ⁻⁴	1,03 x 10 ³	10	10 ⁻¹	33,8 x 10 ³	11	156	0,091	0,0887
		2,1	131,25	0,29	0,22	10,6	2,32	10 ⁻³	1,03 x 10 ³	100			12	170	0,083	0,0815
		2,2	137,50	0,23	0,19	8,4	2,39	10 ⁻²	1,03 x 10 ³	1000			13	185	0,077	0,075
		2,3	143,75	0,17	0,15	6,4	2,45	10 ⁻¹	1,03 x 10 ³	10000			14	199	0,073	0,07
		2,4	150,00	0,13	0,11	4,63	2,51						15	213	0,064	0,065
2,5	156,25	0,080	0,074	2,96	2,57						20	284	0,050	0,0488		
2,6	162,50	0,038	0,037	1,42	2,64						50	710	0,020	0,0195		
2,7	168,75	0,000	0,000	0,00	2,70						100	1420	0,010	9,76 x 10 ⁻³		
											500	7100	0,002	1,95 x 10 ⁻¹		
											1000	14200	0,001	9,76 x 10 ⁻²		

Catatan : 100 kPa = 100 kN/m² = 1 bar = 1,02 kg/cm²

2.3 Analisa Jenis Konsolidasi Tanah

Jenis konsolidasi tanah tersebut adalah sebagai berikut :

1. Normally Consolidated

Terkonsolidasi secara normal adalah dimana tegangan efektif overbuden saat ini merupakan tegangan maksimum yang pernah dialami oleh tanah selama dia ada. Tanah terkonsolidasi secara normal memiliki nilai OCR (*Over Consolidated Ratio*) adalah 1. Rumus menentukan OCR adalah sebagai berikut :

$$OCR = \frac{\sigma_c'}{\sigma_o'} \tag{2.7}$$

Bila harga :

-OCR = 1 = Tanah terkonsolidasi normal (Normally Consolidated/NC Soil)

-OCR > 1 = Tanah Terkonsolidasi Lebih (Over Consolidated/OC Soil)

Dimana nilai $\sigma_c'(pc')$ dan $\sigma_o'(po')$ adalah Tegangan overbuden efektif:

$$\sigma_o' = \gamma'' h \quad (2.8)$$

$$\sigma_c' = \sigma_o' + \Delta p' \quad (2.9)$$

Dimana :

σ_o' = tegangan akibat berat efektif tanah diatas bidang/titik sampel tanah diambil

γ'' = Berat Volume Tanah Efektif

h = Kedalaman titik sampel tanah yang diambil

2. Over Consolidated

Over Consolidated adalah dimana tegangan efektif *overbuden* saat ini lebih kecil daripada tegangan yang pernah dialami oleh tanah tersebut. Tegangan efektif *overbuden* maksimum yang pernah dialami sebelumnya dinamakan tegangan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure*).

2.4 Settlement

Penurunan tanah (*Settlement*) merupakan hasil dari penurunan bahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah. Suatu tanah di lapangan pada suatu kedalaman tertentu telah mengalami “tekanan efektif maksimum akibat berat tanah di atasnya” (*maximum effective overbuden pressure*) dalam sejarah geologisnya. Tekanan efektif *overbuden* ini memiliki kemungkinan sama dengan atau lebih kecil dari tekanan *overbuden* yang ada pada saat pengambilan contoh tanah. Pada *settlement* terdapat *normally consolidated* dan *over consolidated*. Untuk terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*) dimana tekanan efektif *overbuden* pada saat ini adalah merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah itu. Sehingga untuk (NC Soil) dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

$$S_c = \frac{C_s.H}{1+e_0} \log \frac{p'_{o+\Delta p}}{p'_{o}} \quad (2.9)$$

Terlalu terkonsolidasi (*overconsolidated*), dimana tekanan efektif *overbuden* pada saat ini adalah lebih kecil dari tekanan yang pernah dialami oleh tanah itu sebelumnya. Tekanan yang pernah dialami sebelumnya disebut dengan tekanan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure*). Persamaan dapat dibuat sebagai berikut :

- a. Apabila, $p_o + \Delta p \leq p_c$:

$$S_c = \frac{C_c.H}{1+e_0} \log \frac{p'_{o+\Delta p}}{p'_{o}} \quad (2.10)$$

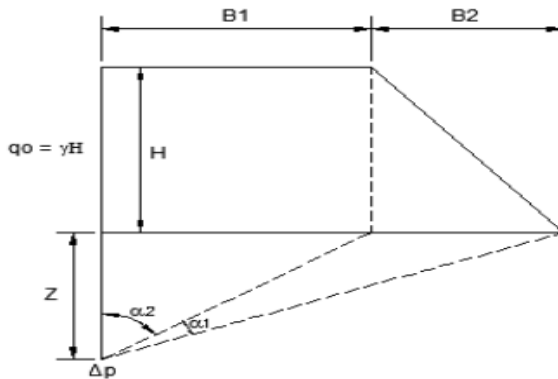
- b. Sedangkan bila, $p_o + \Delta p > p_c$:

$$S_c = \frac{C_s.H}{1+e_0} \log \frac{p_c}{p'_{o}} + \frac{C_c.H}{1+e_0} \log \left(\frac{p'_{o+\Delta p}}{p_c} \right) \quad (2.11)$$

Dimana :

- S_c : pemampatan konsolidasi
- H : tebal lapisan tanah(compressible soil)
- e_0 : angka pori awal dari lapisan tanah
- C_c : *Compression Index* dari lapisan tanah
- C_s : *Swelling Index* dari lapisan tanah
- P'_{o} : Tekanan tanah vertikal efektif di suatu titik di tengah-tengah lapisan tanah akibat beban tanah sendiri di atas titik tersebut.
- P_c : Effective past overbuden pressure, tegangan konsolidasi efektif dimasa lampau yang lebih besar dari P_o
- Δp : Penambahan beban vertikal pada lapisan yang ditinjau akibat beban timbunan

Menurut Braja M. Das (1985), dalam bukunya "*Principles of Foundation Engineering, Second Edition*" diagram tegangan tanah akibat timbunan seperti pada Gambar 2.1 sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Distribusi tegangan vertikal dalam tanah
(Sumber : DAS, 1990)

Dimana :

q_0 = Beban timbunan (t/m^2) , $q_0 = \gamma_{\text{timbunan}} \times H$
timbunan

$$\Delta P = q_0 / 180 [\{ (B_1 + B_2) / B_2 \} (\alpha_1 + \alpha_2) - B_1 / B_2 (\alpha_2)] \quad (2.12)$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} [\{ \frac{B_1 + B_2}{Z} \}] - \tan^{-1} (\frac{B_1}{Z}) \quad (\text{rad}) \quad (2.13)$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} (\frac{B_1}{Z}) \quad (\text{rad}) \quad (2.14)$$

Dimana :

B_1 = $\frac{1}{2}$ dari lebar timbunan (m)

B_2 = panjang proyeksi horisontal kemiringan timbunan (m)

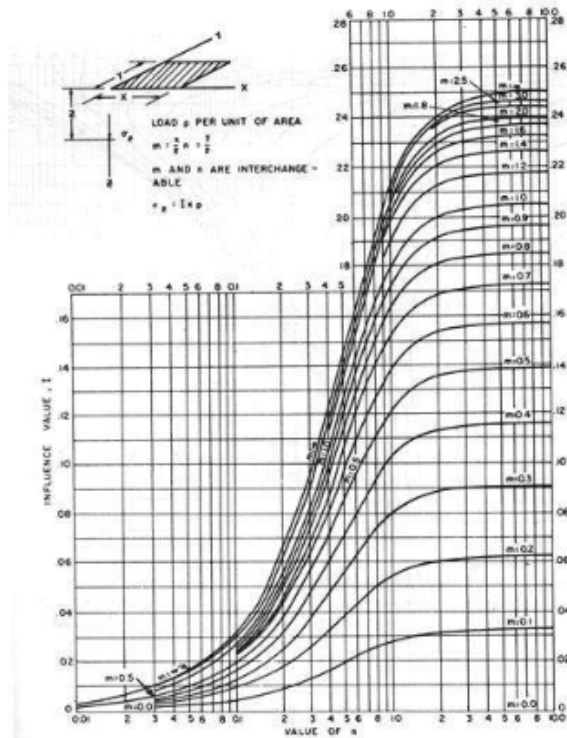
Karena ΔP ditengah-tengah nilai dari lebar timbunan, maka untuk timbunan yang simetris nilai ΔP yang diperoleh harus dikalikan 2. Penentuan ΔP juga dapat digunakan dengan persamaan berikut:

$$\Delta P = I \times q \quad (2.15)$$

Dimana:

q = tegangan vertikal efektif di permukaan tanah akibat beban

I = faktor pengaruh yang diperoleh dari grafik pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Grafik penentuan faktor pengaruh beban segiempat
(Sumber : NAVFAC DM-7, 1970)

2.4.1 Waktu Penurunan Tanah

a. Lamanya Penurunan Tanah

Dari perumusan-perumusan Terzaghi dalam Das (1998) lama waktu konsolidasi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$t = \frac{T_v \times H d r^2}{c_v} \quad (2.16)$$

Dimana :

t : Lamanya waktu konsolidasi

T_v : Faktor waktu terhadap derajat konsolidasi (tabel)

- C_v : Koefisien konsolidasi vertikal (cm^2/s)
 H_{dr} : Panjang aliran air pori dalam tanah. Pada perumusanya hal ini dibedakan menjadi dua jenis, dimana arah aliran air pori satu arah (ke atas atau ke bawah)
 $\frac{1}{2} H_{dr}$: dimana arah aliran air pori dua arah (ke atas dan ke bawah)

c. Parameter Tanah untuk Lamanya Penurunan Konsolidasi

1. Faktor Waktu

Merupakan fungsi dari derajat konsolidasi rata-rata ($U\%$) dimana tegangan air pori (U_0) adalah sama untuk seluruh keadaan lapisan yang mengalami konsolidasi. Dalam Das (1988), hal ini dapat dinyatakan dengan suatu hubungan yang sederhana :

Untuk $U = 0$ sampai 60%

$$T_v : \frac{\pi}{4} \left(\frac{u\%}{100} \right)^2 \quad (2.17)$$

Untuk $U > 60\%$

$$T_v : 1,781 - 0,933 \log(100 - U\%) \quad (2.18)$$

Dari perumusan tersebut, Das (1998) menyajikannya dalam tabel berupa variasi faktor waktu terhadap derajat konsolidasi untuk seluruh kedalaman lapisan pada Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2. 4 Derajat Konsolidasi dan Faktor Waktu
(Sumber: Das, 1988)

Derajat Konsolidasi U%	Faktor waktu (Tv)
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848
100	∞

2. Koefisien Konsolidasi Vertikal (Cv)

Untuk jenis tanah yang beraneka ragam atau dapat dikatakan heterogen, yang memiliki jenis tanah dan nilai Cv yang berbeda antar lapisannya harus diperhitungkan koefisien rata-ratanya. Menurut ABSI (1965) dalam Wahyudi (1997), hal ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Cv \text{ gabungan} = \frac{(\sum h_i)^2}{\sum \left(\frac{h_i}{\sqrt{c_{vi}}}\right)^2} \quad (2.19)$$

Dimana :

Hi : tebal lapisan i

Cvi : harga Cv pada lapisan i

2.5 Daya Dukung

Dalam aplikasi di lapangan, timbunan tidak dapat langsung ditumpuk setinggi tinggi timbunan yang direncanakan. Penumpukan timbunan dilakukan secara bertahap tiap 25 cm agar proses pemadatan dapat dilakukan dengan maksimal. Karena tanah dasar yang digunakan adalah tanah dasar lunak, daya dukung tanah untuk menahan beban timbunan pun juga tidak besar. Ketinggian kritis timbunan menjadi faktor utama dalam menentukan berapakah tinggi timbunan yang dapat saya tumpuk dalam satu

waktu. Ketika daya dukung tanah dasar sudah tidak dapat lagi menahan beban timbunan di atasnya, dibutuhkan waktu tunggu untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar. Hal ini dapat terjadi karena pemampatan yang terjadi dalam tanah dasar mulai terjadi. Terjadinya pemampatan tanah dasar mengakibatkan naiknya daya dukung tanah dikarenakan tanah dasar yang semula lunak dan memiliki pori-pori air yang cukup besar lama-kelamaan menjadi kecil. Perhitungan tinggi kritis dan peningkatan daya dukung tanah dapat dilihat di persamaan bawah ini.

Untuk $PI < 120\%$:

$$C_u \text{ (kg / cm}^2\text{)} = 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 \cdot PI) \cdot \sigma'_p \quad (2.20)$$

Untuk $PI > 120\%$:

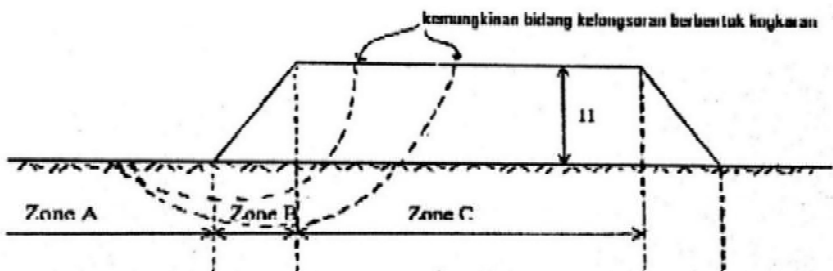
$$C_u \text{ (kg / cm}^2\text{)} = 0,0737 + (0,0454 - 0,00006 \cdot PI) \cdot \sigma'_p \quad (2.21)$$

Dimana :

$PI = \text{Plasticity Index}$

$\sigma'_p = \text{penambahan tegangan total (kg/cm}^2\text{)}$

Pembagian zona oleh adanya peningkatan harga C_u untuk diperiksa kestabilan pada $dxstable$ adalah berdasarkan pada Gambar 2.3 sebagai berikut :



Gambar 2. 3 Pembagian zona kekuatan tanah
(Sumber : Mochtar, 2012)

Berbeda untuk timbunan dengan “*berm*” sebagai “*counterweight*” dapat digunakan asumsi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 sebagai berikut :



Gambar 2. 4 Pembagian zona Cu baru timbunan jalan dengan “*berm*” sebagai “*counterweight*”

Sumber : Mochtar, 2012.

Berdasarkan Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 dapat dijelaskan sebagai berikut :

Zona A = Tanah dalam kondisi masih asli ; $C_u = C_u \text{ asli..}$

Zona B = Zona Transisi ; $C_u \text{ di B} = (C_u \text{ di A} + C_u \text{ di C})/2.$

Zona C = Tanah terkonsolidasi timbunan H ; nilai C di bandingkan antara C_u lama dan baru.

2.6 Perencanaan Tinggi Timbunan (H inisial dan H akhir)

Tinggi timbunan pada saat pelaksanaan biasanya tidak sama dengan timbunan yang direncanakan. Tinggi timbunan pada saat pelaksanaan harus lebih tinggi dari tinggi rencana dikarenakan adanya penambahan untuk tinggi yang hilang akibat adanya penurunan tanah dasar yang disebabkan oleh berat timbunan itu sendiri. Terdapat 3 jenis tinggi timbunan pada perencanaan yaitu tinggi timbunan rencana (H), tinggi timbunan pelaksanaan (H inisial) dan tinggi timbunan kritis (Hr).

Berikut adalah rumus-rumus yang digunakan untuk menentukan :

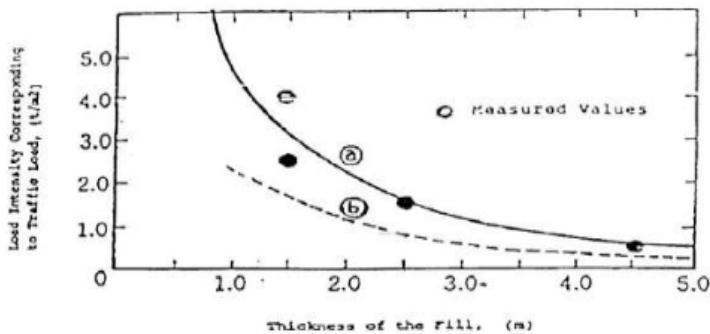
$$H_{Final} = H_{inisial} - S_{c_{timbunan}} - H_{bongkar\ traffic} + \text{tebal pavement} - S_{c_{pavement}} \quad (2.22)$$

$$H_{inisial} = \frac{Q + (S_c q + H_w) \times Y_w}{Y_{timbunan}} \quad (2.23)$$

Dimana :

- S_c : Besar konsolidasi yang terjadi (m)
- H : tinggi timbunan rencana (m)
- H_R : tinggi pelaksanaan (variasi)
- Y_w : Berat volume air (ton/m³)
- $Y_{timbunan}$: Berat volume tanah timbunan (ton/m³)
- Q : Beban yang terjadi (ton/m²)
- H_w : Tinggi muka air (m)
- $H_{bongkar\ traffic}$: Tinggi timbunan akibat beban traffic yg dibongkar
- $H_{inisial}$: Tinggi timbunan pelaksanaan/awal
- $H_{akhir/final}$: Tinggi timbunan pelaksanaan yang sudah berkurang akibat *Settlement*

Untuk mencari beban traffic menggunakan grafik pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2. 5 Grafik hubungan antara tinggi timbunan dan beban traffic

(Sumber: Mochtar, 2000)

2.7 Teori PVD

PVD atau singkatan dari (*Prefabricated Vertical Drain*) adalah salah satu cara untuk mempercepat waktu penurunan tanah dimana tanah lempung lunak memiliki permeabilitas yang rendah sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk menyelesaikan waktu konsolidasi. PVD dapat dikombinasikan dengan *preloading*. *Vertical drain* yang merupakan jalur/saluran drainase buatan yang vertikal yang dimasukkan kedalam lapisan lempung. Dengan kombinasi *preloading* yang dimana terdapat pembebanan di atasnya, air pori diperas keluar selama konsolidasi dan mengalir lebih cepat pada arah horizontal dan arah vertikal. Selanjutnya, air pori tersebut mengalir sepanjang jalur drainase vertikal yang telah diinstalasi. Oleh karena itu, vertikal drain dengan kombinasi *preloading* akan memperpendek jalur drainase, mempercepat proses konsolidasi dan sekaligus meningkatkan kekuatan geser pada tanah.

2.7.1 Metode Percepatan Pemampatan dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*)

Untuk mempercepat terjadinya *settlement* perlu adanya pengurangan panjang jalur air pori. Ini dapat dilakukan dengan memasang *Prefabricated Vertical Drain* di dalam tanah pada jarak tertentu dengan formasi segitiga atau segiempat. Penentuan waktu konsolidasi didasarkan pada teori aliran air vertikal di dalam kolom pasir.

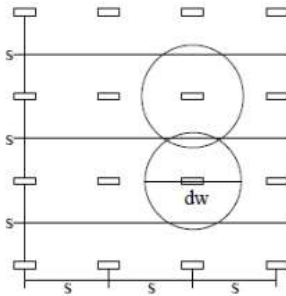
2.7.2 Menentukan Kedalaman PVD

Besarnya kedalaman PVD terpasang yang diperlukan adalah sedalam kedalaman lapisan tanah yang terkonsolidasi *compressible* biasanya dengan nilai SPT 0-10 atau tanah sedang.

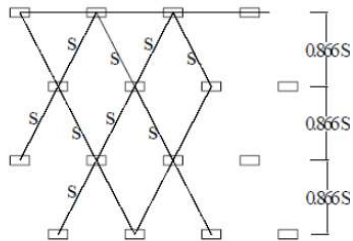
2.7.3 Menentukan Pola dan Jarak Pemasangan PVD

Pada perencanaan pemasangan PVD ada dua macam pola yang digunakan yaitu pola segitiga dan pola bujur sangkar. Dari masing-masing pola memiliki nilai jarak pemasangan selebar

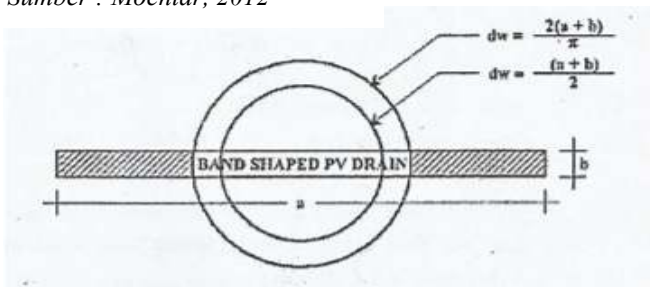
0.5 m, 1 m, 1,25 m, 1,5 m, 1,75 m dan 2 m. Pola dan jarak ditentukan untuk menentukan pola dan jarak mana yang lebih efektif dan efisien dari segi waktu dan biaya pelaksanaan. Berikut contoh pola pemasangan PVD:



Gambar 2. 7 Pola bujur sangkar
 Sumber : Mochtar, 2012



Gambar 2. 6 Pola segitiga
 Sumber : Mochtar, 2012



Gambar 2. 8 Diameter lingkaran ekuivalen PVD
 (Sumber : Mochtar, 2012)

2.7.5 Menentukan Nilai Fungsi Penghambat F(n)

Fungsi F(n) merupakan fungsi hambatan akibat jarak antara titik pusat PVD, oleh Hansbo (1979) dalam Mochtar (2012) harga F(n) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - (1)^2} \right) \left[\ln(n) - \left(\frac{3n^2 - 1}{4(n)^2} \right) \right] \quad (2.24)$$

Atau

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - (1)^2} \right) \left[\ln(n) - \left(\frac{3}{4} \right) - \left(\frac{1}{4(n)^2} \right) \right] \quad (2.25)$$

Dimana :

n : D/dw

dw : diameter ekivalen dari *vertical drain* (ekivalen terhadap bentuk lingkaran)

Hansbo (1979) dalam Mochtar (2012) menentukan waktu konsolidasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T = \frac{D^2}{8ch} \times (F(n) + Fs + Fr) \cdot \ln\left(\frac{1}{1-U_h}\right) \quad (2.26)$$

Dimana:

t : waktu yang diperlukan untuk mencapai U_h

D : diameter ekivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari vertikal drain : $1.13 \times S$, untuk pola susunan bujursangkar, dan

: $1.05 \times S$, untuk pola segitiga

S : jarak antar titik pusat PVD

Ch : koefisien konsolidasi tanah untuk drainase horisontal = $(kh/kv) \cdot Cv$

kh/kv : perbandingan antara koefisien permeabilitas tanah arah horisontal dan vertikal, untuk tanah lempung yang jenuh air, harga (kh/kv) berkisar antara 3 sampai 5.

$F(n)$: faktor hambatan disebabkan karena jarak antar PVD

Fr : faktor hambatan akibat gangguan pada PVD sendiri

Fs : faktor hambatan tanah yang terganggu (disturbe)

U_h : derajat konsolidasi akibat aliran air arah horizontal

Harga Fr merupakan faktor tahanan akibat adanya gangguan pada PVD sendiri dan dirumuskan sebagai berikut :

$$Fr = \Phi \cdot Z \cdot (L-Z) \cdot \left(\frac{K_h}{Q_w} \right) \quad (2.27)$$

Dimana :

Z : Kedalaman titik yang ditinjau pada PVD terhadap permukaan tanah

L : Panjang Aliran

K_h : Koefisien permeabilitas arah horisontal dalam tanah yang tidak terganggu

Q_w : *Discharge capacity* dari drain (tergantung jenis PVD nya)

F_s merupakan faktor yang disebabkan oleh ada tidaknya perubahan pada tanah disekitar PVD akibat pemancangan PVD tersebut. Faktor ini memasukan pengaruh "*disturbance*" (gangguan) terhadap tanah karena pemancangan tersebut. F_s dapat dirumuskan sebagai berikut : (Hansbo, 1979 dalam Mochtar 2012).

$$F_s = \left(\frac{K_h}{K_s} - 1 \right) \ln \left(\frac{d_s}{d_w} \right) \quad (2.28)$$

Dimana :

K_s = koefisien permeabilitas arah horisontal pada tanah sudah terganggu

d_s = diameter daerah yang terganggu sekeliling *vertikal drain*

d_w = diameter lingkaran ekuivalen untuk PVD

Berdasarkan Mochtar (2012) adanya faktor F_s dan Fr cenderung memperlambat kecepatan konsolidasi. Dari penyelidikan diketahui bahwa faktor paling penting adalah $F(n)$. Bsarnya F_s dapat lebih besar sedikit atau mendekati $F(n)$, tergantung dari kerusakan tanah akibat adanya pemancangan PVD. Fr tidak begitu penting sehingga dianggap nol.

Dengan memasukkan asumsi tersebut maka diperoleh persamaan waktu konsolidasi sebagai berikut :

$$t = \frac{D^2}{8ch} \times (2(F(n)) \cdot \ln\left(\frac{1}{1-U_h}\right)) \quad (2.29)$$

Dimana:

- t : waktu yang diperlukan untuk mencapai U_h
- D : diameter ekivalen dai lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari vertikal drain
- Ch : koefisien konsolidasi tanah akibat aliran pori arah horisontal
- F(n) : Faktor hambatan disebabkan jarak antar PVD
- U_h : derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah horisontal

2.7.6 Menentukan derajat konsolidasi horizontal (U_h)

Dalam menentukan derajat konsolidasi horizontal, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$U_h = \left[1 - \left(\frac{1}{e^{\frac{t \times 8 \times ch}{d^2 \times 2 \times F(n)}}} \right) \right] \quad (2.30)$$

Dimana :

- t : Waktu konsolidasi
- Ch : koefisien konsolidasi horizontal (nilai Ch diambil 2-5cv)
- D : Diameter
- F (n) : Faktor penghambat

2.7.7 Menentukan derajat konsolidasi Vertikal (U_v)

Dalam menentukan derajat konsolidasi vertikal , dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$U_v = 2 \times \left(\frac{T_v}{3.14} \right)^{0.5} \quad (2.31)$$

Dimana :

- T_v : Faktor Waktu Konsolidasi

2.7.8 Menentukan derajat konsolidasi total (Utot)

Dalam menentukan derajat konsolidasi total , dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$U_{tot} : (1-(1-U_h)(1-U_v)) \times 100\% \quad (2.32)$$

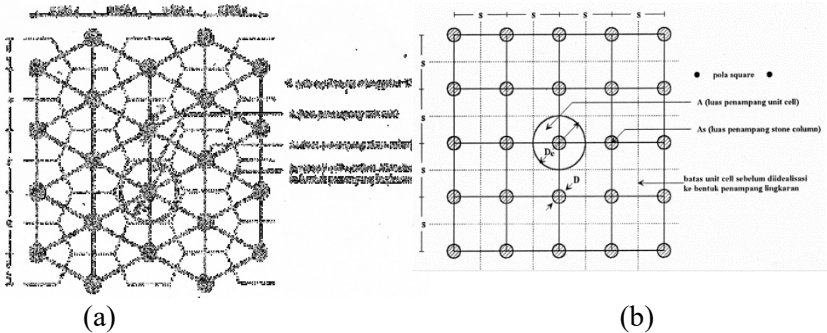
2.8 Teori Stone Column

Perencanaan *stone column* meliputi perencanaan diameter, jarak, dan panjang *stone column*. Perencanaan tersebut dikontrol terhadap kapasitas daya dukung batas *stone column* sebagai tunggal dan group, overall stability terhadap sliding, serta settlement yang terjadi setelah dipasang *stone column*. Di dalam perencanaan *stone column* banyak hal-hal yang harus dipertimbangkan, antara lain :

1. Diameter *stone column* dan konsep unit cell:

Stone column direncanakan sebagai suatu silinder dengan penampang berbentuk lingkaran. Diameter *stone column* menentukan besarnya area replacement ratio dan besarnya distribusi tegangan pada tanah. Perencanaan diameter *stone column* tergantung dari tipe tanah yang diperbaiki, beban yang harus didukung tanah, dan pola pemasangannya. Untuk mempermudah perhitungan, suatu *stone column* dan tanah lunak disekelilingnya akan diisolasi dari *stone column* grub. *Stone column* dan tanah lunak disekelilingnya tersebut disebut sebagai unit cell. Pola pemasangan *stone column* akan mempengaruhi bentuk unit cell dimana pola pemasangannya dibedakan menjadi dua pola, yaitu pola segitiga dan pola bujur sangkar. Pola pemasangan segitiga akan memberikan bentuk segienam pada penampang unit cell, dan pola bujur sangkar akan memberikan bentuk bujur sangkar. Kedua bentuk penampang tersebut dapat didekati dengan bentuk lingkaran yang mempunyai diameter D_w (diameter equivalen). Untuk pola segitiga, $D_w = 1.05s$ dan untuk

pola bujur sangkar $D_w = 1.13s$, dimana s adalah jarak antar *stone column*.



Gambar 2. 9 pola pemasangan *stone column*
 a. Pola segitiga b. Pola segi empat
 (sumber: Mochtar 2012)

2. Panjang dan jarak *stone column*

Panjang *stone column* yang direncanakan diukur dari muka tanah asli sampai dengan batas bawah perencanaan. Jarak *stone column* adalah jarak antar pusat penampang. Dengan demikian suatu kelompok *stone column* mempunyai dua arah spacing, yaitu arah x dan arah y yang besarnya sama. Selain itu spacing juga akan mempengaruhi besarnya pengurangan settlement *stone column* dan tanah disekelilingnya.

3. Area replacement ratio

Area replacement ratio adalah perbandingan antara luas penampang *stone column* dengan luas tanah lunak di sekelilingnya. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$as = \frac{As}{A} \text{ atau } as = C_1 \left(\frac{D}{s}\right)^2 \quad (2.33)$$

$$ac = \frac{Ac}{A} = 1-as \quad (2.34)$$

Dimana :

a_s = Area replacement ratio *stone column*

a_c = Area replacement ratio tanah lunak

A_s = Luas penampang *stone column*

A_c = Luas penampang tanah lunak dalam 1 unit cell

A = Luas penampang total 1 unit cell

D = Diameter *stone column*

S = spacing antar *stone column*

C_1 = konstanta yang tergantung pada pola penyusunan *stone column*, Pola segitiga $C_1 = 0.907$, dan pola bujur sangkar $C_1 = \pi/4$

4. Konsentrasi tegangan

Pada saat beban embankment bekerja pada tanah, konsentrasi tegangan yang lebih besar terjadi pada *stone column* dan pengurangan tegangan terjadi pada tanah disekitarnya. Faktor konsentrasi tegangan, n , adalah perbandingan tegangan antara tegangan pada *stone column* dan tegangan pada tanah sekutarnya.

$$n = \sigma_s / \sigma_c \quad (2.35)$$

dimana :

σ_s = tegangan pada *stone column*

σ_c = tegangan tanah disekitar *stone column*

Berdasarkan kesembangan gaya-gaya vertikal yang ada sepanjang unit cell, maka tegangan rata-rata yang bekerja pada unit cell adalah fungsi dari area replacement ratio (a_s).

$$\sigma = \sigma_s \cdot a_s + \sigma_c \cdot (1 - a_s) \quad (2.36)$$

Dengan menggunakan diatas, tegangan yang bekerja pada *stone column* dan tegangan yang bekerja pada tanah lunak disekelilingnya dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\sigma_c = \sigma / (1 + (n-1) \cdot a_s) = \mu c \cdot \sigma \quad (2.37)$$

$$\begin{aligned}\sigma_s &= n / (1+(n-1) \cdot a_s) = \mu_s \cdot \sigma & (2.38) \\ \mu_c &= 1 / (1+(n-1) \cdot a_c) \\ \mu_s &= n / (1+(n-1) \cdot a_s)\end{aligned}$$

dimana :

n = faktor konsentrasi tegangan

a_s = area replacement ratio

σ = tegangan rata-rata di atas unit cell akibat beban luar

σ_s = tegangan pada stone column akibat beban luar

σ_c = tegangan pada tanah lunak disekeliling *stone column* akibat beban luar

μ_c = ratio tegangan pada tanah lunak

μ_s = ratio tegangan pada *stone column*

5. Daya dukung *stone column* tunggal

Untuk mendapatkan daya dukung *stone column* tunggal dirumuskan sebagai berikut:

$$q_{ult} = \sigma_3 K_p = \left(\sigma_{ro} + c_u \left(1 + \ln \frac{E_c}{2c_u(1+\nu)} \right) \right) \left(\frac{1 + \sin \phi_s}{1 - \sin \phi_s} \right) \quad (2.39)$$

Dimana :

σ_3 = Tegangan perlawanan pasir.

σ_{ro} = Tegangan total horisontal lapangan (awal)

E_c = Modulus Elastisitas tanah,

c_u = Kekuatan geser undrained,

ν = Angka poisson tanah,

K_o = Koefisien tegangan horisontal "at rest".

γ_c = Berat volume tanah lunak, dan

K_p = tekanan pasif tanah pada *stone column*.

6. Daya dukung *stone column* group

Daya dukung *stone column* grup sangat dipengaruhi oleh tegangan pasif horisontal dari tanah disekitar kelompok *stone column*, σ_3 , undrained shear strenght blok komposit, C_{avg}

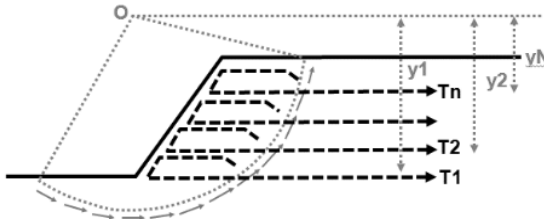
dan koefisien tekanan tanah ke samping pasif untuk blok komposit, $K_p(\text{kom})$. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q_{ult} = \sigma_3 \cdot tg^2 \beta + 2 \cdot c_{komp} \cdot tg \beta \quad (2.40)$$

2.8 Perkuatan Tanah Dengan Geotekstil

Timbunan yang diperkuat dengan geotekstil dapat memberikan penghematan yang signifikan dibandingkan dengan metode konvensional. Geotekstil berperan sebagai perkuatan lereng timbunan dengan pemasangan seperti pada Gambar 2.10. Untuk menghitung besar faktor keamanan (*Safety Factor*) dapat digunakan persamaan berikut :

$$SF = \frac{MR}{MM} + \frac{T1 \times Y1}{MM} + \frac{T2 \times Y2}{MM} + \frac{TN \times YN}{MM} \quad (2.41)$$



Gambar 2. 10 Ilustrasi jarak dan kuat tarik geotekstile
(sumber: Mochtar 2012)

Untuk menghitung besarnya kekuatan geotekstil yang diizinkan digunakan persamaan sebagai berikut :

$$T \text{ allow} = \frac{T}{F_{sid} \times F_{scr} \times F_{scd} \times F_{sbd}} \quad (2.42)$$

Dimana :

$T \text{ allow}$ = kekuatan geotekstil yang diizinkan

T = Kekuatan tarik maksimum geotekstil yang digunakan

F_{sid} = Faktor keamanan terhadap kerusakan pemasangan

Fscr = Faktor keamanan terhadap kerusakan akibat rangkai

Fscd = Faktor keamanan terhadap kerusakan akibat bahan-bahan kimia

Fsd = Faktor keamanan terhadap kerusakan akibat biologi dalam tanah

Fsid, Fscr, Fscd dan Fsbid merupakan faktor keamanan akibat kekuatan geotekstil yang besarnya dapat dilihat pada Tabel 2.5 Faktor Keamanan Akibat Pengurangan Kekuatan Geotekstil

Tabel 2. 5 Nilai F_{Sid} , F_{Scr} , F_{Scd} dan F_{Sbd}
(Sumber: mochtar 2012)

Penggunaan Geotextile	F_{Sid}	F_{Scr}	F_{Scd}	F_{Sbd}
Separation	1,1 – 2,5	1,0 – 1,2	1,0 – 1,5	1,0 – 1,2
Cushioning	1,1 – 2,0	1,2 – 1,5	1,0 – 2,0	1,0 – 1,2
Unpaved roads	1,1 – 2,0	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5	1,0 – 1,2
Walls	1,1 – 2,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Embankments	1,1 – 2,0	2,0 – 3,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Bearing capacity	1,1 – 2,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Slope stabilization	1,1 – 1,5	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Pavement overlays	1,1 – 1,5	1,0 – 1,2	1,0 – 1,5	1,0 – 1,1
Railroads	1,1 – 3,0	1,0 – 1,5	1,5 – 2,0	1,0 – 1,2
Flexible form	1,1 – 1,5	1,5 – 3,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,1
Silt fences	1,1 – 1,5	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5	1,0 – 1,1

Untuk menghitung kebutuhan panjang geotekstil digunakan persamaan berikut :

- Panjang geotekstil di belakang bidang longsor

$$L_e = \frac{T \text{ allow } x S_f}{(t_1 + t_2) x E} \quad (2.43)$$

Dimana : L_e = panjang geotekstil di belakang bidang longsor

T_1 = Tegangan geser akibat tanah timbunan dengan geotekstil

$$T_1 = C_{u1} + T'_{o1} \tan \phi_1$$

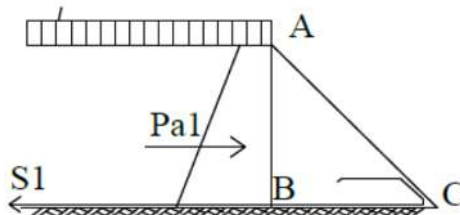
T_2 = Tegangan geser akibat tanah dasar dengan geotekstil

$$T_2 = C_u + T'_o \tan \phi_2$$

$$E = \text{Efisiensi diambil } E = 0.8$$

2.8.1 Cek Internal Stability

Pada Gambar 2.11, kondisi internal stability tercapai bila tidak terjadi longsor pada lereng AC. Sistem stabilisasi internal merupakan sistem yang memperkuat tanah untuk mencapai kestabilan yang dibutuhkan. Sejak tahun 1960 terdapat dua cara yang sering digunakan di lapangan, yaitu *reinforced soils*; dan *in-situ reinforcement*.



Gambar 2. 11 Kondisi internal stability
(Sumber: Mochtar 2012)

Reinforced soil merupakan sistem yang menambah material perkuatan saat tanah diurug sedangkan *in-situ reinforcement* merupakan sistem yang menambah material perkuatan dengan cara dimasukkan ke dalam tanah. Hal yang harus diperhatikan pada internal stability:

1. Syarat tidak terjadi kegagalan pada lereng AC

$$Pa_1 \leq \frac{(\text{Berat efektif ABC})}{SF} \times \tan \delta \quad (2.44)$$

Dimana :

δ : sudut geser antara tanah timbunan dan material geotextile $\approx \phi$

SF : 1,35 untuk beban sementara

: 2,00 untuk beban permanen

2. Syarat kekuatan bahan

$$Pa_1 \leq S_1$$

Dimana :

S_1 : kekuatan tarik material geotekstil yang diijinkan (Tallowable)

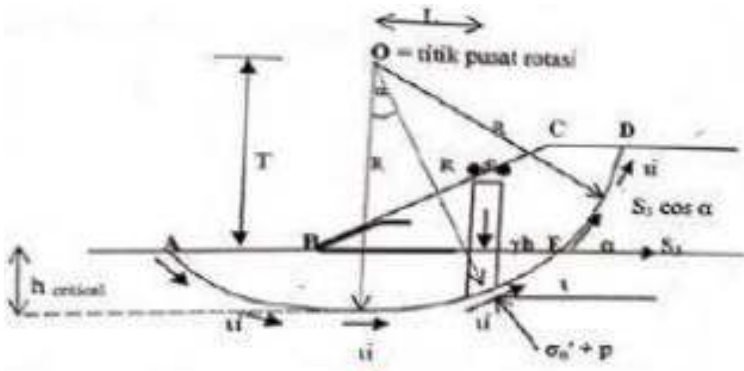
2.8.2 Cek Overall Stability

Pada perhitungan overall stability, dicari Momen Penahan (M_R)

$$M_R = R \cdot \sum \tau_i \cdot l_i + T_i \cdot S_i \quad (2.45)$$

Dimana :

S_i : gaya tarik geotekstil seperti yang terlihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Gaya tarik geotekstil pada overall stability (Mochtar, 2000)

Syarat stabilitas :

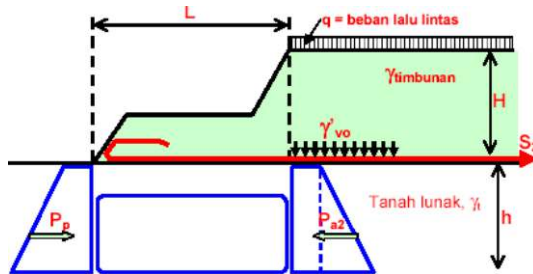
$$SF \leq \frac{\text{Momen penahan}}{\text{Momen pendorong}} \quad (2.46)$$

$$SF_{\min} = 1,25 \text{ (beban tetap)}$$

$$SF_{\min} = 1,1 \text{ (beban sementara)}$$

2.8.3 Cek Foundation Stability

Kondisi *foundation stability* divisualisasikan pada Gambar 2.18 sebagai berikut :



Gambar 2.18 Gaya terjadi pada foundation stability.
(Sumber : Mochtar, 2012.)

Kondisi *foundation stability* jika adanya geotextile tercapai bila :

$$P_{a2} \leq \frac{P_p + (2 \cdot C_u \times L) + T_{\text{Allow}}}{SF} \quad (2.47)$$

Dimana :

P_{a2} = Tekanan tanah aktif dibawah timbunan

P_p = Tekanan tanah pasif dibidang *initiation* timbunan

C_u = *Undrained shear strength* tanah lunak

T_{Allow} = Kekuatan *geotextile* yang tersedia

SF = Faktor aman 1,25 untuk beban sementara; dan 1,5 untuk jalan permanen

2.9 Perkuatan Tanah Menggunakan *Geogrid*

Penggunaan *geogrid* ini nantinya akan dikombinasikan dengan multiblock untuk timbunan dengan lereng tegak. Untuk perhitungan kebutuhan *geogrid* sama dengan perhitungan *geotextile* sebagai dinding penahan tanah (*Geotextile Wall Reinforcement*) sebagai berikut:

$$S_v = \frac{T_{\text{Allow}}}{SF \times \sigma H_{\text{total}}} \quad (2.48)$$

Dimana :

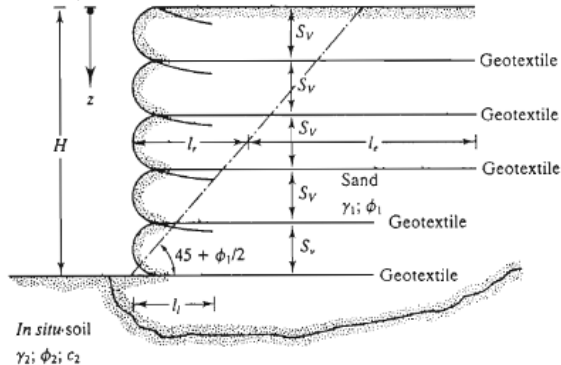
S_v = Jarak pemasangan *geotextile*

T_{allow} = Kekuatan *geotekstile* yang diijinkan

SF = Faktor keamanan (1,3 – 1,5)

oh = Besar tekanan horisontal total diterima dinding perkedalaman Z

Setelah didapatkan S_v untuk pemasangan *geotextile* maka dapat dihitung keperluan panjang *geotextile*. Sketsa *geotextile* tertanam seperti pad Gambar 2.13 berikut :



Gambar 2. 13 *Geotextile sebagai dinding penahan*
(Sumber: Das, 1990)

Cara menghitung panjang *geotextile* yang ditanam (L) adalah :

$$L = L_r + L_e \quad (2.49)$$

Dimana :

- L_r = panjang *geotextile* didepan bidang longsor.
- L_e = panjang *geotextile* yang berada dalam *achorage zone*, dengan panjang minimal = 1 m.

Panjang *geotextile* dibelakang bidang longsor digunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_r = (H - Z) \times \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.50)$$

Dimana :

- L_r = panjang *geotextile* didepan bidang longsor.
- H = ketinggian timbunan
- Z = titik pertinjauan
- Φ = sudut geser tanah

Panjang *geotextile* yang berada dalam *achorage zone* digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Le = \frac{Sv \cdot \sigma_h \cdot SF}{2 \cdot [C + \sigma_v \cdot \tan \delta]} \quad (2.51)$$

Dimana :

Le = panjang *geotextile* yang berada dalam *achorage zone*.

σ_h = Besar tekanan horisontal total diterima dinding perkedalaman Z

SF = 1,3 – 1,5

σ_v = Besar tekanan vertikal diterima dinding perkedalaman Z

δ = 0,9 Φ

C = nilai kohesi tanah ditinjau.

Setelah didapatkan L, dihitung panjang lipatan *geotextile* (Lo) dengan gaya yang diperhitungkan 0,5.6h digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Lo = \frac{Sv \cdot \sigma_h \cdot SF}{4 \cdot [C + \sigma_v \cdot \tan \delta]} \quad (2.52)$$

Dimana :

Lo = panjang lipatan, dengan panjang minimal = 1 m.

σ_h = Besar tekanan horisontal total diterima dinding perkedalaman Z

SF = 1,3 – 1,5

σ_v = Besar tekanan vertikal diterima dinding perkedalaman Z

δ = 0,9 Φ

C = nilai kohesi tanah ditinjau.

2.9.1. Internal Stability (Geotextile Wall Reinforcement)

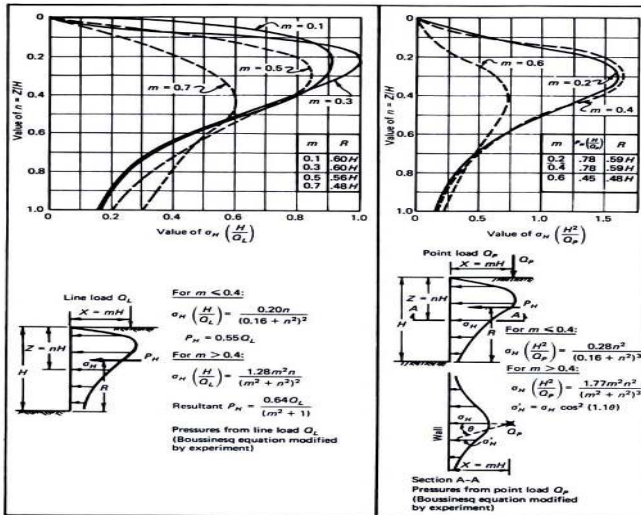
Dalam perhitungan *internal stability* diperhatikan gaya-gaya yang mempengaruhi pada timbunan diantaranya adalah : gaya tekanan horisontal akibat tanah dibelakang dinding dan beban luar berupa beban *surchage* (beban merata) serta beban

hidup (beban titik). Perhitungan gaya tekanan horizontal total digunakan Persamaan:

$$\sigma_{Htotal} = \sigma_{HS} + \sigma_{HQ} + \sigma_{HL} \tag{2.53}$$

Dimana :

- σ_{Htotal} = Besar tegangan horisontal total diterima dinding
- σ_{HS} = Tegangan horisontal akibat tanah dibelakan dinding
- σ_{HQ} = Tegangan horisontal akibat beban terbagi rata
- σ_{HL} = Tegangan horisontal akibat beban hidup / beban titik ; yang dapat dicari dengan fungsi z menggunakan Gambar 2.14 sebagai berikut :



Gambar 2. 14 Grafik untuk menentukan σ_{HL} .

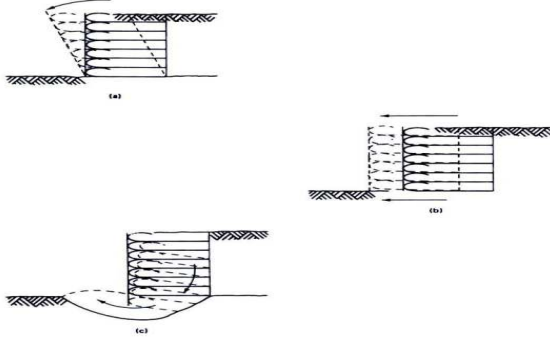
(Sumber : NAVFAC DM-7, 1971.)

Selanjutnya nilai tekanan horizontal total digunakan untuk menghitung kebutuhan *geotextile*.

2.9.2 External Stability (Geotextile Wall Reinforcement)

Tanah timbunan bersisi tegak perlu diperiksa kestabilan timbunan terhadap daya dukung tanah dasarnya maka itu untuk *eksternal stability* maka timbunan yang direncana harus aman

terhadap bahaya guling, geser, dan ambles. Seperti dijelaskan pada Gambar 2.15 berikut :



Gambar 2. 15 External stability geotekstil wall terhadap guling, geser, ambles.

(Sumber : Mochtar, 2000.)

Untuk memeriksa faktor aman kestabilan terhadap guling digunakan Persamaan :

$$SF = \frac{\sum MP}{\sum MD} \quad (2.54)$$

Dimana :

SF = faktor aman bahaya guling, SF=3

$\sum MP$ = Momen penahan

$\sum MD$ = Momen pendorong.

Untuk memeriksa faktor aman kestabilan terhadap geser digunakan Persamaan :

$$SF = \frac{\sum FP}{\sum FD} \quad (2.55)$$

Dimana :

SF = faktor aman bahaya geser, SF=1,3

$\sum FP$ = Momen penahan

$\sum FD$ = Momen pendorong.

Untuk memeriksa faktor aman kestabilan terhadap ambles (*bearing capacity*) digunakan Persamaan :

$$SF = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{ultimite}} \quad (2.56)$$

Dimana :

SF = faktor aman bahaya geser, SF=3

σ_{\max} = Tegangan maksimum pada tanah timbunan

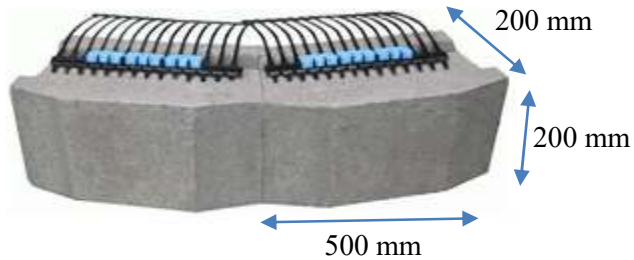
σ_{ult} = Tegangan ultimit daya dukung pada tanah dasar.

2.10 Perkuatan Tanah Dengan *Multiblocks*

Dinding penahan tanah adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan tanah lepas atau alami dan mencegah keruntuhan tanah yang miring atau lereng yang kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng tanah itu sendiri. Tanah yang tertahan memberikan dorongan secara aktif pada struktur dinding sehingga struktur akan cenderung terguling atau tergeser.

Berdasarkan bentuk dan penahanan terhadap tanah, dinding penahan tanah tipe *gravity* merupakan dinding penahan tanah yang mengandalkan berat bahan sebagai penahan tanah. Selain itu, bahan dari dinding ini dapat dibuat dari blok batuan dan bata. Stabilitas dinding ini tergantung beratnya dan tidak ada gaya tarik di setiap bagian dari dinding. Karena bentuknya yang sederhana dan juga pelaksanaan yang mudah, jenis ini sering digunakan apabila dibutuhkan konstruksi penahan yang tidak terlalu tinggi atau bila tanah pondasinya baik.

Multiblock yang digunakan sebagai dinding penahan tanah (segmental) adalah *multiblock* dengan tipe Tensar Wall 1 seperti pada Gambar 2.14 berikut:



Gambar 2. 16 Multiblock tipe tensar wall 1
(sumber : PT. Multi Bangun Patria)

Dalam perhitungan kontrol daya dukung *multiblocks*, perlu merencanakan lebar dan dalam pondasi *keystone wall* agar pondasi dapat memberikan daya dukung terhadap beban *keystone wall*. Sehingga untuk menghitung daya dukungnya digunakan persamaan sebagai berikut :

$$SF = \frac{Q_{ultimate}}{Q_{multiblock}} \quad (2.57)$$

Dimana :

SF = faktor aman daya dukung, SF=3

Q_{ult} = Beban ultimit daya dukung pada tanah dasar

$Q_{multiblock}$ = Berat 1 buah multiblock x jumlah multiblock yang dibutuhkan.

Perhitungan Q_{ult} daya dukung tanah dapat menggunakan rumus Terzhagi (1943).

$$Q_{ult} = C.N_c + \gamma.N_q.D_f + 0,5.\gamma.B.N_\gamma \quad (2.58)$$

Dimana :

C = kohesi tanah (t/m^2)

γ = berat volume tanah (t/m^3)

D_f = kedalaman pondasi yang tertanam (m)

B = lebar Pondasi (m)

N_c = faktor daya dukung tanah akibat kohesi

N_q = faktor daya dukung tanah akibat beban

N_γ = faktor daya dukung tanah akibat berat tanah

Tabel 2. 6 Nilai N_c, N_q, N_γ dari Caquot & Kerisel
(Sumber: Herman Wahjudi 2012)

ϕ°	N_c	N_γ	N_q
0	5,14	0	1,00
5	6,50	0,10	1,60
10	8,40	0,50	2,50
15	11,00	1,40	4,00
20	14,80	3,50	6,40
25	20,70	8,10	10,70
30	30,00	18,10	18,40
35	46,00	41,10	33,30
40	75,30	100,00	64,20
45	134,00	254,00	135,00

2.11 Perkuatan Tanah dengan *Micropile*

Perkuatan dengan menggunakan micropile merupakan perkuatan tambahan ketika pada alternatif perkuatan yang direncanakan tidak memenuhi stabilitas eksternalnya. Penggunaan cerucuk bertujuan untuk:

1. Meningkatkan daya dukung tanah. Apabila *micropile* dimasukkan ke dalam tanah, maka tanah disekitarnya akan memadat. Jadi dapat dikatakan jika pemasangan tiang lebih dari satu akan berpengaruh pada pemadatan tanah.
2. Menahan terjadinya *sliding*. *Micropile* direncanakan agar dapat menahan gaya geser lebih besar dari pada gaya geser tanah pada bidang longsor.
3. Menahan kelongsoran pada tanah timbunan bersama dengan tanah dasar di bawahnya (kelongsoran keseluruhan).

2.11.2 Perhitungan Kekuatan Satu Cerucuk

Perhitungan kekuatan cerucuk harus diperhitungkan faktor kekakuan relatif satu cerucuk (T) menurut NAVFAC DM-7, 1971 dengan Persamaan :

$$T = \left(\frac{E.I}{f} \right)^{\frac{1}{5}} \tag{2.59}$$

Dimana:

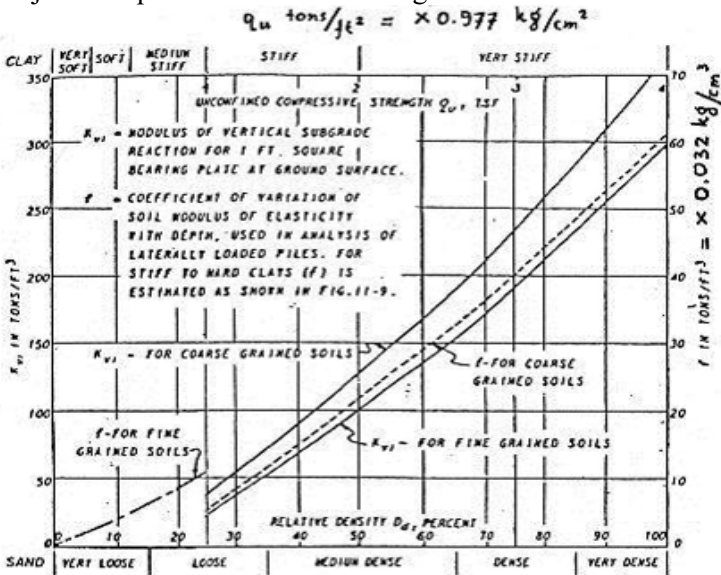
T = faktor kekuatan relatif, cm.

E = modulus elastisitas tiang (cerucuk), kg/cm²

I = momen inersia tiang (cerucuk), cm⁴

f = koefisien dari variasi modulus tanah, kg/cm³

Harga f didapatkan menurut NAVFAC DM-7, 1971 seperti dijelaskan pada Gambar 2.17 sebagai berikut :



Gambar 2. 17 Harga f dari berbagai jenis tanah
(Sumber : NAVFAC DM-7, 1971.)

Selanjutnya dapat dihitung gaya horizontal (P) yang mampu ditahan oleh satu tiang dengan Persamaan :

$$P = \frac{M_p}{F_m \times T} \quad (2.60)$$

Dimana :

P = gaya horizontal yang diterima cerucuk, kg

T = faktor kekakuan relative, cm

M_p = momen lentur maksimum yang bekerja pada cerucuk akibat beban P, kg-cm. Nilai M_p dapat dihitung dengan Persamaan :

$$M_{p \text{ max } -1 \text{ cerucuk}} = \frac{\sigma_{\text{max} - \text{bahan}} \times I_n}{(D / 2)} \quad (2.61)$$

Dimana :

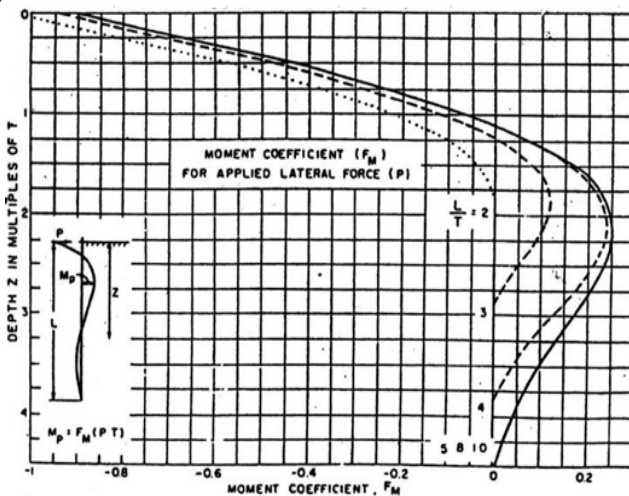
σ_{max} = Tegangan tarik/tekan maksimum dari bahan cerucuk.

I_n = Momen Inersia penampang terhadap garis netral penampang.

D = diameter micropile/cerucuk

F_m = koefisien momen akibat gaya lateral P.

Perencanaan panjang cerucuk dibawah bidang gelincir (L) dipakai untuk menentukan harga F_m pada kedalaman (z) dengan menggunakan grafik L/T seperti dijelaskan pada Gambar 2.18 sebagai berikut :



Gambar 2. 18 Grafik untuk menentukan besarnya F_m
(Sumber : NAVFAC DM-7, 1971.)

Harga M_p yang telah diperoleh kemudian dipergunakan untuk menghitung gaya maksimum (P-max) yang dapat ditahan oleh satu cerucuk dengan menggunakan Persamaan :

$$P_{\max -1\text{cerucuk}} = \frac{M_{p \max -1\text{cerucuk}}}{F_m \times T} \times F_{kg} \quad (2.62)$$

Dimana :

- P = gaya horizontal yang diterima cerucuk, kg
 M_p = momen lentur maksimum bekerja pada cerucuk akibat beban P, kg-cm.
 F_m = koefisien momen akibat gaya lateral P.
 T = faktor kekakuan relative, cm.
 F_{kg} = Faktor koreksi gabungan, dimana menurut Mochtar & Arya (2002) dapat dihitung dengan Persamaan :

$$F_{kg} = 2,643 \left[\frac{0,89 + 0,12 \left(\frac{L}{D} \right)}{2,69} \right] \left[\frac{0,855 \cdot Cu^{-0,392}}{2,865} \right] \quad (2.63)$$

Dimana :

- L = panjang cerucuk dibawah bidang gelincir
 D = Diameter atau lebar penampang tergantung penampang cerucuk.

2.11.3 Penentuan Kebutuhan Jumlah Cerucuk

Perhitungan kebutuhan jumlah cerucuk persatuan panjang tegak lurus bidang gambar potongan melintang, harus diketahui momen penahan (MR) eksisting yang terjadi dari bidang longsor. Selanjutnya maka akan dapat diperoleh momen dorong (MD) berdasarkan Persamaan :

$$MD = \frac{MR}{SF \min} \quad (2.64)$$

Dimana :

- MD = momen dorong.
 SF = angka keamanan minimum yang dianalisis melalui *dxstable*
 MR = momen penahan yang dianalisis melalui *dxstable*.

$$MR = \sum \Delta Cu \times L \times R \quad (2.65)$$

Dimana :

ΔCu = tegangan geser *undrained* tanah dasar

L = Panjang bidang gelincir

R = Jari-jari putar bidang gelincir

Momen dorong (MD) yang telah dihitung dapat digunakan untuk menghitung momen penahan tambahan (ΔMR) yang diperlukan untuk meningkatkan angka keamanan (SF) dengan Persamaan :

$$\Delta MR = (SF_{rencana} - SF_{min\ imun}) \times MD \quad (2.66)$$

Dimana :

ΔMR = momen penahan tambahan.

$SF_{rencana}$ = SF rencana $\geq 1,1$ (beban sementara) dan $\geq 1,5$ (beban tetap).

SF_{min} = angka keamanan minimum yang dianalisis melalui *dstable*.

MD = momen dorong.

Sehingga dapat dihitung jumlah cerucuk (n) yang harus dipasang persatuan panjang dengan menggunakan Persamaan :

$$n = \frac{\Delta M_R}{R \times P_{max - 1cerucuk}} \quad (2.67)$$

Dimana :

n = Jumlah cerucuk yang dibutuhkan

ΔMR = momen penahan tambahan.

R = Jari-jari kelongsoran

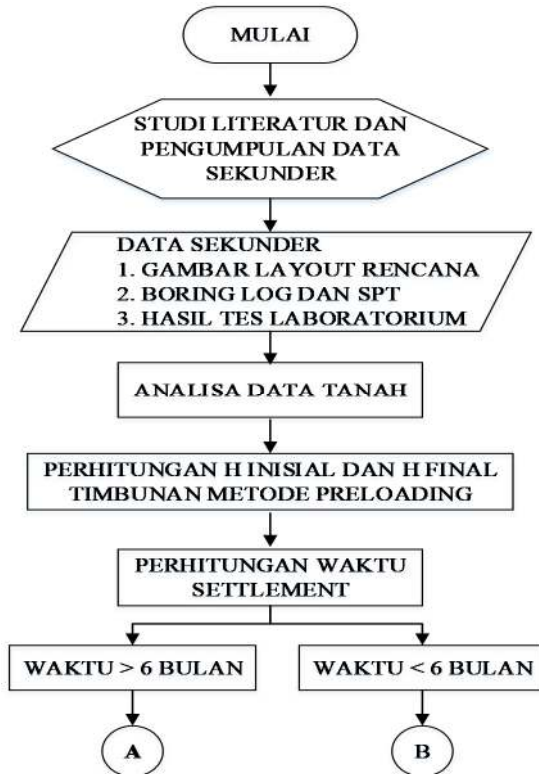
P_{max} = Gaya horizontal maks yang mampu dipikul 1 micropile

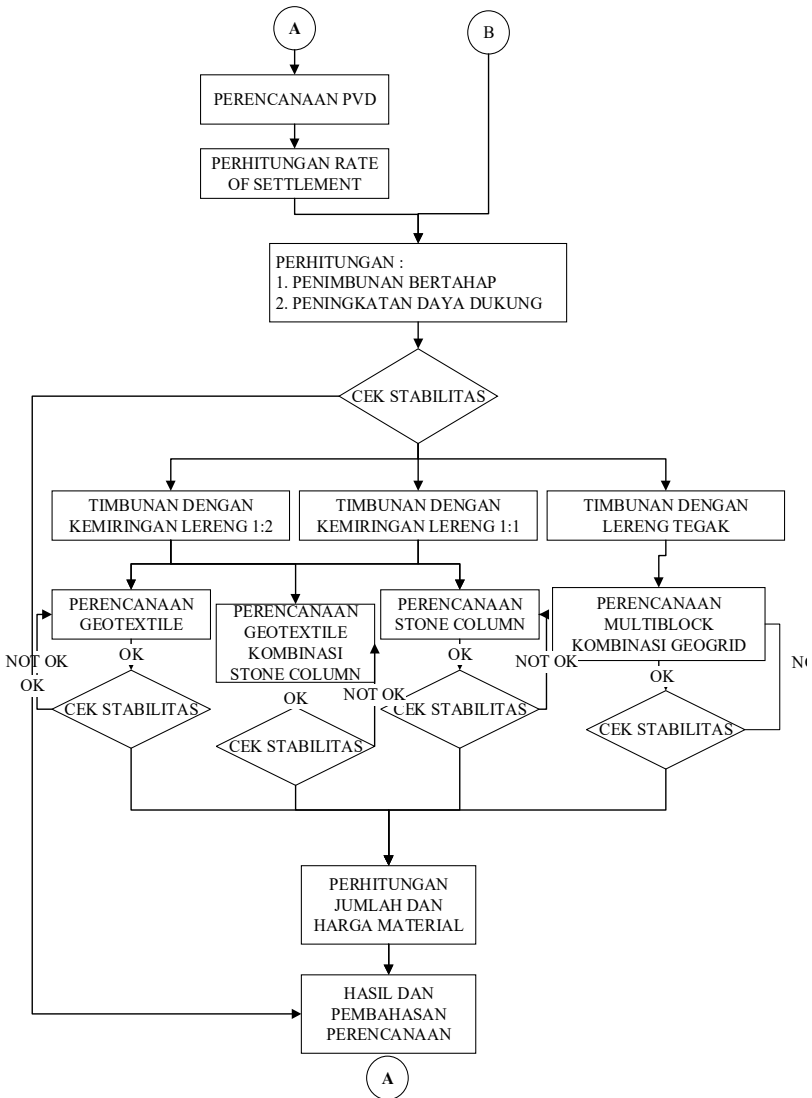
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

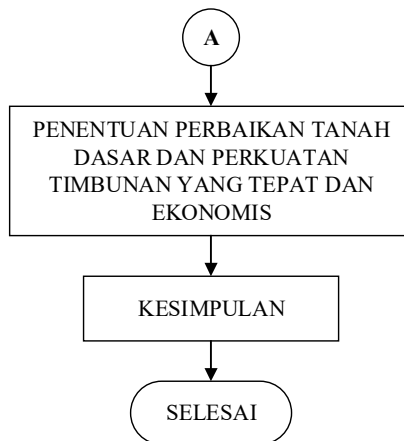
BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir

Pada bab ini menerangkan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam mengerjakan perencanaan tugas akhir ini. Langkah-langkah awal yang dilakukan antara lain: studi literatur dan pengumpulan data yang akan digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini. Gambar 3.1 berikut merupakan diagram alir dalam penulisan Tugas Akhir Alternatif perbaikan tanah dasar pada jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar (KLBM).







Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.2 Pengumpulan Data

Data-data yang dipakai dalam perencanaan ini adalah data sekunder yang didapat dari instansi terkait. Beberapa data yang diperlukan dalam proses perhitungan antara lain:

1. *Layout* area lokasi
2. Boring log dan SPT
3. Hasil tes laboratorium

Dari layout gambar dizonafikasi sehingga didapat zona station yang akan ditinjau berdasarkan kedalaman tanah lunak dari setiap segmen penyelidikan tanah dilapangan. Untuk analisa data tanah menggunakan analisa statistik dan parameter tanah yang berasal dari penyelidikan tanah dilapangan dan laboratorium kemudian dianalisa maka akan didapatkan hasil data tanah yang digunakan untuk perhitungan pada tugas akhir.

3.3 Studi Literatur

Studi Literatur dalam sebuah perencanaan mempunyai tujuan yaitu mengumpulkan referensi yang diperlukan untuk mendapatkan gambaran yang menyeluruh tentang perbaikan tanah dasar pada jalan. Adanya referensi akan mempermudah dan

membantu dalam penyelesaian perencanaan ini. Referensi yang ada dapat didapatkan dari berbagai macam sumber, dimulai dari diktat kuliah, buku-buku yang berhubungan dengan perencanaan tersebut, jurnal, bahkan dari internet. Berikut ini adalah bahan yang nantinya akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan perencanaan:

1. Teori Pemampatan/*Settlement*
2. Teori Waktu Konsolidasi
3. Teori *Preloading*
4. Teori Perencanaan *Vertical Drain*
5. Teori Perencanaan *Stone Column*
6. Teori Perencanaan *Geotextile*
7. Teori Perencanaan *Multiblock* dengan *Geogrid*
7. Perhitungan Stabilitas Timbunan
8. Referensi Penggunaan Geoslope

3.4 Perbaikan Tanah Metode *Preloading*

Tahapan untuk perbaikan Tanah dengan metode *preloading* adalah sebagai berikut :

- a. Perhitungan pembebanan awal ($H_{initial}$, H_{Final})
 Seluruh beban yang akan diterima oleh tanah dasar baik berupa beban lalu lintas, beban timbunan tanah dan beban timbunan yang direncanakan akan digantikan dengan timbunan tanah. Beban timbunan yang digunakan pada tahap *preloading* merupakan beban yang ekuivalen dengan beban yang akan diterima tanah dasar setelah konstruksi selesai dilaksanakan. Pada tahap perhitungan beban awal ini akan dicari berapa tinggi timbunan pengganti tersebut. Dengan merencanakan beban awal yang akan diterima oleh tanah dasar maka akan didapatkan hasil $H_{initial}$, H_{final} dan *settlement* total dari beban yang berbeda-beda dan akan didapatkan kurva hubungan antara $H_{initial}$ dan H_{final} serta kurva hubungan antara H_{final} dengan *settlement* total yang pada akhirnya akan didapatkan berapa $H_{initial}$

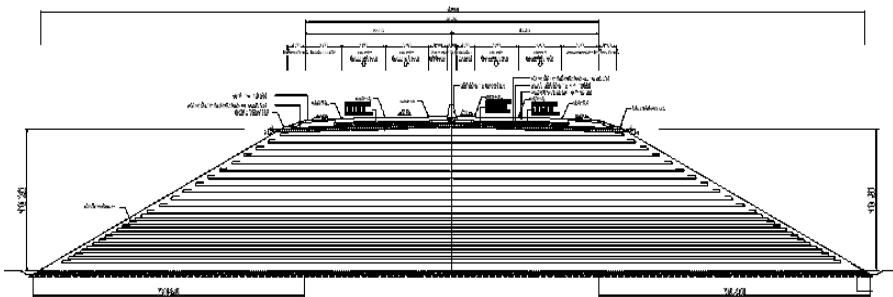
- yang dibutuhkan dan berapa *settlement* total untuk timbunan tersebut.
- b. Perhitungan besar dan lama waktu *settlement*
 Akibat beban timbunan diatas tanah dasar maka akan menyebabkan penurunan (*settlement*) pada tanah dasar. Besar penurunan yang terjadi tergantung dari seberapa besar beban yang diterima tanah dasar. Sedangkan lama waktu penurunan yang terjadi tergantung pada jenis tanah dasar. Waktu pemampatan direncanakan tidak lebih dari 3 bulan. Hal tersebut dilakukan agar proses konstruksi tidak berlangsung lama.
 - c. Perhitungan jarak pada masing-masing Variasi pemasangan PVD
 Pada jenis tanah tertentu lama waktu yang terjadi dapat berlangsung dalam waktu yang sangat lama. Apabila kondisi tersebut terjadi maka penggunaan PVD sangat diperlukan. Dalam perencanaan PVD akan ditentukan beberapa jarak pemasangan PVD yang direncanakan dan Pola pemasangan PVD yang akan direncanakan adalah pola segiempat dan pola segitiga.
 - d. Analisa tinggi kritis timbunan
 Untuk mencari tinggi kritis timbunan akan digunakan software Xstabl atau Geoslope. Dengan cara mencari nilai SF dari beberapa percobaan tinggi timbunan maka akan didapatkan kurva hubungan antara SF dan tinggi timbunan. Maka dari grafik perbandingan tersebut akan didapatkan H kritis untuk tinggi timbunan tertentu. Dalam perencanaan tugas ini SF kritis yang direncanakan adalah 1.
 - e. Perhitungan peningkatan kohesi *undrained* (Cu) akibat *preloading*
Preloading tanah dilakukan secara bertahap, dan setiap tahap dari penimbunan akan dihitung peningkatan kohesi *undrained* (Cu) dari tanah dasar. Penimbunan bertahap akan dilanjutkan hingga mencapai tinggi kritis timbunan. Setelah itu dihitung peningkatan dari Cu tanah dasar. Jika

Cu tanah dasar meningkat dan sanggup maka penimbunan akan dilanjutkan, apabila Cu tanah dasar meningkat namun tanah dasar tidak sanggup menahan timbunan, maka penimbunan dihentikan untuk sementara dan ditunggu hingga peningkatan Cu dimana tanah dasar telah kuat menahan beban penimbunan berikutnya. Apabila waktu tunggu dari peningkatan Cu terlalu lama maka dibutuhkan perkuatan dari timbunan tersebut.

3.5 Perencanaan Perkuatan Lereng Timbunan

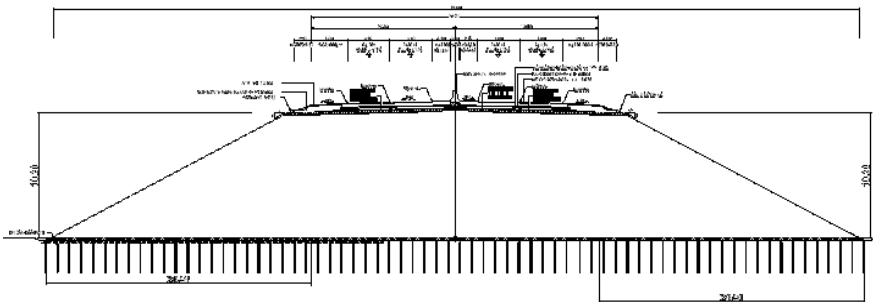
Perkuatan lereng timbunan yang akan digunakan terdiri dari dua alternatif yaitu dengan sisi timbunan trapesium menggunakan *geotextile*, *stone column*, atau *geotextile* kombinasi *stone column*. Pada sisi timbunan tegak menggunakan perkuatan *Multiblock* dengan *Geogrid*.

- Perkuatan lereng timbunan dengan *geotextile* :
 - a. Menentukan gaya tarik 1 *geotextile*
 - b. Menentukan jumlah lapis kebutuhan *geotextile*
 - c. Menentukan panjang *geotextile*
 - d. Cek stabilitas



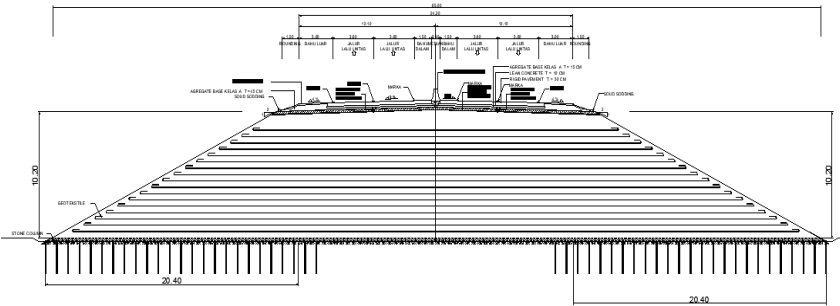
Gambar 3. 2 Sketsa potongan melintang perkuatan timbunan dengan *geotextile* (sumber: penulis)

- Perkuatan dengan *stone column*:
 - a. Menentukan dimensi dan jarak antar *stone column*
 - b. Menentukan daya dukung
 - c. Cek stabilitas



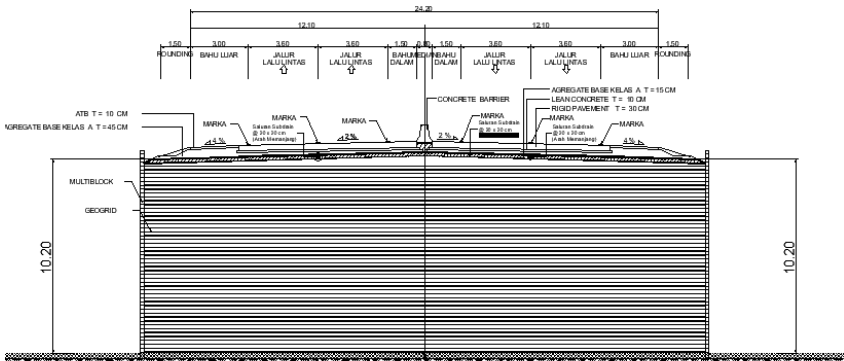
Gambar 3.3 Sketsa potongan melintang perkuatan timbunan dengan stone column (sumber: penulis)

- Perkuatan dengan *geotextile* kombinasi *stone column*:
 - a. Menentukan gaya tarik 1 *geotextile*
 - b. Menentukan jumlah lapis kebutuhan *geotextile*
 - c. Menentukan panjang *geotextile*
 - d. Menentukan dimensi dan jarak antar *stone column*
 - e. Menentukan daya dukung
 - f. Cek stabilitas

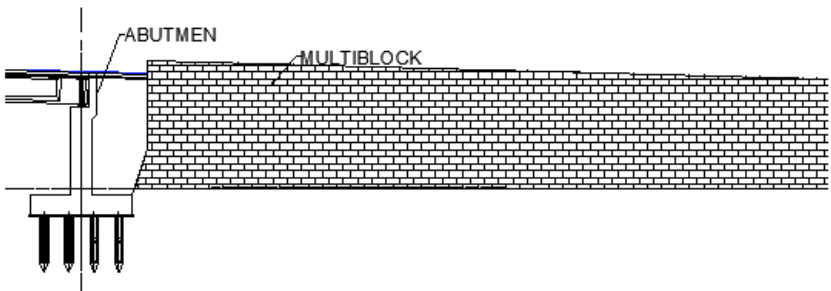


Gambar 3. 4 Sketsa potongan melintang perkuatan timbunan dengan geotextile kombinasi stone column (sumber: penulis)

- Perkuatan dengan *Multiblock* kombinasi *geogrid*:
 - a. Menentukan gaya tarik 1 geogrid
 - b. Menentukan jumlah lapis kebutuhan geogrid
 - c. Menentukan panjang geogrid
 - d. Cek stabilitas



(a)



(b)

*Gambar 3. 5 Sketsa perkuatan timbunan dengan multiblocks
kombinasi geogrid
(a) Potongan melintang
(b) Potongan Mamanjang
(sumber: penulis)*

3.6 Perhitungan Volume Material

Setelah perencanaan untuk perbaikan tanah dan perkuatan dinding penahan tanah selesai dilakukan maka dilakukan perhitungan untuk berapa banyak jumlah material yang dibutuhkan untuk masing-masing alternatif yang telah dilakukan analisa perhitungannya. Sehingga akan didapatkan alternatif mana yang memiliki efisiensi dari segi material yang dibutuhkan.

3.7 Perhitungan Biaya

Setelah tahapan perhitungan volume material selesai dilaksanakan maka tahapan untuk perhitungan biaya untuk masing-masing alternatif perencanaan dapat dilakukan. Dari hasil perhitungan biaya tersebut maka akan didapatkan hasil analisa perhitungan untuk biaya total masing-masing alternatif perencanaan. Sehingga dapat dilakukan pemilihan untuk alternatif mana yang paling murah untuk dilaksanakan.

3.8 Kesimpulan

Dengan selesai dilakukannya proses analisa perhitungan mulai dari tahap perencanaan hingga tahap perhitungan biaya, maka dapat ditarik kesimpulan pada tahap akhirnya. Kesimpulan yang dapat ditarik adalah berapa jumlah kebutuhan material dari tiap perencanaan alternatif dan berapa biaya yang dibutuhkan dari masing-masing alternatif. Sehingga dapat diketahui alternatif mana yang memiliki efisiensi dari segi material dan biaya. Pada akhirnya alternatif yang memiliki biaya paling murah yang akan dipilih.

BAB IV

DATA DAN ANALISIS

4.1 Data Tanah

4.1.1 Data Tanah Dasar

Data tanah dasar yang dipakai adalah data dari *Bore log* dan dari hasil laboratorium dari laporan hasil penyelidikan tanah pada area lokasi jalan tol Krian-Legundi yang dilakukan oleh PT. Buana Archicon pada tahun 2016. Data tanah yang didapat adalah 2 titik bor dalam pada STA 0+400 dan 4 titik bor dalam pada STA 0+540 seperti yang dapat dilihat pada Lampiran 1. Semua data tanah yang ada di evaluasi dengan menggunakan metode statistik dengan rentan kepercayaan 90% sehingga didapatkan satu data yang sederhana.

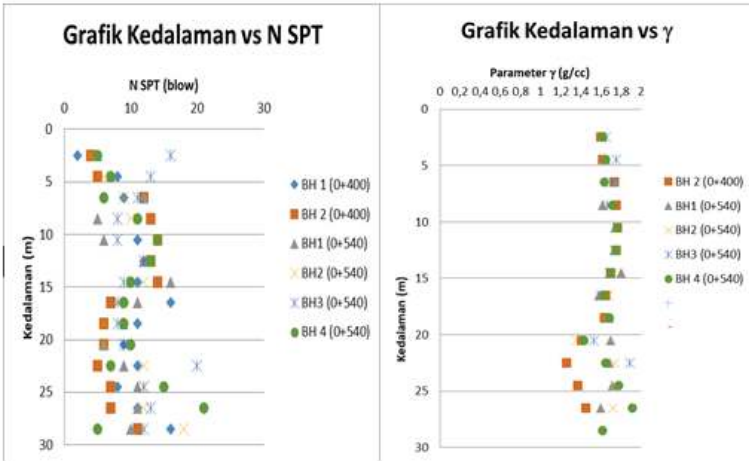
Nilai parameter tanah yang belum ada dicari dengan menggunakan metode korelasi. Nilai γ menggunakan tabel korelasi N-SPT (J.E. Bowles, 1984) pada Tabel 2.2. Nilai e , C_v , dan W_c menggunakan nilai-nilai numerik parameter tanah (Biarez & Favre) yang dapat dilihat pada Tabel 2.3. Nilai C_c menggunakan rumus empiris terhadap *water content* (Das, 1985) seperti pada persamaan 2.6. Nilai parameter tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan konsistensi dan jenis tanah pada kedalaman yang sama seperti pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1. Setiap pengelompokkan kemudian dijadikan satu nilai dengan metode statistik distribusi.

*Tabel 4. 1 Pengelompokan Jenis Dan Konsistensi Tanah Tiap Kedalaman
(Sumber: Hasil Analisis)*

Kedalaman	BH 1 (0+400)	BH 2 (0+400)	BH1 (0+540)	BH2 (0+540)	BH3 (0+540)	BH 4 (0+540)	Data yang digunakan
2,5	Lanau Kelempungan very soft	Lanau Berlempung soft	Lempung Soft, Coklat	Lempung soft, Coklat	Pasir medium, Coklat	Lempung Berlanau soft, Coklat	
4,5	Pasir Kelanauan loose	Lempung soft, Abu-abu	Lempung medium, Coklat	Lempung soft, Coklat	Lanau medium, Coklat	Lempung Berlanau medium, Coklat	
6,5	Pasir Kelanauan loose	Lempung medium, Abu-abu	Lempung Berlanau medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	
8,5	Pasir Kelanauan medium	Lempung medium, Abu-abu	Lanau soft, Coklat Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	
10,5	Pasir Kelanauan medium	Lempung medium, Abu-abu	Lanau soft, Coklat Abu-abu	Lempung Pasir medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	
12,5	Pasir Kelanauan medium	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung Pasir medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung Berpasir medium, Abu-abu	
14,5	Lanau Kelempungan medium	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	
16,5	Lanau Kelempungan medium	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung Berpasir medium, Abu-abu	

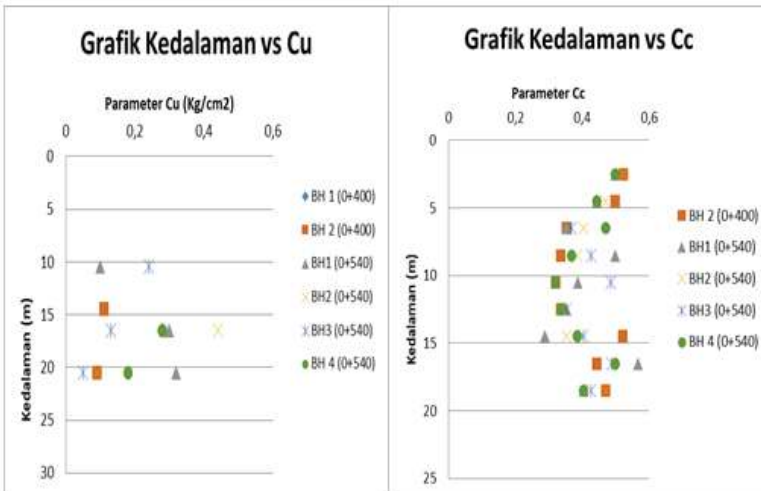
Kedalaman	BH 1 (0+400)	BH 2 (0+400)	BH1 (0+540)	BH2 (0+540)	BH3 (0+540)	BH 4 (0+540)	Data yang digunakan
18,5	Lanau Kelempungan medium	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung soft, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	
20,5	Lanau Kelempungan medium	Lempung medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung soft, Abu-abu	Lempung medium, Hitam	Lempung medium, Abu-abu	
22,5	Lanau Kelempungan medium	Pasir halus loose, Abu-abu	Lempung Lanau medium, Abu-abu	Lanau medium, Abu-abu	Lanau Berpasir stiff, Hitam	Lempung medium, Abu-abu	
24,5	Lanau Kelempungan medium	Pasir halus loose, Abu-abu	Lempung Lanau medium, Abu-abu	Lanau medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lanau medium, Abu-abu	
26,5	Lanau Kelempungan medium	Pasir halus loose, Abu-abu	Pasir Halus Medium, Hitam	Pasir halus medium, hitam	Lempung medium, Abu-abu	Lanau Berpasir stiff, Abu-abu	
28,5	Pasir Kelanauan medium	Pasir halus medium, Abu-abu	Lanau medium, Abu-abu	Pasir Lanau medium, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung soft, Abu-abu	
30,5	Pasir Kelanauan medium	Lempung medium, Abu-abu	Lempung stiff, Abu-abu	Lempung stiff, Abu-abu	Lanau stiff, Abu-abu	Lempung Berlanau stiff, Abu-abu	
32,5	Lanau Kelempungan medium	Lempung stiff, Abu-abu	Lempung medium, Abu-abu	Lempung stiff, Abu-abu	Lanau stiff, Abu-abu	Lempung Berlanau medium, Abu-abu	
34,5	Lanau Kelempungan medium	Lempung stiff, Abu-abu	Lempung stiff, Abu-abu	Lempung stiff, Abu-abu	Lanau Berpasir stiff, Abu-abu	Pasir Berlanau loose, Abu-abu	
36,5	Lanau Kelempungan stiff	Lempung stiff, Abu-abu	Lempung stiff, Abu-abu	Lempung Berpasir stiff, Abu-abu	Lanau Berpasir stiff, Abu-abu	Pasir Berlanau medium, Abu-abu	

4.1.2 Data Tanah Timbunan



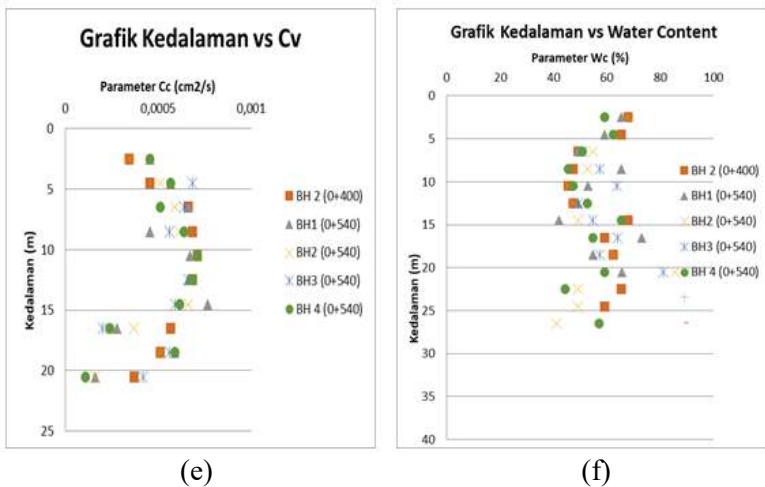
(a)

(b)

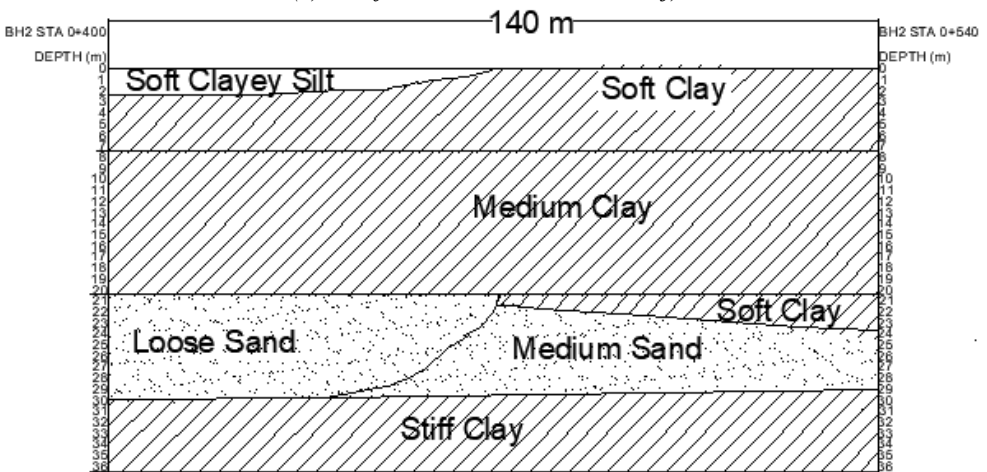


(c)

(d)



Gambar 4. 1 Grafik parameter tanah menurut kedalaman (a) N-SPT, (b) Berat Jenis, (c) Tegangan Unconfined, (d) Angka Pori, (e) Koefisien Konsolidasi, dan (f) Kadar Air.



Gambar 4. 2 Stratigrafi tanah BH2 STA 0+400 dan BH2 STA 0+540

4.1. Analisis Parameter Nilai Tanah Metode Statistik

Data tanah dianalisis untuk menentukan parameter tanah yang digunakan pada perencanaan perbaikan tanah selanjutnya. Data tanah asli yang didapat dari pengujian lapangan dan laboratorium pada Lampiran 1 dianalisis dengan menggunakan metode statistik selang pendek dengan derajat kepercayaan 90%.

Pada Gambar 4.1 menunjukkan sebaran titik nilai data tanah pada seluruh bore hole dimana terdapat nilai yang hampir sama dan berbeda. Nilai yang berbeda jauh akan dihilangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih spesifik. Seluruh faktor tanah akan dianalisis satu persatu seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Rekapitulasi Nilai γ

Kedalaman (m)	BH 2 (0+400)	BH1 (0+540)	BH2 (0+540)	BH3 (0+540)	BH 4 (0+540)
0-5	1,600	1,617	1,600		1,617
		1,650		1,750	1,650
6-15	1,733	1,733	1,683	1,717	1,633
	1,750		1,700	1,667	1,717
	1,767		1,767		1,767
	1,750	1,733	1,750	1,733	1,750
	1,700	1,800	1,733	1,683	1,700
16-20	1,650	1,580	1,680	1,600	1,630
	1,633	1,683	1,633	1,667	1,683
21-30	1,410	1,700	1,360	1,530	1,430
	1,257	1,683	1,733	1,889	1,650
	1,371	1,717	1,733		1,778
	1,450	1,600	1,720		1,911
					1,620

Data tanah yang dianalisis pada tiap bore hole digolongkan terhadap jenis dan konsistensi tanah yang sama. Data yang jauh dari range data lainnya tidak dimasukkan kedalam perhitungan

statistik, sehingga untuk perhitungan lapisan 0-5 meter sebagai berikut.

$$n = 7$$

$$\bar{X} = 1,641$$

$$\sum(X-\bar{X})^2 = 0,0166$$

$$Sd = (\sum(X-\bar{X})^2/n)^{0,5} = (1/4)^{0,5} = 0,0526$$

$$Tdb = 1,44 \text{ (tabel)}$$

$$\alpha = 10\%$$

Kemudian menghitung batas atas dan batas bawah dari analisa statistik, untuk analisa batas atas sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Batas atas} &= \bar{X} + (Sd/n)^{0,5} \times tdb \\ &= 1,641 + (0,0526/7)^{0,5} \times 1,44 \\ &= 1,669 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas bawah} &= \bar{X} - (Sd/n)^{0,5} \times tdb \\ &= 1,641 - (0,0526/7)^{0,5} \times 1,44 \\ &= 1,612 \end{aligned}$$

Untuk nilai γ yang dipakai adalah rata2 dari batas atas dan bawah. Berikut merupakan hasil dari analisis parameter γ menggunakan metode statistik.

Tabel 4. 3 Rekapitulasi Hasil Analisa γ

Kedalaman (m)	N	v	mean (x)	$\sum(X-Xrata)2$	Sd	tdb	Batas Atas	Batas Bawah	γ
0-5	7	6	1,640	0,017	0,053	1,44	1,669	1,612	1,640
6-15	22	21	1,726	0,031	0,038	1,323	1,737	1,715	1,726
16-20	10	9	1,644	0,011	0,036	1,383	1,660	1,628	1,644
21-30	19	18	1,608	0,614	0,185	1,33	1,664	1,551	1,608

Analisis nilai parameter tanah lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 2. Rekapitulasi hasil dari perhitungan statistik yang akan digunakan pada perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Rekapitulasi Nilai Parameter Tanah Yang Digunakan

Kedalaman	volumetric + gravimetric					Konsolidasi		Atterberg Limits			Strength		Field Test
	Gs	e	Wc	γ_t	γ_{sat}	Cc	Cv	LL	PL	IP	ϕ	Cu	N SPT
(m)			%	gr/cc	gr/cc		cm ² /kg	%	%	%	°	kg/cm ²	Blow
2,5	2,7	1,697	63,79	1,640	1,640	0,565	0,0005	103,9	97,91	5,965	2,5	0,15	4
4,5	2,7	1,697	63,79	1,640	1,640	0,565	0,0005	103,9	97,91	5,965	2,5	0,15	6
6,5	2,7	1,384	52,4	1,726	1,726	0,442	0,0006	103,9	97,91	5,965	2,5	0,15	8
8,5	2,7	1,384	52,4	1,726	1,726	0,442	0,0006	103,9	97,91	5,965	2,5	0,15	8
10,5	2,7	1,349	50,15	1,726	1,726	0,442	0,0007	103,9	97,91	5,965	2,5	0,15	9
12,5	2,7	1,349	50,15	1,726	1,726	0,442	0,0007	103,9	97,91	5,965	2,5	0,15	12

4.2. Data Tanah Timbunan

Asumsi Spesifikasi teknis dari material timbunan adalah sebagai berikut :

- Sifat fisik tanah timbunan :

$$C = 0$$

$$\gamma_{sat} = 1,85 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_t = 1,85 \text{ t/m}^3$$

$$\phi = 30^\circ$$

- Geometri Timbunan

Data perencanaan geometri timbunan paling tinggi adalah sebagai berikut:

- o Tinggi timbunan = 10,2 m.

- Lebar timbunan atas = 24,2 m.
- Kemiringan lereng = 1:2 ; 1:1 ; Timbunan tegak.

4.3. Data Spesifikasi Bahan

4.3.1 PVD (*Prefabricated Vertical Drain*)

Jenis PVD yang digunakan pada perencanaan ini adalah CeTeau Drain CT-D822 dari produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul. Spesifikasi material sebagai berikut :

Berat	= 75 g/m
Tebal (a)	= 100 mm
Lebar (b)	= 4 mm

4.3.2 Geotextile

Perkuatan pada perencanaan ini akan digunakan woven geotextile stabilenka yang diproduksi oleh Huesker dan distributor di Indonesia adalah PT Geotechnical Systemindo dengan spesifikasi sebagai berikut:

Jenis Stabilenka	= 100/45
Kuat tarik memanjang	= 100 kN/m
Kuat tarik melintang	= 45 kN/m
Berat	= 390 g/m ²
Panjang per roll	= 300 m
Lebar per roll	= 5 m

4.4. Data Beban Timbunan

Beban-beban yang berada diatas timbunan adalah sebagai berikut:

- Beban lalu lintas
Beban lalu lintas menggunakan grafik hubungan tinggi timbunan dengan beban lalu lintas yang dapat dilihat pada gambar 2.4.

○ Beban perkerasan

Perkerasan yang digunakan adalah perkerasan kaku dengan spesifikasi seperti pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4. 5 Spesifikasi Beban Perkerasan yang Digunakan

No	Jenis Perkerasan	Tebal	Berat Jenis	Berat Perkerasan
		(m)	(t/m ³)	(t/m ²)
1	Rigid Pavement	0,3	2,4	0,72
2	Lean Concrete	0,1	2,3	0,23
3	Agregat A	0,15	2	0,3
Total		0,55		1,25

BAB V

PERENCANAAN TIMBUNAN DAN TANAH DASAR

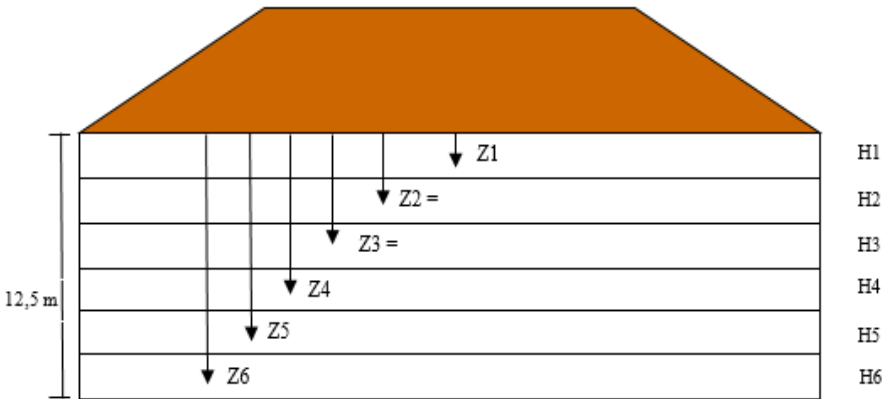
Perhitungan konsolidasi primer pada setiap tebal lapisan tanah *compressible* akan dilakukan dalam perencanaan tinggi timbunan ini. Kategori lapisan tanah *compressible* adalah lapisan tanah seperti lempung atau lanau dengan nilai N SPT dibawah 10. Lapisan tanah yang memiliki N SPT diatas 10 mengalami konsolidasi yang kecil sehingga dapat diabaikan. Untuk jenis lapisan pasir dan kerikil tidak diperhitungkan karena konsolidasi pada tanah pasir terjadi dalam waktu yang cepat dan penurunan yang terjadi relatif kecil dibandingkan dengan tanah lanau dan lempung. Adapun yang perlu dihitung untuk mendapatkan tinggi H initial dan H final, antara lain:

1. Menghitung tegangan *Overburden* efektif
2. Menghitung tegangan *Preconsolidation* efektif
3. Menghitung distribusi tegangan akibat timbunan
4. Menghitung distribusi tegangan akibat perkerasan jalan dan beban lalu lintas
5. Menghitung besarnya konsolidasi

5.1 Penentuan Tinggi Awal Timbunan

5.1.1 Perhitungan tegangan *overburden* efektif

Tegangan *overburden efektif* (P_0) adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli, dapat dihitung dengan persamaan 2.8. Penentuan tebal lapisan tanah yang ditinjau hanya sebesar 12,5 m dari muka tanah dasar. Dikarenakan pada lapisan 12,5 m kebawah mempunyai nilai N SPT lebih dari 10 sehingga untuk masalah penurunan bisa diabaikan. Berikut ini adalah contoh perhitungan tegangan *overburden*. Tebal lapisan untuk perhitungan dilakukan setiap tebal lapis 2 meter. Sketsa lapisan seperti pada Gambar 5.1 berikut :



Gambar 5. 1 Sketsa lapisan yang ditinjau

Diketahui Data :

Lapisan pertama (H1)

Tebal lapisan	: 2,5 m
Berat jenis tanah (γ_{sat})	: 1,64 t/m ³
Berat jenis air (γ_w)	: 1.00 t/m ³

Lapisan kedua (H2)

Tebal lapisan	: 2 m
Berat jenis tanah (γ_{sat})	: 1,64 t/m ³
Berat jenis air (γ_w)	: 1.00 t/m ³

Perhitungan tegangan overburden :

$$\begin{aligned}
 P_0'1 &= \gamma'1 \times 0,5 H1 \\
 &= (1,64 \text{ t/m}^3 - 1,00 \text{ t/m}^3) \times 1,25 \text{ m} \\
 &= 0,8 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_0'2 &= (\gamma'1 \times H1) + (\gamma'2 \times 0,5 H2) \\
 &= [(1,64 \text{ t/m}^3 - 1,00 \text{ t/m}^3) \times 2,5 \text{ m}] + \\
 &\quad [(1,64 \text{ t/m}^3 - 1,00 \text{ t/m}^3) \times 1 \text{ m}] \\
 &= 2,24 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_0'3 &= [\gamma'1 \times (H1 + H2)] + [\gamma'3 \times 0,5 H3] \\
 &= [(1,64 \text{ t/m}^3 - 1,00 \text{ t/m}^3) \times (2,5 \text{ m} + 2,0 \text{ m})] + \\
 &\quad [(1,726 \text{ t/m}^3 - 1,00 \text{ t/m}^3) \times 1 \text{ m}] \\
 &= 3,606 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{o'4} &= [\gamma'1 \times (H1 + H2)] + [\gamma'3 \times (H3 + 0,5 H4)] \\
&= [(1,64 \text{ t/m}^3 - 1,0 \text{ t/m}^3) \times (2,5 \text{ m} + 2,0 \text{ m})] + \\
&\quad [(1,726 \text{ t/m}^3 - 1,00 \text{ t/m}^3) \times (2 \text{ m} + 1 \text{ m})] \\
&= 5,058 \text{ t/m}^2 \\
P_{o'5} &= [\gamma'1 \times (H1 + H2)] + [\gamma'3 \times (H3 + H4 + 0,5 H5)] \\
&= [(1,64 \text{ t/m}^3 - 1,0 \text{ t/m}^3) \times (2,5 \text{ m} + 2,0 \text{ m})] + \\
&\quad [(1,726 \text{ t/m}^3 - 1,00 \text{ t/m}^3) \times (2 \text{ m} + 2 \text{ m} + 1 \text{ m})] \\
&= 6,51 \text{ t/m}^2 \\
P_{o'6} &= [\gamma'1 \times (H1 + H2)] + [\gamma'3 \times (H3 + H4 + H5 + 0,5 \\
&\quad H6)] \\
&= [(1,64 \text{ t/m}^3 - 1,0 \text{ t/m}^3) \times (2,5 \text{ m} + 2,0 \text{ m})] + \\
&\quad [(1,726 \text{ t/m}^3 - 1,00 \text{ t/m}^3) \times (2 \text{ m} + 2 \text{ m} + 2 \text{ m} + 1 \text{ m})] \\
&= 7,962 \text{ t/m}^2
\end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut:

Tabel 5. 1 Perhitungan Tegangan Overburden

Kedalaman			Tebal Lapisan	Z	γ'	Po'
(m)			(m)	(m)	ton/m ³	ton/m ²
0	-	2,5	2,5	1,25	0,640	0,800
2,5	-	4,5	2	3,5	0,640	2,240
4,5	-	6,5	2	5,5	0,726	3,606
6,5	-	8,5	2	7,5	0,726	5,058
8,5	-	10,5	2	9,5	0,726	6,510
10,5	-	12,5	2	11,5	0,726	7,962

1. Perhitungan tegangan efektif *preconsolidation*

Tegangan *preconsolidation* efektif, dapat dihitung dengan persamaan 2.9. Dalam kasus ini fluktuasi muka air tanah sebesar ± 2 m, maka:

$$\begin{aligned}
\Delta p' &= \text{fluktuasi muka air tanah} \times \gamma \text{ air} \\
&= 2 \text{ m} \times 1 \text{ t/m}^3 \\
&= 2 \text{ t/m}^2
\end{aligned}$$

$$P_{e1}' = P_{o1}' + \Delta p'$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,8 \text{ t/m}^2 + 2,0 \text{ t/m}^2 \\
 &= 2,8 \text{ t/m}^2 \\
 P_{c2}' &= P_{o2}' + \Delta p' \\
 &= 2,24 \text{ t/m}^2 + 2,0 \text{ t/m}^2 \\
 &= 4,24 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Penentuan nilai OCR (*Over Consolidated Ratio*) didapatkan dari persamaan 2.1

$$\begin{aligned}
 \text{OCR1} &= P_{c1}' / P_{o1}' \\
 &= 2,8 \text{ t/m}^2 / 0,8 \text{ t/m}^2 \\
 &= 3,5 \text{ (over consolidated)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut:

Tabel 5. 2 Perhitungan Tegangan Pra Konsolidasi

Kedalaman			γ'	P_o'	$\Delta p'$	P_c'	OCR
(m)			ton/m ³	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	
0	-	2,5	0.640	0,800	2.000	2,800	OC
2,5	-	4,5	0.640	2,240	2.000	4,240	OC
4,5	-	6,5	0.726	3,606	2.000	5,606	OC
6,5	-	8,5	0.726	5,058	2.000	7,058	OC
8,5	-	10,5	0.726	6,510	2.000	8,510	OC
10,5	-	12.5	0.726	7,962	2.000	9,962	OC

5.1.2 Menghitung Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan

Besarnya penambahan beban (Δp), akibat beban *embankment* (timbunan) dapat dihitung dengan persamaan 2.12. Beban timbunan akan menggunakan permisalan sebagai berikut:

$$q \text{ timb} = 20 \text{ t/m}^2 \rightarrow H \text{ timb} = \frac{q \text{ timb}}{\gamma \text{ timb}} = \frac{20 \text{ t/m}^2}{1,85 \text{ t/m}^3} = 10,8 \text{ m}$$

$$q \text{ timb} = 16 \text{ t/m}^2 \rightarrow H \text{ timb} = \frac{q \text{ timb}}{\gamma \text{ timb}} = \frac{16 \text{ t/m}^2}{1,85 \text{ t/m}^3} = 8,6 \text{ m}$$

$$q \text{ timb} = 12 \text{ t/m}^2 \rightarrow H \text{ timb} = \frac{q \text{ timb}}{\gamma \text{ timb}} = \frac{12 \text{ t/m}^2}{1,85 \text{ t/m}^3} = 6,5 \text{ m}$$

$$q \text{ timb} = 8 \text{ t/m}^2 \rightarrow H \text{ timb} = \frac{q \text{ timb}}{\gamma \text{ timb}} = \frac{8 \text{ t/m}^2}{1,85 \text{ t/m}^3} = 4,3 \text{ m}$$

$$q \text{ timb} = 4 \text{ t/m}^2 \rightarrow H \text{ timb} = \frac{q \text{ timb}}{\gamma \text{ timb}} = \frac{4 \text{ t/m}^2}{1,85 \text{ t/m}^3} = 2,2 \text{ m}$$

Berikut merupakan contoh perhitungan dari timbunan dengan kemiringan lereng 1:2 dengan beban q 20 t/m^2 .

$$\gamma \text{ timbunan} = 1,85 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} H_{\text{timbunan}} &= q / \gamma \\ &= 20 \text{ t/m}^2 / 1,85 \text{ t/m}^3 \\ &= 10,8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$B1 = 12,1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} B2 &= 2 Ht \\ &= 2 \times 10,8 \text{ m} \\ &= 21,6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\gamma_{\text{sat tanah}} = 1,64 \text{ t/m}^3$$

$$Z = 1,25 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \alpha 1 &= \tan^{-1}[(B1 + B2)z] - \tan^{-1}\left(\frac{B1}{z}\right) \\ &= \tan^{-1}[(12,1 + 21,6)1,25] - \tan^{-1}\left(\frac{12,1}{1,25}\right) \\ &= 3,775^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha 2 &= \tan^{-1}\left(\frac{B1}{z}\right) \\ &= \tan^{-1}\left(\frac{12,1}{1,25}\right) \\ &= 84,102^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \Delta p &= q_0 / 180 [(B1+B2)/B2] (\alpha 1 + \alpha 2) - B1/B2 (\alpha 2) \\ &= 20 \text{ t/m}^2 / 180 [(12,1+21,6)/21,6] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &(3,775^\circ + 84,102^\circ) - 12,1/21,6 (84,102^\circ) \\ &= 10 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\Delta p = 20 \text{ t/m}^2$$

5.1.3 Menghitung *Settlement* Akibat Beban Timbunan

Data perhitungan pada lapisan pertama dengan kedalaman 2,5 m;

$$e_0 = 1.697$$

$$C_c = 0.565$$

$$C_s = \frac{c_c}{5} = 0,113$$

$$P_0' = 0,8 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta p \text{ akibat timbunan} = 20.0 \text{ t/m}^2$$

Nilai OCR pada lapisan pertama > 1 sehingga perhitungan *settlement*nya menggunakan persamaan 2.11.

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

$$S_c = \left[\frac{2,5}{1 + 1,697} 0,113 \log \frac{2,8}{0,8} \right] + \left[\frac{2,5}{1 + 1,697} 0,565 \log \frac{20,798}{2,8} \right]$$

$$= 0,51 \text{ m}$$

Perhitungan *Settlement* akibat timbunan lapisan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5. 3 Perhitungan *Settlement* Akibat Timbunan

Kedalaman (m)	Z (m)	e0	Cc	Cs	Po'	Pc	OCR		ΔP	2ΔP	Δp+Po'	Sc	
					ton/m2	ton/m2			ton/m2	ton/m3	ton/m3		m
0 -	2,5	1,25	1,70	0,56	0,11	0,80	2,80	3,50	OC	10,00	20,00	20,80	0,51
2,5 -	4,5	3,5	1,70	0,56	0,11	2,24	4,24	1,89	OC	9,98	19,95	22,19	0,32
4,5 -	6,5	5,5	1,38	0,44	0,09	3,61	5,61	1,55	OC	9,91	19,83	23,44	0,24
6,5 -	8,5	7,5	1,38	0,44	0,09	5,06	7,06	1,40	OC	9,80	19,61	24,67	0,21
8,5 -	10,5	9,5	1,38	0,44	0,09	6,51	8,51	1,31	OC	9,64	19,29	25,80	0,19
10,5 -	12,5	11,5	1,35	0,44	0,09	7,96	9,96	1,25	OC	9,44	18,89	26,85	0,17
Sc total												1,65	

5.1.4 Menghitung *Settlement* Akibat Perkerasan Jalan

Besarnya penambahan beban (Δp), akibat beban perkerasan jalan dapat dihitung dengan persamaan 2.15

Data perencanaan:

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar Jalan} &= 24,2 \text{ m} \\
 q \text{ lean} &= 0,1 \text{ m} \times 2,3 \text{ t/m}^3 \\
 &= 0,23 \text{ t/m}^2 \\
 q \text{ rigid} &= 0,3 \text{ m} \times 2,4 \text{ t/m}^3 \\
 &= 0,72 \text{ t/m}^2 \\
 q \text{ agregat A} &= 0,15 \text{ m} \times 2 \text{ t/m}^3 \\
 &= 0,3 \text{ t/m}^2 \\
 \hline
 Q \text{ Total} &= 1,25 \text{ t.m}^2
 \end{aligned}$$

Sebagai contoh dilakukan perhitungan yang ditinjau pada 2,5 m lapis pertama, sehingga:

$$\begin{aligned}
 z &= H \text{ awal} + \frac{1}{2} \text{ tebal lapis yang ditinjau} \\
 &= 10,8 \text{ m} + 1,25 \text{ m} \\
 &= 12,05 \text{ m} \\
 X &= 24,2 \text{ m} \\
 Y &= \infty \\
 m &= x/z \\
 &= 24,2 \text{ m} / 12,05 \text{ m} \\
 &= 2,007 \\
 n &= \infty
 \end{aligned}$$

Harga faktor pengaruh akibat beban perkerasan diperoleh dari kurva dari grafik NAVFAC pada Gambar 2.2 dimana merupakan konfigurasi antara harga m dan n , maka diperoleh harga $I = 0.24$. Hasil I hanya untuk seperempat perkerasan jalan saja, untuk seluruh perkerasan harus dikalikan empat sehingga;

$$\begin{aligned}
 \Delta p_1 &= 4 \times I \times q_{\text{total}} \\
 &= 4 \times 0.24 \times 1.235 \\
 &= 1.186 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan *settlement* akibat perkerasan jalan menggunakan rumus yang sama seperti akibat timbunan.

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

$$S_c = \left[\frac{2,5}{1+1,697} 0,113 \log \frac{2,8}{0,8} \right] + \left[\frac{2,5}{1+1,697} 0,565 \log \frac{1,986}{2,8} \right]$$

$$= 0,0413 \text{ m}$$

Perhitungan *Settlement* akibat perkerasan lapisan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Perhitungan Setlement Akibat Perkerasan

Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (m)	Z (m)	m x/z	n y/z	l	ΔP ton/m ³	$\Delta p+Po'$ ton/m ³	Sc m	
0 -	2,5	2,5	12,1	2,01	∞	0,24	1,19	1,99	0,0413
2,5 -	4,5	2	14,1	1,72	∞	0,24	1,17	3,41	0,0153
4,5 -	6,5	2	16,1	1,51	∞	0,23	1,15	4,76	0,0089
6,5 -	8,5	2	18,1	1,34	∞	0,23	1,13	6,18	0,0065
8,5 -	10,5	2	20,1	1,21	∞	0,22	1,10	7,61	0,0050
10,5 -	12,5	2	21,3	1,14	∞	0,22	1,09	9,05	0,0042
Sc total									0,077

5.1.5 Menghitung Tinggi Timbunan Awal dan Akhir

Kondisi timbunan setelah mengalami konsolidasi Sc dimana pada percobaan pertama dengan beban timbunan $q = 20 \text{ t/m}^2$ pada timbunan dengan kemiringan lereng 1:2 diperoleh Sc total akibat timbunan = 1,65 m dan akibat perkerasan sebesar = 0.077 m. Sehingga tinggi initial sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Hinitial} &= \frac{q + Sc}{\gamma_{timb}} \\ &= \frac{20,00 + 1,65}{1,85} \\ &= 11,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Beban lalu lintas pada masa konstruksi timbunan dikonversikan menjadi timbunan yang nantinya akan dibongkar setelah masa konstruksi timbunan. Untuk mencari beban lalu lintas.

Pada q timbunan sebesar 20 t/m^2 didapatkan tinggi timbunan sebesar :

$$H \text{ timbunan} = \frac{q}{\gamma_{\text{timb}}} = \frac{20 \text{ t/m}^2}{1,85 \text{ t/m}^3} = 10,81 \text{ m}$$

Dengan tinggi timbunan $10,81 \text{ m}$ diperoleh beban lalu lintas dari Gambar 2.5 pada garis b sebesar $0,25 \text{ t/m}^2$. Tinggi timbunan yang dibongkar sebesar :

$$H \text{ timbunan} = \frac{q}{\gamma_{\text{timb}}} = \frac{0,25 \text{ t/m}^2}{1,85 \text{ t/m}^3} = 0,14 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H \text{ final} &= H \text{ initial} - S_c \text{ timbunan} - H \text{ bongkar preload} - \\ & S_c \text{ pavement} + \text{Tebal Pavement} \\ &= 11,5 - 1,65 - 0,14 - 0,077 + 0,55 \\ &= 10,39 \text{ m} \end{aligned}$$

Hasil seluruh perhitungan H awal dan H akhir dengan berbagai percobaan beban timbunan direkapitulasi pada Lampiran 2.

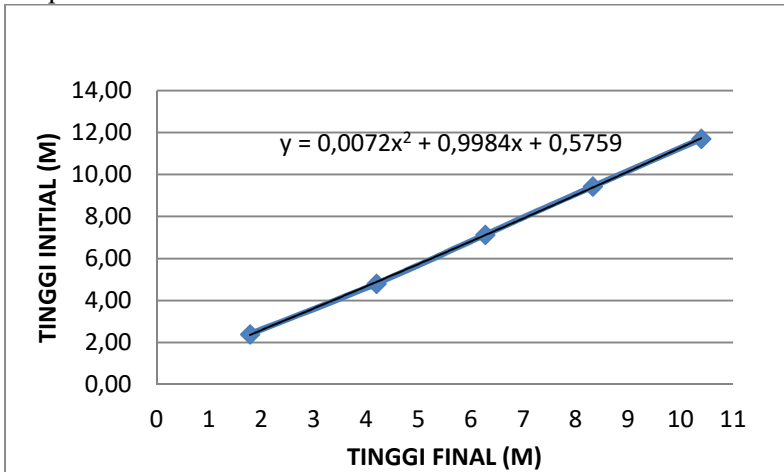
5.1.6 Kurva Hubungan antara H awal, H akhir, dan S_c

Berdasarkan hasil perhitungan dengan percobaan beban yang berbeda-beda, maka diperoleh harga H awal, H akhir dan S_c untuk tiap masing-masing percobaan, seperti pada Tabel 5.5 di bawah ini;

Tabel 5. 5 Perhitungan settlement total pada tiap percobaan *q* timbunan

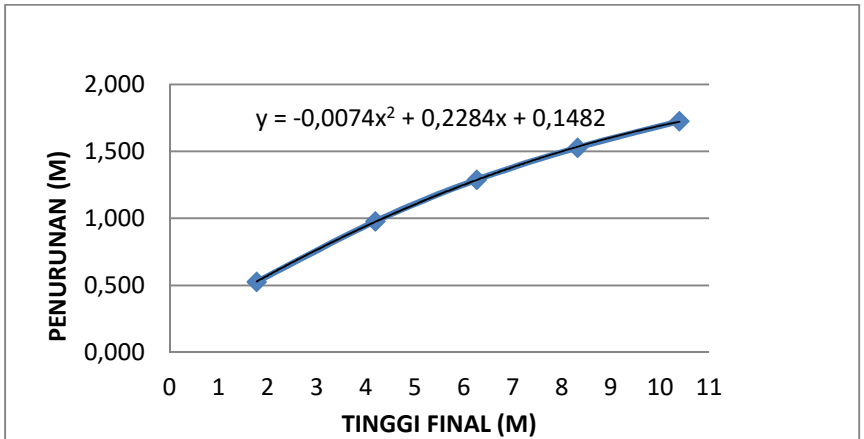
q timb t/m ²	Sc timb m	Tinggi Initial M	H Bongkar Preload m	Tebal Pavement m	Sc Pavement m	Tinggi Final m	Total Pemampatan m
20	1,65	11,70	0,14	0,55	0,077	10,39	1,727
16	1,45	9,43	0,14	0,55	0,078	8,32	1,530
12	1,21	7,14	0,14	0,55	0,079	6,27	1,291
8	0,90	4,81	0,19	0,55	0,080	4,19	0,980
4	0,45	2,40	0,65	0,55	0,080	1,78	0,529

Harga H awal dan H akhir pada Tabel 5.5 kemudian diplotkan menjadi kurva hubungan antara H awal dan H akhir seperti Gambar 5.4



Gambar 5. 2 Hubungan antara tinggi final vs tinggi initial pada timbunan lereng 1:2

Harga H akhir dan *Settlement total* pada Tabel 5.5 kemudian diplotkan menjadi kurva hubungan antara H akhir dan *settlement* seperti Gambar 5.3



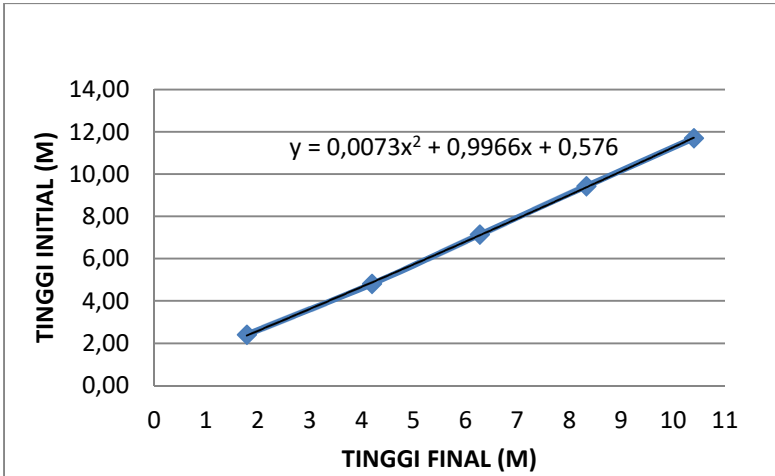
Gambar 5. 3 Hubungan antara S_c vs tinggi initial pada timbunan lereng 1:2

Harga H awal dan S_c dapat diperoleh dari Kurva hubungan dengan H akhir pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 dimana harga tersebut dapat diperoleh dengan cara grafis atau dengan rumusan yang telah diperoleh pada kurva tersebut.

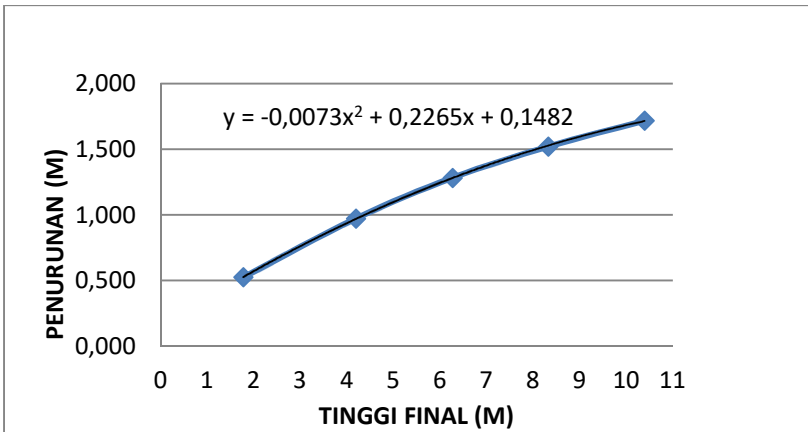
Dengan H akhir 10,2 m, diperoleh;

H awal = 11,5 m dan S_c = 1,70 m

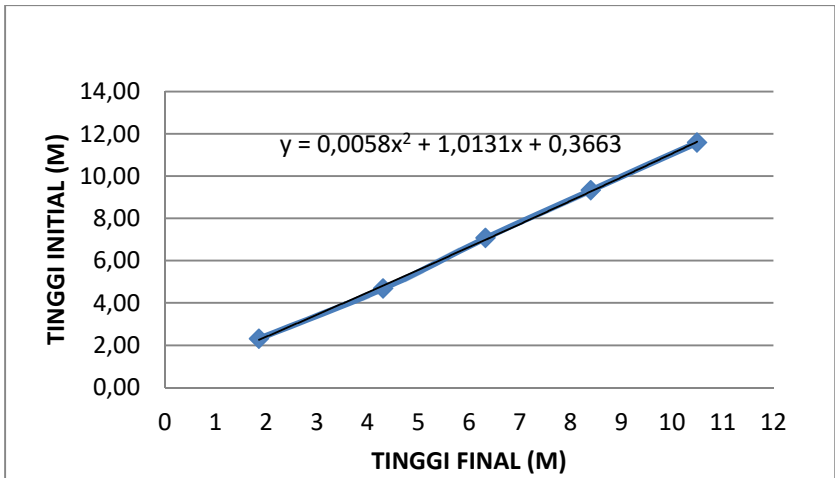
Perhitungan tinggi awal dan tinggi akhir pada kemiringan lereng yang berbeda mempunyai langkah yang sama seperti contoh sebelumnya. Berikut merupakan hasil dari perhitungan tinggi timbunan awal pada timbunan dengan lereng 1:1 dan lereng tegak.



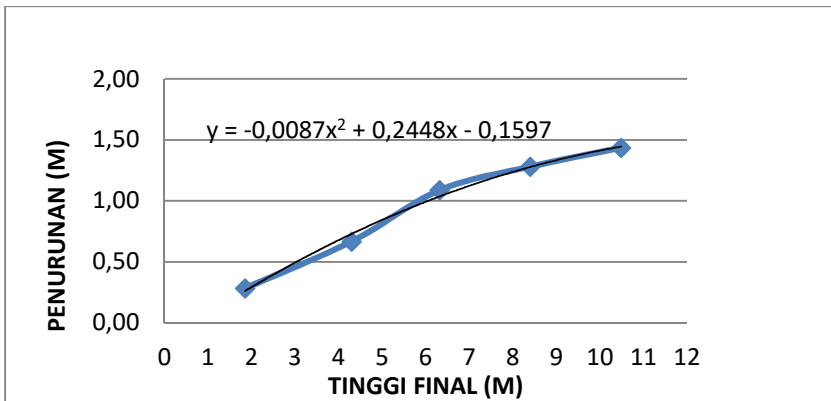
Gambar 5. 4 Hubungan antara tinggi final vs tinggi initial pada timbunan lereng 1:1



Gambar 5. 5 Hubungan antara S_c vs tinggi initial pada timbunan lereng 1:1



Gambar 5. 6 Hubungan antara tinggi final vs tinngi initial pada timbunan lereng tegak



Gambar 5. 7 Hubungan antara S_c vs tinngi initial pada timbunan lereng tegak

Perhitungan H initial dan Settlement dari masing-masing tinggi timbunan rencana sesuai masing-masing STA dapat dihitung dengan menggunakan grafik hubungan pada Gambar 5.2 sampai dengan 5.7. Berikut ini adalah hasil perhitungannya:

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Tinggi Awal, Tinggi Akhir, Dan Settlement Pada Setiap Alternatif Timbunan

STA	Kemiringan Lereng 1:2			Kemiringan Lereng 1:1			Lereng Tegak		
	Tinggi Akhir (m)	Tinggi Awal (m)	Sc (m)	Tinggi Akhir (m)	Tinggi Awal (m)	Sc (m)	Tinggi Akhir (m)	Tinggi Awal (m)	Sc (m)
STA 0+610	10,2	11,5	1,70	10,2	11,5	1,70	10,2	11,3	1,43
STA 0+650	9,8	11,1	1,67	9,8	11,0	1,67	9,8	10,9	1,40
STA 0+700	9,2	10,4	1,61	9,2	10,4	1,61	9,2	10,2	1,36
STA 0+750	7,8	8,8	1,47	7,8	8,8	1,47	7,8	8,6	1,22
STA 0+800	6,3	7,2	1,29	6,3	7,1	1,29	6,3	7,0	1,04
STA 0+850	5	5,7	1,10	5	5,7	1,10	5	5,6	0,85
STA 0+900	3,7	4,4	0,89	3,7	4,4	0,89	3,7	4,2	0,63

5.2 Waktu Pemampatan

Penurunan lapisan tanah dapat diperkirakan dengan memakai koefisien konsolidasi (C_v). Nilai C_v diketahui dari hasil penyelidikan di Laboraturium. Untuk tanah yang berlapis lapis maka digunakan harga C_v rata-rata menggunakan persamaan 2.19. Perhitungan waktu pemampatan dilakukan untuk menentukan perlu atau tidaknya perbaikan tanah dasar. Apabila waktu pemampatan yang terjadi lama maka diperlukan cara untuk mempercepat waktu pemampatan yang terjadi. Berikut merupakan hasil perhitungan C_v gabungan pada Table 5.7.

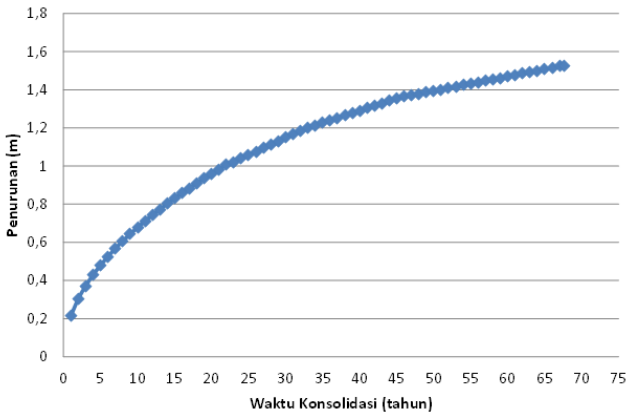
Tabel 5. 7 Nilai Cv Gabungan

Kedalaman			Tebal Lapisan	Cv	H/Cv ^{0.5}	Cv Gabungan	Cv Gabungan
(m)			(m)	cm ² /det	cm ² /det	cm ² /det	m ² /tahun
0,0	-	2,5	2,5	0,00056	106,02	0,00062	1,95996
2,5	-	4,5	2	0,00056	84,816		
4,5	-	6,5	2	0,00063	79,468		
6,5	-	8,5	2	0,00063	79,468		
8,5	-	10,5	2	0,00070	75,818		
10,5	-	12,5	2	0,00070	75,818		
Σ			12,5		501,41		

Hasil perhitungan menunjukkan nilai Cvgabungan = 0.00062 cm²/dtk = 1,96 m²/tahun. Dengan U = 90% didapat Tv = 0,848 (Berdasarkan Tabel 2.4). Dengan menggunakan Persamaan 2.10, didapatkan waktu konsolidasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 t &= 0,848 \times (12,5)^2 \text{ m} / 1,96 \text{ m}^2/\text{tahun} \\
 &= 67,6 \text{ Tahun}
 \end{aligned}$$

Waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% sangat lama sehingga perlu dilakukan perbaikan untuk mempercepat waktu konsolidasi. Berikut merupakan penurunan pada timbunan dengan lereng 1:2 tinggi 10,2 m apabila tidak dilakukan perbaikan untuk mempercepat waktu konsolidasi.



Gambar 5. 8 Pemampatan tanah dasar tanpa adanya perbaikan tanah

Berdasarkan hasil analisis tersebut diketahui bahwa pemampatan pertahun tanpa adanya perbaikan berpotensi merusak struktur jalan di atasnya. Sehingga perlu perbaikan untuk mempercepat waktu konsolidasi. Perbaikan yang digunakan adalah dengan menggunakan PVD (*preabricated vertical drain*).

5.3 Perencanaan PVD

PVD berfungsi untuk mempercepat keluarnya air dalam tanah sehingga tanah dapat cepat memampat. Air tanah akan mengalir menuju PVD jika ada tekanan pada tanah, sehingga harus diperhitungkan sampai kedalaman berapa distribusi tegangan dari timbunan. Dalam perencanaan terdapat dua pola pemasangan PVD yang akan digunakan yaitu pola segitiga dan pola segiempat dengan variasi jarak/spasi sebesar 0,8 m, 1,0 m, 1,2 m, 1,4 m, 1,6 m. Hal ini dilakukan agar mendapatkan jarak pemasangan PVD yang efisien untuk mencapai derajat konsolidasi yang diinginkan dan waktu perencanaan yang ditentukan. Perencanaan PVD dilakukan menggunakan PVD CT-D812 dengan lebar 100 mm dan tebal 4 mm pada setiap alternatif dengan kedalaman 12,5 meter. Perhitungan nilai fungsi hambatan (f_n) menggunakan

Persamaan 2.24 atau 2.25 didapatkan hasil pada Tabel 5.8 berikut:

Tabel 5. 8 Nilai Fungsi Hambatan (Fn)

Pola	Jarak PVD	D	a	b	Dw	n	F(n)
	S (m)	(mm)	(m)	(m)	(m)		
Segi Empat	0,8	0,904	0,1	0,004	0,066	13,654	1,873
	1	1,13	0,1	0,004	0,066	17,067	2,093
	1,2	1,356	0,1	0,004	0,066	20,481	3,025
	1,4	1,582	0,1	0,004	0,066	23,894	3,178
	1,6	1,808	0,1	0,004	0,066	27,308	3,311
Segi Tiga	0,8	0,84	0,1	0,004	0,066	12,687	1,800
	1	1,05	0,1	0,004	0,066	15,859	2,021
	1,2	1,26	0,1	0,004	0,066	19,031	2,952
	1,4	1,47	0,1	0,004	0,066	22,203	3,105
	1,6	1,68	0,1	0,004	0,066	25,374	3,238

Derajat konsolidasi total (U_{total}) yang dihasilkan dengan menggunakan PVD dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.31. Perhitungan U total pada pola segitiga dengan jarak 1,4 m disajikan pada Table 5.9 berikut:

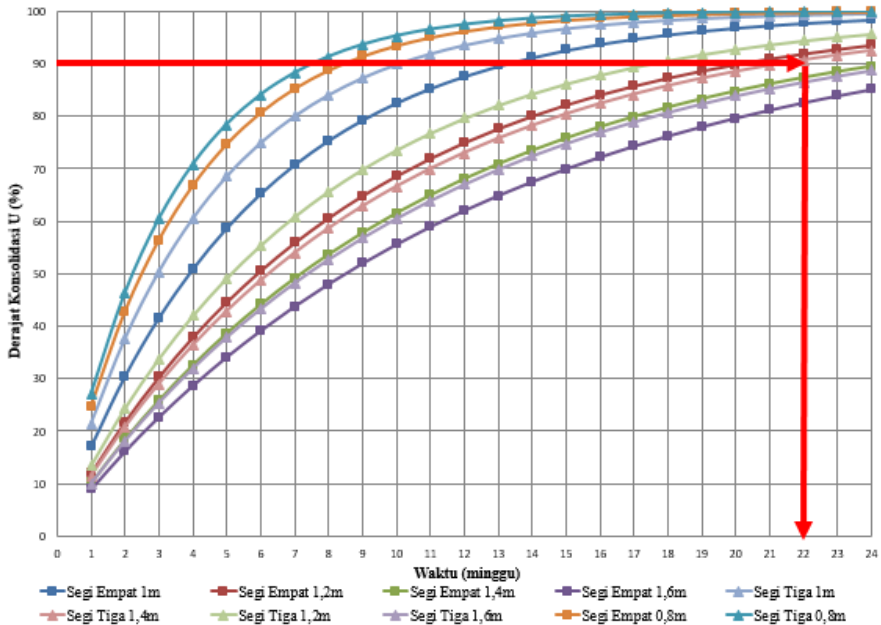
Tabel 5. 9 Derajat Konsolidasi Pola Segitiga Jarak 1,4m

t	tv	Uv	Uh	Utotal
hari		(%)	(%)	(%)
1	0,000	0,018	0,099	11,434
2	0,000	0,025	0,187	20,752
3	0,001	0,030	0,267	28,970
4	0,001	0,035	0,340	36,281
5	0,001	0,039	0,405	42,807
6	0,001	0,043	0,463	48,644

*Tabel 5.9 Derajat Konsolidasi Pola Segitiga Jarak 1,4m
(Lanjutan)*

t	tv	Uv	Uh	Utotal
hari		(%)	(%)	(%)
7	0,002	0,046	0,516	53,872
8	0,002	0,050	0,564	58,558
9	0,002	0,053	0,607	62,761
10	0,002	0,055	0,646	66,532
11	0,003	0,058	0,681	69,917
12	0,003	0,061	0,712	72,956
13	0,003	0,063	0,740	75,686
14	0,003	0,065	0,766	78,138
15	0,004	0,068	0,789	80,341
16	0,004	0,070	0,810	82,321
17	0,004	0,072	0,829	84,100
18	0,004	0,074	0,846	85,700
19	0,005	0,076	0,861	87,138
20	0,005	0,078	0,874	88,430
21	0,005	0,080	0,887	89,592
22	0,005	0,082	0,898	90,637
23	0,006	0,084	0,908	91,577
24	0,006	0,086	0,917	92,422

Perhitungan seluruh pola pemasangan dan jarak dihitung dengan cara yang sama seperti diatas. Hasil dari seluruh pola pemasangan dan jarak kemudian dijadikan grafik seperti pada Gambar 5.8 berikut:



Gambar 5. 9 Grafik Hubungan Antara Waktu Konsolidasi dengan Derajat Konsolidasi untuk Pola Gabungan pemasangan PVD

Waktu pemampatan yang diijinkan apabila menggunakan PVD tidak lebih dari 6 bulan. Hal ini dikarenakan ketika PVD terpasang selama lebih dari 6 bulan dikawatirkan sudah mengalami kerusakan sehingga tidak berfungsi lagi. Maka dari itu dalam perencanaan digunakan pola pemasangan segitiga dengan jarak 1,4 yang akan mencapai derajat konsolidasi 90 dalam 22 minggu.

5.3.1 Perhitungan *Rate of Settlement*

Setelah penentuan pola PVD dan waktu penurunan, lalu dilanjutkan dengan perhitungan penurunan sisa tanpa PVD. Berdasarkan dari *rate of settlement* akan ditentukan daerah mana yang akan dipasang PVD. Perhitungan juga dilakukan dengan

variasi tinggi timbunan sehingga lebih mudah menentukan area yang perlu PVD. Perhitungan penurunan berikut merupakan dari penurunan dari alternatif tanpa PVD, dan untuk rate of settlement ditentukan waktu rata-rata penurunannya, dalam hal ini penurunan ditinjau setiap satu tahun. Dalam perhitungan ini juga ditinjau pada tinggi timbunan 7 meter. Berikut data-data yang diperlukan.

Hdr tanpa PVD = 12,5 meter

Tinggi timbunan = 10,2 meter

Total penurunan = 1,7 m

Cv gabungan = 1,96 m/tahun

Hitung faktor (T_v) waktu untuk satu tahun menggunakan Persamaan 2.14, dan hitung derajat konsolidasi menggunakan Persamaan 2.16. Kemudian dihitung penurunan sisa setiap 1 tahun dengan mengalikan derajat konsolidasi dengan sisa penurunan.

$$T_v = \frac{C_v \times t}{H_{dr}^2} = \frac{1,96 \times 1}{12,5^2} = 0,013$$

Dicoba Persamaan 2.17, dimana $U_v \leq 60\%$,

$$U_v = \left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{0,5} \times 100\% = \left(\frac{4 \times 0,013}{\pi}\right)^{0,5} \times 100\% = 12,637 \%$$

$$S_c \text{ 1tahun} = 12,637 \% \times 1,7 \text{ m} = 0,215 \text{ m} = 21,5 \text{ cm}$$

Perhitungan selanjutnya dilakukan pada tahun ke-2 dengan cara yang sama seperti sebelumnya. Hasil selisih penurunan tiap tahunnya merupakan penurunan tanah lunak selama 1 tahun. Dari seluruh hasil selisih penurunan tersebut dirata-ratakan, dan hasil dari perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5. 10 Perhitungan Rate of Settlement Tanpa PVD

STA	Tinggi Timbunan (m)	Sc (m)	Rate of settlement (cm)
STA 0+610	10,2	1,70	2,25
STA 0+650	9,8	1,67	2,21
STA 0+700	9,2	1,61	2,13

*Tabel 5.10 Perhitungan Rate of Settlement Tanpa PVD
(Lanjutan)*

STA	Tinggi Timbunan (m)	Sc (m)	Rate of settlement (cm)
STA 0+750	7,8	1,47	1,95
STA 0+800	6,3	1,29	1,71
STA 0+850	5	1,10	1,46
STA 0+900	3,7	0,89	1,18

5.3.2 Perhitungan Biaya PVD

Pola pemasangan PVD setiap alternatif adalah segitiga dengan jarak antar PVD adalah 1,4 meter. PVD dipasang hingga di atas tanah dasar, dan pemasangan dilakukan pada lebar timbunan bagian bawah, dimana diantara tanah dasar dan timbunan. Pada setiap sisi lebar timbunan bawah ditambah 1 meter untuk penyesuaian. Pemasangan PVD hanya dari abutmen jembatan yaitu pada STA 0+610 sampai STA 0+750. Karena pada STA 0+750 penurunan pertahunnya dibawah 2 cm/tahun. Dalam perhitungan ini yang dicontohkan alternatif PVD dibawah timbunan setinggi 10,2 m dengan kemiringan lereng 1:2. Berikut perhitungan volume PVD STA 0+610 – 0+650.

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi timbunan} &= 10,2 \text{ m} \\
 \text{Lebar timbunan atas} &= 24,2 \text{ m} \\
 \text{Kemiringan lereng} &= 1:2 \\
 \text{Lebar bawah timbunan} &= (4 \times 10,2 \text{ m}) + 24,2 \text{ m} + 2 \text{ m} \\
 &= 67 \text{ m} \\
 \text{Jumlah PVD 1 baris} &= 67 \text{ m} / 1,4 \text{ m} \\
 &= 47,86 \text{ m} \\
 \text{Jarak memanjang PVD} &= \sqrt{[1,4^2 - (1,4/2)]^2} \\
 &= 1,21 \text{ m} \\
 \text{Panjang PVD per STA} &= 47,86 \times (40/1,21) \times (12,5+0,3) \\
 &= 20210 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Total panjang PVD pada alternatif kemiringan lereng 1:2 dari STA 0+610 hingga STA 0+700 adalah 44868 m. Harga PVD per meternya adalah Rp 3.500,- sehingga total harga pemasangan PVD pada alternatif kemiringan 1:2 sebesar Rp 157.039.273,- Untuk hasil seluruh alternatif dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5. 11 Perhitungan Harga PVD

STA	Tinggi Timbunan (m)	Lebar Timbunan Atas (m)	Lebar Timbunan Bawah (m)	PVD 1 Baris (m)	PVD memanjang (m)	Total Panjang PVD (m)	Harga
Kemiringan Lereng 1:2							
STA 0+610 - STA 0+650	10,2	24,2	67,00	47,86	1,21	20210	Rp 70.733.655,84
STA 0+650 - STA 0+700	9,8	24,2	65,40	46,71	1,21	24659	Rp 86.305.617,38
STA 0+700 - STA 0+750	9,2	24,2	63,00	45,00	1,21	23754	Rp 83.138.438,76
Total Harga							Rp240.177.711,98
Kemiringan Lereng 1:1							
STA 0+610 - STA 0+650	10,2	24,2	46,60	33,29	1,21	14056	Rp 49.196.841,22
STA 0+650 - STA 0+700	9,8	24,2	45,80	32,71	1,21	17269	Rp 60.440.325,32
STA 0+700 - STA 0+750	9,2	24,2	44,60	31,86	1,21	16816	Rp 58.856.736,01
Total Harga							Rp168.493.902,56
Lereng Tegak							
STA 0+610 - STA 0+650	10,2	24,2	26,20	18,71	1,21	7902,9	Rp 27.660.026,61
STA 0+650 - STA 0+700	9,8	24,2	24,20	17,29	1,21	9124,5	Rp 31.935.717,75
STA 0+700 - STA 0+750	9,2	24,2	26,20	18,71	1,21	9878,6	Rp 34.575.033,26
Total Harga							Rp 96.810.093,14

5.3.3 Perhitungan Biaya PHD

Material PHD digunakan untuk mempercepat penyaluran air tanah dari PVD menuju ke saluran drainase pembuangan. Pada dasarnya PHD bisa digunakan atau tidak, jika tidak menggunakan PHD maka yang berperan menyalurkan air tanah adalah sand blanket yang terdapat pada timbunan, namun hal itu membutuhkan waktu lebih lama. Pemasangan PHD searah dengan potongan melintang jalan, dan menghubungkan 2 baris PVD. Panjang PHD adalah lebar bawah timbunan ditambah 2 meter sebagai overlap menuju drainase. Jarak antar PHD 2 kali jarak memanjang PVD, yakni 2,8 m. Berikut perhitungan volume PHD STA 0+610 – 0+650.

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi timbunan} &= 10,2 \text{ m} \\
 \text{Lebar timbunan atas} &= 24,2 \text{ m} \\
 \text{Kemiringan lereng} &= 1:2 \\
 \text{Lebar bawah timbunan} &= (4 \times 10,2 \text{ m}) + 24,2 \text{ m} + 4 \text{ m} \\
 &= 69 \text{ m} \\
 \text{Panjang PHD per STA} &= 69 \times (40/2,8 + 1) \\
 &= 20210 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Total panjang PHD pada alternatif kemiringan lereng 1:2 dari STA 0+610 hingga STA 0+700 adalah 2325 m. Harga PHD per meternya adalah Rp 27.000,- sehingga total harga pemasangan PHD pada alternatif kemiringan 1:2 sebesar Rp 62.793.514,- Untuk hasil seluruh alternatif dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Perhitungan Harga PHD

STA	Tinggi Timbunan (m)	Lebar Timbunan Atas (m)	Lebar Timbunan Bawah (m)	Total Panjang PHD (m)	Harga
Kemiringan Lereng 1:2					
STA 0+610 - STA 0+650	10,2	24,2	69,00	1054,7	Rp 28.477.285,71
STA 0+650 - STA 0+700	9,8	24,2	67,40	1271	Rp 34.316.228,57
STA 0+700 - STA 0+750	9,2	24,2	65,00	1225,7	Rp 33.094.285,71
Total Harga					Rp 95.887.800,00
Kemiringan Lereng 1:1					
STA 0+610 - STA 0+650	10,2	24,2	48,60	742,89	Rp 20.057.914,29
STA 0+650 - STA 0+700	9,8	24,2	47,80	901,37	Rp 24.337.028,57
STA 0+700 - STA 0+750	9,2	24,2	46,60	878,74	Rp 23.726.057,14
Total Harga					Rp 68.121.000,00
Lereng Tegak					
STA 0+610 - STA 0+650	10,2	24,2	28,20	431,06	Rp 11.638.542,86
STA 0+650 - STA 0+700	9,8	24,2	28,20	531,77	Rp 14.357.828,57
STA 0+700 - STA 0+750	9,2	24,2	28,20	531,77	Rp 14.357.828,57
Total Harga					Rp 40.354.200,00

5.4 Penimbunan Bertahap

Timbunan dalam masa konstruksinya dilakukan dengan cara bertahap. Kecepatan penimbunan dalam perencanaan ini 50 cm/minggu. Dengan tinggi timbunan awal yang didapat dari perhitungan pada Sub bab 5.1, untuk timbunan dengan kemiringan lereng 1:2 dan tinggi akhir 10,2 m menghasilkan tahapan berikut:

$$\begin{aligned}
 H_{\text{initial}} &= 11,5 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan penimbunan} &= 50 \text{ cm / minggu} \\
 \text{Jumlah tahapan} &= \frac{11,5 \text{ m}}{0,5 \text{ m/minggu}} \\
 &= 23 \text{ minggu}
 \end{aligned}$$

5.4.1 Tinggi Timbunan Kritis (Hcr)

Tinggi penimbunan harus memperhatikan tinggi kritis timbunan (Hcr) yang masih mampu dipikul oleh tanah dasar agar timbunan tidak mengalami kelongsoran. Perhitungan tinggi kritis menggunakan persamaan 2.58 sebagai berikut:

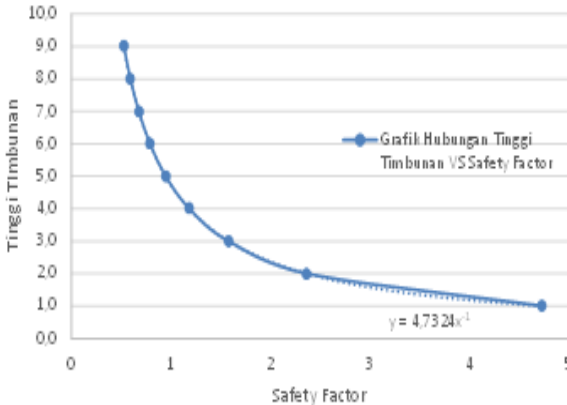
$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= C.N_c + \gamma d.N_q.D_f + 0,5.\gamma d.B.N_\gamma \\
 Q_{ult} &= 1,5 \text{ t/m}^2 \cdot 5,82 + 1,001 \text{ t/m}^3 \cdot 1,3 + 0,5 \cdot 1,001 \text{ t/m}^3 \\
 &\quad \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,05 \\
 Q_{ult} &= 8,755 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Nilai N_c , N_q , dan N_γ didapat dari Tabel 2.6. Permisalan tinggi timbunan diperlukan untuk mengetahui Q_{terjadi} . Untuk mempermudah perhitungan dilakukan dengan tabel seperti pada Tabel 5.13

Tabel 5. 13 Faktor Aman Tiap Tinggi Timbunan

Tinggi Timbunan (m)	C_u (t/m ²)	Q_{ult} (t/m ²)	Q (t/m ²)	SF
1	1,50	8,755032	1,85	4,732
2	1,50	8,755032	3,7	2,366
3	1,50	8,755032	5,55	1,577
4	1,50	8,755032	7,4	1,183
5	1,50	8,755032	9,25	0,946
6	1,50	8,755032	11,1	0,789
7	1,50	8,755032	12,95	0,676
8	1,50	8,755032	14,8	0,592
9	1,50	8,755032	16,65	0,526

Hasil analisa perhitungan diatas kemudian dibuat grafik hubungan tinggi timbunan VS faktor aman seperti pada Gambar 5.10 untuk mendapatkan tinggi kritis timbunan.



Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Antara Tinggi Timbunan VS SF

Tinggi timbunan kritis dapat ditentukan dengan cara menarik garis vertikal dari nilai faktor keamanan sebesar 1 memotong kurva H vs SF. Dari grafik tersebut didapatkan nilai tinggi timbunan kritis sebesar 4.3 m

Tinggi timbunan kritis yang mampu diterima tanah (H_{cr}) adalah 4,3 m, Sehingga pentahapan penimbunan untuk tahap 1 s.d 9 dapat dilakukan secara menerus. Tahap berikutnya, daya dukung tanah dasar harus cukup kuat menahan beban timbunan berikutnya, untuk itu harus dilakukan pengecekan daya dukung tanah terlebih dahulu.

5.4.2 Perhitungan peningkatan *Cohession Undrained* (C_u)

Perhitungan peningkatan nilai C_u baru digunakan untuk mengetahui berapa nilai C_u setelah terjadi pemampatan akibat beban timbunan bertahap. Dari sub bab sebelumnya diketahui bahwa tinggi H kritis adalah 4,3. Sehingga tahapan penimpunan sebagai berikut:

Tabel 5. 14 Tahapan Penimbunan H Kritis

Minggu ke-	Tinggi timbunan (m)								
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,3
1	1								
2	2	1							
3	3	2	1						
4	4	3	2	1					
5	5	4	3	2	1				
6	6	5	4	3	2	1			
7	7	6	5	4	3	2	1		
8	8	7	6	5	4	3	2	1	
9	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Perhitungan perubahan tegangan didapat dari :

$$\sigma_1' = P_o + \Delta P_1$$

$$\sigma_2' = \sigma_1' + \Delta P_2$$

Perhitungan di atas dilakukan seterusnya hingga tinggi timbunan kritis. Harga P_o , σ_1' , σ_2' dan seterusnya berbeda-beda untuk setiap kedalaman tanah. Contoh perhitungan hanya pada lapisan 1 tanah dasar.

$$\Delta P_1 = 2I \times q$$

Dimana :

$$q = H_{\text{timb}} \text{ tahap ke-1} \times \gamma_{\text{timbunan}}$$

$$= 0,5 \times 1,85$$

$$= 0,925 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta p = q/180 [(B_1+B_2)/B_2] (\alpha_1+\alpha_2) - B_1/B_2 (\alpha_2)$$

$$= 0,925 \text{ t/m}^2/180 [(12,1+1)/1] (0,18^\circ+87,634^\circ)$$

$$- 12,1/1 (87,634^\circ)$$

$$= 0,925 \text{ t/m}^2$$

Nilai Δp akibat penimbunan tahap 1 pada lapisan dibawahnya dihitung dengan cara yang sama seperti pada Tabel 15 berikut:

Tabel 5. 15 Nilai Δp Akibat Timbunan Tahap 1

Kedalaman	z	Po'	α_1	α_2	$\Delta P1$
	(m)	(t/m ²)	°	°	
0-1	0,5	0,320	0,180	87,634	0,925
1-2	1,5	0,960	0,535	82,933	0,924
2-3	2,5	1,600	0,869	78,326	0,922
3-4	3,5	2,240	1,174	73,867	0,917
4-5	4,5	2,880	1,442	69,600	0,909
5-6	5,5	3,563	1,669	65,556	0,898
6-7	6,5	4,289	1,854	61,756	0,884
7-8	7,5	5,015	2,000	58,208	0,868
8-9	8,5	5,741	2,110	54,913	0,848
9-10	9,5	6,467	2,187	51,864	0,828
10-11	10,5	7,193	2,237	49,050	0,805
11-12	11,5	7,919	2,265	46,456	0,782
12-12,5	12,25	8,464	2,273	44,647	0,765

Perhitungan tegangan akibat beban timbunan dihitung dengan persamaan 2.9 berikut:

$$\begin{aligned}\sigma_1' &= P_o + \Delta P1 \\ &= 0,32 + 0,925 \\ &= 1,245 \text{ t/m}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan perubahan tegangan akibat beban bertahap dari tahap 1 hingga tahap 9 dengan derajat konsolidasi 100% dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5. 16 Tegangan Akibat H Kritis

Kedalaman	Po'	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	σ_7	σ_8	σ_9
	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)
0-1	0,32	1,2	2,2	3,1	4,0	4,9	5,9	6,8	7,7	8,6
1-2	0,96	1,9	2,8	3,7	4,7	5,6	6,5	7,4	8,3	9,2

Tabel 5.16 Tegangan Akibat H Kritis (Lanjutan)

Kedalaman	Po'	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	σ_7	σ_8	σ_9
	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)
2-3	1,60	2,5	3,4	4,4	5,3	6,2	7,1	8,0	8,9	9,8
3-4	2,24	3,2	4,1	5,0	5,9	6,8	7,7	8,6	9,5	10,4
4-5	2,88	3,8	4,7	5,6	6,5	7,4	8,3	9,2	10,1	10,9
5-6	3,56	4,5	5,4	6,2	7,1	8,0	8,9	9,8	10,6	11,5
6-7	4,29	5,2	6,1	6,9	7,8	8,7	9,5	10,4	11,3	12,1
7-8	5,02	5,9	6,7	7,6	8,5	9,3	10,2	11,0	11,8	12,7
8-9	5,74	6,6	7,4	8,3	9,1	9,9	10,8	11,6	12,4	13,3
9-10	6,47	7,3	8,1	8,9	9,8	10,6	11,4	12,2	13,0	13,8
10-11	7,19	8,0	8,8	9,6	10,4	11,2	12,0	12,8	13,6	14,4
11-12	7,92	8,7	9,5	10,3	11,0	11,8	12,6	13,4	14,1	14,9
12-12,5	8,46	9,2	10,0	10,8	11,5	12,3	13,0	13,8	14,6	15,3

Setelah mendapatkan nilai perubahan tegangan akibat beban bertahap dengan $U = 100\%$, maka untuk mendapatkan nilai C_u baru harus menghitung penambahan tegangan efektif akibat beban H kritis apabila $U < 100\%$. Untuk perhitungan tegangan efektif $U < 100\%$ menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \Delta P1' \text{ lapisan 1} &= \left\{ \left(\frac{\sigma_1'}{P0'} \right)^{U9} x P0' \right\} - P0' \\ &= \left\{ \left(\frac{1,2}{0,32} \right)^{0,6276} x 0,32 \right\} - 0,32 \\ &= 0,43 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P2' \text{ lapisan 1} &= \left\{ \left(\frac{\sigma_2'}{P1'} \right)^{U8} x P1' \right\} - P1' \\ &= \left\{ \left(\frac{2,2}{1,2} \right)^{0,5856} x 1,2 \right\} - 1,2 \\ &= 0,48 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Seluruh perhitungan lapisan dapat dilihat pada Lampiran Hasil perhitungan perubahan tegangan dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5. 17 Perubahan Tegangan Tiap Lapisan pada Derajat Konsolidasi $U < 100\%$

perubahan tegangan	z	Po'	$\Delta P1'$	$\Delta P2'$	$\Delta P3'$	$\Delta P4'$	$\Delta P5'$	$\Delta P6'$	$\Delta P7'$	$\Delta P8'$	$\Delta P9'$	$\Sigma \sigma'$ (t/m ²)
	(m)		h	h	h	h	h	h	h	h	h	
		t/m ²	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,3	
umur timbunan			9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Kedalaman	U (%)	100	62,76	58,56	53,87	48,64	42,81	36,28	28,97	20,75	11,43	
0-1	0,5	0,32	0,43	0,48	0,46	0,42	0,37	0,32	0,25	0,18	0,10	3,33
1-2	1,5	0,96	0,51	0,50	0,46	0,42	0,37	0,32	0,25	0,18	0,10	4,07
2-3	2,5	1,60	0,53	0,50	0,47	0,42	0,37	0,32	0,25	0,18	0,10	4,75
3-4	3,5	2,24	0,54	0,51	0,47	0,42	0,37	0,31	0,25	0,18	0,10	5,39
4-5	4,5	2,88	0,54	0,51	0,47	0,42	0,37	0,31	0,25	0,18	0,10	6,02
5-6	5,5	3,56	0,54	0,50	0,46	0,42	0,37	0,31	0,25	0,17	0,10	6,68
6-7	6,5	4,29	0,54	0,50	0,46	0,41	0,36	0,30	0,24	0,17	0,09	7,37
7-8	7,5	5,02	0,53	0,49	0,45	0,41	0,35	0,30	0,24	0,17	0,09	8,04
8-9	8,5	5,74	0,52	0,48	0,44	0,40	0,35	0,29	0,23	0,17	0,09	8,72
9-10	9,5	6,47	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34	0,29	0,23	0,16	0,09	9,38
10-11	10,5	7,19	0,50	0,46	0,42	0,38	0,33	0,28	0,22	0,16	0,09	10,04
11-12	11,5	7,92	0,48	0,45	0,41	0,37	0,33	0,28	0,22	0,16	0,09	10,70
12-12,5	12,25	8,46	0,47	0,44	0,40	0,36	0,32	0,27	0,22	0,15	0,08	11,19

Setelah menghitung penambahan tegangan efektif pada derajat konsolidasi $< 100\%$, nilai Cu baru dapat dihitung. Karena harga Plasticity Index (PI) pada tanah ini kurang dari 120% maka

Cu baru dihitung menggunakan Persamaan 2.14. Contoh perhitungan menggunakan lapisan 1.

$$\begin{aligned}
 IP &= 81,02 \% \\
 \Sigma \sigma' &= 0,333 \text{ kg/cm}^2 \\
 Cu &= 0,15 \text{ kg/cm}^2 \\
 Cu \text{ baru} &= 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 PI) \sigma' \\
 &= 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 (0,8102)) \times 0,333 \\
 &= 0,09 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Didapatkan hasil Cu baru pada tahap ke 9 yang disajikan pada Tabel 5.18.

Tabel 5. 18 Hasil Cu Baru pada H Kritis Minggu 9

Kedalaman	PI	Cu Lama	Cu Baru	Cu Pakai
m	%	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
0-1	81,02	0,15	0,09	0,15
1-2	81,02	0,15	0,10	0,15
2-3	81,02	0,15	0,10	0,15
3-4	81,02	0,15	0,11	0,15
4-5	81,02	0,15	0,11	0,15
5-6	81,02	0,15	0,11	0,15
6-7	81,02	0,15	0,12	0,15
7-8	81,02	0,15	0,12	0,15
8-9	81,02	0,15	0,13	0,15
9-10	81,02	0,15	0,13	0,15
10-11	81,02	0,15	0,13	0,15
11-12	81,02	0,15	0,14	0,15
12-12,5	81,02	0,15	0,14	0,15

Penimbunan tahap ke 9 menghasilkan Cu baru yang lebih kecil dari Cu lama, sehingga digunakan Cu lama. Kemudian

dilanjutkan dengan menganalisa menggunakan DXSTABLE untuk mencari SF yang terjadi seperti pada Gambar 5.11



Gambar 5. 11 Analisa timbunan kemiringan lereng 1:2 tinggi 4,3m

Berdasarkan analisa diatas dihasilkan $SF > 1,2$ sehingga aman untuk dilakukan penimbunan selanjutnya. Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti sebelumnya, kenaikan Cu pada saat minggu ke 10 dengan tinggi timbunan 5 m ditampilkan pada Tabel 5.19.

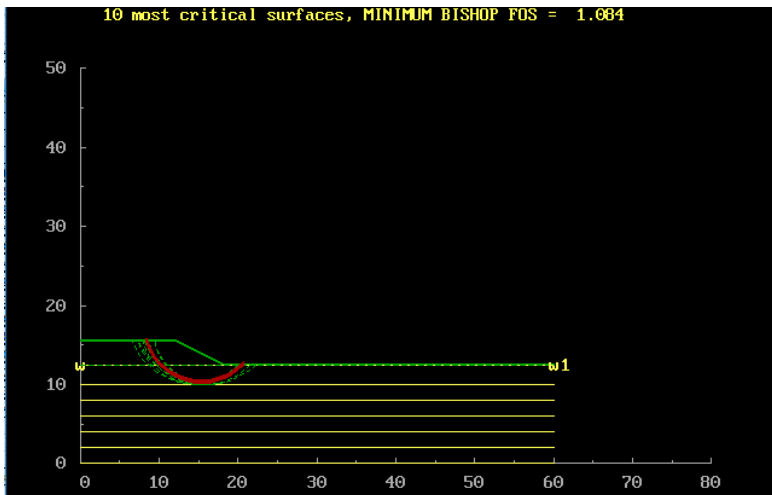
Tabel 5. 19 Hasil Perhitungan Cu Baru Timbunan 5 m Minggu 10

Kedalaman	PI	Cu Lama	Cu Baru	Cu Pakai
m	%	Kg/cm2	Kg/cm2	Kg/cm2
0-1	81,02	0,15	0,10	0,15
1-2	81,02	0,15	0,10	0,15
2-3	81,02	0,15	0,10	0,15
3-4	81,02	0,15	0,11	0,15
4-5	81,02	0,15	0,12	0,15
5-6	81,02	0,15	0,12	0,15
6-7	81,02	0,15	0,12	0,15
7-8	81,02	0,15	0,13	0,15

Tabel 5.19 Hasil Perhitungan Cu Baru Timbunan 5 m Minggu 10
(Lanjutan)

Kedalaman	PI	Cu Lama	Cu Baru	Cu Pakai
m	%	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
8-9	81,02	0,15	0,13	0,15
9-10	81,02	0,15	0,13	0,15
10-11	81,02	0,15	0,14	0,15
11-12	81,02	0,15	0,14	0,15
12-12,5	81,02	0,15	0,14	0,15

Penimbunan tahap ke 10 masih menghasilkan Cu baru yang lebih kecil dari Cu lama, sehingga digunakan Cu lama. Selanjutnya dianalisa lagi didapatkan hasil seperti pada Gambar 5.12 berikut:



Gambar 5. 12 Hasil analisa timbunan kemiringan lereng 1:2
tinggi 5 m

Dari analisa tersebut, diketahui bahwa SF timbunan adalah $1,004 < 1,25$. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan

penundaan sampai daya dukung tanah dasar mengalami peningkatan sehingga kuat menerima beban timbunan selanjutnya.

Setelah dilakukan penundaan selama 4 minggu, nilai C_u baru tidak mengalami peningkatan yang besar dan masih lebih kecil dari C_u lama sehingga perlu dilakukan perkuatan untuk menghindari kegagalan konstruksi. Perkuatan yang dimaksud akan dijelaskan pada bab selanjutnya.

Penambahan beban secara bertahap juga akan membuat tanah dasar menerima penurunan yang bertahap pula. Perhitungan penurunan akibat beban bertahap menggunakan persamaan 2.9 – 2.11 seperti berikut:

$$S_c \text{ untuk } P_0' + \Delta p_1 \leq P_c = \frac{C_s.H}{1+e_0} \log \left(\frac{P_0 + \Delta p_1}{P_0} \right)$$

$$S_c = \frac{0,113.1}{1+1,7} \log \left(\frac{0,32+0,925}{0,32} \right)$$

$$= 0,025 \text{ m}$$

Hasil analisa perubahan tegangan pada timbunan tahap 2 masih lebih kecil dari P_c' sehingga menggunakan rumus yang sama seperti diatas. Penimbunan tahap 3 menghasilkan perubahan tegangan yang lebih besar dari P_c' sehingga S_c untuk $P_0' + \Delta p_1' + \Delta p_2' + \Delta p_3' \geq P_c'$

$$= \frac{C_s.H}{1+e_0} \log \left(\frac{P_c}{P_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2} \right) +$$

$$\frac{C_c.H}{1+e_0} \log \left(\frac{P_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3}{P_c} \right)$$

$$S_c = \frac{0,113.1}{1+1,697} \log \left(\frac{2,32}{0,32+0,93+0,93} \right) + \frac{0,565.1}{1+1,697} \log \left(\frac{0,32+0,93+0,93+0,92}{2,32} \right)$$

$$S_c = 0,027 \text{ m}$$

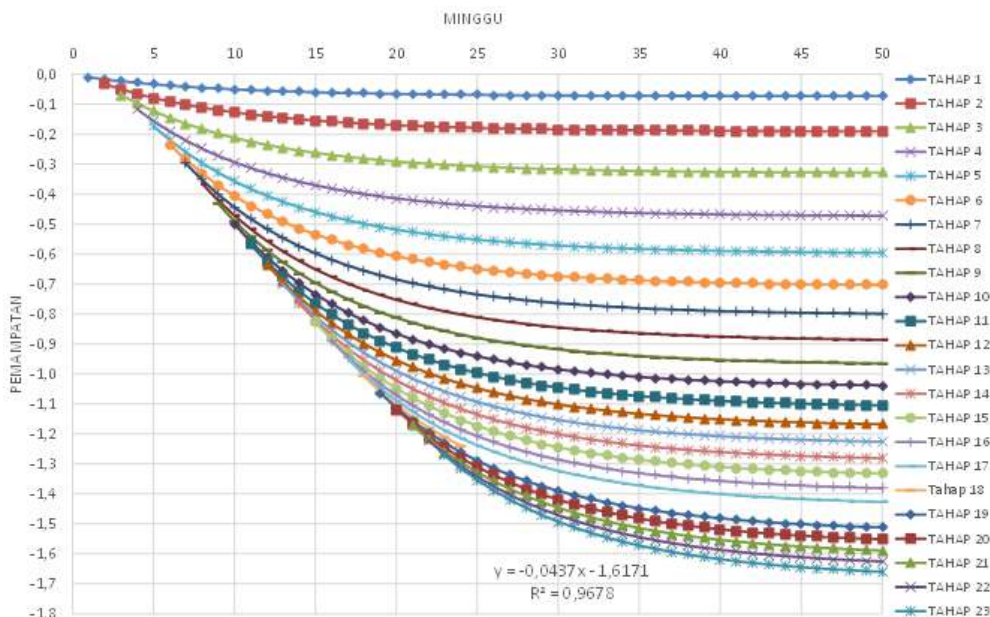
S_c penimbunan tahap ke 4 dihitung seperti berikut:

$$S_c = \frac{C_c.H}{1+e_0} \log \left(\frac{P_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4}{P_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3} \right)$$

$$S_c = \frac{0,565.1}{1+1,697} \log \left(\frac{0,32+0,925+0,925+0,924+0,924}{0,32+0,925+0,925+0,924} \right)$$

$$S_c = 0,023 \text{ m}$$

Perhitungan diatas merupakan contoh pada lapisan 1. Penurunan yang terjadi selama penimbunan bertahap tanpa adanya penundaan dapat dilihat pada Lampiran. Dari penurunan tersebut kemudian dibuat grafik penurunan per minggu akibat beban bertahap seperti pada Gambar 5.13 berikut:



Gambar 5. 13 Grafik settlement akibat penimbunan bertahap pada timbunan kemiringan lereng 1:2 tinggi akhir 10,2 m

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI

PERENCANAAN PERKUATAN TIMBUNAN

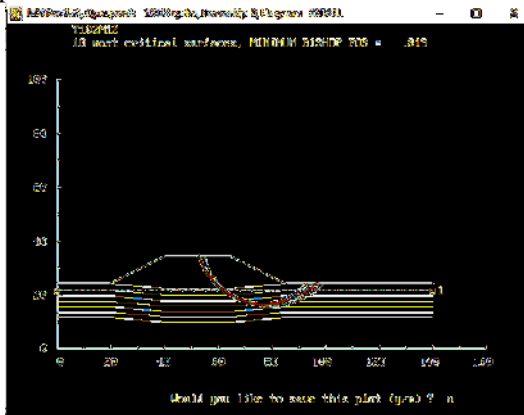
Perencanaan perkuatan timbunan akan digunakan perkuatan berupa *geotextile* atau *stone column* pada timbunan kemiringan lereng 1:2 dan 1:1. Pada timbunan dengan lereng tegak menggunakan *geogrid* kombinasi *multiblock*.

6.1 Perkuatan Menggunakan *Geotextile*

Geotextile yang digunakan pada perkuatan ini adalah *Geotextile Stabilenka* dengan kuat tarik maksimal adalah 100 kN/m. Pemasangan *geotextile* dilakukan berlapis dengan Sv 0,25 meter. Berikut ini adalah perencanaan faktor keamanan untuk *embankment* seperti pada Tabel 2.5:

- $FS_{id} = 1,2$; $FS_{cr} = 2,1$; $FS_{cd} = 1,1$; $FS_{bd} = 1,1$

Contoh perhitungan perkuatan dengan menggunakan *geotextile* untuk tinggi timbunan 10,2 meter kemiringan lereng 1:2. Seperti pada hasil analisa DXSTABLE berikut:



Gambar 6. 1 Output DXSTABLE pada timbunan kemiringan lereng 1:2 tinggi 10,2 m

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : T102M12

	FOS (BISHOP)	Circle x-coord (m)	Circle Center y-coord (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
1.	.819	77.75	42.29	26.68	96.53	52.90	3.581E+04
2.	.819	76.82	41.75	25.32	95.87	52.58	3.422E+04
3.	.819	78.48	43.06	27.14	98.00	52.77	3.823E+04
4.	.820	79.18	43.83	28.22	99.47	52.59	4.084E+04
5.	.826	76.29	40.96	24.89	93.60	53.11	3.141E+04
6.	.826	78.74	43.04	26.94	98.00	53.22	3.762E+04
7.	.827	76.07	41.27	24.46	93.60	52.60	3.232E+04
8.	.829	77.88	42.80	26.34	96.53	52.92	3.624E+04
9.	.830	75.48	40.15	23.06	92.13	53.14	2.930E+04
10.	.832	77.11	40.01	22.84	93.60	54.96	2.843E+04

Gambar 6. 2 Output DXSTABLE pada timbunan kemiringan lereng 1:2 tinggi 10,2 m

Output dari DXSTABLE dicari yang membutuhkan perkuatan paling banyak. Pada contoh diatas kebutuhan paling banyak pada Nomor 4.

- SF bishop = 0,82
- M resisting = 40840 kNm
- SF rencana = 1,25

Maka:

- Momen dorong = M res / SF bishop
= 40840 kNm / 0,82
= 49804,878 kNm
- Momen res rencana = Momen dorong x SF rencana
= 49804,878 kNm x 1,25
= 62256,0976 kNm
- ΔMr = Momen res rencana – M res
= 62256,0976 kNm – 40840 kNm
= 21416,1 kNm
- T allow = Kuat tarik / (Fsid x FScr x FScd x FSbd)
= 34,357 kN/m
= 34,357 kN/m x 2 lapis
= 68,714 kN/m

Perhitungan kebutuhan lapis geotextile seperti pada Tabel 6.1 berikut:

Tabel 6. 1 Kebutuhan Geotextile Pada Timbunan Kemiringan Lereng 1:2 Tinggi 10,2 M

No Lapis	Jarak titik longsor ke lapisan geotekstile (m)	Sisa Tinggi Timbunan (m)	T allow (Si) (KN/m ²)	Momen penahan geotekstile	ΔM Resistance kumulatif	Lembar Pasang	Keterangan
1 (bot)	19,63	10,20	71,554	1404,60	1404,60	2	tambah lapis
2	19,38	9,95	71,554	1386,71	2791,31	2	tambah lapis
3	19,13	9,70	71,554	1368,82	4160,14	2	tambah lapis
4	18,88	9,45	35,777	675,47	4835,61	1	tambah lapis
5	18,63	9,20	35,777	666,52	5502,13	1	tambah lapis
6	18,38	8,95	35,777	657,58	6159,71	1	tambah lapis
7	18,13	8,70	35,777	648,64	6808,34	1	tambah lapis
8	17,88	8,45	35,777	639,69	7448,03	1	tambah lapis
9	17,63	8,20	35,777	630,75	8078,78	1	tambah lapis
10	17,38	7,95	35,777	621,80	8700,58	1	tambah lapis
11	16,88	7,45	35,777	603,91	9304,50	1	tambah lapis
12	16,63	7,20	35,777	594,97	9899,47	1	tambah lapis
13	16,38	6,95	35,777	586,03	10485,49	1	tambah lapis
14	16,13	6,70	35,777	577,08	11062,57	1	tambah lapis
15	15,88	6,45	35,777	568,14	11630,71	1	tambah lapis
16	15,63	6,20	35,777	559,19	12189,90	1	tambah lapis
17	15,38	5,95	35,777	550,25	12740,15	1	tambah lapis
18	15,13	5,70	35,777	541,30	13281,46	1	tambah lapis
19	14,88	5,45	35,777	532,36	13813,82	1	tambah lapis
20	14,63	5,20	35,777	523,42	14337,23	1	tambah lapis
21	14,38	4,95	35,777	514,47	14851,70	1	tambah lapis

Tabel 6.1 Kebutuhan Geotextile Pada Timbunan Kemiringan
Lereng 1:2 Tinggi 10,2m (Lanjutan)

No Lapis	Jarak titik longsor ke lapisan geotekstile (m)	Sisa Tinggi Timbunan (m)	T allow (Si) (KN/m')	Momen penahan geotekstile	ΔM Resistance kumulatif	Lembar Pasang	Keterangan
22	14,13	4,70	35,777	505,53	15357,23	1	tambah lapis
23	13,88	4,45	35,777	496,58	15853,82	1	tambah lapis
24	13,63	4,20	35,777	487,64	16341,45	1	tambah lapis
25	13,38	3,95	35,777	478,69	16820,15	1	tambah lapis
26	13,13	3,70	35,777	469,75	17289,90	1	tambah lapis
27	12,88	3,45	35,777	460,81	17750,71	1	tambah lapis
28	12,63	3,20	35,777	451,86	18202,57	1	tambah lapis
29	12,38	2,95	35,777	442,92	18645,49	1	tambah lapis
30	12,13	2,70	35,777	433,97	19079,46	1	tambah lapis
31	11,88	2,45	35,777	425,03	19504,49	1	tambah lapis
32	11,63	2,20	35,777	416,09	19920,58	1	tambah lapis
33	11,38	1,95	35,777	407,14	20327,72	1	tambah lapis
34	11,13	1,70	35,777	398,20	20725,91	1	tambah lapis
35	10,88	1,45	35,777	389,25	21115,17	1	tambah lapis
36 (top)	10,63	1,20	35,777	380,31	21495,47	1	cukup

Kebutuhan panjang *geotextile* dibelakang bidang longsor dapat dilihat pada Tabel 6.2 dengan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui tanah timbunan :

$$\Phi = 30^\circ$$

$$C = 0 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma_{\text{timb}} = 18,5 \text{ KN/m}^3$$

Tanah dasar:

$$\Phi = 0^\circ$$

$$C = 16,15 \text{ KPa}$$

$$\gamma_{\text{tanah}} = 15,41 \text{ KN/m}^3$$

$$E = 0,8$$

Dengan menggunakan:

$$\tau = C + \sigma' \tan \delta$$

$$\tau_1 \text{ timbunan} = 68,68 \text{ KN/m}^2$$

$$\tau_2 \text{ tanah dasar} = 21,64 \text{ KN/m}^2$$

Panjang geotextile di belakang bidang longsor menggunakan persamaan 2.43 sebagai berikut:

$$L_e = \frac{T_{allow} \times S_f}{(t_1 + t_2) \times E}$$

$$L_e = 1,2 \text{ m}$$

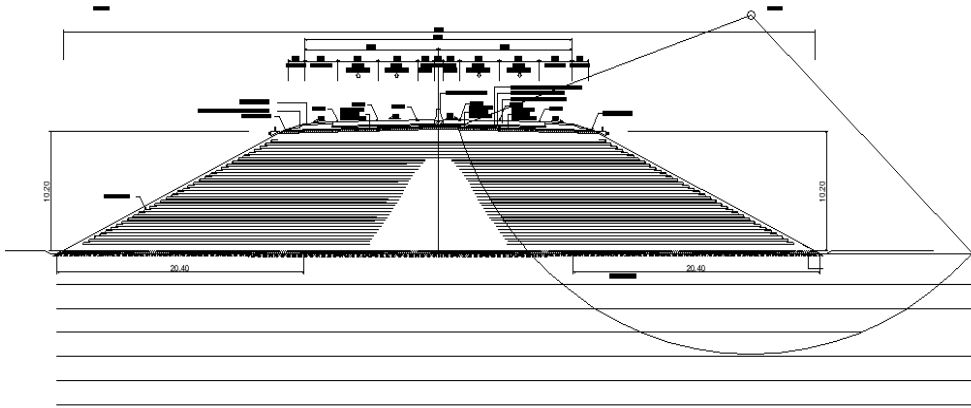
Tabel 6. 2 Kebutuhan Panjang L_e Pada Timbunan Kemiringan Lereng 1:2 Tinggi 10,2 M

No Lapis	τ_1 (KN/m ²)	τ_2 (KN/m ²)	$\Sigma\tau$ (KN/m ²)	L_e (m)	L_e pakai (m)
1 (bot)	74,14	22,08	96,22	1,16	1,2
2	72,46	72,46	144,91	0,77	1,0
3	70,77	70,77	141,55	0,79	1,0
4	69,09	69,09	138,18	0,40	1,0
5	67,41	67,41	134,81	0,41	1,0
6	65,72	65,72	131,45	0,43	1,0
7	64,04	64,04	128,08	0,44	1,0
8	62,36	62,36	124,71	0,45	1,0
9	60,67	60,67	121,35	0,46	1,0
10	58,99	58,99	117,98	0,47	1,0
11	55,62	55,62	111,25	0,50	1,0
12	53,94	53,94	107,88	0,52	1,0
13	52,26	52,26	104,51	0,53	1,0
14	50,57	50,57	101,15	0,55	1,0
15	48,89	48,89	97,78	0,57	1,0

Tabel 6.2 Kebutuhan Panjang Le Pada Timbunan Kemiringan Lereng 1:2 Tinggi 10,2m (Lanjutan)

No Lapis	τ_1 (KN/m ²)	τ_2 (KN/m ²)	$\Sigma\tau$ (KN/m ²)	Le (m)	Le pakai (m)
16	47,21	47,21	94,41	0,59	1,0
17	45,52	45,52	91,05	0,61	1,0
18	43,84	43,84	87,68	0,64	1,0
19	42,16	42,16	84,31	0,66	1,0
20	40,47	40,47	80,95	0,69	1,0
21	38,79	38,79	77,58	0,72	1,0
22	37,11	37,11	74,21	0,75	1,0
23	35,42	35,42	70,85	0,79	1,0
24	33,74	33,74	67,48	0,83	1,0
25	32,06	32,06	64,11	0,87	1,0
26	30,37	30,37	60,75	0,92	1,0
27	28,69	28,69	57,38	0,97	1,0
28	27,01	27,01	54,01	1,03	1,1
29	25,32	25,32	50,65	1,10	1,2
30	23,64	23,64	47,28	1,18	1,2
31	21,96	21,96	43,91	1,27	1,3
32	20,27	20,27	40,55	1,38	1,4
33	18,59	18,59	37,18	1,50	1,6
34	16,91	16,91	33,81	1,65	1,7
35	15,22	15,22	30,45	1,84	1,9
36 (top)	13,54	13,54	27,08	2,06	2,1

Dengan hasil analisa di atas, maka perencanaan pemasangan geotextile dimodelkan seperti pada Gambar 6.3 di bawah ini. Dari gambar tersebut dapat diketahui panjang geotextile di depan bidang longsor (L_r) pada Tabel 6.3.



Gambar 6. 3 Pemasangan geotextile pada timbunan kemiringan lereng 1:2 tinggi 10,2 m

Tabel 6. 3 Kebutuhan Panjang Total Pada Timbunan Kemiringan Lereng 1:2 Tinggi 10,2 M

No Lapis	Le pakai (m)	Lr (m)	σ_H (m)	Lo (m)	Ltot (m)
1 (bot)	1,2	26,10	77,90	0,5	58
2	1,0	25,83	76,36	0,5	56
3	1,0	25,57	74,82	0,5	56
4	1,0	25,29	73,28	0,5	28
5	1,0	25,02	71,73	0,5	27
6	1,0	24,73	70,19	0,5	27
7	1,0	24,45	68,65	0,5	27
8	1,0	24,12	67,11	0,5	26
9	1,0	23,79	65,57	0,5	26
10	1,0	23,46	64,03	0,5	26
11	1,0	23,13	60,94	0,5	25
12	1,0	22,80	59,40	0,5	25
13	1,0	22,47	57,86	0,5	25
14	1,0	22,14	56,32	0,5	24

Tabel 6.3 Kebutuhan Panjang Total Pada Timbunan Kemiringan Lereng 1:2 Tinggi 10,2m (Lanjutan)

No Lapis	Le pakai (m)	Lr (m)	σ_H (m)	Lo (m)	Ltot (m)
15	1,0	21,81	54,78	0,5	24
16	1,0	21,48	53,23	0,5	24
17	1,0	21,15	51,69	0,5	23
18	1,0	20,82	50,15	0,5	23
19	1,0	20,48	48,61	0,5	23
20	1,0	20,14	47,07	0,5	22
21	1,0	19,80	45,53	0,5	22
22	1,0	19,46	43,98	0,5	22
23	1,0	19,12	42,44	0,5	21
24	1,0	18,78	40,90	0,5	21
25	1,0	18,44	39,36	0,5	21
26	1,0	18,09	37,82	0,5	20
27	1,0	17,74	36,28	0,5	20
28	1,1	17,39	34,73	0,5	20
29	1,2	17,01	33,19	0,5	19
30	1,2	16,63	31,65	0,5	19
31	1,3	16,25	30,11	0,5	19
32	1,4	15,87	28,57	0,5	19
33	1,6	15,49	27,03	0,5	18
34	1,7	15,11	25,48	0,5	18
35	1,9	14,73	23,94	0,5	18
36 (top)	2,1	15,73	22,40	1,5	20

Hasil perhitungan kebutuhan geotextile untuk masing-masing tinggi timbunan dan alternatif dihitung dengan cara yang sama seperti diatas. Untuk timbunan 4,3 meter tidak memerlukan perkuatan dikarenakan *Safety Factor* nya sudah lebih dari 1,25. Perhitungan biaya perkuatan dengan geotekstil pada setiap perkuatan direkap untuk mempermudah perhitungan seperti pada Tabel 6.4 berikut:

Tabel 6. 4 Rekap Harga Geotekstil Pada Setiap Alternatif

STA	Tinggi Akhir (m)	Jumlah Lapis Geotekstil		Panjang Geotekstil (m/m')		Volume Geotekstil (m ²)		Harga	
		Kemiringan							
		1:2	1:1	1:2	1:1	1:2	1:1	1:2	1:1
STA 0+610	10,2	39	40	1824	1880	72960	75200	Rp 1.021.440.000	Rp 1.052.800.000
STA 0+650	9,8	35	37	1562	1284	78100	64200	Rp 1.093.400.000	Rp 898.800.000
STA 0+700	9,2	28	32	1206	1086	60300	54300	Rp 844.200.000	Rp 760.200.000
STA 0+750	7,8	17	18	764	594	38200	29700	Rp 534.800.000	Rp 415.800.000
STA 0+800	6,3	7	8	306	248	15300	12400	Rp 214.200.000	Rp 173.600.000
STA 0+850	5	7	8	262	226	13100	11300	Rp 183.400.000	Rp 158.200.000
STA 0+900	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Total								Rp 3.891.440.000	Rp 3.459.400.000

6.1.1 Cek Stabilitas

Kontrol stabilitas timbunan digunakan untuk mengetahui apakah pada saat konstruksi atau masa layan timbunan mengalami kegagalan atau tidak. Stabilitas yang di cek meliputi *internal stability*, *overall stability*, dan *foundation stability*. Contoh perhitungan stabilitas timbunan digunakan timbunan dengan tinggi 10,2 m dengan kemiringan lereng 1:2 seperti berikut:

1. Perhitungan *internal stability* sesuai dengan sub bab 2.8.1 sebagai berikut :

Data tanah :

H final = 10,2 m

$\phi = 30^\circ$; $K_a = 0,333$

Q lalu lintas = 15 kN/m²

γ timbunan = 18,5 kN/m³

SF jalan tetap = 1,5

$$Pa_1 \leq \frac{((\text{Berat efektif ABC} \times \tan \delta))}{SF}$$

$$((0,5 \times H_{\text{timb}}^2 \times \gamma_{\text{timb}} \times Ka) + (q \times Ka \times H_{\text{timb}})) \leq \frac{((\text{Berat efektif ABC} \times \tan \delta))}{SF}$$

$$397,3 \leq \frac{((1924 \times 0,54))}{1,5}$$

$$397,3 > 696,7 \quad \text{(OK)}$$

2. Perhitungan *overall stability* sesuai dengan sub bab 2.8.2 sebagai berikut :

$$SF = \frac{M.\text{penahan}}{M.\text{pendorong}} = \frac{MR.\text{eksisting} + \Delta MR.\text{rencana}}{M.\text{Pendorong}} > 1,25$$

$$SF = \frac{40840 + 21566}{49804,9} > 1,25$$

$$SF = 1,253 > 1,25 \quad \text{(OK)}$$

3. Perhitungan *foundation stability* sesuai dengan sub bab 2.8.3 sebagai berikut :

Data tanah :

H final = 10,2 m ; L = 2 x H final = 20,4 m

Q lalu lintas = 15 kN/m²

SF jalan tetap = 1,5

Parameter tanah dasar dapat dilihat pada Tabel 4.4

Perhitungan tekanan tanah sebagai berikut :

$$Pa = (\sigma'_{vo} - 2cu) + 0,5 \cdot h^2 \cdot \gamma_t$$

$$Pa = ((15 + 10,2 \times 18,5) - 2 \times 16,15) + 0,5 \cdot 12,5^2 \cdot 6,4$$

$$Pa = 671,4$$

$$Pp = 0,5 \cdot h^2 \cdot \gamma_t + 2Cu \cdot h$$

$$Pp = 0,5 \times 12,5^2 \times 6,4 + 2 \times 16,15 \times 12,5$$

$$Pa = 903,75$$

$$Pa \leq \frac{PP + (2 \times (2/3 \times Cu) \times L)}{SF} + T.Allow$$

$$671,4 \leq \frac{903,75 + (2 \times (2/3 \times 16,15) \times 20,4)}{1,5} + 68,714$$

671,4 < 964,07 Aman terhadap *foundation stability*

6.2 Perkuatan Menggunakan *Geogrid* kombinasi *Multiblock*

Dalam perencanaan *geogrids wall reinforcement* untuk timbunan dengan lereng tegak dihitung berdasarkan teori yang telah dijelaskan pada sub bab 2.9. *Geogrids* Direncanakan menerima semua beban yang terjadi, sedangkan *multiblock* hanya digunakan untuk penutup *geogrids* Langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Dihitung kuat ijin *geogrids* dengan jenis dan tipe *geogrids* yang digunakan adalah produk Tenax *Uni-Axial grids* dan tipe TT 200 Samp dengan memiliki kekuatan tarik sebesar 200 kN/m.

$$\gamma \text{ timb.} = 1,85 \text{ t/m}^3$$

$$q \text{ lalu-lintas} = 1,5 \text{ t/m}^2$$

$$\phi \text{ timb.} = 30^\circ$$

$$\phi \text{ tanah dasar} = 2,5^\circ$$

$$K_a = \tan^2(45-\theta/2) = \tan^2(45-30/2) = 0,333$$

$$T_{allow} = T / (F_{Sid} \times F_{Scr} \times F_{Scd} \times F_{Sbd})$$

$$T_{allow} = 200 / (1,2 \times 2,1 \times 1,1 \times 1,1) = 65,59 \text{ kN/m}$$

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

2. Jarak pemasangan *geogrid* (S_v) dengan rencana pemadatan per-20 cm dikarenakan digunakan *multiblock* tertinggi 20 cm, Perhitungan L_e , dan L_r dimana masing-masing perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.5.

3. Contoh perhitungan kebutuhan *geogrid*

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2(45-\theta/2) \\ &= \tan^2(45-30/2) \\ &= 0,333 \end{aligned}$$

$$f = \tan \delta = 0,364$$

$$\begin{aligned} T_i &= (\gamma \times z_i + q) k_a \\ &= (18,5 \text{ KN/m}^3 \times 1,2 \text{ m} + 15 \text{ KN/m}^2) \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,333 \\ &= 12,40 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Le &= \frac{Ti \times SF}{2.b.tan\delta.yz} \\ Le &= \frac{12,40 \times 1,25}{2 \times 1 \times 0,364 \times 18,5 \times 1,2} \\ Le &= 0,969 \text{ m} \end{aligned}$$

Karena nilai Le kurang dari 1 m maka pada pengaplikasian dilapangannya akan digunakan panjang Le = 1m.

$$\begin{aligned} \rho &= 45^\circ + \theta/2 \\ &= 60^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Lr &= Zi \times \tan(90^\circ - \rho) \\ &= 11,1 \times 0,577 \\ &= 6,405 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Lo &= Lr + Le \\ &= 6,405 + 1 \\ &= 7,405 \text{ m} = 7,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 6. 5 Perhitungan Le dan Lr Geogrid

No	Zi (m)	Ti (Knm)	Le(m)	Le Pakai (m)	Lr (m)	Ltot pakai (m)
1 (top)	1,20	12,40	0,959	1	5,20	6,2
2	1,40	13,63	0,904	1	5,08	6,1
3	1,60	14,87	0,862	1	4,97	6,0
4	1,80	16,10	0,830	1	4,85	5,8
5	2,00	17,33	0,804	1	4,73	5,7
6	2,20	18,57	0,783	1	4,62	5,6
7	2,40	19,80	0,766	1	4,50	5,5
8	2,60	21,03	0,751	1	4,39	5,4
9	2,80	22,27	0,738	1	4,27	5,3
10	3,00	23,50	0,727	1	4,16	5,2
11	3,20	24,73	0,717	1	4,04	5,0
12	3,40	25,97	0,709	1	3,93	4,9
13	3,60	27,20	0,701	1	3,81	4,8
14	3,80	28,43	0,695	1	3,70	4,7
15	4,00	29,67	0,688	1	3,58	4,6
16	4,20	30,90	0,683	1	3,46	4,5
17	4,40	32,13	0,678	1	3,35	4,3
18	4,60	33,37	0,673	1	3,23	4,2
19	4,80	34,60	0,669	1	3,12	4,1
20	5,00	35,83	0,665	1	3,00	4,0

Tabel 6.5 Perhitungan Le dan Lr Geogrid (Lanjutan)

No	Zi (m)	Ti (Knm)	Le(m)	Le Pakai (m)	Lr (m)	Ltot pakai (m)
21	5,20	37,07	0,662	1	2,89	3,9
22	5,40	38,30	0,658	1	2,77	3,8
23	5,60	39,53	0,655	1	2,66	3,7
24	5,80	40,77	0,652	1	2,54	3,5
25	6,00	42,00	0,650	1	2,42	3,4
26	6,20	43,23	0,647	1	2,31	3,3
27	6,40	44,47	0,645	1	2,19	3,2
28	6,60	45,70	0,643	1	2,08	3,1
29	6,80	46,93	0,641	1	1,96	3,0
30	7,00	48,17	0,639	1	1,85	3,0
31	7,20	49,40	0,637	1	1,73	3,0
32	7,40	50,63	0,635	1	1,62	3,0
33	7,60	51,87	0,633	1	1,50	3,0
34	7,80	53,10	0,632	1	1,39	3,0
35	8,00	54,33	0,630	1	1,27	3,0
36	8,20	55,57	0,629	1	1,15	3,0
37	8,40	56,80	0,628	1	1,04	3,0
38	8,60	58,03	0,626	1	0,92	3,0
39	8,80	59,27	0,625	1	0,81	3,0
40	9,00	60,50	0,624	1	0,69	3,0
41	9,20	61,73	0,623	1	0,58	3,0
42	9,40	62,97	0,622	1	0,46	3,0
43	9,60	64,20	0,621	1	0,35	3,0
44	9,80	65,43	0,620	1	0,23	3,0
45	10,00	66,67	0,619	1	0,12	3,0
46 (bot)	10,20	67,90	0,618	1	0,00	3,0

4. Periksa terhadap kontrol stabilitas geser

$$FS = \frac{\sum \text{Gaya Penahan}}{\sum \text{Gaya Pendorong}}$$

$$FS = \frac{[C + \left(\frac{W + Pa \cdot \sin \delta}{L}\right) \tan \delta] \cdot L}{Pa \cdot \cos \delta}$$

$$FS = \frac{[0,1651 + \left(\frac{1482,77 + 3936,86}{3}\right) \tan 20] \cdot 3}{1350,108}$$

$$FS = 1,46$$

$$FS > FS \text{ Rencana}$$

$$1,46 > 1,3 \text{ (OK)}$$

5. *bearing capacity failure* sesuai persamaan 2.56.

$$SF = \frac{C \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma}}{Q_{\text{multiblok}}} > 2$$

$$SF = \frac{16,15 \times 5,82 + 16,44 \times 1 \times 1,3 + 0,5 \times 16,44 \cdot 1 \cdot 0,1}{22 \times 10,2} = 0,4 < 1,5$$

Timbunan tegak tidak aman terhadap stabilitas ambblas sehingga perlu dilakukan perkuatan pada tanah dasarnya. Perkuatan yang direncanakan adalah dengan menggunakan micropiles.

6.2.1 Perhitungan *Micropiles*

Dalam perencanaan *micropiles* perlu untuk dicari tahu berapa kedalaman bidang longsornya. Apabila kedalaman lebih dari 3 m maka cerucuk kayu tidak dapat digunakan. Sehingga perlu mengganti cerucuk kayu dengan *minipiles* yang terbuat dari beton. Minipiles memiliki spesifikasi diameter 10 cm, 15 cm atau 20 cm dan panjang berkisar 6 m-15 m (bergantung terhadap type dan pesanan). *Minipiles* dipasarkan tersedia dalam bentuk tiang pancang pratekan (*prestressed piles*).

Micropiles yang digunakan adalah *micropiles* jenis *minipiles* yang terbuat dari beton. *Minipiles* tersebut memiliki spesifikasi teknis sebagai berikut :

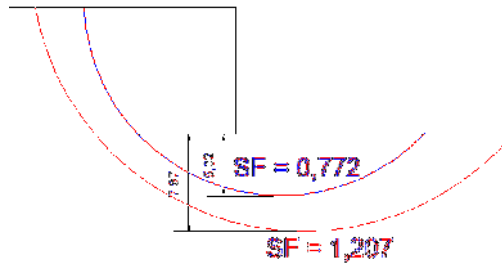
Minipiles K-350

Dimensi:

- Bt = 20 cm
- Ht = 20 cm
- $F_y' = 400 \text{ Mpa}$
- $F_c' = 30 \text{ Mpa}$
- D = 16 mm
- $\Phi = 8 \text{ mm}$

- $D' = 40$ mm
- Jumlah tulangan tarik = 2 buah
- Jumlah tulangan tekan = 2 buah (dipasang praktis)
- Jarak pemasangan tulangan sengkang = 200 mm

Setelah dicoba menggunakan program bantu DXSTABLE didapatkan nilai SF dan bidang longsor seperti pada Gambar 6.4



Gambar 6. 4 Nilai SF bidang longsor timbunan tegak tinggi 10,2m

Perhitungan kebutuhan micropile menggunakan SF paling kritis yaitu 0,772. Untuk SF 1,2 digunakan untuk kedalaman micropile yang diperlukan. Perencanaan perhitungan micropile sebagai berikut:

1. Data Output:

- SF Kritis : 0,772
- Momen Resistance : 14500 kNm
- Koordinat Pusat : (58,07 ; 35,08)
- R : 15,9 m
- Koordinat Puncak Timbunan : 34,4
- Koordinat Awal Timbunan : 24,2
- H timbunan : 10,2 m
- Kedalaman bidang longsor dari muka tanah : 5,02 m

2. Data Perencanaan Micropile K – 350

- bt : 20 cm
- ht : 20 cm
- fy, : 400 Mpa

- Mutu : K-350 kg/cm²
- F'c : 29.05 Mpa
- Diameter Tulangan : 16 mm
- Φ : 8 mm
- d' : 40 mm
- Jumlah Tulangan Tarik : 2 buah
- Jumlah Tulang Tekan : 2 buah
- Jarak Tulangan Sengkang : 200 mm
- As Tarik : 402.124 mm²
- As Tekan : 402.124 mm²
- d : $h - d' - (1/2 D) - \Phi$
: 200 - 40 - (1/2 x 16) - 8
: 144 mm

3. Panjang Micropile

- La (di atas bidang longsor) = 5.0 m
- Lb (di bawah bidang Longsor) = Kedalaman
bidang longsor SF 1.207 – La
= 7,87 – 5.02
= 2.85 m
- L Total = 7,87 m = 8 m

Perhitungan perencanaan micropile sebagai perkuatan timbunan :

1. Mencari nilai momen dorong

$$\begin{aligned} \text{Momen Dorong} &= \frac{\text{Momen Resistance}}{SF} \\ &= \frac{14500}{0.772} \\ &= 18782,4 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2. Mencari nilai momen rencana dengan angka keamanan rencana Sf rencana

$$\begin{aligned} \text{SF rencana} &= 1.25 \\ \text{Mrencana} &= \text{M dorong} \times \text{SF rencana} \\ &= 18782,4 \text{ KNm} \times 1.25 \\ &= 23478 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3. Mencari nilai tambahan momen penahan (ΔMr)

$$\begin{aligned}\Delta Mr &= Mr \text{ rencana} - Mr \\ &= 23478 \text{ kNm} - 14500 \text{ kNm} \\ &= 8978 \text{ kNm}\end{aligned}$$

4. Perhitungan momen

$$\begin{aligned}\text{Gaya tekan} &= \text{Gaya tarik} \\ a &= \frac{As \text{ tarik } f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{402,124 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 200 \text{ mm}} \\ &= 32,571 \text{ mm}\end{aligned}$$

Gaya Tekan:

$$\begin{aligned}C &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 200 \text{ mm} \times 32,571 \text{ mm} \\ &= 160849,544 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= C (d-a/2) + A_s \times f_y (d-d') \\ &= 160849,54 \text{ N} \times (144 \text{ mm} - 32,57 \text{ mm}/2) \\ &\quad + 402,12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times (144 \text{ mm} - 40 \text{ mm}) \\ &= 37271209,733 \text{ N-mm} \\ &= 3,727 \text{ t-m}\end{aligned}$$

Momen Ultimate (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= 0,8 \times M_n \\ &= 0,8 \times 3,727 \text{ t-m} \\ &= 2,982 \text{ t-m} \\ &= 298,2 \text{ t-cm}\end{aligned}$$

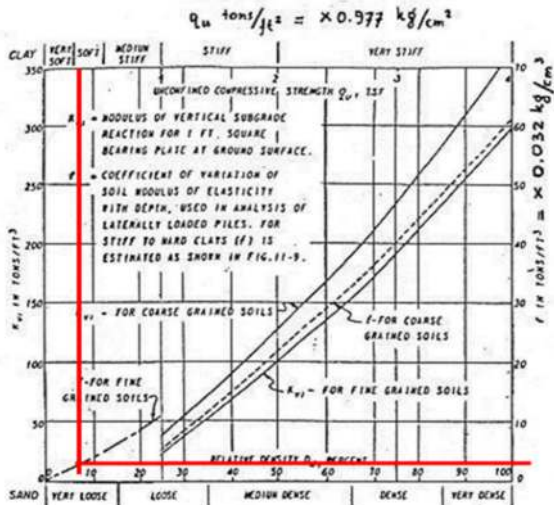
Gaya Penahan (*resisting*)

Faktor modulus tanah

$$\begin{aligned}C_u &= 17,28 \text{ Kn/m}^2 \\ &= 0,1728 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q_u &= 2 \times C_u \\ &= 2 \times 0,1728 \\ &= 0,346 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f &= 3 \text{ t/ft}^3 \text{ Dari Grafik NAVFAC} \\ &= 3 \times 0,032 \\ &= 0,096 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$



Gambar 6. 5 Grafik NAVFAC, DM-7,1971 untuk menentukan

Momen Inersia (I) :

$$I = 133333333 \text{ mm}^4$$

$$= 13333.333 \text{ cm}^4$$

Momen Tahanan (W):

$$W = I / C$$

$$= I / (0.5h)$$

$$= 1333.333 \text{ cm}^3$$

Modulus Elastisitas (E):

$$E = 4700\sqrt{fc'}$$

$$= 230786.272 \text{ Kg/cm}^2$$

Faktor Kekakuan Relatif (T):

$$T = (EI / f)^{1/5}$$

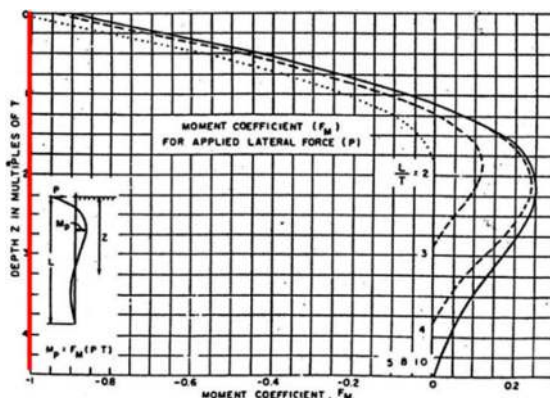
$$= 126.234 \text{ cm}$$

5. Koefisien momen akibat gaya lateral:

$$L_b / T = 2.26$$

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

$$FM = 1 \text{ Dari grafik NAVFAC, DM-7, 1971}$$



Gambar 6. 6 Grafik NAVFAC, DM-7,1971 untuk menentukan F_m

6. Gaya Horizontal yang Mampu Dipikul 1 Buah Micropile:

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{Mu}{F_m T} \\
 &= \frac{1.126,234}{298,2} \\
 &= 2,362 \text{ Ton} = 23,620 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$L/D = \frac{2,85m}{0,2m} = 14,25$$

$$Cu = 17.28 \text{ KN/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 F_k &= 2,643 \cdot \left[\frac{0,89 + 0,12 \frac{L}{D}}{2,69} \right] \cdot \left[\frac{0,855 \cdot Cu^{-0,392}}{2,865} \right] \\
 &= 1,48
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{max}} &= P \times F_k \\
 &= 34,95 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

7. Penentuan Jumlah Micropile :

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{\Delta M_r}{(P \times R_{\text{Jari-jari}})} \\
 &= \frac{8978}{34,95 \times 15,9} \\
 &= 16 \text{ buah/meter tegak lurus gambar}
 \end{aligned}$$

8. Jarak Antar Micropile :

$$\text{Panjang Bidang longsor} = 10 \text{ m}$$

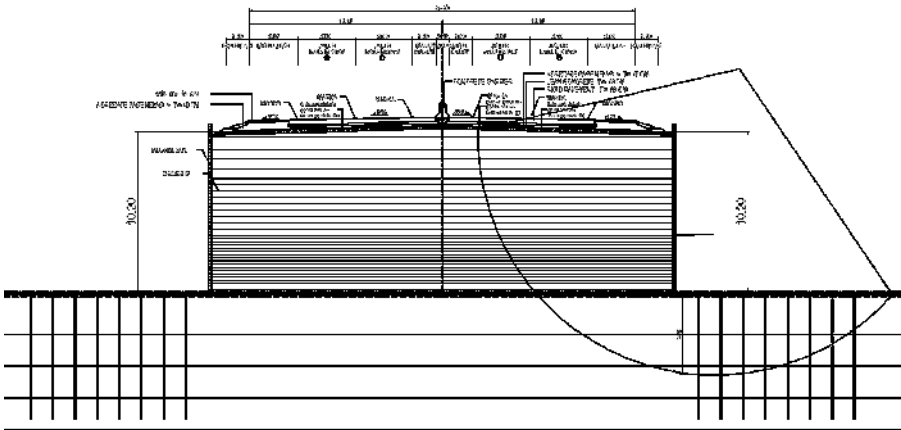
$$S = \text{Panjang bidang longsor} / n$$

$$= 10 \text{ m} / \left(\frac{16}{2} - 1 \right) = 1.4 \text{ m}$$

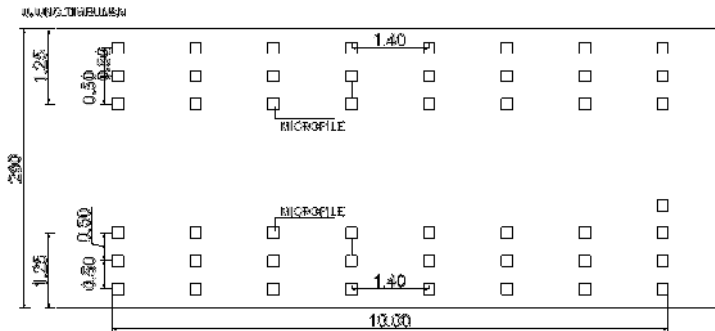
Dari hasil perhitungan micropile didapatkan hasil:

1. Jumlah Micropile = 16 buah / meter tegak lurus gambar
2. Jarak = 140 cm

Instalasi *geogrid* kombinasi *multiblock* dan micropile untuk timbunan tegak dengan tinggi 10,2 m seperti pada Gambar 6.7



(a)



(b)

Gambar 6. 7 Perkuatan pada timbunan tegak tinggi 10,2m dengan geogrid kombinasi multiblok dan micropile untuk perkuatan tanah dasarnya

(a) Tampak samping (b) Tampak atas

Perhitungan tinggi timbunan pada STA lainnya menggunakan cara yang sama seperti di atas, kemudian direkap menjadi seperti pada Tabel 6.6 berikut:

*Tabel 6. 6 Rekapitulasi Perhitungan Biaya pada Alternatif
Timbunan Lereng Tegak*

STA	Tinggi Akhir (m)	Jumlah Lapis Geogrid	Panjang Geogrid (m/m')	Luas Geogrid (m ²)	Harga Geogrid	Luas Multi bloks (m ²)	Harga Multibloks	Panjang Micropil (m')	Harga Micropile
STA 0+610	10,2	46	336	13453	Rp 363.241.405	936	Rp 205.920.000	10240	Rp 1.454.080.000,00
STA 0+650	9,8	44	312	15578	Rp 794.452.562	1130	Rp 248.600.000	8960	Rp 1.272.320.000,00
STA 0+700	9,2	41	276	13805	Rp 704.068.159	1070	Rp 235.400.000	7680	Rp 1.090.560.000,00
STA 0+750	7,8	34	201	10074	Rp 513.782.625	930	Rp 204.600.000	6400	Rp 908.800.000,00
STA 0+800	6,3	27	138	6909	Rp 352.353.057	780	Rp 171.600.000	0	Rp -
STA 0+850	5	20	86	4309	Rp 219.779.455	650	Rp 143.000.000	0	Rp -
STA 0+900	3,7	0	0	0	0		0		0
Total					Rp 2.947.677.262		Rp 1.209.120.000		Rp 4.725.760.000
Total Harga					Rp 9.406.533.808				

6.3 Perkuatan Menggunakan *Stone Column*

Pola Pemasangan *stone column* menggunakan pola segi dengan diameter 0,6 m. Panjang *stone column* harus memotong

bidang longsor SF dengan perkuatan paling banyak sampai menyentuh bidang longsor dengan SF 1,2. Dalam proses pengerjaannya, untuk mendapatkan bidang longsor dengan SF 1,2 sulit sehingga panjang *stone column* dibawah bidang longsor sampai kedalaman medium soil yaitu 12,5 m. Jarak pemasangan *stone column* direncanakan 1,2 m dan hanya dipasang di daerah bidang longsor. Daerah yang dipasang *stone column* tidak dipasang PVD karena selain untuk meningkatkan daya dukung tanah juga bisa mengalirkan air tanah keluar sehingga membantu mempercepat pemampatan. Contoh perhitungan *stone column* sebagai berikut:

- Data *stone column*

$$\gamma \text{ stone column} = 24 \text{ KN/m}^3$$

$$\phi \text{ stone column} = 40^\circ$$

$$\text{Diameter cell (De)} = 1,13 \times S = 1,13 \times 1,2 \text{ m} = 1,3 \text{ m}$$

$$\text{Internal friction} = 0^\circ$$

$$\text{Koef tek. Tanah pasif: } Kp = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = 1$$

$$\text{Luas penampang (As)} = 0,25\pi D^2 = 0,25\pi 0,6^2 = 0,283 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang cell (A)} &= 0,25\pi D_e^2 = 0,25\pi 1,3^2 \\ &= 1,326 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Area replacement ratio untuk *stone column*

$$as = As/A = 0,83/1,326 = 0,213$$

$$\text{Untuk tanah lunak } ac = 1-as = 1-0,087 = 0,787$$

Rasio Tegangan untuk *stone column*

$$\mu_s = \frac{n}{1 + (n-1)as} = \frac{5}{1 + (5-1)0,213} = 2,699$$

Untuk tanah lunak

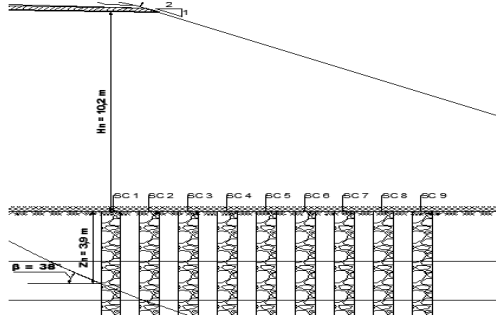
$$\mu_c = \frac{1}{1 + (n-1)as} = \frac{1}{1 + (5-1)0,213} = 0,54$$

Mekanisme keruntuhan

$$\text{Bilging } h = 3D = 3 \times 0,6 \text{ m} = 1,8 \text{ m}$$

$$\text{Cavity Expantion } h = \text{tinggi } \textit{stone column} = 12,5 \text{ m}$$

- Perhitungan kekuatan dan kebutuhan *stone column*



Gambar 6. 8 Sket pemasangan *stone column*

Contoh Perhitungan *stone column* pada Gambar 6.5 digunakan *stone column* nomor 1 sebagai berikut:

Tinggi timbunan diatas *stone column* (H_n) = 10,2 m

Panjang *stone column* sampai bidang longsor (Z_n) = 3,9 m

Sudut *stone column* dengan bidang longsor (β) = 38°

Tegangan yang harus diterima *stone column* (σ_s)

$$\begin{aligned}\sigma_s &= \mu_s \cdot \gamma_{\text{timb}} \cdot H_n \\ &= 2,804 \times 18,5 \text{ KN/m}^3 \times 10,2 \text{ m} \\ &= 529,12 \text{ KN/m}^2\end{aligned}$$

Tegangan efektif *stone column* pada bidang longsor (σ_z^s)

$$\begin{aligned}\sigma_z^s &= \sigma_s + \gamma'_{sc} \cdot Z_n \\ &= 529,12 \text{ KN/m}^2 + 14 \text{ KN/m}^3 \times 3,9 \text{ m} \\ &= 583,72 \text{ KN/m}^2\end{aligned}$$

Tegangan normal *stone column* pada bidang longsor (σ_N^s)

$$P = \sigma_z \times A_s$$

$$N = P \cos \beta$$

$$N = (\sigma_z \times A_s) \cos \beta$$

$$A_s' = \frac{A_s}{\cos \beta}$$

$$\sigma_N^s = \frac{N}{A_s'} = \frac{(\sigma_z \times A_s) \cos \beta}{A_s / \cos \beta}$$

$$\sigma_N^s = \sigma_z \times \cos^2 \beta$$

$$\sigma_N^s = 583,72 \text{ KN/m}^2 \cos^2 38^\circ = 362,47 \text{ KN/m}^2$$

Tegangan geser stone column pada bidang longsor (τ_s)

$$\begin{aligned}\tau_s &= \sigma_N^s \cdot \text{tg} \phi_s + c_s \\ &= 362,47 \text{ KN/m}^2 \times \text{tg} 40^\circ + 0 \\ &= 304,15 \text{ KN/m}^2\end{aligned}$$

Kuat geser 1 stone column pada bidang longsor (T_N)

$$\begin{aligned}T_N &= \tau_s \cdot \frac{As}{\cos \beta} \\ &= 304,15 \text{ KN/m}^2 \times \frac{0,283 \text{ m}^2}{\cos 38} \\ &= 109,13 \text{ KN}\end{aligned}$$

Tahanan momen 1 stone column (ΔMR)

$$\begin{aligned}\Delta MR &= T_N \cdot R \\ &= 109,13 \text{ KN} \times 28,22 \text{ m} \\ &= 3079,64 \text{ KNm}\end{aligned}$$

Perhitungan *stone column* pada nomor selanjutnya menggunakan cara yang sama seperti diatas dan ditabelkan pada Tabel 6.7 berikut:

Tabel 6. 7 Rekap Kebutuhan Stone Column Pada Timbunan Tinggi 10,2 Meter Kemiringan lereng 1:2

No.	Dia.	As	S	Dc	A	as	ac	n	μ_s	μ_c
S.C.	S.C.	S.C.	2D	(1,13S)	U.Cel I					
	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m ²)					
1	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561
2	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561
3	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561
4	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561
5	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561
6	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561
7	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561
8	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561
9	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561

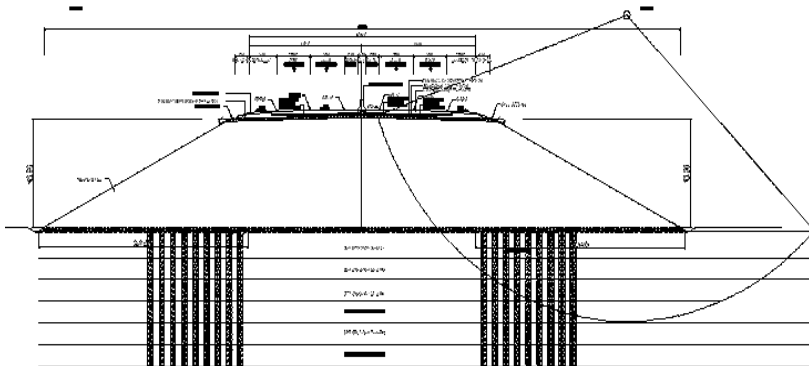
Tabel 6.7 Rekap Kebutuhan Stone Column Pada Timbunan Tinggi 10,2 Meter Kemiringan lereng 1:2 (Lanjutan)

No.	γ_s'	γ_{timb}	$\gamma'c$	Cu	ϕ_s	hn	Zn	β_n	σ_s	$\gamma_s' \cdot Z$
S.C.					(°)	(m)	(m)	(°)	kN/m ²	kN/m ²
	(kN/m ³)			kPa						
1	14,00	18,50	16,400	16,15	40	10,2	3,9	38	529,12	54,60
2	14,00	18,50	16,400	16,84	40	10,08	4,6	32	522,90	64,40
3	14,00	18,50	16,400	16,84	40	9,5	5,3	31	492,81	74,20
4	14,00	18,50	16,400	16,84	40	8,9	5,9	26	461,68	82,60
5	14,00	18,50	17,260	17,43	40	8,2	6,4	23	425,37	89,60
6	14,00	18,50	17,260	17,43	40	7,7	6,9	22	399,43	96,60
7	14,00	18,50	17,260	17,43	40	7	7,3	22	363,12	102,20
8	14,00	18,50	17,260	17,43	40	6,3	7,7	22	326,81	107,80
9	14,00	18,50	17,260	17,43	40	5,6	8,1	22	290,50	113,40
No.	σ_z^s	σ_N^s	τ_s	Tn	R	ΔMr	ΔMr	KONTR OL		
S.C.	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	(KN)	(m)	(T.R)	KUMULATIF			
						kNm	kNm	$\Delta Mr > 25$ 699,2		
1	583,72	362,47	304,15	109,13	28,22	3079,64	3079,64	NOT OK		
2	587,30	422,37	354,41	118,16	28,22	3334,57	6414,22	NOT OK		
3	567,01	416,60	349,57	115,31	28,22	3254,00	9668,22	NOT OK		
4	544,28	439,69	368,94	116,06	28,22	3275,28	12943,50	NOT OK		
5	514,97	436,35	366,14	112,46	28,22	3173,75	16117,25	NOT OK		
6	496,03	426,43	357,81	109,11	28,22	3079,22	19196,47	NOT OK		
7	465,32	400,02	335,66	102,36	28,22	2888,57	22085,03	NOT OK		
8	434,61	373,62	313,51	95,60	28,22	2697,92	24782,95	NOT OK		
9	403,90	347,22	291,35	88,85	28,22	2507,26	27290,21	OK		

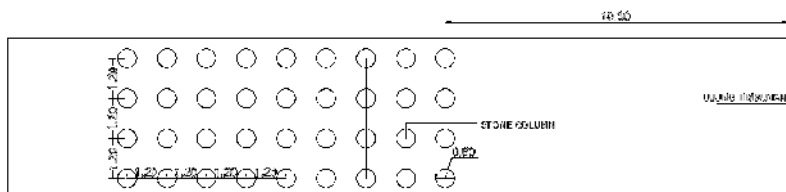
- Kebutuhan jumlah stone column direkap seperti pada Tabel 6.8 dan sketsa pemasangan pada Gambar 6.6 berikut:

Tabel 6. 8 Rekap Kebutuhan Stone Column Pada Setiap Alternatif Kemiringan Lereng Timbunan

STA	Tinggi Akhir (m)	Jumlah Stone Column		Panjang Stone Column (m)		Volume Stone Column (m ²)		Harga	
		Kemiringan							
		1:2	1:1	1:2	1:1	1:2	1:1	1:2	1:1
STA 0+610	10,2	18	18	12,5	12,5	2184,2	2184,2	Rp 912.992.378	Rp 912.992.378
STA 0+650	9,8	16	18	12,5	12,5	2412,7	2714,3	Rp 1.008.526.640	Rp 1.134.592.470
STA 0+700	9,2	14	14	12,5	12,5	2111,2	2111,2	Rp 882.460.810	Rp 882.460.810
STA 0+750	7,8	10	10	12,5	12,5	1508,0	1508,0	Rp 630.329.150	Rp 630.329.150
STA 0+800	6,3	6	6	12,5	12,5	904,8	904,8	Rp 378.197.490	Rp 378.197.490
STA 0+850	5	6	6	12,5	12,5	904,8	904,8	Rp 378.197.490	Rp 378.197.490
STA 0+900	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Total								Rp 4.190.703.958	Rp 4.316.769.788



(a)



(b)

Gambar 6. 9 Pemasangan *stone column* pada timbunan lereng tegak tinggi 10,2 m

(a) Tampak samping (b) Tampak atas

Perhitungan kebutuhan *stone column* pada tiap alternatif timbunan dan ketinggian dapat dilihat pada Lampiran

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VII KESIMPULAN

7.1 Kesimpulan

Dalam perencanaan Tugas Akhir ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Kondisi tanah dasar dibawah timbunan merupakan tanah lempung lunak dengan nilai N SPT kurang dari 10 sampai kedalaman 12,5 meter.
2. Desain lereng timbunan dalam perencanaan ini terdiri dari 3 alternatif yaitu kemiringan 1:2, kemiringan 1:1, dan timbunan dengan lereng tegak.
3. Perhitungan timbunan awal, akhir, dan pemampatan dibahas pada sub bab 5.1 dengan hasil pada Tabel 7.1 sebagai berikut.

Tabel 7. 1 *Rekapitulasi Tinggi Awal, Tinggi Akhir, Dan Settlement Pada Setiap Alternatif Timbunan*

STA	Kemiringan Lereng 1:2			Kemiringan Lereng 1:1			Lereng Tegak		
	Tinggi Akhir (m)	Tinggi Awal (m)	Sc (m)	Tinggi Akhir (m)	Tinggi Awal (m)	Sc (m)	Tinggi Akhir (m)	Tinggi Awal (m)	Sc (m)
STA 0+610	10,2	11,5	1,70	10,2	11,5	1,70	10,2	11,3	1,43
STA 0+650	9,8	11,1	1,67	9,8	11,0	1,67	9,8	10,9	1,40
STA 0+700	9,2	10,4	1,61	9,2	10,4	1,61	9,2	10,2	1,36
STA 0+750	7,8	8,8	1,47	7,8	8,8	1,47	7,8	8,6	1,22
STA 0+800	6,3	7,2	1,29	6,3	7,1	1,29	6,3	7,0	1,04
STA 0+850	5	5,7	1,10	5	5,7	1,10	5	5,6	0,85
STA 0+900	3,7	4,4	0,89	3,7	4,4	0,89	3,7	4,2	0,63

4. Waktu pemampatan yang terjadi tanpa perbaikan tanah dasar selama 67 tahun sehingga perlu dilakukan perbaikan tanah yang dalam perencanaan disini menggunakan PVD. Didapatkan

perencanaan jarak dan pola pemasangan PVD yang efektif pada tanah dasar jika direncanakan pemampatan terjadi derajat konsolidasi 90% dalam waktu efektif PVD 22 minggu adalah jarak spasi antar PVD 1,4 meter dengan pola pemasangan PVD segi-tiga.

- Analisa kekuatan timbunan dengan beberapa alternatif menghasilkan kebutuhan seperti pada Tabel 7.2 sebagai berikut:

Tabel 7. 2 Rekapitulasi Kebutuhan Perkuatan Tiap Alternatif

STA	Tinggi Akhir (m)	Stone Column		Geotekstile		Geogrid	Multiblock	Micropile	
		Kemiringan						Tegak	Tegak
		1:2	1:1	1:2	1:1	Tegak	Tegak		
STA 0+610	10,2	18	18	39	40	46	936	36	
STA 0+650	9,8	16	18	35	37	44	1130	32	
STA 0+700	9,2	14	14	28	32	41	1070	26	
STA 0+750	7,8	10	10	17	18	34	930	18	
STA 0+800	6,3	6	6	7	8	27	780	-	
STA 0+850	5	6	6	7	8	20	650	-	
STA 0+900	3,7	-	-	-	-	-	-	-	

- Total biaya material perkuatan tanah timbunan yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 7.3 berikut:

Tabel 7. 3 Rekapitulasi Biaya pada Tiap Alternatif

Alternatif	Harga Material Perkuatan	Harga PVD	Harga PHD	Harga Timbunan	Harga Lahan	Total
Lereng 1:2 dengan Geotekstile	Rp 3.891.440.000	Rp 240.177.712	Rp 95.887.800	Rp 13.332.516.727	Rp 782.800.000	Rp 18.342.822.239
Lereng 1:1 dengan Geotekstile	Rp 3.459.400.000	Rp 168.493.903	Rp 68.121.000	Rp 10.809.253.181	Rp 574.800.000	Rp 15.080.068.084
Lereng 1:2 dengan Stone Column	Rp 4.190.703.958	Rp 240.177.712	Rp 95.887.800	Rp 13.332.516.727	Rp 782.800.000	Rp 18.642.086.197

Tabel. 7.3 Rekapitulasi Biaya pada Tiap Alternatif (Lanjutan)

Alternatif	Harga Material Perkuatan	Harga PVD	Harga PHD	Harga Timbunan	Harga Lahan	Total
Lereng 1:1 dengan Stone Column	Rp 4.316.769.788	Rp 168.493.903	Rp 68.121.000	Rp 10.809.253.181	Rp 574.800.000	Rp 15.937.437.872
Lereng tegak dengan Geogrid + Multibloks + Micropiles	Rp 9.406.533.808	Rp 96.810.093	Rp 40.354.200	Rp 8.285.989.635	Rp 366.800.000	Rp 18.196.487.736

7.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat penulis sampaikan, diantaranya :

1. Perlu dilakukan pengecekan ulang terhadap parameter tanah apakah memang sesuai dengan karakteristik tanah di lapangan yang bertujuan agar terhindar dari kegagalan atau pemborosan dalam perencanaan.
2. Dalam perencanaan pembangunan jalan, hasil pengamatan instrumen geoteknik yang dipasang di lapangan diperlukan untuk mengetahui apakah pemampatan dari perencanaan awal sudah sesuai dengan pemampatan di lapangan.

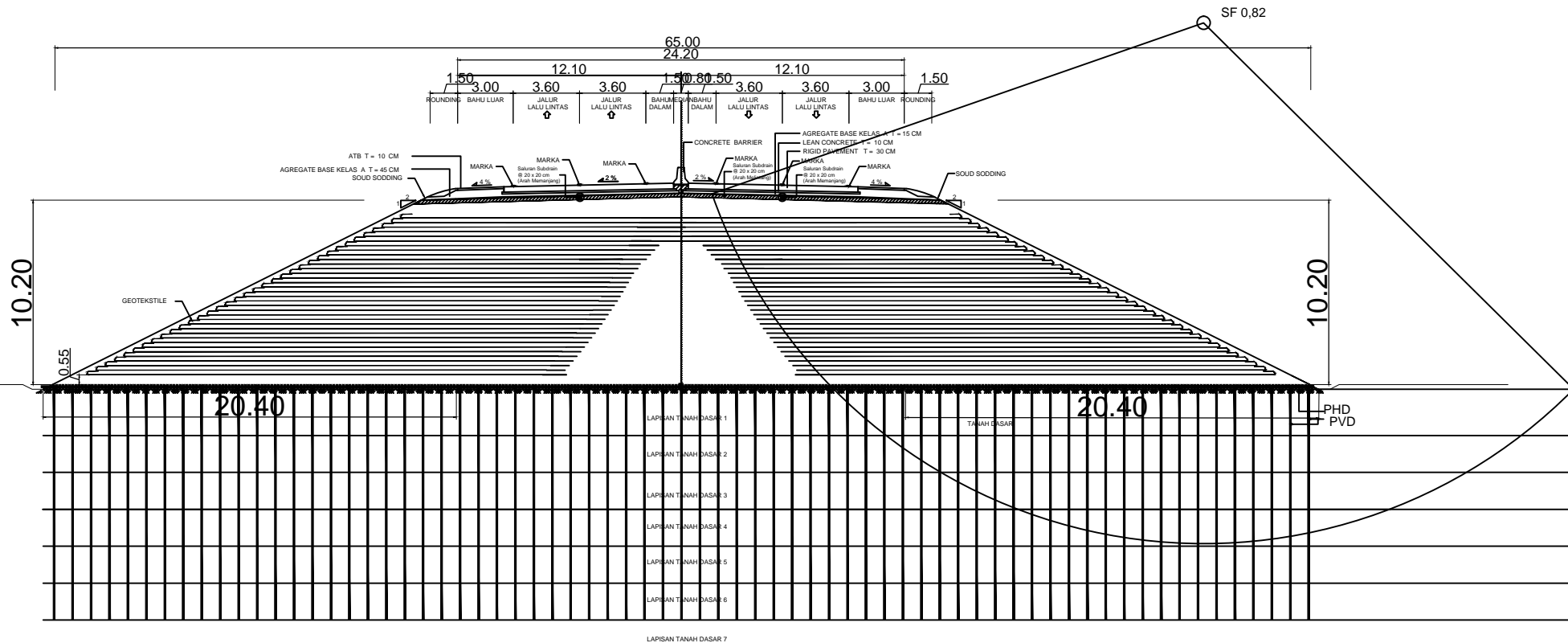
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Bergado, D. T., Anderson, L. R., Miura, N., Balasubramaniam, A. S. 1996. *Soft ground improvement in lowland and other environments*. New York: ASCE Press.
- Mochtar, Indrasurya B. 2000. *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah (Problematic Soil)*. Surabaya : Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip) Rekayasa Geoteknis Jilid 1*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- NAVFAC DM-7. 1971. *Design Manual, Soil Mechanics, Foundation and Earth Structures*. USA : Dept. of the Navy Naval Facilities Engineering Command
- Bowles, Joseph. E. 1988. *Analisis dan Desain Pondasi* jilid 1&2. Jakarta : erlangga.
- Wahyudi, Herman. 1997. *Teknik Reklamasi*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Lastiasih, Y. dan Putu tantri K.S. 2015. *Analysis Of Increasing Shear Strength of Soil to Slope Stability After Consolidation Settlement Completed with various method*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mochtar, Noor Endah 2012. *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: ITS Press.
- Hansbo, S., 1979. *Consolidation of Clay by Band – Shaped Prefabricated Drains*. Dilihat pada: *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah (Problematic Soil)*. Surabaya : Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS

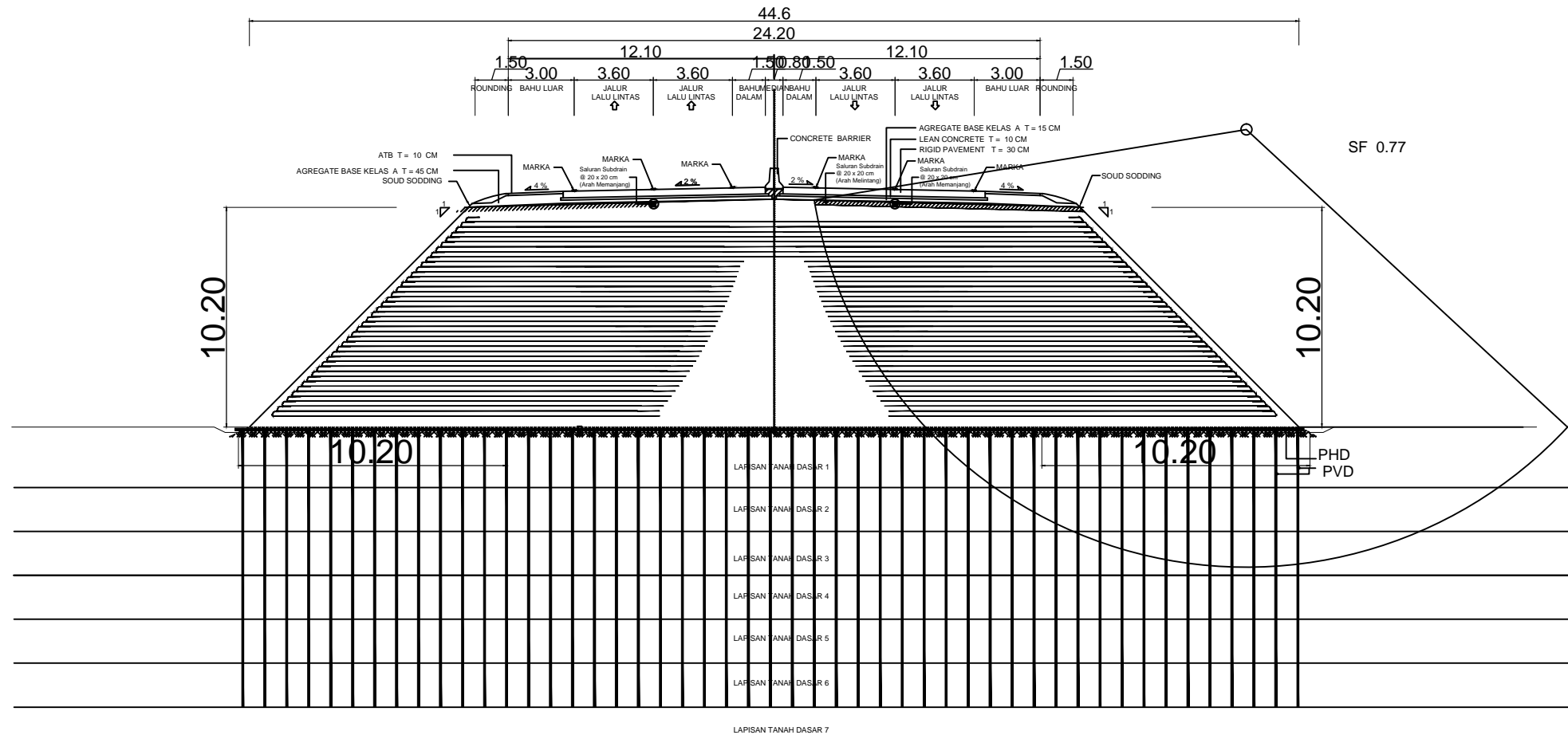
	JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	GAMBAR PERENCANAAN TUGAS AKHIR BERJUDUL "ALTERNATIF PERBAIKAN TANAH DASAR DAN PERKUATAN OPRIT TIMBUNAN PADA JALAN TOL KRIAN-LEGUNDI-BUNDER-MANYAR STA 0+610 s/d 0+900"		TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	CATATAN	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	NOMOR LEMBAR
		NAMA PAKET	JALAN TOL KRIAN-LEGUNDI-BUNDER-MANYAR 0+610 s/d STA 0+900			FATHIRUL RAHMAN 03111 6450 00001	PROF.IR. NOOR ENDAH, M.Sc., Ph.D Dr.Yudhi Lastiasih, ST.MT		
		LOKASI	KRIAN, SIDOARJO						JUMLAH GAMBAR

PERKUATAN GEOTEKSTILE STA 0+610 TIMBUNAN TINGGI 10,2 M KEMIRINGAN 1:2



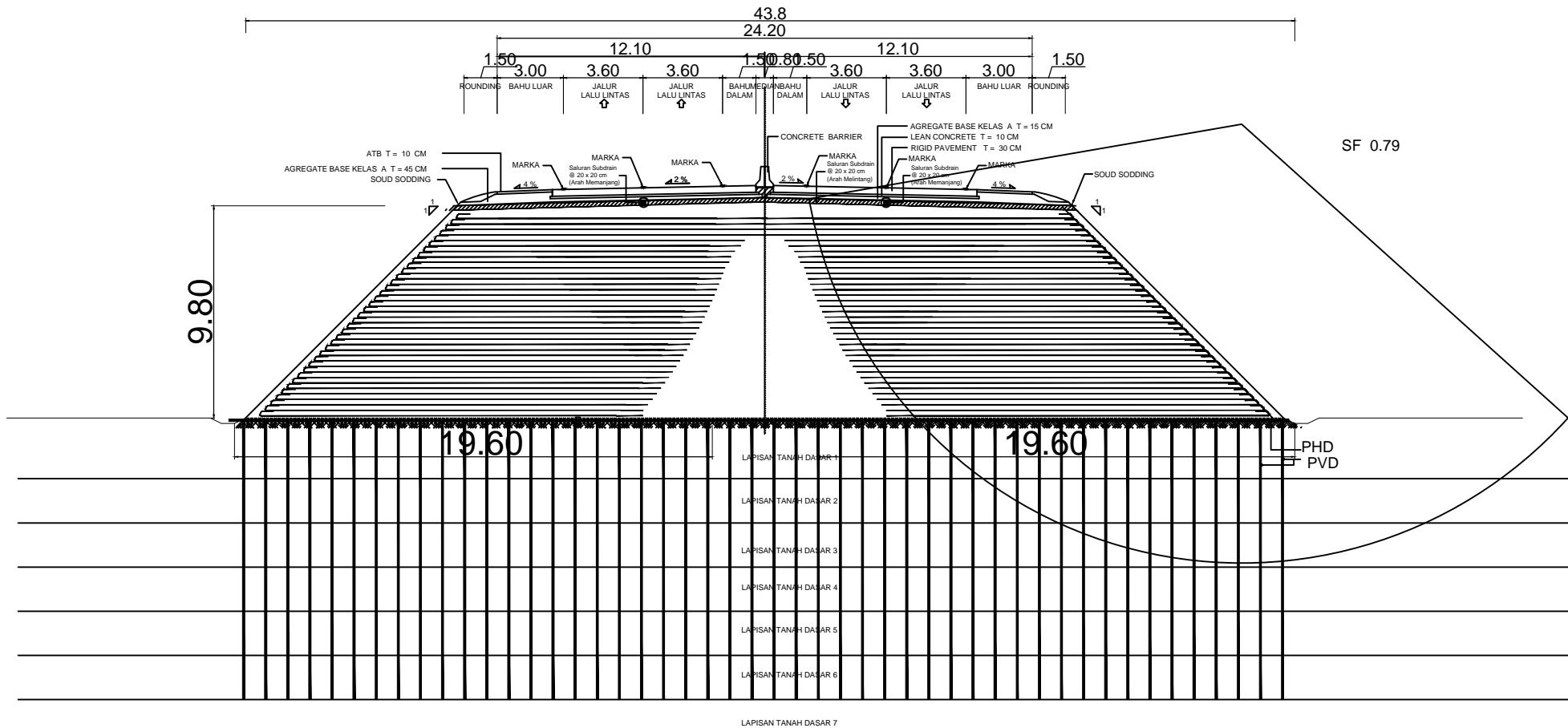
	JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	GAMBAR PERENCANAAN TUGAS AKHIR BERJUDUL "ALTERNATIF PERBAIKAN TANAH DASAR DAN PERKUATAN OPRIT TIMBUNAN PADA JALAN TOL KRIAN-LEGUNDI-BUNDER-MANYAR STA 0+610 s/d 0+900"		TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	CATATAN	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	NOMOR LEMBAR
		NAMA PAKET	JALAN TOL KRIAN-LEGUNDI-BUNDER-MANYAR s/d STA 0+900				FATHIRUL RAHMAN 03111 6450 00001	PROF. IR. NOOR ENDAH, M.Sc., Ph.D Dr. Yudhi Lastiasih, ST.MT	
		LOKASI	KRIAN, SIDOARJO						JUMLAH GAMBAR

PERKUATAN GEOTEXTILE
STA 0+610 TIMBUNAN TINGGI 10,2 M KEMIRINGAN 1:1



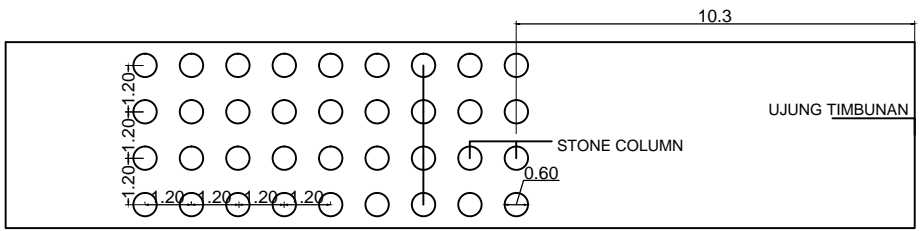
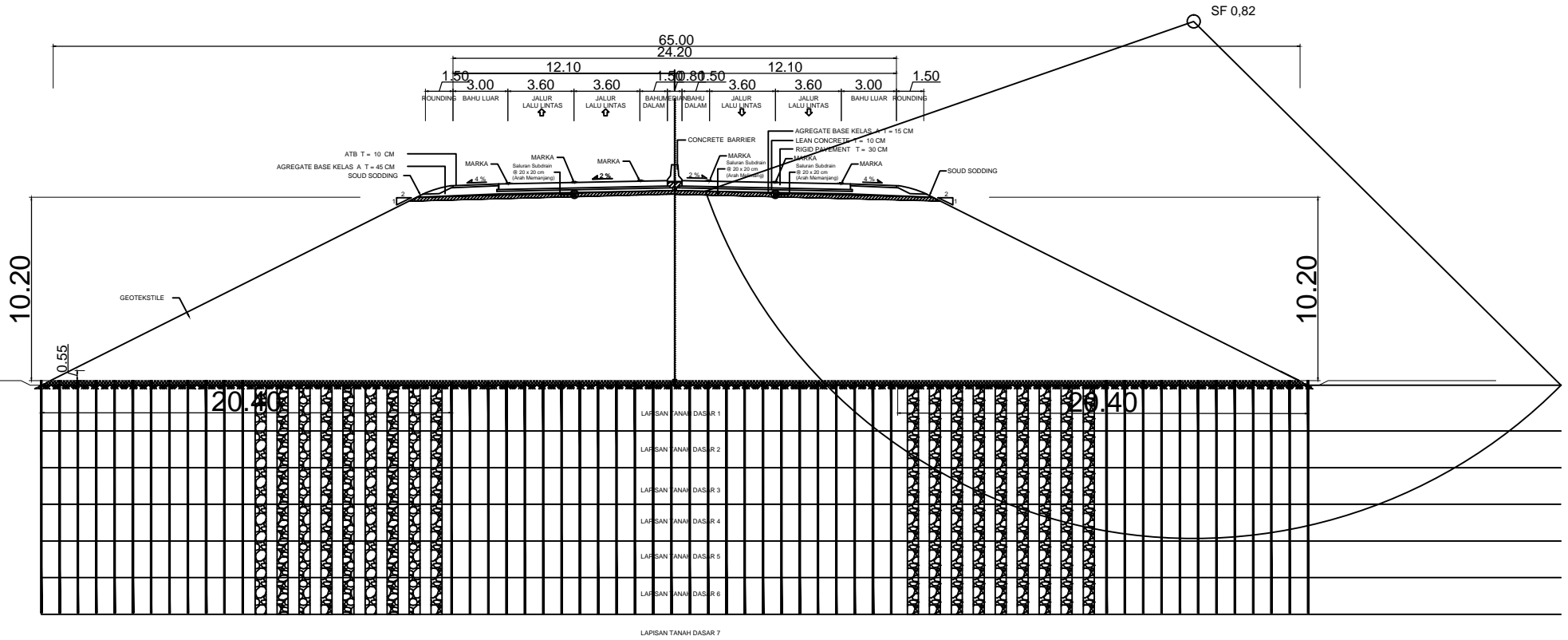
	JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	GAMBAR PERENCANAAN TUGAS AKHIR BERJUDUL "ALTERNATIF PERBAIKAN TANAH DASAR DAN PERKUATAN OPRIIT TIMBUNAN PADA JALAN TOL KRIAN-LEGUNDI-BUNDER-MANYAR STA 0+610 s/d 0+900"		TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	CATATAN	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	NOMOR LEMBAR
		NAMA PAKET	JALAN TOL KRIAN-LEGUNDI-BUNDER-MANYAR 0+610 s/d STA 0+900				FATHIRUL RAHMAN 03111 6450 00001	PROF.IR. NOOR ENDAH, M.Sc., Ph.D Dr.Yudhi Lastiasih, ST.MT	JUMLAH GAMBAR
		LOKASI	KRIAN, SIDOARJO						

**PERKUATAN GEOTEXTILE
STA 0+650 TIMBUNAN TINGGI 9,8 M KEMIRINGAN 1:1**



	JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	GAMBAR PERENCANAAN TUGAS AKHIR BERJUDUL "ALTERNATIF PERBAIKAN TANAH DASAR DAN PERKUATAN OPRIT TIMBUNAN PADA JALAN TOL KRIAN-LEGUNDI-BUNDER-MANYAR STA 0+610 s/d 0+900"		TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	CATATAN	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	NOMOR LEMBAR	
		NAMA PAKET	JALAN TOL KRIAN-LEGUNDI-BUNDER-MANYAR 0+610 s/d STA 0+900					FATHIRUL RAHMAN 03111 6450 00001	PROF.IR. NOOR ENDAH, M.Sc., Ph.D Dr.Yudhi Lastiasih, ST.MT	
		LOKASI	KRIAN, SIDOARJO							JUMLAH GAMBAR

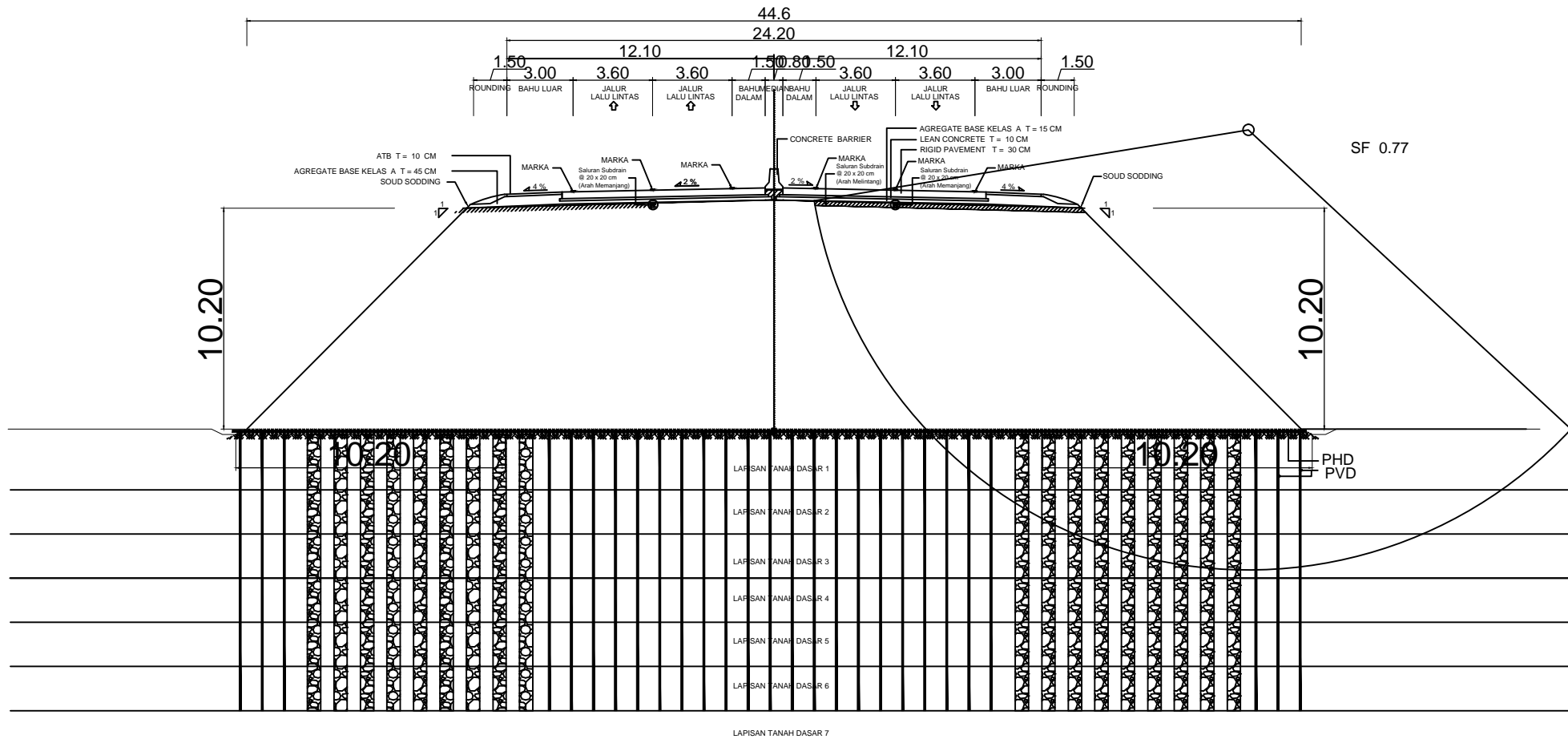
**PERKUATAN STONE COLUMN
 STA 0+610 TIMBUNAN TINGGI 10,2 M KEMIRINGAN 1:2**



TAMPAK ATAS

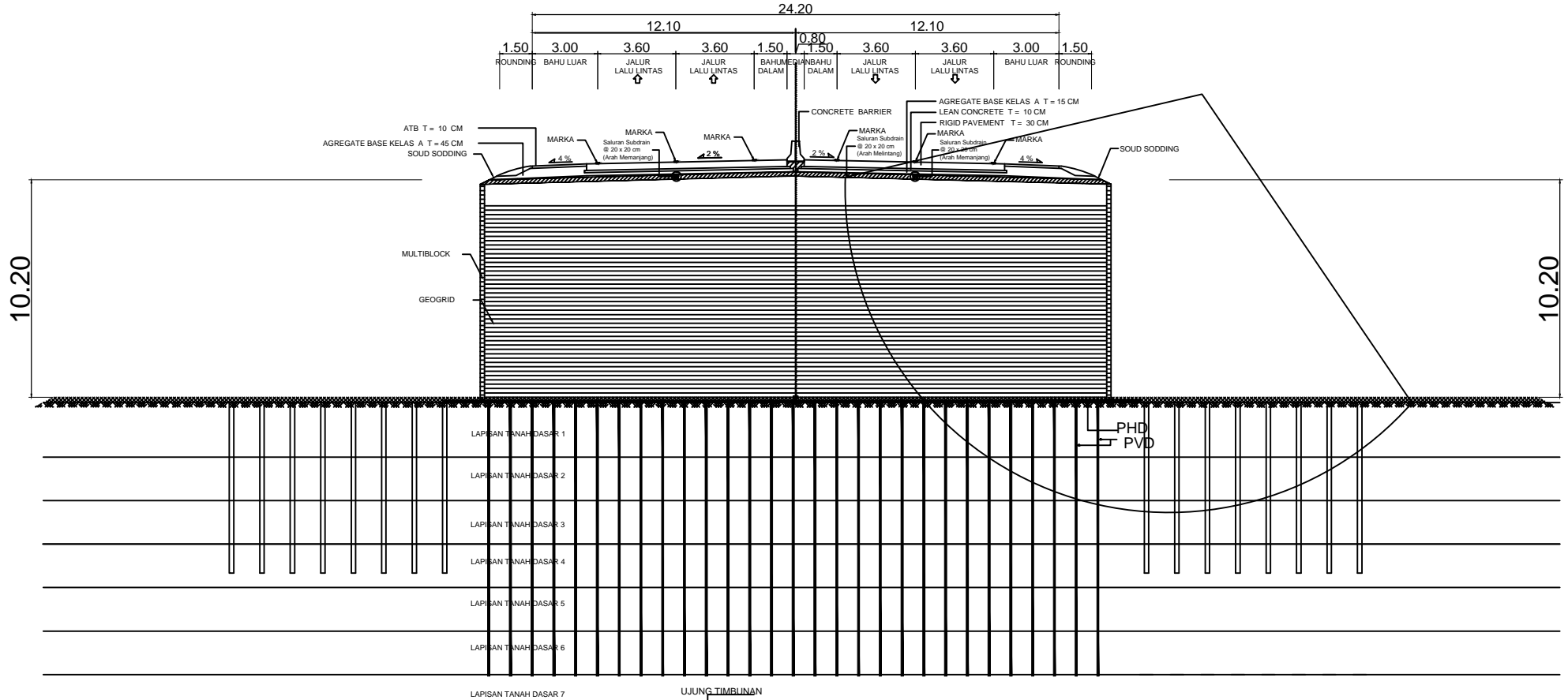
	JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	GAMBAR PERENCANAAN TUGAS AKHIR BERJUDUL "ALTERNATIF PERBAIKAN TANAH DASAR DAN PERKUATAN OPRTIT TIMBUNAN PADA JALAN TOL KRIAN-LEGUNDI-BUNDER-MANYAR STA 0+610 s/d 0+900"		TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	CATATAN	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	NOMOR LEMBAR
		NAMA PAKET	JALAN TOL KRIAN-LEGUNDI-BUNDER-MANYAR 0+610 s/d STA 0+900				FATHIRUL RAHMAN 03111 6450 00001	PROF.IR. NOOR ENDAH, M.Sc., Ph.D Dr.Yudhi Lastiasih, ST.MT	
		LOKASI	KRIAN, SIDOARJO						JUMLAH GAMBAR

PERKUATAN STONE COLUMN
STA 0+610 TIMBUNAN TINGGI 10,2 M KEMIRINGAN 1:1

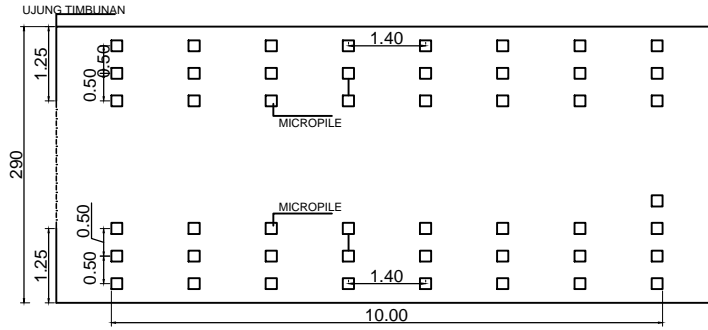


	JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	GAMBAR PERENCANAAN TUGAS AKHIR BERJUDUL "ALTERNATIF PERBAIKAN TANAH DASAR DAN PERKUATAN OPRIT TIMBUNAN PADA JALAN TOL KRIAN-LEGUNDI-BUNDER-MANYAR STA 0+610 s/d 0+900"		TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	CATATAN	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	NOMOR LEMBAR	
		NAMA PAKET	JALAN TOL KRIAN-LEGUNDI-BUNDER-MANYAR 0+610 s/d STA 0+900					FATHIRUL RAHMAN 03111 6450 00001	PROF.IR. NOOR ENDAH, M.Sc., Ph.D Dr.Yudhi Lastiasih, ST.MT	
		LOKASI	KRIAN, SIDOARJO							JUMLAH GAMBAR

PERKUATAN GEOGRID + MULTIBLOK STA 0+610 TIMBUNAN TEGAK TINGGI 10,2 M



TAMPAK SAMPIING



TAMPAK ATAS

Lampiran 2 Data Tanah

DATA BORING

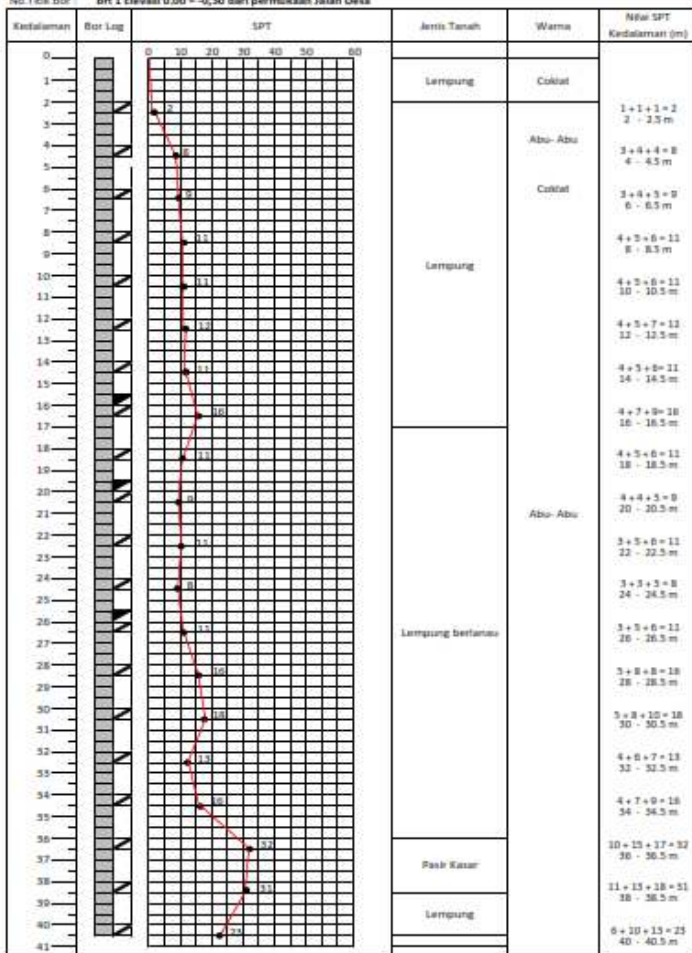
Konsultan : PT. SUMANA ARCHICOR

Pekerjaan : Perencanaan Jalan Tol Krian - Lagusidi - Bunder

Lokasi : STA 0 + 400 Elevasi Muka Air Tanah : 135 Cm

Koordinat X : 670033.286 ; Y : 0181161.394

No. Titik Bor : BH 1 Elevasi 0,00 = -0,30 dari permukaan Jalan Desa



- : Coring
- : SPT
- : Thin wall

DATA BORING

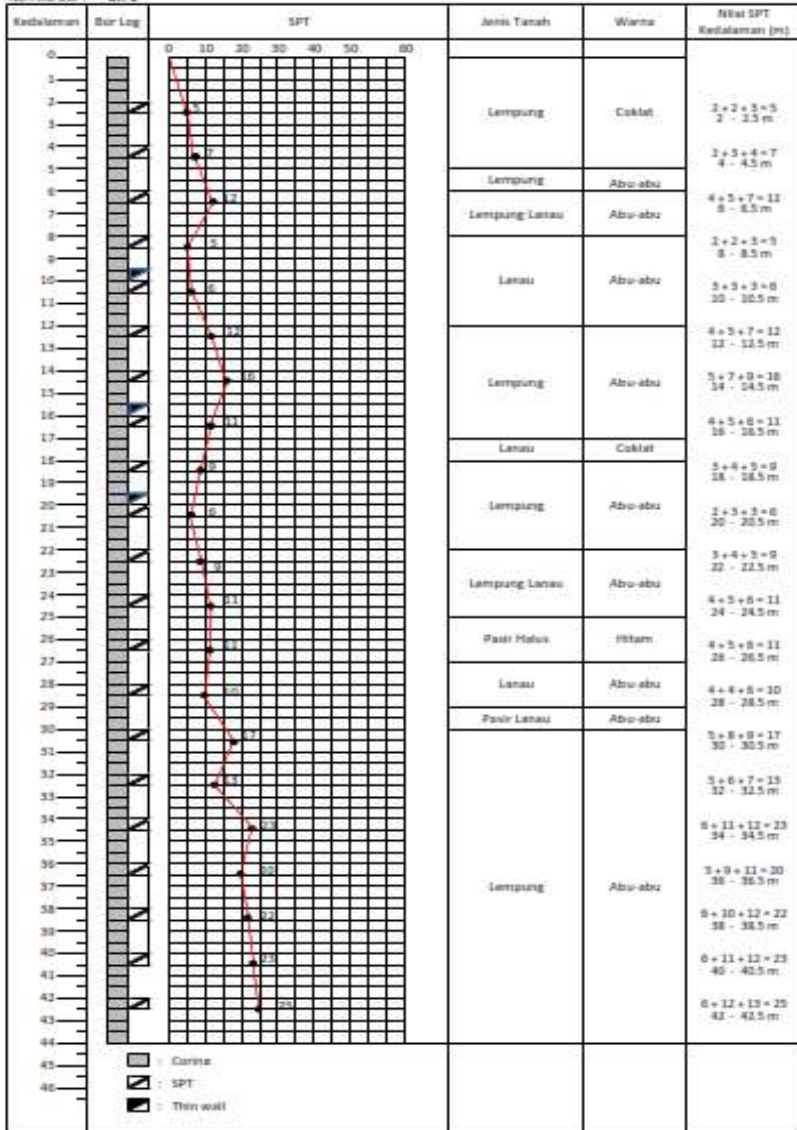
Konsultan : PT.SUANA ARCHICON

Pekerjaan : Perencanaan Jalan Tol Krian - Legundi - Sunder

Lokasi : STA 0 + 540 Elevasi Muka Air Tanah : 230 Cm

Koordinat : X : 670875.000 ; Y : 9181250.850

No Titik Bor : BM 1



DATA BORING

Konsultansi : PT.BUANA ARCHICON

Pekerjaan : Perencanaan Jalan Tol Krian - Legundi - Bunder

Lokasi : STA 0 + 540 Elevasi Muka Air Tanah : 237 Cm

Koordinat X : 670881.240 ; Y : 9181285.045

No. TBM Bor : **BH 2**

Kedalaman	Bor Log	SPT	Jenis Tanah	Warna	Nilai SPT Kedalaman (m)	
0		0	Lempung	Cokelat	1 - 2 + 2 = 4 2 - 2.5 m	
1		1			2 + 3 + 3 = 8 4 - 4.5 m	
2		2	Lempung	Abu-abu	3 + 4 + 3 = 9 6 - 5.5 m	
3		3			4 + 4 + 3 = 10 8 - 8.5 m	
4		4	Lempung Pasir	Abu-abu	5 + 7 + 7 = 14 10 - 10.5 m	
5		5			5 + 6 + 7 = 12 12 - 12.5 m	
6		6	Lempung	Abu-abu	4 + 5 + 7 = 12 14 - 14.5 m	
7		7			3 + 4 + 3 = 8 16 - 16.5 m	
8		8	Lempung	Abu-abu	2 + 3 + 3 = 6 18 - 18.5 m	
9		9			2 + 3 + 3 = 6 20 - 20.5 m	
10		10	Lempung	Abu-abu	4 + 3 + 7 = 12 22 - 22.5 m	
11		11			4 + 5 + 7 = 12 24 - 24.5 m	
12		12	Pasir Halus	Hitam	5 + 5 + 7 = 12 26 - 26.5 m	
13		13			5 + 7 + 11 = 18 28 - 28.5 m	
14		14	Pasir Lempung	Abu-abu	6 + 8 + 11 = 20 30 - 30.5 m	
15		15			5 + 8 + 11 = 19 32 - 32.5 m	
16		16	Pasir Halus	Abu-abu	5 + 7 + 9 = 18 34 - 34.5 m	
17		17			6 + 8 + 11 = 19 36 - 36.5 m	
18		18	Pasir Halus	Abu-abu	5 + 6 + 10 = 18 38 - 38.5 m	
19		19			5 + 6 + 9 = 13 40 - 40.5 m	
20		20	Lempung	Abu-abu	6 + 7 + 12 = 18 42 - 42.5 m	
21		21				
22		22				
23		23				
24		24				
25		25				
26		26				
27		27				
28		28				
29		29				
30		30				
31		31				
32		32				
33		33				
34		34				
35		35				
36		36				
37		37				
38		38				
39		39				
40		40				
41		41				
42		42				
43		43				
44		44				
45	45					
46	46					

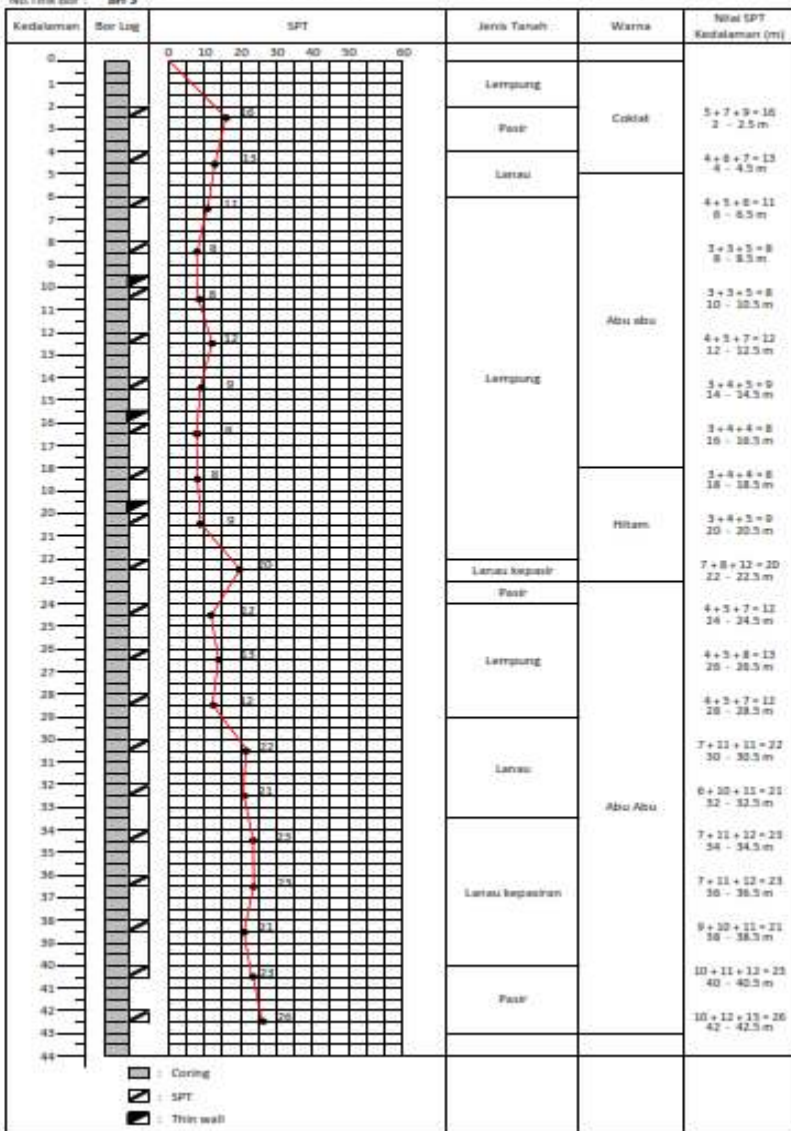
Konsultansi : PT.BUANA ARCHICON

Pekerjaan : Perencanaan Jalan Tol Krian - Legundi - Bunder

Lokasi : STA 0 + 540 Dayeuh Muka Air Tanah : 100 Cm

No. Titik Bor : B#6 5

Koordinat X : 670857.035 ; Y : 6181338.222



Data tanah laboratorium

BH1 (0+540)

D (m)	Tebal	Jenis Tanah	SPT (blows)	eo	γ (kg/cm ²)	Wc %	Gs	n	PI %	LL %	PL %	ϕ °	c Kg/cm ²	Cv (cm ² /sec)	Cc
0-2.5	2,5	Lempung Soft, Coklat	5	1,767	1,61667	65,47								0,000456	0,4992
2.5-4.5	2	Lempung medium, Coklat	7	1,6	1,65	59,3								0,000567	0,4437
4.5-6.5	2	Lempung Berlanau medium, Abu-	12	1,326	1,73333	49,2								0,000662	0,3528
6.5-8.5	2	Lanau soft, Coklat Abu-abu	5	1,767	1,61667	65,47								0,000456	0,4992
8.5-10.5	2	Lanau soft, Coklat Abu-abu	6	1,38	1,74	53,11	2,71	0,58	64,13	87,34	23,21	3	0,1	0,00067	0,388
10.5-12.5	2	Lempung medium, Abu-abu	12	1,326	1,73333	49,2								0,000662	0,3528
12.5-14.5	2	Lempung medium, Abu-abu	16	1,137	1,8	42,03								0,000767	0,2883
14.5-16.5	2	Lempung medium, Abu-abu	11	1,95	1,58	73,09	2,69	0,661	76,92	101,6	24,72	2,5	0,3	0,00028	0,5678
16.5-18.5	2	Lempung medium, Abu-abu	9	1,478	1,68333	54,91								0,000589	0,4042
18.5-20.5	2	Lempung medium, Abu-abu	6	1,69	1,7	65,78	2,71	0,628	57,58	77,77	20,19	2	0,32	0,00016	0,502
20.5-22.5	2	Lempung Lanau medium, Abu-a	9		1,68333										
22.5-24.5	2	Lempung Lanau medium, Abu-a	11		1,71667										
24.5-26.5	2	Pasir Halus Medium, Hitam	11		1,6										
26.5-28.5	2	Lanau medium, Abu-abu	10		1,7										
28.5-30.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	17												
30.5-32.5	2	Lempung medium, Abu-abu	13												
32.5-34.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	23												
34.5-36.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	20												
36.5-38.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	22												
38.5-40.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	23												
40.5-42.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	25												

BH2 (0+540)

D (m)	Tebal	Jenis Tanah	SPT	eo	γ	Wc	Gs	n	PI	LL	PL	ϕ	c	Cv	Cc
			(blows)		(kg/cm ²)	%			%	%	°	Kg/cm ²	(cm ² /sec)		
0-2.5	2,5	Lempung soft, Coklat	4	1,837	1,6	68,14								0,000343	0,5233
2.5-4.5	2	Lempung soft, Coklat	6	1,683	1,63333	62,38								0,000511	0,4714
4.5-6.5	2	Lempung medium, Abu-abu	9	1,478	1,68333	54,91								0,000589	0,4042
6.5-8.5	2	Lempung medium, Abu-abu	10	1,421	1,7	52,81								0,000614	0,3853
8.5-10.5	2	Lempung Pasir medium, Abu-abu	14	1,231	1,76667	45,59								0,000711	0,3203
10.5-12.5	2	Lempung Pasir medium, Abu-abu	13	1,278	1,75	47,37								0,000683	0,3363
12.5-14.5	2	Lempung medium, Abu-abu	12	1,326	1,73333	49,2								0,000662	0,3528
14.5-16.5	2	Lempung medium, Abu-abu	8	1,06	1,68	30,23	2,67	0,515	49,9	72,8	22,9	2	0,44	0,00037	0,1821
16.5-18.5	2	Lempung soft, Abu-abu	6	1,683	1,63333	62,38								0,000511	0,4714
18.5-20.5	2	Lempung soft, Abu-abu	6	2,59	1,36	85,72	2,64	0,721	81,09	102,7	21,61	2	0,09	0,00016	0,6815
20.5-22.5	2	Lanau medium, Abu-abu	12	1,326	1,73333	49,2								0,000662	0,3528
22.5-24.5	2	Lanau medium, Abu-abu	12	1,326	1,73333	49,2								0,000662	0,3528
24.5-26.5	2	Pasir halus medium, hitam	12	1,18	1,72	41,15	2,65	0,541	34,77	54,26	19,49	1	0,14	0,00019	0,2804
26.5-28.5	2	Pasir Lanau medium, Abu-abu	18		1,67368										
28.5-30.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	20												
30.5-32.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	19												
32.5-34.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	16												
34.5-36.5	2	Lempung Berpasir stiff, Abu-abu	19												
36.5-38.5	2	Pasir Halus medium, Abu-abu	16												
38.5-40.5	2	Lempung Berlanau medium, Abu-abu	15												
40.5-42.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	19												

BH3 (0+540)

Kedalaman (m)	Tebal	Jenis Tanah	SPT (blows)	eo	γ (kg/cm ²)	Wc %	Gs	n	PI %	LL %	PL %	ϕ °	c Kg/cm ²	Cv (cm ² /sec)	Cc
0-2.5	2,5	Pasir medium, Coklat	16	1,137	1,65263	42,03								0,000767	0,2883
2.5-4.5	2	Lanau medium, Coklat	13	1,278	1,75	47,37								0,000683	0,3363
4.5-6.5	2	Lempung medium, Abu-abu	11	1,374	1,71667	51								0,000638	0,369
6.5-8.5	2	Lempung medium, Abu-abu	8	1,547	1,66667	57,44								0,000561	0,427
8.5-10.5	2	Lempung medium, Abu-abu	8	1,79	1,58	63,89	2,69	0,642	97,91	120,4	22,5	2,5	0,24	0,0002	0,485
10.5-12.5	2	Lempung medium, Abu-abu	12	1,326	1,73333	49,2								0,000662	0,3528
12.5-14.5	2	Lempung medium, Abu-abu	9	1,478	1,68333	54,91								0,000589	0,4042
14.5-16.5	2	Lempung medium, Abu-abu	8	1,67	1,6	64,13	2,6	0,625	95,49	118,1	22,63	1	0,13	0,0002	0,4872
16.5-18.5	2	Lempung medium, Abu-abu	8	1,547	1,66667	57,44								0,000561	0,427
18.5-20.5	2	Lempung medium, Hitam	9	2,14	1,53	81,3	2,65	0,682	89,65	113,1	23,44	3	0,05	0,00042	0,6417
20.5-22.5	2	Lanau Berpasir stiff, Hitam	20		1,88889										
22.5-24.5	2	Lempung medium, Abu-abu	12												
24.5-26.5	2	Lempung medium, Abu-abu	13												
26.5-28.5	2	Lempung medium, Abu-abu	12												
28.5-30.5	2	Lanau stiff, Abu-abu	22												
30.5-32.5	2	Lanau stiff, Abu-abu	21												
32.5-34.5	2	Lanau Berpasir stiff, Abu-abu	23												
34.5-36.5	2	Lanau Berpasir stiff, Abu-abu	23												
36.5-38.5	2	Lanau Berpasir stiff, Abu-abu	21												
38.5-40.5	2	Pasir medium, Abu-abu	23												
40.5-42.5	2	Pasir medium, Abu-abu	26												

BH 4 (0+540)

Kedalaman (m)	Tebal	Jenis Tanah	SPT (blows)	eo	γ_d (kg/cm ²)	Wc %	Gs	n	PI %	LL %	PL %	ϕ °	c Kg/cm ²	Cv (cm ² /sec)	Cc
0-2.5	2,5	Lempung Berlanau soft, Coklat	5	1,767	1,61667	65,47								0,000456	0,4992
2.5-4.5	2	Lempung Berlanau medium, Coklat	7	1,6	1,65	59,3								0,000567	0,4437
4.5-6.5	2	Lempung medium, Abu-abu	6	1,683	1,63333	62,38								0,000511	0,4714
6.5-8.5	2	Lempung medium, Abu-abu	11	1,374	1,71667	51								0,000638	0,369
8.5-10.5	2	Lempung medium, Abu-abu	14	1,231	1,76667	45,59								0,000711	0,3203
10.5-12.5	2	Lempung Berpasir medium, Abu-abu	13	1,278	1,75	47,37								0,000683	0,3363
12.5-14.5	2	Lempung medium, Abu-abu	10	1,421	1,7	52,81								0,000614	0,3853
14.5-16.5	2	Lempung Berpasir medium, Abu-abu	9	1,7	1,63	65,43	2,67	0,63	56,64	80,02	23,38	3	0,28	0,00024	0,4989
16.5-18.5	2	Lempung medium, Abu-abu	9	1,478	1,68333	54,91								0,000589	0,4042
18.5-20.5	2	Lempung medium, Abu-abu	10	2,63	1,43	95,95	2,65	0,725	89,65	113,1	23,44	3	0,18	0,00011	0,7736
20.5-22.5	2	Lempung medium, Abu-abu	7	1,6	1,65	59,3								0,000567	0,4437
22.5-24.5	2	Lanau medium, Abu-abu	15		1,77778	44,4									
24.5-26.5	2	Lanau Berpasir stiff, Abu-abu	21		1,91111										
26.5-28.5	2	Lempung soft, Abu-abu	5	1,56	1,62	57,12	2,64	0,609	32,06	57,12	25,06	3	0,26	0,00019	0,4241
28.5-30.5	2	Lempung Berlanau stiff, Abu-abu	19		1,86667										
30.5-32.5	2	Lempung Berlanau medium, Abu-abu	11												
32.5-34.5	2	Pasir Berlanau loose, Abu-abu	10												
34.5-36.5	2	Pasir Berlanau medium, Abu-abu	12												
36.5-38.5	2	Pasir Berlanau medium, Abu-abu	11												
38.5-40.5	2	Lempung medium, Abu-abu	14												
40.5-42.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	19												

BH 1 (0+400)

Kedalaman (m)	Tebal	Jenis Tanah	SPT (blows)	eo	γ (kg/cm ²)	Wc %	Gs	n	PI %	LL %	PL %	ϕ °	c Kg/cm ²	Cv (cm ² /sec)	Cc
0-2.5	2,5	Lanau Kelempungan very soft	2	2,018	1,08571	74,76								0,000295	0,5829
2.5-4.5	2	Pasir Kelanauan loose	8	1,547	1,42857	57,44								0,000561	0,427
4.5-6.5	2	Pasir Kelanauan loose	9	1,478	1,57895	54,91								0,000589	0,4042
6.5-8.5	2	Pasir Kelanauan medium	11	1,374	1,6	51								0,000638	0,369
8.5-10.5	2	Pasir Kelanauan medium	11	1,374	1,6	51								0,000638	0,369
10.5-12.5	2	Pasir Kelanauan medium	12	1,326	1,61053	49,2								0,000662	0,3528
12.5-14.5	2	Lanau Kelempungan medium	11	1,374	1,71667	51								0,000638	0,369
14.5-16.5	2	Lanau Kelempungan medium	16	1,55	1,68	62,86	2,63	0,608	79,37	103,9	24,53	2	0,33	0,00024	0,4757
16.5-18.5	2	Lanau Kelempungan medium	11	1,374	1,71667	51								0,000638	0,369
18.5-20.5	2	Lanau Kelempungan medium	9	2,96	1,46	121,6	2,6	0,747	122,8	148,1	25,28	1,5	0,115	0,00018	1,004
20.5-22.5	2	Lanau Kelempungan medium	11	1,374	1,71667	51								0,000638	0,369
22.5-24.5	2	Lanau Kelempungan medium	8	1,547	1,66667	57,44								0,000561	0,427
24.5-26.5	2	Lanau Kelempungan medium	11	2,27	1,53	86,63	2,68	0,694	92,65	117,5	24,84	2	0,15	0,00042	0,6897
26.5-28.5	2	Pasir Kelanauan medium	16												
28.5-30.5	2	Pasir Kelanauan medium	18												
30.5-32.5	2	Lanau Kelempungan medium	13												
32.5-34.5	2	Lanau Kelempungan medium	16												
34.5-36.5	2	Lanau Kelempungan stiff	32												
36.5-38.5	2	Pasir Berlanau stiff, Abu-abu	31												
38.5-40.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	23												

BH 2 (0+400)

Kedalaman (m)	Tebal	Jenis Tanah	SPT (blows)	eo	γ (kg/cm ²)	Wc %	Gs	n	PI %	LL %	PL %	ϕ °	c Kg/cm ²	Cv (cm ² /sec)	Cc
0-2.5	2,5	Lanau Berlempung soft	4	1,837	1,6	68,14								0,000343	0,5233
2.5-4.5	2	Lempung soft, Abu-abu	5	1,767	1,61667	65,47								0,000456	0,4992
4.5-6.5	2	Lempung medium, Abu-abu	12	1,326	1,73333	49,2								0,000662	0,3528
6.5-8.5	2	Lempung medium, Abu-abu	13	1,278	1,75	47,37								0,000683	0,3363
8.5-10.5	2	Lempung medium, Abu-abu	14	1,231	1,76667	45,59								0,000711	0,3203
10.5-12.5	2	Lempung medium, Abu-abu	13	1,278	1,75	47,37								0,000683	0,3363
12.5-14.5	2	Lempung medium, Abu-abu	14	1,66	1,7	67,96	2,69	0,624	88,13	111,3	23,16	1	0,11	0,00037	0,5216
14.5-16.5	2	Lempung medium, Abu-abu	7	1,6	1,65	59,3								0,000567	0,4437
16.5-18.5	2	Lempung medium, Abu-abu	6	1,683	1,63333	62,38								0,000511	0,4714
18.5-20.5	2	Lempung medium, Abu-abu	6	3,01	1,41	111,3	2,67	0,751	136,9	162	25,11	2,5	0,09	0,00037	0,9118
20.5-22.5	2	Pasir halus loose, Abu-abu	5	1,767	1,25714	65,47								0,000456	0,4992
22.5-24.5	2	Pasir halus loose, Abu-abu	7	1,6	1,37143	59,3								0,000567	0,4437
24.5-26.5	2	Pasir halus loose, Abu-abu	7	2,39	1,45	84,05	2,67	0,705	87,07	111,6	24,53	1	0,075	0,00037	0,6665
26.5-28.5	2	Pasir halus medium, Abu-abu	11												
28.5-30.5	2	Lempung medium, Abu-abu	14												
30.5-32.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	21												
32.5-34.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	22												
34.5-36.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	21												
36.5-38.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	19												
38.5-40.5	2	Lempung stiff, Abu-abu	22												

Analisis data tanah

Tabel Analisis Statistik Gs															
Kedalaman (m)	BH 1 (0+400)	BH 2 (0+400)	BH1 (0+540)	BH2 (0+540)	BH3 (0+540)	BH 4 (0+540)	N	v	mean(x)	S ²	S	tdb	Batas Atas	Batas Bawah	GS
0-15							3	2	2,697	0,0003	0,012	1,886	2,71	2,684	2,7
			2,71		2,69										
		2,69													
15-20			2,69			2,67	6	5	2,673	7,1494	1,196	1,476	3,39	1,953	2,67
		2,67	2,71		2,65	2,65									
20-30							3	2	2,653	0,0005	0,015	1,886	2,67	2,637	2,65
		2,67		2,65											
						2,64									

Tabel Analisis Statistik γ

Kedalaman (m)	BH 1 (0+400)	BH 2 (0+400)	BH1 (0+540)	BH2 (0+540)	BH3 (0+540)	BH 4 (0+540)	N	v	mean(x)	$\sum(X-Xrata)^2$	Sd	tdb	Batas Atas	Batas Bawah	γ
0-5		1,600	1,617	1,600		1,617	7	6	1,64	0,017	0,053	1,44	1,67	1,612	1,64
			1,650		1,750	1,650									
6-15		1,733	1,733	1,683	1,717	1,633	22	21	1,726	0,031	0,038	1,323	1,74	1,715	1,726
		1,750		1,700	1,667	1,717									
		1,767		1,767		1,767									
		1,750	1,733	1,750	1,733	1,750									
		1,700	1,800	1,733	1,683	1,700									
16-20		1,650	1,580	1,680	1,600	1,630	10	9	1,644	0,011	0,036	1,383	1,66	1,628	1,644
		1,633	1,683	1,633	1,667	1,683									
21-30		1,410	1,700	1,360	1,530	1,430	19	18	1,608	0,614	0,185	1,33	1,66	1,551	1,608
		1,257	1,683	1,733	1,889	1,650									
		1,371	1,717	1,733		1,778									
		1,450	1,600	1,720		1,911									
						1,620									

Tabel Analisis Statistik Cu

Kedalaman (m)	BH 2 (0+400)	BH1 (0+540)	BH2 (0+540)	BH3 (0+540)	BH 4 (0+540)	N	v	mean(x)	$\sum(X - \bar{X})^2$	S	tdb	Batas Atas	Batas Bawah	Cu
0-15						3	2	0,15	0,012	0,078	1,886	0,24	0,065	0,15
		0,10		0,24										
	0,11													
16-20		0,30	0,44	0,13	0,28	9	8	0,209	0,1397	0,132	1,397	0,270	0,147	0,21
	0,09	0,32	0,09	0,05	0,18									

Tabel Analisis Statistik Cc

Kedalaman (m)	BH 2 (0+40 0)	BH1 (0+54 0)	BH2 (0+54 0)	BH3 (0+54 0)	BH 4 (0+54 0)	N	v	mean(x)	$\sum (X - X_{\text{mean}})^2$	S	tdb	Batas Atas	Batas Bawah	Cc
0-5	0,52	0,50	0,52		0,50	6	5	0,489	0,079	0,126	1,476	0,56	0,413	0,565
		0,44			0,44									
6-15	0,35	0,35	0,40	0,37	0,47	25	24	0,379	1,431	0,239	1,318	0,44	0,316	0,442
	0,34	0,50	0,39	0,43	0,37									
	0,32	0,39	0,32	0,49	0,32									
	0,34	0,35	0,34	0,35	0,34									
	0,52	0,29	0,35	0,40	0,39									
16-20	0,44	0,57		0,49	0,50	9	8	0,464	0,022	0,052	1,397	0,49	0,44	0,488
	0,47	0,40	0,47	0,43	0,40									

Tabel Analisis Statistik Cv

Kedalaman (m)	BH 2 (0+400)	BH1 (0+540)	BH2 (0+540)	BH3 (0+540)	BH 4 (0+540)	N	v	mean(x)	$\frac{\sum (X-X_{mean})^2}{2}$	S	tdb	Batas Atas	Batas Bawah	Cv
0-5	0,00034	0,00046	0,00034		0,00046	7	6	0,0005	9,5E-08	0,00013	1,44	0,001	0,0004	0,0006
		0,00057		0,00068	0,00057									
6-10	0,00066	0,00066	0,00059	0,00064	0,00051	10	9	0,0006	4,8E-08	7,3E-05	1,383	0,001	0,0006	0,0006
	0,00068	0,00046	0,00061	0,00056	0,00064									
11-15	0,00071	0,00067	0,00071		0,00071	9	8	0,0007	3,3E-09	2E-05	1,397	0,001	0,0007	0,0007
	0,00068	0,00066	0,00068	0,00066	0,00068									
16-20		0,00077	0,00066	0,00059	0,00061	9	8	0,0005	3,4E-07	0,00021	1,397	0,001	0,0004	0,0006
	0,00057	0,00028	0,00037	0,00020	0,00024									

Tabel Analisis Statistik Water Content

Kedalaman (m)	BH 2 (0+40 0)	BH1 (0+54 0)	BH2 (0+54 0)	BH3 (0+54 0)	BH 4 (0+54 0)	N	v	mean(x)	$\sum (X-Xmean)^2$	S	tdb	Batas Atas	Batas Bawa h	Wc
0-5	68,14	65,47	68,14		59,30	6	5	63,789	83,00	4,07	1,44	66,18	61,39	63,79
		59,30			62,38									
6-10	49,20	49,20	54,91	51,00	51,00	10	9	52,399	298,77	5,76	1,38	54,92	49,88	52,40
	47,37	65,47	52,81	57,44	45,59									
11-15	45,59	53,11	45,59	63,89	47,37	10	9	50,148	271,32	5,49	1,48	52,71	47,59	50,15
	47,37	49,20	47,37	49,20	52,81									
16-20	67,96	42,03	49,20	54,91	65,43	9	8	58,996	683,64	9,24	1,40	63,30	54,69	59,00
	59,30	73,09		64,13	54,91									

Lampiran 3

Perhitungan tinggi awal, tinggi akhir, dan settlement

Penurunan akibat variasi $q = 20 \text{ ton/m}^2$

Kedalaman (m)	Z (m)	e0	Cc	Cs	Y'	Po'	Pc	OCR	α_1	α_2	ΔP	$2\Delta P$	$\Delta p+Po'$	Sc	
					ton/m3	ton/m2	ton/m2		°	°	ton/m2	ton/m3	ton/m3	m	
0 -	2,5	1,25	1,70	0,56	0,11	0,64	0,80	2,80	3,50	3,7752	84,102	10,00	20,00	20,80	0,51
2,5 -	4,5	3,5	1,70	0,56	0,11	0,64	2,24	4,24	1,89	10,207	73,867	9,98	19,95	22,19	0,32
4,5 -	6,5	5,5	1,38	0,44	0,09	0,73	3,61	5,61	1,55	15,181	65,556	9,91	19,83	23,44	0,24
6,5 -	8,5	7,5	1,38	0,44	0,09	0,73	5,06	7,06	1,40	19,253	58,208	9,80	19,61	24,67	0,21
8,5 -	10,5	9,5	1,38	0,44	0,09	0,73	6,51	8,51	1,31	22,403	51,864	9,64	19,29	25,80	0,19
10,5 -	12,5	11,5	1,35	0,44	0,09	0,73	7,96	9,96	1,25	24,713	46,456	9,44	18,89	26,85	0,17
Sc total														1,65	

Penurunan akibat variasi $q = 16 \text{ ton/m}^2$

Kedalaman (m)	Z (m)	e0	Cc	Cs	Y'	Po'	Pc	OCR	α_1	α_2	ΔP	$2\Delta P$	$\Delta p+Po'$	Sc	
					ton/m3	ton/m2	ton/m2		°	°	ton/m2	ton/m3	ton/m3	m	
0 -	2,5	1,25	1,6965	0,5646	0,1129	0,640	0,800	2,800	3,5	3,4633	84,102	8	15,998	16,798	0,4643
2,5 -	4,5	3,5	1,6965	0,5646	0,1129	0,640	2,240	4,240	1,8929	9,3432	73,867	7,9774	15,955	18,195	0,2881
4,5 -	6,5	5,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	3,606	5,606	1,5546	13,847	65,556	7,919	15,838	19,444	0,2144
6,5 -	8,5	7,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	5,058	7,058	1,3954	17,48	58,208	7,8147	15,629	20,687	0,1838
8,5 -	10,5	9,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	6,510	8,510	1,3072	20,228	51,864	7,6659	15,332	21,842	0,1603
10,5 -	12,5	11,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	7,962	9,962	1,2512	22,179	46,456	7,48	14,96	22,922	0,1413
Sc total														1,4522	

Penurunan akibat variasi $q = 12 \text{ ton/m}^2$

Kedalaman (m)	Z (m)		e0	Cc	Cs	Y' ton/m3	Po' ton/m2	Pc ton/m2	OCR	α_1 °	α_2 °	ΔP ton/m2	2 ΔP ton/m3	$\Delta p+Po'$ ton/m3	Sc m
0 -	2,5	1,25	1,6965	0,5646	0,1129	0,640	0,800	2,800	3,5	3,044	84,102	6	11,998	12,798	0,4024
2,5 -	4,5	3,5	1,6965	0,5646	0,1129	0,640	2,240	4,240	1,8929	8,1861	73,867	5,9792	11,958	14,198	0,243
4,5 -	6,5	5,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	3,606	5,606	1,5546	12,072	65,556	5,9258	11,852	15,458	0,1775
6,5 -	8,5	7,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	5,058	7,058	1,3954	15,139	58,208	5,8311	11,662	16,72	0,1495
8,5 -	10,5	9,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	6,510	8,510	1,3072	17,385	51,864	5,6976	11,395	17,905	0,1283
10,5 -	12,5	11,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	7,962	9,962	1,2512	18,905	46,456	5,5329	11,066	19,028	0,1114
Sc total															1,2122

Penurunan akibat variasi $q = 8 \text{ ton/m}^2$

Kedalaman (m)	Z (m)		e0	Cc	Cs	Y' ton/m3	Po' ton/m2	Pc ton/m2	OCR	α_1 °	α_2 °	ΔP ton/m2	2 ΔP ton/m3	$\Delta p+Po'$ ton/m3	Sc m
0 -	2,5	1,25	1,6965	0,5646	0,1129	0,640	0,800	2,800	3,5	2,4505	84,102	4	8	8,7983	0,3172
2,5 -	4,5	3,5	1,6965	0,5646	0,1129	0,640	2,240	4,240	1,8929	6,558	73,867	3,9822	7,9645	10,204	0,1829
4,5 -	6,5	5,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	3,606	5,606	1,5546	9,5976	65,556	3,9369	7,8739	11,48	0,1296
6,5 -	8,5	7,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	5,058	7,058	1,3954	11,919	58,208	3,8579	7,7157	12,774	0,1062
8,5 -	10,5	9,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	6,510	8,510	1,3072	13,535	51,864	3,7482	7,4965	14,006	0,0888
10,5 -	12,5	11,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	7,962	9,962	1,2512	14,546	46,456	3,6157	7,2314	15,193	0,0751
Sc total															0,8999

Penurunan akibat variasi $q = 4 \text{ ton/m}^2$

Kedalaman		Z		e0	Cc	Cs	Y'	Po'	Pc	OCR	α_1	α_2	ΔP	2 ΔP	$\Delta p+Po'$	Sc
(m)	(m)	(m)	(m)													
0 -	2,5	1,25	1,6965	0,5646	0,1129	0,640	0,800	2,800	3,5	1,5459	84,102	1,9994	4	4,7988	0,1794	
2,5 -	4,5	3,5	1,6965	0,5646	0,1129	0,640	2,240	4,240	1,8929	4,1031	73,867	1,9878	3,9756	6,2156	0,0928	
4,5 -	6,5	5,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	3,606	5,606	1,5546	5,9298	65,556	1,9573	3,9146	7,5206	0,0615	
6,5 -	8,5	7,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	5,058	7,058	1,3954	7,2487	58,208	1,9053	3,8106	8,8686	0,0475	
8,5 -	10,5	9,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	6,510	8,510	1,3072	8,0908	51,864	1,8354	3,6708	10,181	0,0375	
10,5 -	12,5	11,5	1,384	0,4418	0,0884	0,726	7,962	9,962	1,2512	8,5447	46,456	1,7536	3,5071	11,469	0,0299	
Sc total															0,4486	

Penurunan akibat beban perkerasan pada timbunan setinggi 10,8 m

Kedalaman		Z		e0	Cc	Cs	Y'	Po'	Pc	OCR	m	n	l	ΔP	$\Delta p+Po'$	Sc
(m)	(m)	(m)	(m)													
0 -	2,5	12,1	1,70	0,56	0,11	0,64	0,80	2,80	3,50	2,01	∞	0,24	1,19	1,99	0,0413	
2,5 -	4,5	14,1	1,70	0,56	0,11	0,64	2,24	4,24	1,89	1,72	∞	0,24	1,17	3,41	0,0153	
4,5 -	6,5	16,1	1,38	0,44	0,09	0,73	3,61	5,61	1,55	1,51	∞	0,23	1,15	4,76	0,0089	
6,5 -	8,5	18,1	1,38	0,44	0,09	0,73	5,06	7,06	1,40	1,34	∞	0,23	1,13	6,18	0,0065	
8,5 -	10,5	20,1	1,38	0,44	0,09	0,73	6,51	8,51	1,31	1,21	∞	0,22	1,10	7,61	0,0050	
10,5 -	12,5	21,3	1,35	0,44	0,09	0,73	7,96	9,96	1,25	1,14	∞	0,22	1,09	9,05	0,0042	
Sc total															0,077	

Penurunan akibat beban perkerasan pada timbunan setinggi 8,65 m

Kedalaman		Z	e0	Cc	Cs	γ'	Po'	Pc	OCR	m	n	l	ΔP	Δp+Po'	Sc
(m)	(m)	ton/m ³													
0	- 2,5	9,9	1,6965	0,5646	0,1129	0,64	0,8	2,8	3,5	2,4448	∞	0,243	1,2004	2,0004	0,0417
2,5	- 4,5	11,9	1,6965	0,5646	0,1129	0,64	2,24	4,24	1,8929	2,0338	∞	0,24	1,1856	3,4256	0,0155
4,5	- 6,5	13,9	1,384	0,4418	0,0884	0,726	3,606	5,606	1,5546	1,7412	∞	0,238	1,1757	4,7817	0,0091
6,5	- 8,5	15,9	1,384	0,4418	0,0884	0,726	5,058	7,058	1,3954	1,5221	∞	0,231	1,1411	6,1991	0,0065
8,5	- 10,5	17,9	1,384	0,4418	0,0884	0,726	6,51	8,51	1,3072	1,3521	∞	0,227	1,1214	7,6314	0,0051
11	- 12,5	19,1	1,384	0,4418	0,0884	0,726	5,058	7,058	1,3954	1,2638	∞	0,224	1,1066	6,1646	0,0064
Sc total															0,0779

Penurunan akibat beban perkerasan pada timbunan setinggi 6,49 m

Kedalaman		Z	e0	Cc	Cs	γ'	Po'	Pc	OCR	m	n	l	ΔP	Δp+Po'	Sc
(m)	(m)	ton/m ³													
0	- 2,5	7,7	1,6965	0,5646	0,1129	0,64	0,8	2,8	3,5	3,128	∞	0,25	1,235	2,035	0,0425
2,5	- 4,5	9,7	1,6965	0,5646	0,1129	0,64	2,24	4,24	1,8929	2,4855	∞	0,244	1,2054	3,4454	0,0157
4,5	- 6,5	11,7	1,384	0,4418	0,0884	0,726	3,606	5,606	1,5546	2,0619	∞	0,24	1,1856	4,7916	0,0092
6,5	- 8,5	13,7	1,384	0,4418	0,0884	0,726	5,058	7,058	1,3954	1,7617	∞	0,236	1,1658	6,2238	0,0067
8,5	- 10,5	15,7	1,384	0,4418	0,0884	0,726	6,51	8,51	1,3072	1,5378	∞	0,232	1,1461	7,6561	0,0052
11	- 12,5	17,0	1,6965	0,5646	0,1129	0,64	2,24	4,24	1,8929	1,4247	∞	0,229	1,1313	3,3713	0,0149
Sc total															0,0792

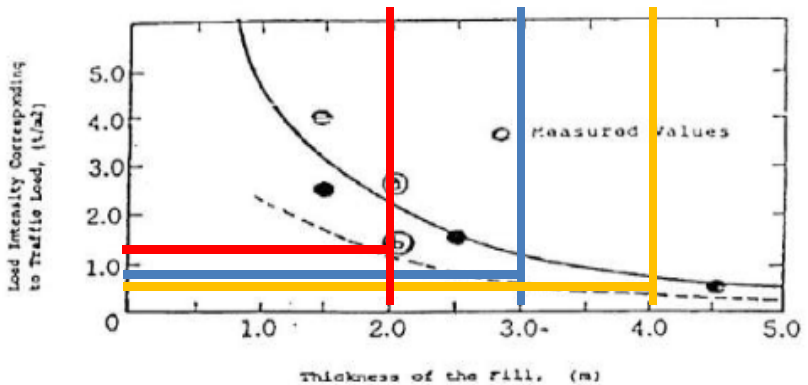
Penurunan akibat beban perkerasan pada timbunan setinggi 4,32 m

Kedalaman (m)	Z (m)	e ₀	C _c	C _s	γ'	P _o '	P _c	OCR	m	n	I	ΔP	Δp+P _o '	S _c m	
					ton/m ³	ton/m ²	ton/m ²		x/z	y/z		ton/m ³	ton/m ³		
0 - 2,5	2,5	5,6	1,6965	0,5646	0,1129	0,64	0,8	2,8	3,5	4,3413	∞	0,25	1,235	2,035	0,0425
2,5 - 4,5	4,5	7,6	1,6965	0,5646	0,1129	0,64	2,24	4,24	1,8929	3,195	∞	0,25	1,235	3,475	0,016
4,5 - 6,5	6,5	9,6	1,384	0,4418	0,0884	0,726	3,606	5,606	1,5546	2,5276	∞	0,245	1,2103	4,8163	0,0093
6,5 - 8,5	8,5	11,6	1,384	0,4418	0,0884	0,726	5,058	7,058	1,3954	2,0908	∞	0,24	1,1856	6,2436	0,0068
8,5 - 10,5	10,5	13,6	1,384	0,4418	0,0884	0,726	6,51	8,51	1,3072	1,7828	∞	0,237	1,1708	7,6808	0,0053
11 - 12,5	12,5	14,8	1,6965	0,5646	0,1129	0,64	2,24	4,24	1,8929	1,6325	∞	0,237	1,1708	3,4108	0,0153
Sc total														0,0798	

Penurunan akibat beban perkerasan pada timbunan setinggi 2,2 m

Kedalaman (m)	Z (m)	e ₀	C _c	C _s	γ'	P _o '	P _c	OCR	m	n	I	ΔP	Δp+P _o '	S _c m	
					ton/m ³	ton/m ²	ton/m ²		x/z	y/z		ton/m ³	ton/m ³		
0 - 2,5	2,5	3,4	1,6965	0,5646	0,1129	0,64	0,8	2,8	3,5	7,0923	∞	0,25	1,235	2,035	0,0425
2,5 - 4,5	4,5	5,4	1,6965	0,5646	0,1129	0,64	2,24	4,24	1,8929	4,4714	∞	0,25	1,235	3,475	0,016
4,5 - 6,5	6,5	7,4	1,384	0,4418	0,0884	0,726	3,606	5,606	1,5546	3,2649	∞	0,25	1,235	4,841	0,0095
6,5 - 8,5	8,5	9,4	1,384	0,4418	0,0884	0,726	5,058	7,058	1,3954	2,5711	∞	0,246	1,2152	6,2732	0,0069
8,5 - 10,5	10,5	11,4	1,384	0,4418	0,0884	0,726	6,51	8,51	1,3072	2,1205	∞	0,242	1,1955	7,7055	0,0054
6,5 - 8,5	8,5	12,7	1,6965	0,5646	0,1129	0,64	2,24	4,24	1,8929	1,9112	∞	0,24	1,1856	3,4256	0,0155
Sc total														0,0803	

Menentukan H bongkar



A B = A/1,85 C = grafik D = C/1,85

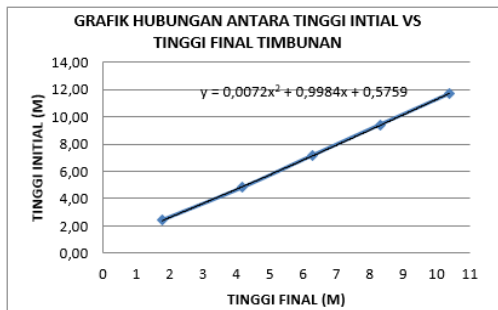
q timb t/m ²	H timbunan m	Beban traffic t/m ²	H Bongkar Preload m
20	10,8	0,25	0,14
16	8,6	0,25	0,14
12	6,5	0,25	0,14
8	4,3	0,35	0,19
4	2,2	1,20	0,65

Perhitungan tinggi final dan total pemampatan

q timb t/m ²	Sc timb m	Tinggi Initial M	H Bongkar Preload m	Tebal Pavement m	Sc Pavement m	Tinggi Final m	Total Pemampatan m
20	1,65	11,70	0,14	0,55	0,077	10,39	1,727
16	1,45	9,43	0,14	0,55	0,078	8,32	1,530
12	1,21	7,14	0,14	0,55	0,079	6,27	1,291
8	0,90	4,81	0,19	0,55	0,080	4,19	0,980
4	0,45	2,40	0,65	0,55	0,080	1,78	0,529

$$H_{Final} = H_{inisial} - Sc_{timbunan} - H_{bongkar\ traffic} + tebal\ pavement - Sc_{pavement}$$

Dari tabel tinggi final, tinggi initial, total settlement dibuat grafik seperti berikut:



Harga H awal dan Sc dapat diperoleh dari Kurva hubungan dengan H akhir dimana harga tersebut dapat diperoleh dengan cara grafis atau dengan rumusan yang telah diperoleh pada kurva tersebut.

Lampiran 4

Waktu konsolidasi

Penurunan lapisan tanah dapat diperkirakan dengan memakai koefisien konsolidasi (C_v). Untuk tanah yang berlapis lapis maka digunakan harga C_v rata-rata seperti berikut:

Kedalaman			Tebal Lapisan	C_v	$H/C_v^{0.5}$	C_v Gabungan	C_v Gabungan
(m)			(m)	cm ² /det	cm ² /det	cm ² /det	m ² /tahun
0,0	-	2,5	2,5	0,00056	106,02	0,00062	1,95996
2,5	-	4,5	2	0,00056	84,816		
4,5	-	6,5	2	0,00063	79,468		
6,5	-	8,5	2	0,00063	79,468		
8,5	-	10,5	2	0,00070	75,818		
10,5	-	12,5	2	0,00070	75,818		
Σ			12,5		501,41		

Hasil perhitungan menunjukkan nilai $C_{vgabungan} = 0,00062 \text{ cm}^2/\text{dtk} = 1,96 \text{ m}^2/\text{tahun}$. Dengan $U = 90\%$ didapat $T_v = 0,848$ (Berdasarkan Tabel 2.4). Dengan menggunakan Persamaan 2.10, didapatkan waktu konsolidasi sebagai berikut :

$$t = 0,848 \times (12,5)^2 \text{ m} / 1,96 \text{ m}^2/\text{tahun} = 67,6 \text{ Tahun}$$

- Pemampatan pertahun

$$T_v = t * C_v / H_{dr}$$

$$U = \sqrt{\frac{T_v}{0,25\pi}} \times 100\%$$

$$S_c = S_c \text{ total} \times U$$

Tahun	Tv	U	Sc	Tahun	Tv	U	Sc	Tahun	Tv	U	Sc
1	0,013	12,64	0,21	24	0,301	61,21	1,04	47	0,590	80,80	1,37
2	0,025	17,87	0,30	25	0,314	62,29	1,06	48	0,602	81,25	1,38
3	0,038	21,89	0,37	26	0,326	63,37	1,08	49	0,615	81,70	1,39
4	0,050	25,28	0,43	27	0,339	64,46	1,10	50	0,627	82,14	1,40
5	0,063	28,26	0,48	28	0,351	65,54	1,11	51	0,640	82,59	1,40
6	0,075	30,96	0,53	29	0,364	66,62	1,13	52	0,652	83,03	1,41
7	0,088	33,44	0,57	30	0,376	67,70	1,15	53	0,665	83,48	1,42
8	0,100	35,74	0,61	31	0,389	68,78	1,17	54	0,677	83,93	1,43
9	0,113	37,91	0,64	32	0,401	69,86	1,19	55	0,690	84,37	1,43
10	0,125	39,96	0,68	33	0,414	70,67	1,20	56	0,702	84,82	1,44
11	0,138	41,91	0,71	34	0,426	71,43	1,21	57	0,715	85,27	1,45
12	0,151	43,78	0,74	35	0,439	72,20	1,23	58	0,728	85,71	1,46
13	0,163	45,57	0,77	36	0,452	72,96	1,24	59	0,740	86,16	1,46
14	0,176	47,29	0,80	37	0,464	73,73	1,25	60	0,753	86,61	1,47
15	0,188	48,95	0,83	38	0,477	74,49	1,27	61	0,765	87,05	1,48
16	0,201	50,55	0,86	39	0,489	75,26	1,28	62	0,778	87,50	1,49
17	0,213	52,11	0,89	40	0,502	76,02	1,29	63	0,790	87,95	1,50
18	0,226	53,62	0,91	41	0,514	76,79	1,31	64	0,803	88,39	1,50
19	0,238	55,09	0,94	42	0,527	77,55	1,32	65	0,815	88,84	1,51
20	0,251	56,52	0,96	43	0,539	78,32	1,33	66	0,828	89,28	1,52
21	0,263	57,91	0,98	44	0,552	79,08	1,34	67	0,840	89,73	1,53
22	0,276	59,28	1,01	45	0,564	79,85	1,36	67,604	0,848	90,00	1,53
23	0,289	60,13	1,02	46	0,577	80,36	1,37				

Kemudian dibuat grafik seperti berikut:



Karena waktu pemampatan yang terjadi sangat lama, sehingga perlu perbaikan tanah untuk mempercepat pemampatan yaitu dengan PVD

Perencanaan PVD

Perhitungan faktor hambatan pada PVD

$D = 1.13 \times S$, untuk pola susunan bujursangkar, dan : $1.05 \times S$, untuk pola segitiga

$$D_w = \frac{2x(a+b)}{\pi}$$

$$n = D/D_w$$

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - (1)^2} \right) \left[\ln(n) - \left(\frac{3}{4} \right) - \left(\frac{1}{4(n)^2} \right) \right]$$

Pola	Jarak PVD S (m)	D (mm)	a (m)	b (m)	Dw (m)	n	F(n)
Segi Empat	0,8	0,904	0,1	0,004	0,066	13,654	1,873
	1	1,13	0,1	0,004	0,066	17,067	2,093
	1,2	1,356	0,1	0,004	0,066	20,481	3,025
	1,4	1,582	0,1	0,004	0,066	23,894	3,178
	1,6	1,808	0,1	0,004	0,066	27,308	3,311
Segi Tiga	0,8	0,84	0,1	0,004	0,066	12,687	1,800
	1	1,05	0,1	0,004	0,066	15,859	2,021
	1,2	1,26	0,1	0,004	0,066	19,031	2,952
	1,4	1,47	0,1	0,004	0,066	22,203	3,105
	1,6	1,68	0,1	0,004	0,066	25,374	3,238

Derajat konsolidasi PVD pola pemasangan segi empat jarak 0,8m

t	tv	Uv	Uh	Utotal
minggu		(%)	(%)	(%)
1	0,0002	0,0175	0,234	24,73
2	0,0005	0,0248	0,413	42,76
3	0,0007	0,0303	0,550	56,40
4	0,0010	0,0350	0,656	66,76
5	0,0012	0,0391	0,736	74,64
6	0,0014	0,0429	0,798	80,65
7	0,0017	0,0463	0,845	85,23
8	0,0019	0,0495	0,881	88,72
9	0,0022	0,0525	0,909	91,39
10	0,0024	0,0553	0,930	93,42
11	0,0026	0,0580	0,947	94,97
12	0,0029	0,0606	0,959	96,16
13	0,0031	0,0631	0,969	97,07
14	0,0034	0,0655	0,976	97,76
15	0,0036	0,0678	0,982	98,29
16	0,0038	0,0700	0,986	98,69
17	0,0041	0,0722	0,989	99,00
18	0,0043	0,0743	0,992	99,23
19	0,0046	0,0763	0,994	99,42
20	0,0048	0,0783	0,995	99,55
21	0,0051	0,0802	0,996	99,66
22	0,0053	0,0821	0,997	99,74
23	0,0055	0,0839	0,998	99,80
24	0,0058	0,0857	0,998	99,85

Derajat konsolidasi PVD pola pemasangan segi empat jarak 1m

t	tv	Uv	Uh	Utotal
minggu		(%)	(%)	(%)
1	0,0002	0,0175	0,155267	17,0051
2	0,0005	0,0248	0,2864262	30,4088
3	0,0007	0,0303	0,3972207	41,5493
4	0,001	0,035	0,4908125	50,8635
5	0,0012	0,0391	0,5698725	58,6705
6	0,0014	0,0429	0,6366571	65,2233
7	0,0017	0,0463	0,6930723	70,7284
8	0,0019	0,0495	0,7407281	75,3562
9	0,0022	0,0525	0,7809844	79,2484
10	0,0024	0,0553	0,8149903	82,523
11	0,0026	0,058	0,8437162	85,2788
12	0,0029	0,0606	0,867982	87,5986
13	0,0031	0,0631	0,88848	89,5517
14	0,0034	0,0655	0,9057954	91,1964
15	0,0036	0,0678	0,9204223	92,5816
16	0,0038	0,07	0,9327781	93,7484
17	0,0041	0,0722	0,9432154	94,7313
18	0,0043	0,0743	0,9520322	95,5594
19	0,0046	0,0763	0,95948	96,2571
20	0,0048	0,0783	0,9657714	96,845
21	0,0051	0,0802	0,971086	97,3405
22	0,0053	0,0821	0,9755754	97,758
23	0,0055	0,0839	0,9793677	98,1099
24	0,0058	0,0857	0,9825712	98,4066

Derajat konsolidasi PVD pola pemasangan segi empat jarak 1,2m

t	tv	Uv	Uh	Uttotal
minggu		(%)	(%)	(%)
1	0,00024	0,018	0,104	11,98
2	0,00048	0,025	0,197	21,73
3	0,00072	0,030	0,281	30,28
4	0,00096	0,035	0,356	37,84
5	0,00120	0,039	0,423	44,55
6	0,00144	0,043	0,483	50,52
7	0,00168	0,046	0,537	55,83
8	0,00192	0,050	0,585	60,56
9	0,00217	0,053	0,628	64,78
10	0,00241	0,055	0,667	68,54
11	0,00265	0,058	0,702	71,90
12	0,00289	0,061	0,733	74,90
13	0,00313	0,063	0,761	77,57
14	0,00337	0,065	0,786	79,96
15	0,00361	0,068	0,808	82,09
16	0,00385	0,070	0,828	83,99
17	0,00409	0,072	0,846	85,69
18	0,00433	0,074	0,862	87,21
19	0,00457	0,076	0,876	88,57
20	0,00481	0,078	0,889	89,78
21	0,00505	0,080	0,901	90,86
22	0,00529	0,082	0,911	91,83
23	0,00553	0,084	0,920	92,70
24	0,00577	0,086	0,929	93,47

Derajat konsolidasi PVD pola pemasangan segi empat jarak 1,4m

t	tv	Uv	Uh	Utotal
minggu		(%)	(%)	(%)
1	0,000241	0,018	0,086	10,181
2	0,0005	0,025	0,164	18,495
3	0,0007	0,030	0,236	25,914
4	0,0010	0,035	0,302	32,599
5	0,0012	0,039	0,361	38,647
6	0,0014	0,043	0,416	44,129
7	0,0017	0,046	0,466	49,107
8	0,0019	0,050	0,512	53,63
9	0,0022	0,053	0,554	57,743
10	0,0024	0,055	0,592	61,485
11	0,0026	0,058	0,627	64,891
12	0,0029	0,061	0,659	67,992
13	0,0031	0,063	0,689	70,816
14	0,0034	0,065	0,715	73,388
15	0,0036	0,068	0,740	75,731
16	0,0038	0,070	0,762	77,867
17	0,0041	0,072	0,782	79,813
18	0,0043	0,074	0,801	81,587
19	0,0046	0,076	0,818	83,204
20	0,0048	0,078	0,834	84,678
21	0,0051	0,080	0,848	86,022
22	0,0053	0,082	0,861	87,248
23	0,0055	0,084	0,873	88,366
24	0,0058	0,086	0,884	89,385

Derajat konsolidasi PVD pola pemasangan segi tiga jarak 0,8m

t	tv	Uv	Uh	Utotal
minggu		(%)	(%)	(%)
1	0,0002	0,0175	0,234	24,73
2	0,0005	0,0248	0,413	42,76
3	0,0007	0,0303	0,550	56,40
4	0,0010	0,0350	0,656	66,76
5	0,0012	0,0391	0,736	74,64
6	0,0014	0,0429	0,798	80,65
7	0,0017	0,0463	0,845	85,23
8	0,0019	0,0495	0,881	88,72
9	0,0022	0,0525	0,909	91,39
10	0,0024	0,0553	0,930	93,42
11	0,0026	0,0580	0,947	94,97
12	0,0029	0,0606	0,959	96,16
13	0,0031	0,0631	0,969	97,07
14	0,0034	0,0655	0,976	97,76
15	0,0036	0,0678	0,982	98,29
16	0,0038	0,0700	0,986	98,69
17	0,0041	0,0722	0,989	99,00
18	0,0043	0,0743	0,992	99,23
19	0,0046	0,0763	0,994	99,42
20	0,0048	0,0783	0,995	99,55
21	0,0051	0,0802	0,996	99,66
22	0,0053	0,0821	0,997	99,74
23	0,0055	0,0839	0,998	99,80
24	0,0058	0,0857	0,998	99,85

Derajat konsolidasi PVD pola pemasangan segi tiga jarak 1m

t	tv	Uv	Uh	Utotal
minggu		(%)	(%)	(%)
1	0,00024	0,018	0,200	21,41
2	0,00048	0,025	0,360	37,59
3	0,00072	0,030	0,488	50,36
4	0,00096	0,035	0,591	60,48
5	0,00120	0,039	0,672	68,52
6	0,00144	0,043	0,738	74,92
7	0,00168	0,046	0,790	80,01
8	0,00192	0,050	0,832	84,06
9	0,00217	0,053	0,866	87,29
10	0,00241	0,055	0,893	89,86
11	0,00265	0,058	0,914	91,91
12	0,00289	0,061	0,931	93,55
13	0,00313	0,063	0,945	94,85
14	0,00337	0,065	0,956	95,89
15	0,00361	0,068	0,965	96,72
16	0,00385	0,070	0,972	97,39
17	0,00409	0,072	0,978	97,91
18	0,00433	0,074	0,982	98,33
19	0,00457	0,076	0,986	98,67
20	0,00481	0,078	0,988	98,94
21	0,00505	0,080	0,991	99,15
22	0,00529	0,082	0,993	99,32
23	0,00553	0,084	0,994	99,46
24	0,00577	0,086	0,995	99,57

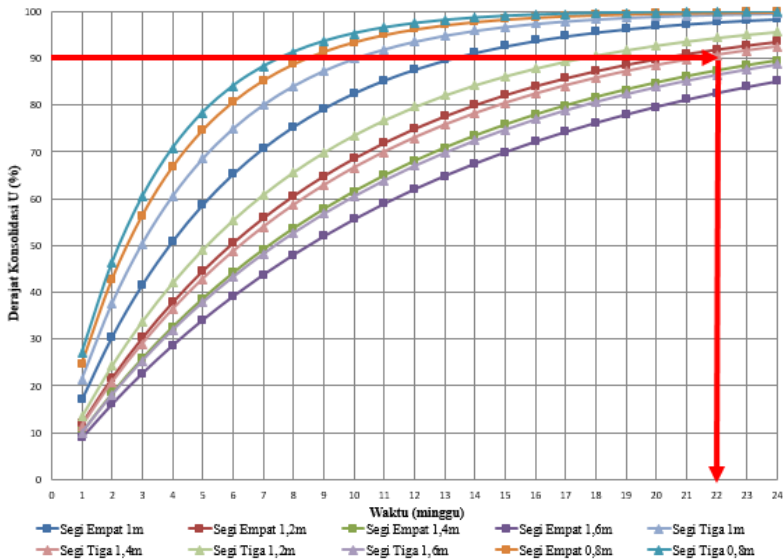
Derajat konsolidasi PVD pola pemasangan segi tiga jarak 1,2m

t	tv	Uv	Uh	Utotal
minggu		(%)	(%)	(%)
1	0,0002	0,018	0,120	13,50
2	0,0005	0,025	0,225	24,40
3	0,0007	0,030	0,317	33,82
4	0,0010	0,035	0,399	42,01
5	0,0012	0,039	0,471	49,16
6	0,0014	0,043	0,534	55,41
7	0,0017	0,046	0,590	60,89
8	0,0019	0,050	0,639	65,68
9	0,0022	0,053	0,682	69,88
10	0,0024	0,055	0,720	73,56
11	0,0026	0,058	0,754	76,79
12	0,0029	0,061	0,783	79,62
13	0,0031	0,063	0,809	82,10
14	0,0034	0,065	0,832	84,28
15	0,0036	0,068	0,852	86,19
16	0,0038	0,070	0,870	87,87
17	0,0041	0,072	0,885	89,35
18	0,0043	0,074	0,899	90,64
19	0,0046	0,076	0,911	91,78
20	0,0048	0,078	0,922	92,78
21	0,0051	0,080	0,931	93,65
22	0,0053	0,082	0,939	94,42
23	0,0055	0,084	0,947	95,10
24	0,0058	0,086	0,953	95,70

Derajat konsolidasi PVD pola pemasangan segi tiga jarak 1,4m

t	tv	Uv	Uh	Utotal
minggu		(%)	(%)	(%)
1	0,000	0,018	0,099	11,434
2	0,000	0,025	0,187	20,752
3	0,001	0,030	0,267	28,970
4	0,001	0,035	0,340	36,281
5	0,001	0,039	0,405	42,807
6	0,001	0,043	0,463	48,644
7	0,002	0,046	0,516	53,872
8	0,002	0,050	0,564	58,558
9	0,002	0,053	0,607	62,761
10	0,002	0,055	0,646	66,532
11	0,003	0,058	0,681	69,917
12	0,003	0,061	0,712	72,956
13	0,003	0,063	0,740	75,686
14	0,003	0,065	0,766	78,138
15	0,004	0,068	0,789	80,341
16	0,004	0,070	0,810	82,321
17	0,004	0,072	0,829	84,100
18	0,004	0,074	0,846	85,700
19	0,005	0,076	0,861	87,138
20	0,005	0,078	0,874	88,430
21	0,005	0,080	0,887	89,592
22	0,005	0,082	0,898	90,637
23	0,006	0,084	0,908	91,577
24	0,006	0,086	0,917	92,422

Hasil dari seluruh pola pemasangan dan jarak kemudian dijadikan grafik seperti berikut:



Waktu pemampatan yang diijinkan apabila menggunakan PVD tidak lebih dari 6 bulan. Hal ini dikarenakan ketika PVD terpasang selama lebih dari 6 bulan dikawatirkan sudah mengalami kerusakan sehingga tidak berfungsi lagi. Maka dari itu dalam perencanaan digunakan pola pemasangan segitiga dengan jarak 1,4 yang akan mencapai derajat konsolidasi 90 dalam 22 minggu.

Lampiran 5
Timbunan bertahap

Nilai Δp pada tiap tahapan

Kedalaman	PO'	$\Delta P1$	$\Delta P2$	$\Delta P3$	$\Delta P4$	$\Delta P5$	$\Delta P6$	$\Delta P7$	$\Delta P8$	$\Delta P9$	$\Delta P10$	$\Delta P11$
	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)
0-1	0,320	0,925	0,925	0,924	0,924	0,923	0,922	0,920	0,919	0,917	0,915	0,912
1-2	0,960	0,924	0,924	0,923	0,921	0,920	0,918	0,916	0,913	0,911	0,908	0,905
2-3	1,600	0,922	0,921	0,919	0,917	0,914	0,912	0,909	0,906	0,903	0,900	0,896
3-4	2,240	0,917	0,915	0,912	0,909	0,906	0,903	0,900	0,896	0,893	0,889	0,886
4-5	2,880	0,909	0,906	0,903	0,899	0,896	0,892	0,889	0,885	0,881	0,877	0,874
5-6	3,563	0,898	0,895	0,891	0,887	0,883	0,879	0,876	0,872	0,868	0,864	0,860
6-7	4,289	0,884	0,880	0,877	0,873	0,869	0,865	0,861	0,857	0,853	0,850	0,846
7-8	5,015	0,868	0,864	0,860	0,856	0,852	0,849	0,845	0,841	0,838	0,834	0,831
8-9	5,741	0,848	0,845	0,841	0,838	0,834	0,831	0,828	0,825	0,821	0,818	0,815
9-10	6,467	0,828	0,825	0,822	0,819	0,816	0,813	0,810	0,807	0,804	0,802	0,799
10-11	7,193	0,805	0,803	0,801	0,799	0,796	0,794	0,791	0,789	0,787	0,785	0,782
11-12	7,919	0,782	0,781	0,780	0,778	0,776	0,774	0,773	0,771	0,769	0,767	0,766
12-12,5	8,464	0,765	0,764	0,763	0,762	0,761	0,760	0,759	0,757	0,756	0,754	0,753

Lanjutan nilai Δp pada tiap tahapan

Kedalaman	$\Delta P12$	$\Delta P13$	$\Delta P14$	$\Delta P15$	$\Delta P16$	$\Delta P17$	$\Delta P18$	$\Delta P19$	$\Delta P20$	$\Delta P21$	$\Delta P22$	$\Delta P23$
	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)
0-1	0,910	0,907	0,904	0,901	0,898	0,895	0,892	0,889	0,886	0,882	0,879	0,876
1-2	0,902	0,899	0,896	0,893	0,889	0,886	0,883	0,879	0,876	0,872	0,869	0,866
2-3	0,893	0,889	0,886	0,882	0,879	0,876	0,872	0,869	0,865	0,862	0,859	0,855
3-4	0,882	0,878	0,875	0,871	0,868	0,864	0,861	0,857	0,854	0,851	0,847	0,844
4-5	0,870	0,866	0,863	0,859	0,856	0,852	0,849	0,845	0,842	0,839	0,836	0,833
5-6	0,857	0,853	0,850	0,846	0,843	0,839	0,836	0,833	0,830	0,827	0,824	0,821
6-7	0,843	0,839	0,836	0,832	0,829	0,826	0,823	0,820	0,817	0,814	0,811	0,809
7-8	0,828	0,824	0,821	0,818	0,815	0,812	0,809	0,807	0,804	0,801	0,799	0,796
8-9	0,812	0,809	0,806	0,804	0,801	0,798	0,796	0,793	0,791	0,788	0,786	0,784
9-10	0,796	0,794	0,791	0,789	0,786	0,784	0,782	0,780	0,777	0,775	0,773	0,771
10-11	0,780	0,778	0,776	0,774	0,772	0,770	0,768	0,766	0,764	0,762	0,761	0,759
11-12	0,764	0,762	0,760	0,759	0,757	0,755	0,754	0,752	0,751	0,749	0,748	0,746
12-12,5	0,752	0,750	0,749	0,748	0,746	0,745	0,743	0,742	0,741	0,740	0,738	0,737

Tegangan yang terjadi tiap tahapan penimbunan

Kedalaman	H	z	γ'	Po'	$\sigma'1$	$\sigma'2$	$\sigma'3$	$\sigma'4$	$\sigma'5$	$\sigma'6$	$\sigma'7$	$\sigma'8$	$\sigma'9$
	(m)	(m)	(t/m ³)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
0-1	1	0,5	0,6	0,3	1,2	2,2	3,1	4,0	4,9	5,9	6,8	7,7	8,6
1-2	1	1,5	0,6	1,0	1,9	2,8	3,7	4,7	5,6	6,5	7,4	8,3	9,2
2-3	1	2,5	0,6	1,6	2,5	3,4	4,4	5,3	6,2	7,1	8,0	8,9	9,8
3-4	1	3,5	0,6	2,2	3,2	4,1	5,0	5,9	6,8	7,7	8,6	9,5	10,4
4-5	1	4,5	0,6	2,9	3,8	4,7	5,6	6,5	7,4	8,3	9,2	10,1	10,9
5-6	1	5,5	0,6	3,6	4,5	5,4	6,2	7,1	8,0	8,9	9,8	10,6	11,5
6-7	1	6,5	0,6	4,3	5,2	6,1	6,9	7,8	8,7	9,5	10,4	11,3	12,1
7-8	1	7,5	0,6	5,0	5,9	6,7	7,6	8,5	9,3	10,2	11,0	11,8	12,7
8-9	1	8,5	0,6	5,7	6,6	7,4	8,3	9,1	9,9	10,8	11,6	12,4	13,3
9-10	1	9,5	0,6	6,5	7,3	8,1	8,9	9,8	10,6	11,4	12,2	13,0	13,8
10-11	1	10,5	0,6	7,2	8,0	8,8	9,6	10,4	11,2	12,0	12,8	13,6	14,4
11-12	1	11,5	0,6	7,9	8,7	9,5	10,3	11,0	11,8	12,6	13,4	14,1	14,9
12-12,5	0,5	12,25	0,6	8,5	9,2	10,0	10,8	11,5	12,3	13,0	13,8	14,6	15,3

Lanjutan tegangan yang terjadi tiap tahapan penimbunan

Kedalaman	H	r	γ'	σ'_{10}	σ'_{11}	σ'_{12}	σ'_{13}	σ'_{14}	σ'_{15}	σ'_{16}	σ'_{17}	σ'_{18}	σ'_{19}	σ'_{20}	σ'_{21}	σ'_{22}	σ'_{23}
	(m)	(m)	(t/m ³)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)
A	B	C	D	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
0-1	1	0,5	0,6	9,5	10,4	11,4	12,3	13,2	14,1	15,0	15,9	16,8	17,6	18,5	19,4	20,3	21,2
1-2	1	1,5	0,6	10,1	11,0	11,9	12,8	13,7	14,6	15,5	16,4	17,3	18,2	19,0	19,9	20,8	21,7
2-3	1	2,5	0,6	10,7	11,6	12,5	13,4	14,3	15,2	16,0	16,9	17,8	18,7	19,5	20,4	21,2	22,1
3-4	1	3,5	0,6	11,3	12,2	13,0	13,9	14,8	15,7	16,5	17,4	18,3	19,1	20,0	20,8	21,7	22,5
4-5	1	4,5	0,6	11,8	12,7	13,6	14,4	15,3	16,1	17,0	17,9	18,7	19,6	20,4	21,2	22,1	22,9
5-6	1	5,5	0,6	12,4	13,2	14,1	14,9	15,8	16,6	17,5	18,3	19,2	20,0	20,8	21,6	22,5	23,3
6-7	1	6,5	0,6	13,0	13,8	14,6	15,5	16,3	17,2	18,0	18,8	19,6	20,5	21,3	22,1	22,9	23,7
7-8	1	7,5	0,6	13,5	14,4	15,2	16,0	16,8	17,6	18,5	19,3	20,1	20,9	21,7	22,5	23,3	24,1
8-9	1	8,5	0,6	14,1	14,9	15,7	16,5	17,3	18,1	18,9	19,7	20,5	21,3	22,1	22,9	23,7	24,5
9-10	1	9,5	0,6	14,6	15,4	16,2	17,0	17,8	18,6	19,4	20,1	20,9	21,7	22,5	23,3	24,0	24,8
10-11	1	10,5	0,6	15,1	15,9	16,7	17,5	18,3	19,0	19,8	20,6	21,3	22,1	22,9	23,6	24,4	25,2
11-12	1	11,5	0,6	15,7	16,4	17,2	18,0	18,7	19,5	20,2	21,0	21,7	22,5	23,3	24,0	24,7	25,5
12-12,5	0,5	12,25	0,6	16,1	16,8	17,6	18,3	19,1	19,8	20,6	21,3	22,1	22,8	23,5	24,3	25,0	25,7

Penambahan tegangan efektif akibat beban timbunan apabila $U < 100\%$ dengan PVD pola pemasangan segitiga jarak 1,4m pada timbunan dengan tinggi akhir 10,2m

perubahan tegangan	H	i	Po'	$\Delta P1'$	$\Delta P2'$	$\Delta P3'$	$\Delta P4'$	$\Delta P5'$	$\Delta P6'$	$\Delta P7'$	$\Delta P8'$	$\Delta P9'$	$\Delta P10'$	$\Delta P11'$	$\Delta P12'$
	(m)	(m)		h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h
A	B	C	(t/m ²)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
umur timbunan				23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
Kedalaman	U		100	91,58	90,64	89,59	88,43	87,14	85,70	84,10	82,32	80,34	78,14	75,69	72,96
0-1	1	0,5	0,3200	0,79	0,81	0,81	0,80	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,71	0,68	0,66
1-2	1	1,5	0,96	0,82	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,65
2-3	1	2,5	1,60	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,74	0,72	0,70	0,67	0,64
3-4	1	3,5	2,24	0,83	0,82	0,81	0,80	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64
4-5	1	4,5	2,88	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,63
5-6	1	5,5	3,56	0,81	0,80	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,62
6-7	1	6,5	4,29	0,80	0,79	0,78	0,77	0,75	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,61
7-8	1	7,5	5,02	0,79	0,78	0,77	0,75	0,74	0,72	0,71	0,69	0,67	0,65	0,62	0,60
8-9	1	8,5	5,74	0,77	0,76	0,75	0,74	0,72	0,71	0,69	0,67	0,66	0,64	0,61	0,59
9-10	1	9,5	6,47	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,69	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58
10-11	1	10,5	7,19	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	0,66	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57
11-12	1	11,5	7,92	0,71	0,71	0,70	0,68	0,67	0,66	0,65	0,63	0,61	0,60	0,58	0,55
12-12,5	0,5	12,25	8,46	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55

Lanjutan penambahan tegangan efektif akibat beban timbunan apabila $U < 100\%$ dengan PVD pola pemasangan segitiga jarak 1,4m pada timbunan dengan tinggi akhir 10,2m

perubahan tegangan	H	r	$\Delta P_{13}'$	$\Delta P_{14}'$	$\Delta P_{15}'$	$\Delta P_{16}'$	$\Delta P_{17}'$	$\Delta P_{18}'$	$\Delta P_{19}'$	$\Delta P_{20}'$	$\Delta P_{21}'$	$\Delta P_{22}'$	$\Delta P_{23}'$	$\Sigma \sigma'$ (t/m ²)	$\Sigma \sigma'$ (kg/cm ²)
	(m)	(m)	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h		
A	B	C	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5		
umur timbunan			11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
Kedalaman		U	69,92	66,53	62,76	58,56	53,87	48,64	42,81	36,28	28,97	20,75	11,43		
0-1	1	0,5	0,63	0,59	0,56	0,52	0,48	0,43	0,37	0,32	0,25	0,18	0,10	13,82	1,38
1-2	1	1,5	0,62	0,59	0,55	0,51	0,47	0,42	0,37	0,31	0,25	0,25	0,10	14,50	1,45
2-3	1	2,5	0,62	0,58	0,55	0,51	0,47	0,42	0,37	0,31	0,25	0,25	0,10	15,05	1,51
3-4	1	3,5	0,61	0,58	0,54	0,50	0,46	0,41	0,36	0,31	0,24	0,24	0,09	15,57	1,56
4-5	1	4,5	0,60	0,57	0,53	0,50	0,45	0,41	0,36	0,30	0,24	0,24	0,09	16,06	1,61
5-6	1	5,5	0,59	0,56	0,53	0,49	0,45	0,40	0,35	0,30	0,24	0,24	0,09	16,56	1,66
6-7	1	6,5	0,58	0,55	0,52	0,48	0,44	0,40	0,35	0,29	0,23	0,23	0,09	17,08	1,71
7-8	1	7,5	0,57	0,54	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34	0,29	0,23	0,23	0,09	17,59	1,76
8-9	1	8,5	0,56	0,53	0,50	0,46	0,43	0,38	0,34	0,28	0,23	0,23	0,09	18,08	1,81
9-10	1	9,5	0,55	0,52	0,49	0,46	0,42	0,38	0,33	0,28	0,22	0,22	0,09	18,55	1,86
10-11	1	10,5	0,54	0,51	0,48	0,45	0,41	0,37	0,32	0,27	0,22	0,22	0,09	19,02	1,90
11-12	1	11,5	0,53	0,50	0,47	0,44	0,40	0,36	0,32	0,27	0,21	0,21	0,08	19,48	1,95
12-12,5	0,5	12,25	0,52	0,49	0,47	0,43	0,40	0,36	0,31	0,27	0,21	0,21	0,08	19,83	1,98

Nilai Cu baru pada timbunan dengan tinggi akhir 10,2m

Kedalaman m	PI %	Cu Lama Kg/cm2	Cu Baru Kg/cm2	Cu Pakai Kg/cm2	Cu Pakai Kpa	Cu Rata2 Kpa	Cu Transisi rata2 Kpa
0-1	81,02	0,15	0,16	0,16	15,70	15,91	15,45
1-2	81,02	0,15	0,16	0,16	16,11		
2-3	81,02	0,15	0,16	0,16	16,44	16,60	15,80
3-4	81,02	0,15	0,17	0,17	16,75		
4-5	81,02	0,15	0,17	0,1705	17,05	17,20	16,10
5-6	81,02	0,15	0,17	0,17	17,35		
6-7	81,02	0,15	0,18	0,18	17,67	17,82	16,41
7-8	81,02	0,15	0,18	0,18	17,97		
8-9	81,02	0,15	0,18	0,18	18,26	18,41	16,70
9-10	81,02	0,15	0,19	0,19	18,55		
10-11	81,02	0,15	0,19	0,19	18,83	19,09	17,04
11-12	81,02	0,15	0,19	0,19	19,11		
12-12,5	81,02	0,15	0,19	0,19	19,32		

Penambahan tegangan efektif akibat beban timbunan apabila $U < 100\%$ dengan PVD pola pemasangan segitiga jarak 1,4m pada timbunan dengan tinggi akhir 9,8m

perubahan tegangan	H	i	Po'	$\Delta P1'$	$\Delta P2'$	$\Delta P3'$	$\Delta P4'$	$\Delta P5'$	$\Delta P6'$	$\Delta P7'$	$\Delta P8'$	$\Delta P9'$	$\Delta P10'$	$\Delta P11'$
	(m)	(m)		h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h
A	B	C	(t/m ²)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
umur timbunan				22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
Kedalaman		U	100	90,64	89,59	88,43	87,14	85,70	84,10	82,32	80,34	78,14	75,69	72,96
0-1	1	0,5	0,32	0,78	0,80	0,80	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,71	0,68	0,66
1-2	1	1,5	0,96	0,81	0,81	0,80	0,79	0,78	0,76	0,74	0,73	0,70	0,68	0,65
2-3	1	2,5	1,60	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,74	0,72	0,70	0,67	0,65
3-4	1	3,5	2,24	0,82	0,81	0,80	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,64
4-5	1	4,5	2,88	0,81	0,80	0,79	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,63
5-6	1	5,5	3,56	0,81	0,79	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,62
6-7	1	6,5	4,29	0,79	0,78	0,77	0,75	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,61
7-8	1	7,5	5,02	0,78	0,77	0,76	0,74	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,60
8-9	1	8,5	5,74	0,76	0,75	0,74	0,73	0,71	0,69	0,68	0,66	0,64	0,61	0,59
9-10	1	9,5	6,47	0,75	0,73	0,72	0,71	0,69	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58
10-11	1	10,5	7,19	0,73	0,72	0,70	0,69	0,68	0,66	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57
11-12	1	11,5	7,92	0,71	0,70	0,69	0,67	0,66	0,65	0,63	0,62	0,60	0,58	0,55
12-12,5	0,5	12,25	8,46	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57	0,55

Lanjutan penambahan tegangan efektif akibat beban timbunan apabila $U < 100\%$ dengan PVD pola pemasangan segitiga jarak 1,4m pada timbunan dengan tinggi akhir 9,8m

perubahan tegangan	H	i	$\Delta P12'$	$\Delta P13'$	$\Delta P14'$	$\Delta P15'$	$\Delta P16'$	$\Delta P17'$	$\Delta P18'$	$\Delta P19'$	$\Delta P20'$	$\Delta P21'$	$\Delta P22'$	$\Sigma \sigma'$ (t/m ²)	$\Sigma \sigma'$ (kg/cm ²)
	(m)	(m)	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h		
A	B	C	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11,1		
umur timbunan			11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
Kedalaman	U		69,92	66,53	62,76	58,56	53,87	48,64	42,81	36,28	28,97	20,75	11,43		
0-1	1	0,5	0,63	0,60	0,56	0,52	0,48	0,43	0,38	0,32	0,25	0,18	0,10	12,89	1,29
1-2	1	1,5	0,62	0,59	0,56	0,52	0,47	0,42	0,37	0,31	0,25	0,18	0,10	13,51	1,35
2-3	1	2,5	0,62	0,58	0,55	0,51	0,47	0,42	0,37	0,31	0,25	0,18	0,10	14,08	1,41
3-4	1	3,5	0,61	0,58	0,54	0,50	0,46	0,41	0,36	0,31	0,24	0,17	0,10	14,61	1,46
4-5	1	4,5	0,60	0,57	0,54	0,50	0,46	0,41	0,36	0,30	0,24	0,17	0,09	15,11	1,51
5-6	1	5,5	0,59	0,56	0,53	0,49	0,45	0,40	0,35	0,30	0,24	0,17	0,09	15,63	1,56
6-7	1	6,5	0,58	0,55	0,52	0,48	0,44	0,40	0,35	0,29	0,23	0,17	0,09	16,17	1,62
7-8	1	7,5	0,57	0,54	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34	0,29	0,23	0,16	0,09	16,68	1,67
8-9	1	8,5	0,56	0,53	0,50	0,47	0,43	0,38	0,34	0,28	0,23	0,16	0,09	17,19	1,72
9-10	1	9,5	0,55	0,52	0,49	0,46	0,42	0,38	0,33	0,28	0,22	0,16	0,09	17,68	1,77
10-11	1	10,5	0,54	0,51	0,48	0,45	0,41	0,37	0,33	0,27	0,22	0,16	0,09	18,17	1,82
11-12	1	11,5	0,53	0,50	0,47	0,44	0,40	0,36	0,32	0,27	0,21	0,15	0,08	18,65	1,86
12-12,5	0,5	12,25	0,52	0,50	0,47	0,43	0,40	0,36	0,32	0,27	0,21	0,15	0,08	19,00	1,90

Nilai Cu baru pada timbunan dengan tinggi akhir 9,8m

Kedalaman m	PI %	Cu Lama Kg/cm ²	Cu Baru Kg/cm ²	Cu Pakai Kg/cm ²	Cu Pakai Kpa	Cu Rata2 Kpa	Cu Transisi rata2 Kpa
0-1	81,02	0,15	0,15	0,15	15,14	15,33	15,16
1-2	81,02	0,15	0,16	0,16	15,51		
2-3	81,02	0,15	0,16	0,16	15,85	16,01	15,51
3-4	81,02	0,15	0,16	0,16	16,17		
4-5	81,02	0,15	0,16	0,16	16,48	16,63	15,82
5-6	81,02	0,15	0,17	0,17	16,79		
6-7	81,02	0,15	0,17	0,17	17,11	17,27	16,13
7-8	81,02	0,15	0,17	0,17	17,43		
8-9	81,02	0,15	0,18	0,18	17,73	17,88	16,44
9-10	81,02	0,15	0,18	0,18	18,03		
10-11	81,02	0,15	0,18	0,18	18,32	18,58	16,79
11-12	81,02	0,15	0,19	0,19	18,61		
12-12,5	81,02	0,15	0,19	0,19	18,82		

Penambahan tegangan efektif akibat beban timbunan apabila $U < 100\%$ dengan PVD pola pemasangan segitiga jarak 1,4m pada timbunan dengan tinggi akhir 9,2m

perubahan tegangannya	H	z	Po'	$\Delta P1'$	$\Delta P2'$	$\Delta P3'$	$\Delta P4'$	$\Delta P5'$	$\Delta P6'$	$\Delta P7'$	$\Delta P8'$	$\Delta P9'$	$\Delta P10'$
	(m)	(m)		h	h	h	h	h	h	h	h	h	h
A	B	C	(t/m2)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
umur timbunan				21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
Kedalaman		U	100	89,59	88,43	87,14	85,70	84,10	82,32	80,34	78,14	75,69	72,96
0-1	1	0,5	0,32	0,76	0,79	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67
1-2	1	1,5	0,96	0,80	0,80	0,79	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67
2-3	1	2,5	1,60	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67
3-4	1	3,5	2,24	0,81	0,81	0,80	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67
4-5	1	4,5	2,88	0,82	0,81	0,80	0,78	0,77	0,75	0,74	0,72	0,69	0,67
5-6	1	5,5	3,52	0,82	0,81	0,80	0,78	0,77	0,75	0,74	0,72	0,69	0,67
6-7	1	6,5	4,16	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,75	0,74	0,72	0,69	0,67
7-8	1	7,5	4,80	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67
8-9	1	8,5	5,44	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67
9-10	1	9,5	6,08	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67
10-11	1	10,5	6,72	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67
11-12	1	11,5	7,36	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67
12-12,5	0,5	12,25	7,84	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,74	0,72	0,70	0,67

Lanjutan penambahan tegangan efektif akibat beban timbunan apabila $U < 100\%$ dengan PVD pola pemasangan segitiga jarak 1,4m pada timbunan dengan tinggi akhir 9,2m

perubahan tegangan	H	r	$\Delta P11'$	$\Delta P12'$	$\Delta P13'$	$\Delta P14'$	$\Delta P15'$	$\Delta P16'$	$\Delta P17'$	$\Delta P18'$	$\Delta P19'$	$\Delta P20'$	$\Delta P21'$	$\Sigma \sigma'$ (t/m ²)	$\Sigma \sigma'$ (kg/cm ²)
	(m)	(m)	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h		
A	B	C	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,4		
umur timbunan			11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
Kedalaman	U		69,92	66,53	62,76	58,56	53,87	49,64	42,81	36,28	28,97	20,75	11,43		
0-1	1	0,5	0,64	0,61	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,25	0,25	0,18	0,10	12,21	1,22
1-2	1	1,5	0,64	0,61	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,22	0,25	0,18	0,10	12,87	1,29
2-3	1	2,5	0,64	0,61	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,17	0,25	0,18	0,10	13,48	1,35
3-4	1	3,5	0,64	0,61	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,11	0,24	0,17	0,10	14,07	1,41
4-5	1	4,5	0,64	0,61	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,04	0,24	0,17	0,09	14,64	1,46
5-6	1	5,5	0,64	0,61	0,57	0,54	0,49	0,44	0,39	-0,03	0,24	0,17	0,09	15,22	1,52
6-7	1	6,5	0,64	0,61	0,57	0,54	0,49	0,44	0,39	-0,09	0,23	0,17	0,09	15,80	1,58
7-8	1	7,5	0,64	0,61	0,57	0,54	0,49	0,44	0,39	-0,16	0,23	0,16	0,09	16,37	1,64
8-9	1	8,5	0,64	0,61	0,57	0,54	0,49	0,44	0,39	-0,24	0,23	0,16	0,09	16,93	1,69
9-10	1	9,5	0,64	0,61	0,57	0,54	0,49	0,44	0,39	-0,32	0,22	0,16	0,09	17,49	1,75
10-11	1	10,5	0,64	0,61	0,58	0,54	0,49	0,44	0,39	-0,41	0,22	0,16	0,09	18,04	1,80
11-12	1	11,5	0,64	0,61	0,58	0,54	0,49	0,45	0,39	-0,49	0,22	0,15	0,08	18,59	1,86
12-12,5	0,5	12,25	0,64	0,61	0,58	0,54	0,49	0,45	0,39	-0,56	0,21	0,15	0,08	19,00	1,90

Nilai Cu baru pada timbunan dengan tinggi akhir 9,2m

Kedalaman m	PI %	Cu Lama Kg/cm ²	Cu Baru Kg/cm ²	Cu Pakai Kg/cm ²	Cu Pakai Kpa	Cu Rata2 Kpa	Cu Transisi rata2 Kpa
0-1	81,02	0,15	0,15	0,15	15,00	15,06	15,03
1-2	81,02	0,15	0,15	0,15	15,12		
2-3	81,02	0,15	0,15	0,15	15,49	15,67	15,34
3-4	81,02	0,15	0,16	0,16	15,85		
4-5	81,02	0,15	0,16	0,16	16,20	16,37	15,68
5-6	81,02	0,15	0,17	0,17	16,54		
6-7	81,02	0,15	0,17	0,17	16,89	17,06	16,03
7-8	81,02	0,15	0,17	0,17	17,24		
8-9	81,02	0,15	0,18	0,18	17,57	17,74	16,37
9-10	81,02	0,15	0,18	0,18	17,91		
10-11	81,02	0,15	0,18	0,18	18,24	18,54	16,77
11-12	81,02	0,15	0,19	0,19	18,57		
12-12,5	81,02	0,15	0,19	0,19	18,82		

Penambahan tegangan efektif akibat beban timbunan apabila $U < 100\%$ dengan PVD pola pemasangan segitiga jarak 1,4m pada timbunan dengan tinggi akhir 7,8m

perubahan tegangan	H	r	Po'	$\Delta P1'$	$\Delta P2'$	$\Delta P3'$	$\Delta P4'$	$\Delta P5'$	$\Delta P6'$	$\Delta P7'$	$\Delta P8'$	$\Delta P9'$
	(m)	(m)		h	h	h	h	h	h	h	h	h
A	B	C	(t/m ²)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
umur timbunan				18	17	16	15	14	13	12	11	10
Kedalaman		U	100	85,70	84,10	82,32	80,34	78,14	75,69	72,96	69,92	66,53
0-1	1	0,5	0,32	0,71	0,74	0,74	0,72	0,71	0,69	0,66	0,63	0,60
1-2	1	1,5	0,96	0,75	0,75	0,74	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64	0,60
2-3	1	2,5	1,60	0,77	0,76	0,75	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64	0,61
3-4	1	3,5	2,24	0,77	0,76	0,75	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64	0,61
4-5	1	4,5	2,88	0,78	0,76	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,64	0,61
5-6	1	5,5	3,52	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,64	0,61
6-7	1	6,5	4,16	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,64	0,61
7-8	1	7,5	4,80	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,64	0,61
8-9	1	8,5	5,44	0,78	0,77	0,75	0,74	0,72	0,69	0,67	0,64	0,61
9-10	1	9,5	6,08	0,78	0,77	0,75	0,74	0,72	0,69	0,67	0,64	0,61
10-11	1	10,5	6,72	0,79	0,77	0,75	0,74	0,72	0,69	0,67	0,64	0,61
11-12	1	11,5	7,36	0,79	0,77	0,75	0,74	0,72	0,69	0,67	0,64	0,61
12-12,5	0,5	12,25	7,84	0,79	0,77	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67	0,64	0,61

Lanjutan penambahan tegangan efektif akibat beban timbunan apabila $U < 100\%$ dengan PVD pola pemasangan segitiga jarak 1,4m pada timbunan dengan tinggi akhir 7,8m

perubahan tegangan	H	z	$\Delta P_{10}'$	$\Delta P_{11}'$	$\Delta P_{12}'$	$\Delta P_{13}'$	$\Delta P_{14}'$	$\Delta P_{15}'$	$\Delta P_{16}'$	$\Delta P_{17}'$	$\Delta P_{18}'$	$\Sigma \sigma'$ (t/m ²)	$\Sigma \sigma'$ (kg/cm ²)
	(m)	(m)	h	h	h	h	h	h	h	h	h		
A	B	C	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	8,8		
umur timbunan			9	8	7	6	5	4	3	2	1		
Kedalaman	U		62,76	58,56	53,87	48,64	42,81	36,28	28,97	20,75	11,43		
0-1	1	0,5	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,08	9,79	0,98
1-2	1	1,5	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,07	10,50	1,05
2-3	1	2,5	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,05	11,16	1,12
3-4	1	3,5	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,03	11,80	1,18
4-5	1	4,5	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,01	12,43	1,24
5-6	1	5,5	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	-0,01	13,06	1,31
6-7	1	6,5	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	-0,03	13,70	1,37
7-8	1	7,5	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	-0,05	14,32	1,43
8-9	1	8,5	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	-0,08	14,94	1,49
9-10	1	9,5	0,57	0,54	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	-0,10	15,57	1,56
10-11	1	10,5	0,57	0,54	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	-0,13	16,18	1,62
11-12	1	11,5	0,57	0,54	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	-0,16	16,80	1,68
12-12,5	0,5	12,25	0,57	0,54	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	-0,18	17,26	1,73

Nilai Cu baru pada timbunan dengan tinggi akhir 7,8m

Kedalaman m	PI %	Cu Lama Kg/cm ²	Cu Baru Kg/cm ²	Cu Pakai Kg/cm ²	Cu Pakai Kpa	Cu Rata2 Kpa	Cu Transisi rata2 Kpa
0-1	81,02	0,15	0,13	0,15	15,00		15,00
1-2	81,02	0,15	0,14	0,15	15,00	15,00	15,00
2-3	81,02	0,15	0,14	0,15	15,00		15,00
3-4	81,02	0,15	0,14	0,15	15,00	15,00	
4-5	81,02	0,15	0,15	0,15	15,00		15,06
5-6	81,02	0,15	0,15	0,15	15,24	15,12	
6-7	81,02	0,15	0,16	0,16	15,62		15,41
7-8	81,02	0,15	0,16	0,16	16,00	15,81	
8-9	81,02	0,15	0,16	0,16	16,38		15,78
9-10	81,02	0,15	0,17	0,17	16,75	16,56	
10-11	81,02	0,15	0,17	0,17	17,12		16,23
11-12	81,02	0,15	0,17	0,17	17,50		
12-12,5	81,02	0,15	0,18	0,18	17,77	17,46	

Penambahan tegangan efektif akibat beban timbunan apabila $U < 100\%$ dengan PVD pola pemasangan segitiga jarak 1,4m pada timbunan dengan tinggi akhir 6,3m

perubahan tegangan	H	r	P _o '	ΔP1'	ΔP2'	ΔP3'	ΔP4'	ΔP5'	ΔP6'	ΔP7'	ΔP8'	ΔP9'	ΔP10'	ΔP11'	ΔP12'	ΔP13'	ΔP14'	Σσ' (t/m ²)	Σσ' (kg/cm ²)
	(m)	(m)		h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h		
A	B	C	(t/m ²)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7,2		
umur timbunan				14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
Kedalaman	U		100	78,14	75,69	72,96	69,92	66,53	62,76	58,56	53,97	48,64	42,81	36,28	28,97	20,75	11,43		
0-1	1	0,5	0,32	0,61	0,65	0,64	0,62	0,59	0,56	0,53	0,48	0,44	0,38	0,33	0,26	0,19	0,10	6,70	0,67
1-2	1	1,5	0,96	0,67	0,67	0,65	0,62	0,60	0,56	0,53	0,48	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	7,44	0,74
2-3	1	2,5	1,60	0,69	0,67	0,65	0,63	0,60	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	8,12	0,81
3-4	1	3,5	2,24	0,69	0,68	0,66	0,63	0,60	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	8,79	0,88
4-5	1	4,5	2,88	0,70	0,68	0,66	0,63	0,60	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	9,45	0,94
5-6	1	5,5	3,52	0,70	0,68	0,66	0,63	0,60	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	10,10	1,01
6-7	1	6,5	4,16	0,71	0,69	0,66	0,63	0,60	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	10,75	1,08
7-8	1	7,5	4,80	0,71	0,69	0,66	0,64	0,60	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	11,40	1,14
8-9	1	8,5	5,44	0,71	0,69	0,66	0,64	0,61	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	12,05	1,21
9-10	1	9,5	6,08	0,71	0,69	0,66	0,64	0,61	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	12,70	1,27
10-11	1	10,5	6,72	0,71	0,69	0,67	0,64	0,61	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	13,34	1,33
11-12	1	11,5	7,36	0,71	0,69	0,67	0,64	0,61	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	13,99	1,40
12-12,5	0,5	12,25	7,84	0,71	0,69	0,67	0,64	0,61	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	14,47	1,45

Nilai Cu baru pada timbunan dengan tinggi akhir 6,3m

Kedalaman m	PI %	Cu Lama Kg/cm ²	Cu Baru Kg/cm ²	Cu Pakai Kg/cm ²	Cu Pakai Kpa	Cu Rata2 Kpa	Cu Transisi rata2 Kpa
0-1	81,02	0,15	0,11	0,15	15,00		15,00
1-2	81,02	0,15	0,12	0,15	15,00	15,00	15,00
2-3	81,02	0,15	0,12	0,15	15,00		15,00
3-4	81,02	0,15	0,13	0,15	15,00	15,00	15,00
4-5	81,02	0,15	0,13	0,15	15,00		15,06
5-6	81,02	0,15244	0,13	0,15	15,24	15,12	15,06
6-7	81,02	0,15624	0,14	0,16	15,62		15,41
7-8	81,02	0,16001	0,14	0,16	16,00	15,81	15,41
8-9	81,02	0,16377	0,15	0,16	16,38		15,78
9-10	81,02	0,16751	0,15	0,17	16,75	16,56	15,78
10-11	81,02	0,17124	0,15	0,17	17,12		16,23
11-12	81,02	0,17496	0,16	0,17	17,50		16,23
12-12,5	81,02	0,17774	0,16	0,18	17,77	17,46	16,23

Penambahan tegangan efektif akibat beban timbunan apabila $U < 100\%$ dengan PVD pola pemasangan segitiga jarak 1,4m pada timbunan dengan tinggi akhir 5m

perubahan tegangan	H	r	Po'	$\Delta P1'$	$\Delta P2'$	$\Delta P3'$	$\Delta P4'$	$\Delta P5'$	$\Delta P6'$	$\Delta P7'$	$\Delta P8'$	$\Delta P9'$	$\Delta P10'$	$\Delta P11'$	$\Sigma \sigma'$ (t/m2)	$\Sigma \sigma'$ (kg/cm2)
	(m)	(m)		h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h		
A	B	C	(t/m2)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,7		
umur timbunan				11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
Kedalaman		U	100	69,92	66,53	62,76	58,56	53,97	48,64	42,81	36,28	28,97	20,75	11,43		
0-1	1	0,5	0,32	0,51	0,56	0,54	0,51	0,47	0,43	0,38	0,32	0,26	0,18	0,10	4,59	0,46
1-2	1	1,5	0,96	0,58	0,57	0,55	0,52	0,48	0,43	0,38	0,32	0,26	0,18	0,10	5,34	0,53
2-3	1	2,5	1,60	0,60	0,58	0,55	0,52	0,48	0,43	0,38	0,32	0,26	0,19	0,10	6,02	0,60
3-4	1	3,5	2,24	0,61	0,59	0,56	0,52	0,48	0,44	0,38	0,32	0,26	0,19	0,10	6,69	0,67
4-5	1	4,5	2,88	0,62	0,59	0,56	0,52	0,48	0,44	0,38	0,33	0,26	0,19	0,10	7,36	0,74
5-6	1	5,5	3,52	0,62	0,60	0,56	0,53	0,48	0,44	0,38	0,33	0,26	0,19	0,10	8,01	0,80
6-7	1	6,5	4,16	0,63	0,60	0,56	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	8,66	0,87
7-8	1	7,5	4,80	0,63	0,60	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	9,31	0,93
8-9	1	8,5	5,44	0,63	0,60	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	9,96	1,00
9-10	1	9,5	6,08	0,63	0,60	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	10,61	1,06
10-11	1	10,5	6,72	0,63	0,60	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	11,26	1,13
11-12	1	11,5	7,36	0,64	0,60	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	11,90	1,19
12-12,5	0,5	12,25	7,84	0,64	0,61	0,57	0,53	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,19	0,10	12,39	1,24

Nilai Cu baru pada timbunan dengan tinggi akhir 5m

Kedalaman m	PI %	Cu Lama Kg/cm ²	Cu Baru Kg/cm ²	Cu Pakai Kg/cm ²	Cu Pakai Kpa	Cu Rata2 Kpa	Cu Transisi rata2 Kpa
0-1	81,02	81,02	0,10	81,02	8102,00		4058,50
1-2	81,02	81,02	0,11	81,02	8102,00	8102,00	
2-3	81,02	81,02	0,11	81,02	8102,00		4058,50
3-4	81,02	81,02	0,11	81,02	8102,00	8102,00	
4-5	81,02	81,02	0,12	81,02	8102,00		4058,50
5-6	81,02	81,02	0,12	81,02	8102,00	8102,00	
6-7	81,02	81,02	0,13	81,02	8102,00		4058,50
7-8	81,02	81,02	0,13	81,02	8102,00	8102,00	
8-9	81,02	81,02	0,13	81,02	8102,00		4058,50
9-10	81,02	81,02	0,14	81,02	8102,00	8102,00	
10-11	81,02	81,02	0,14	81,02	8102,00		4058,50
11-12	81,02	81,02	0,15	81,02	8102,00		4058,50
12-12,5	81,02	81,02	0,15	81,02	8102,00	8102,00	

Lampiran 6

Perkuatan Geotekstil

Desain Geotekstil

Faktor Pemasangan $F S_c$	Faktor Rangkap $F S_{cr}$	Faktor Kimia $F S_{cd}$	Faktor Biologi $F S_{bd}$	T_{ult} KN/m'	T_{allow} (Si) KN/m'
1,1 - 2,0	2,0 - 3,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,3	100	35,777
1,1	2,1	1,1	1,1		

Penggunaan Geotextile	FS_{id}	FS_{cr}	FS_{cd}	FS_{bd}
<i>Separation</i>	1,1 - 2,5	1,0 - 1,2	1,0 - 1,5	1,0 - 1,2
<i>Cushioning</i>	1,1 - 2,0	1,2 - 1,5	1,0 - 2,0	1,0 - 1,2
<i>Unpaved roads</i>	1,1 - 2,0	1,5 - 2,5	1,0 - 1,5	1,0 - 1,2
<i>Walls</i>	1,1 - 2,0	2,0 - 4,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,3
<i>Embankments</i>	1,1 - 2,0	2,0 - 3,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,3
<i>Bearing capacity</i>	1,1 - 2,0	2,0 - 4,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,3
<i>Slope stablitation</i>	1,1 - 1,5	1,5 - 2,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,3
<i>Pavement overlays</i>	1,1 - 1,5	1,0 - 1,2	1,0 - 1,5	1,0 - 1,1
<i>Railroads</i>	1,1 - 3,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	1,0 - 1,2
<i>Flexible form</i>	1,1 - 1,5	1,5 - 3,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,1
<i>Silt fences</i>	1,1 - 1,5	1,5 - 2,5	1,0 - 1,5	1,0 - 1,1

- Hasil dari program bantu pada timbunan tinggi 10,2m kemiringan 1:2 seperti berikut:

SF	Kordinat Pusat		R	Momen Resistance
	X	Y	(m)	(KNm)
0,82	79,18	43,83	28,22	40840

SF	0,820		
M Resistance	40840,0	kNm	
Kordinat Pusat	79,18	43,8	
Kordinat Puncak Timbunan (Y)	34,4		
Kordinat Awal Timbunan (Y)	24,2		
Tinggi Timbunan	10,2	m	
Kuat tarik ultimate geotextile	100	kN/m	
M Dorong	49804,878	kNm	<<<= MR 40840,0
SF Rencana	1,25		SF 0,820
M Resistance Rencana	62256,0976	kNm	<<<= 1,25 x 49804,88
ΔM Resistance Rencana	21416,1	kNm	<<<= 62256,10 - 40840,0

No Lapis	Jarak titik longsor ke lapisan geotekstille (m)	Sisa Tinggi Timbunan (m)	T allow (Si) (KN/m ²)	Momen penahanan geotekstille	ΔM Resistance kumulatif	Lembar Pasang	Keterangan	t1 (KN/m ²)	t2 (KN/m ²)	It (KN/m ²)	le (m)	Le paksi (m)	l' (m)	cs (m)	Lo (m)	Isot (m)
1	19,63	10,20	71,554	1404,60	1404,60	2	tambah lapis	74,14	22,08	96,22	1,16	1,2	26,10	77,90	0,5	58
2	19,38	9,95	71,554	1386,71	2791,31	2	tambah lapis	72,46	72,46	144,91	0,77	1,0	23,83	76,36	0,5	56
3	19,13	9,70	71,554	1368,82	4160,14	2	tambah lapis	70,77	70,77	141,53	0,79	1,0	23,57	74,82	0,5	56
4	18,88	9,45	71,554	675,47	4835,61	1	tambah lapis	69,09	69,09	138,18	0,40	1,0	25,29	73,28	0,5	28
5	18,63	9,20	71,554	666,52	5502,13	1	tambah lapis	67,41	67,41	134,81	0,41	1,0	25,02	71,73	0,5	27
6	18,38	8,95	71,554	657,58	6169,71	1	tambah lapis	65,72	65,72	131,45	0,43	1,0	24,73	70,19	0,5	27
7	18,13	8,70	71,554	648,64	6838,24	1	tambah lapis	64,04	64,04	128,08	0,44	1,0	24,45	68,65	0,5	27
8	17,88	8,45	71,554	639,69	7448,03	1	tambah lapis	62,36	62,36	124,71	0,45	1,0	24,17	67,11	0,5	26
9	17,63	8,20	71,554	630,75	8078,78	1	tambah lapis	60,67	60,67	121,35	0,46	1,0	23,79	65,57	0,5	26
10	17,38	7,95	71,554	621,80	8700,58	1	tambah lapis	58,99	58,99	117,98	0,47	1,0	23,46	64,03	0,5	26
11	16,88	7,45	71,554	603,91	9304,50	1	tambah lapis	55,62	55,62	111,23	0,50	1,0	21,13	60,94	0,5	25
12	16,63	7,20	71,554	594,97	9899,47	1	tambah lapis	53,94	53,94	107,88	0,52	1,0	22,80	59,40	0,5	25
13	16,38	6,95	71,554	586,03	10485,49	1	tambah lapis	52,26	52,26	104,51	0,53	1,0	22,47	57,86	0,5	25
14	16,13	6,70	71,554	577,08	11062,57	1	tambah lapis	50,57	50,57	101,15	0,55	1,0	22,14	56,32	0,5	24
15	15,88	6,45	71,554	568,14	11630,71	1	tambah lapis	48,89	48,89	97,78	0,57	1,0	21,81	54,78	0,5	24
16	15,63	6,20	71,554	559,19	12189,90	1	tambah lapis	47,21	47,21	94,41	0,59	1,0	21,48	53,23	0,5	24
17	15,38	5,95	71,554	550,25	12740,15	1	tambah lapis	45,52	45,52	91,05	0,61	1,0	21,15	51,69	0,5	23
18	15,13	5,70	71,554	541,30	13281,46	1	tambah lapis	43,84	43,84	87,68	0,64	1,0	20,82	50,15	0,5	23
19	14,88	5,45	71,554	532,36	13813,82	1	tambah lapis	42,16	42,16	84,31	0,66	1,0	20,48	48,61	0,5	23
20	14,63	5,20	71,554	523,42	14337,23	1	tambah lapis	40,47	40,47	80,95	0,69	1,0	20,14	47,07	0,5	22
21	14,38	4,95	71,554	514,47	14851,70	1	tambah lapis	38,79	38,79	77,58	0,72	1,0	19,80	45,53	0,5	22
22	14,13	4,70	71,554	505,53	15357,23	1	tambah lapis	37,11	37,11	74,21	0,75	1,0	19,46	43,98	0,5	22
23	13,88	4,45	71,554	496,58	15853,82	1	tambah lapis	35,42	35,42	70,85	0,79	1,0	19,12	42,44	0,5	21
24	13,63	4,20	71,554	487,64	16341,45	1	tambah lapis	33,74	33,74	67,48	0,83	1,0	18,78	40,90	0,5	21
25	13,38	3,95	71,554	478,69	16820,15	1	tambah lapis	32,06	32,06	64,11	0,87	1,0	18,44	39,36	0,5	21
26	13,13	3,70	71,554	469,75	17289,90	1	tambah lapis	30,37	30,37	60,75	0,92	1,0	18,09	37,82	0,5	20
27	12,88	3,45	71,554	460,81	17750,71	1	tambah lapis	28,69	28,69	57,38	0,97	1,0	17,74	36,28	0,5	20
28	12,63	3,20	71,554	451,86	18202,57	1	tambah lapis	27,01	27,01	54,01	1,03	1,1	17,39	34,73	0,5	20
29	12,38	2,95	71,554	442,92	18645,49	1	tambah lapis	25,32	25,32	50,65	1,10	1,2	17,01	33,19	0,5	19
30	12,13	2,70	71,554	433,97	19079,46	1	tambah lapis	23,64	23,64	47,28	1,18	1,2	16,63	31,65	0,5	19
31	11,88	2,45	71,554	425,03	19504,49	1	tambah lapis	21,96	21,96	43,91	1,27	1,3	16,25	30,11	0,5	19
32	11,63	2,20	71,554	416,09	19920,58	1	tambah lapis	20,27	20,27	40,55	1,38	1,4	15,87	28,57	0,5	19
33	11,38	1,95	71,554	407,14	20327,72	1	tambah lapis	18,59	18,59	37,18	1,50	1,6	15,49	27,03	0,5	18
34	11,13	1,70	71,554	398,20	20722,91	1	tambah lapis	16,91	16,91	33,81	1,65	1,7	15,11	25,48	0,5	18
35	10,88	1,45	71,554	389,25	21115,17	1	tambah lapis	15,22	15,22	30,45	1,84	1,9	14,73	23,94	0,5	18
36 (top)	10,63	1,20	71,554	380,31	21495,47	1	ukup	13,54	13,54	27,08	2,06	2,1	13,73	22,40	1,5	20

- Hasil dari program bantu pada timbunan tinggi 10,2m kemiringan 1:1 seperti berikut:

SF	Kordinat Pusat		R	Momen Resistance
	X	Y	(m)	(KNm)
0,77	61,97	37,93	19,92	21890

SF	0,769		
M Resistance	21890,0	kNm	
Kordinat Pusat	61,97	38	
Kordinat Puncak Timbunan (Y)	34,4		
Kordinat Awal Timbunan (Y)	24,2		
Tinggi Timbunan	10,2	m	
Kuat tarik ultimate geotextile	100	kN/m	
M Dorong	28465,54	kNm	<<<= MR 21890,0
SF Rencana	1,25		SF 0,769
M Resistance Rencana	35581,92	kNm	<<<= 1,25 x 28465,5
ΔM Resistance Rencana	13691,9	kNm	<<<= 35581,92 - 21890,0

No Lapis	Jarak titik longsor ke lapisan geotekstle (m)	Sisa Tinggi Timbunan (m)	T allow (Si) (KN/m ²)	Momen penahan geotekstle	ΔM Resistance kumulatif	Jumlah Lapis	Keterangan	τ ₁ (KN/m ²)	τ ₂ (KN/m ²)	Στ (KN/m ²)	Le (m)	Le pakai (m)	U _r (m)	σ _z (m)	Lo (m)	Ltot (m)
1	13,73	10,20	71,554	982,43	982,43	2	tambah lapis	74,14	22,08	96,22	1,16	1,2	26,10	77,90	0,5	58
2	13,48	9,95	71,554	964,55	1946,98	2	tambah lapis	72,46	72,46	144,91	0,77	1,0	25,83	76,36	0,5	56
3	13,23	9,70	71,554	946,66	2893,64	2	tambah lapis	70,77	70,77	141,55	0,79	1,0	25,57	74,82	0,5	56
4	12,98	9,45	71,554	928,77	3822,40	2	tambah lapis	69,09	69,09	138,18	0,81	1,0	25,29	73,28	0,5	56
5	12,73	9,20	35,777	455,44	4277,84	1	tambah lapis	67,41	67,41	134,81	0,41	1,0	25,02	71,73	0,5	27
6	12,48	8,95	35,777	446,50	4724,34	1	tambah lapis	65,72	65,72	131,45	0,43	1,0	24,73	70,19	0,5	27
7	12,23	8,70	35,777	437,55	5161,89	1	tambah lapis	64,04	64,04	128,08	0,44	1,0	24,45	68,65	0,5	27
8	11,98	8,45	35,777	428,61	5590,50	1	tambah lapis	62,36	62,36	124,71	0,45	1,0	24,12	67,11	0,5	26
9	11,73	8,20	35,777	419,66	6010,16	1	tambah lapis	60,67	60,67	121,35	0,46	1,0	23,79	65,57	0,5	26
10	11,48	7,95	35,777	410,72	6420,88	1	tambah lapis	58,99	58,99	117,98	0,47	1,0	23,46	64,03	0,5	26
11	10,98	7,45	35,777	392,83	6813,71	1	tambah lapis	55,62	55,62	111,25	0,50	1,0	23,13	60,94	0,5	25
12	10,73	7,20	35,777	383,89	7197,60	1	tambah lapis	53,94	53,94	107,88	0,52	1,0	22,80	59,40	0,5	25
13	10,48	6,95	35,777	374,94	7572,54	1	tambah lapis	52,26	52,26	104,51	0,53	1,0	22,47	57,86	0,5	25
14	10,23	6,70	35,777	366,00	7938,54	1	tambah lapis	50,57	50,57	101,15	0,55	1,0	22,14	56,32	0,5	24
15	9,98	6,45	35,777	357,05	8295,59	1	tambah lapis	48,89	48,89	97,78	0,57	1,0	21,81	54,78	0,5	24
16	9,73	6,20	35,777	348,11	8643,70	1	tambah lapis	47,21	47,21	94,41	0,59	1,0	21,48	53,23	0,5	24
17	9,48	5,95	35,777	339,16	8982,86	1	tambah lapis	45,52	45,52	91,05	0,61	1,0	21,15	51,69	0,5	23
18	9,23	5,70	35,777	330,22	9313,08	1	tambah lapis	43,84	43,84	87,68	0,64	1,0	20,82	50,15	0,5	23
19	8,98	5,45	35,777	321,28	9634,36	1	tambah lapis	42,16	42,16	84,31	0,66	1,0	20,48	48,61	0,5	23
20	8,73	5,20	35,777	312,33	9946,69	1	tambah lapis	40,47	40,47	80,95	0,69	1,0	20,14	47,07	0,5	22
21	8,48	4,95	35,777	303,39	10250,08	1	tambah lapis	38,79	38,79	77,58	0,72	1,0	19,80	45,53	0,5	22
22	8,23	4,70	35,777	294,44	10544,52	1	tambah lapis	37,11	37,11	74,21	0,75	1,0	19,46	43,98	0,5	22
23	7,98	4,45	35,777	285,50	10830,02	1	tambah lapis	35,42	35,42	70,85	0,79	1,0	19,12	42,44	0,5	21
24	7,73	4,20	35,777	276,56	11106,58	1	tambah lapis	33,74	33,74	67,48	0,83	1,0	18,78	40,90	0,5	21
25	7,48	3,95	35,777	267,61	11374,19	1	tambah lapis	32,06	32,06	64,11	0,87	1,0	18,44	39,36	0,5	21
26	7,23	3,70	35,777	258,67	11632,86	1	tambah lapis	30,37	30,37	60,75	0,92	1,0	18,09	37,82	0,5	20
27	6,98	3,45	35,777	249,72	11882,58	1	tambah lapis	28,69	28,69	57,38	0,97	1,0	17,74	36,28	0,5	20
28	6,73	3,20	35,777	240,78	12123,36	1	tambah lapis	27,01	27,01	54,01	1,03	1,1	17,39	34,73	0,5	20
29	6,48	2,95	35,777	231,83	12355,19	1	tambah lapis	25,32	25,32	50,65	1,10	1,2	17,01	33,19	0,5	19
30	6,23	2,70	35,777	222,89	12578,08	1	tambah lapis	23,64	23,64	47,28	1,18	1,2	16,63	31,65	0,5	19
31	5,98	2,45	35,777	213,95	12792,03	1	tambah lapis	21,96	21,96	43,91	1,27	1,3	16,25	30,11	0,5	19
32	5,73	2,20	35,777	205,00	12997,03	1	tambah lapis	20,27	20,27	40,55	1,38	1,4	15,87	28,57	0,5	19
33	5,48	1,95	35,777	196,05	13193,09	1	tambah lapis	18,59	18,59	37,18	1,50	1,6	15,49	27,03	0,5	18
34	5,23	1,70	35,777	187,11	13380,20	1	tambah lapis	16,91	16,91	33,81	1,65	1,7	15,11	25,48	0,5	18
35	4,98	1,45	35,777	178,17	13558,37	1	tambah lapis	15,22	15,22	30,45	1,84	1,9	14,73	23,94	0,5	18
36	4,73	1,20	35,777	169,22	13727,59	1	cukup	13,54	13,54	27,08	2,06	2,1	15,73	22,40	1,5	20

- Hasil dari program bantu pada timbunan tinggi 9,8m kemiringan 1:2 seperti berikut:

SF	Kordinat Pusat		R	Momen Resistance
	X	Y	(m)	(KNm)
0,84	77,21	42,93	26,92	36930

SF	0,840		
M Resistance	36930,0	kNm	
Kordinat Pusat	77,21	43	
Kordinat Puncak Timbunan (Y)	34,0		
Kordinat Awal Timbunan (Y)	24,2		
Tinggi Timbunan	9,8	m	
Kuat tarik ultimate geotextile	100	kN/m	
M Dorong	43964,29	kNm	<<<< MR 36930,0
SF Rencana	1,25	SF	0,840
M Resistance Rencana	54955,36	kNm	<<<< 1,25 x 43964,3
ΔM Resistance Rencana	18025,4	kNm	<<<< 54955,36 - 36930,0

No Lapis	Jarak tsbk longsor ke lapisan geotekstle (m)	Sisa Tinggi Timbunan (m)	T allow (Si) (KN/m ²)	Momen penahan geotekstle	ΔM Resistance kumulatif	Jumlah Lapis	Keterangan	τ1 (KN/m ²)	τ2 (KN/m ²)	Στ (KN/m ²)	Le (m)	Le pakai (m)	Lr (m)	Ok (m)	Lo (m)	Ltot (m)
1	13,69	9,80	71,554	979,57	979,57	2	tambah lapis	71,4474	21,86175	93,3091	1,1982	1,2	16,7	75,433333	0,5	38
2	13,44	9,55	71,554	961,68	1941,25	2	tambah lapis	69,764	69,76399	139,528	0,8013	1	16,6	73,891667	0,5	38
3	13,19	9,30	35,777	473,90	2415,15	1	tambah lapis	68,0006	68,00063	136,161	0,4106	1	16,5	72,35	0,5	19
4	12,94	9,05	35,777	462,85	2878,10	1	tambah lapis	66,3973	66,39727	132,795	0,421	1	16,4	70,808333	0,5	19
5	12,69	8,80	35,777	454,01	3330,11	1	tambah lapis	64,7139	64,71391	129,428	0,4319	1	16,3	69,266667	0,5	19
6	12,44	8,55	35,777	445,06	3775,18	1	tambah lapis	63,0205	63,02055	126,061	0,4434	1	16,2	67,725	0,5	18
7	12,19	8,30	35,777	436,12	4211,30	1	tambah lapis	61,3472	61,34718	122,694	0,4556	1	16,1	66,183333	0,5	18
8	11,94	8,05	35,777	427,18	4638,47	1	tambah lapis	59,6638	59,66382	119,328	0,4685	1	16,0	64,641667	0,5	18
9	11,69	7,80	35,777	418,23	5056,71	1	tambah lapis	57,9805	57,98046	115,961	0,4821	1	15,9	63,1	0,5	18
10	11,44	7,55	35,777	409,29	5465,99	1	tambah lapis	56,2971	56,29711	112,594	0,4965	1	15,7	61,558333	0,5	18
11	10,94	7,05	35,777	391,40	5857,39	1	tambah lapis	52,9204	52,92037	105,861	0,5281	1	15,6	58,475	0,5	18
12	10,69	6,80	35,777	382,46	6239,85	1	tambah lapis	51,247	51,24701	102,494	0,5454	1	15,5	56,933333	0,5	18
13	10,44	6,55	35,777	373,51	6613,36	1	tambah lapis	49,5636	49,56365	99,1273	0,5639	1	15,4	55,391667	0,5	18
14	10,19	6,30	35,777	364,57	6977,93	1	tambah lapis	47,8803	47,88028	95,7606	0,5838	1	15,3	53,85	0,5	18
15	9,94	6,05	35,777	355,62	7333,55	1	tambah lapis	46,1969	46,19692	92,3938	0,605	1	15,2	52,308333	0,5	17
16	9,69	5,80	35,777	346,68	7680,23	1	tambah lapis	44,5134	44,51356	89,0271	0,6279	1	15,1	50,766667	0,5	17
17	9,44	5,55	35,777	337,73	8017,96	1	tambah lapis	42,8302	42,8302	85,6604	0,6526	1	15,0	49,225	0,5	17
18	9,19	5,30	35,777	328,79	8346,75	1	tambah lapis	41,1468	41,14683	82,2937	0,6793	1	14,9	47,683333	0,5	17
19	8,94	5,05	35,777	319,85	8666,60	1	tambah lapis	39,4633	39,46347	78,9269	0,7083	1	14,8	46,141667	0,5	17
20	8,69	4,80	35,777	310,90	8977,50	1	tambah lapis	37,7801	37,78011	75,5602	0,7398	1	14,7	44,6	0,5	17
21	8,44	4,55	35,777	301,96	9279,45	1	tambah lapis	36,0967	36,09675	72,1935	0,7743	1	14,5	43,058333	0,5	17
22	8,19	4,30	35,777	293,01	9571,47	1	tambah lapis	34,4134	34,41339	68,8268	0,8123	1	14,4	41,516667	0,5	17
23	7,94	4,05	35,777	284,07	9856,53	1	tambah lapis	32,73	32,73002	65,46	0,854	1	14,3	39,975	0,5	17
24	7,69	3,80	35,777	275,12	10131,66	1	tambah lapis	31,0467	31,04666	62,0993	0,9003	1	14,2	38,433333	0,5	16
25	7,44	3,55	35,777	266,18	10397,84	1	tambah lapis	29,3633	29,36333	58,7366	0,9519	1	14,1	36,891667	0,5	16
26	7,19	3,30	35,777	257,24	10655,07	1	tambah lapis	27,6799	27,67994	55,3699	1,0098	1,1	14,0	35,35	0,5	16
27	6,94	3,05	35,777	248,29	10903,37	1	tambah lapis	25,9965	25,99657	51,9931	1,0752	1,1	13,9	33,808333	0,5	16
28	6,69	2,80	35,777	239,35	11142,71	1	tambah lapis	24,3132	24,31321	48,6264	1,1496	1,2	13,8	32,266667	0,5	16
29	6,44	2,55	35,777	230,40	11373,12	1	tambah lapis	22,6298	22,62985	45,2597	1,2351	1,3	13,7	30,725	0,5	16
30	6,19	2,30	35,777	221,46	11594,58	1	tambah lapis	20,9465	20,94649	41,893	1,3344	1,4	13,6	29,183333	0,5	16
31	5,94	2,05	35,777	212,51	11807,09	1	tambah lapis	19,2631	19,26312	38,5262	1,451	1,5	13,4	27,641667	0,5	16
32	5,69	1,80	35,777	203,57	12010,66	1	tambah lapis	17,5798	17,57976	35,1595	1,5899	1,6	13,3	26,1	0,5	16
33	5,44	1,55	35,777	194,63	12205,29	1	tambah lapis	15,8964	15,8964	31,7928	1,7583	1,8	13,2	24,558333	0,5	16
34	5,19	1,30	35,777	185,68	12390,97	1	tambah lapis	14,213	14,21304	28,4261	1,9669	2	13,1	23,016667	0,5	16
35	4,94	1,05	35,777	176,74	12567,71	1	cukup	12,5297	12,52966	25,0594	2,2308	2,3	13,01	21,475	1,5	18

- Hasil dari program bantu pada timbunan tinggi 9,8m kemiringan 1:1 seperti berikut:

SF	Kordinat Pusat		R	Momen Resistance
	X	Y	(m)	(KNm)
0,79	61,47	37,89	19,87	21320

SF	0,790	
M Resistance	21320,0	kNm
Kordinat Pusat	61,47	38
Kordinat Puncak Timbunan (Y)	34,0	
Kordinat Awal Timbunan (Y)	24,2	
Tinggi Timbunan	9,8	m
Kuat tarik ultimate geotextile	100	kN/m
M Dorong	26987,34	kNm <<<= MR 21320,0
SF Rencana	1,25	SF 0,790
M Resistance Rencana	33734,18	kNm <<<= 1,25 x 26987,3
ΔM Resistance Rencana	12414,2	kNm <<<= 33734,18 - 21320,0

No Lapis	Jarak titik longsor ke lapisan geotekstile (m)	Sisa Tinggi Timbunan (m)	T allow (Si) (KN/m ²)	Momen penahan geotekstile	ΔM Resistance kumulatif	Jumlah Lapis	Keterangan	τ1 (KN/m ²)	τ2 (KN/m ²)	Στ (KN/m ²)	Le (m)	Le pakai (m)	Lr (m)	αg (m)	Lo (m)	Ltot (m)
1	13,69	9,80	71,554	979,57	979,57	2	tambah lapis	71,447	21,8617	93,309	1,198	1,2	16,7	75,43333	0,5	38
2	13,44	9,55	71,554	961,68	1941,25	2	tambah lapis	69,764	69,764	139,53	0,801	1	16,6	73,89167	0,5	38
3	13,19	9,30	35,777	471,90	2413,15	1	tambah lapis	68,081	68,0806	136,16	0,411	1	16,5	72,35	0,5	19
4	12,94	9,05	35,777	462,95	2876,10	1	tambah lapis	66,397	66,3973	132,79	0,421	1	16,4	70,80833	0,5	19
5	12,69	8,80	35,777	454,01	3330,11	1	tambah lapis	64,714	64,7139	129,43	0,432	1	16,3	69,26667	0,5	19
6	12,44	8,55	35,777	445,06	3775,18	1	tambah lapis	63,031	63,0305	126,06	0,443	1	16,2	67,725	0,5	18
7	12,19	8,30	35,777	436,12	4211,30	1	tambah lapis	61,347	61,3472	122,69	0,456	1	16,1	66,18333	0,5	18
8	11,94	8,05	35,777	427,18	4638,47	1	tambah lapis	59,664	59,6638	119,33	0,468	1	16,0	64,64167	0,5	18
9	11,69	7,80	35,777	418,23	5056,71	1	tambah lapis	57,98	57,9805	115,96	0,482	1	15,9	63,1	0,5	18
10	11,44	7,55	35,777	409,29	5465,99	1	tambah lapis	56,297	56,2971	112,59	0,496	1	15,7	61,55833	0,5	18
11	10,94	7,05	35,777	391,40	5857,39	1	tambah lapis	52,93	52,9304	105,86	0,528	1	15,6	58,475	0,5	18
12	10,69	6,80	35,777	382,46	6239,85	1	tambah lapis	51,247	51,247	102,49	0,545	1	15,5	56,93333	0,5	18
13	10,44	6,55	35,777	373,51	6613,36	1	tambah lapis	49,564	49,5636	99,127	0,564	1	15,4	55,39167	0,5	18
14	10,19	6,30	35,777	364,57	6977,93	1	tambah lapis	47,88	47,8803	95,761	0,584	1	15,3	53,85	0,5	18
15	9,94	6,05	35,777	355,62	7333,55	1	tambah lapis	46,197	46,1969	92,394	0,605	1	15,2	52,30833	0,5	17
16	9,69	5,80	35,777	346,68	7680,23	1	tambah lapis	44,514	44,5136	89,027	0,628	1	15,1	50,76667	0,5	17
17	9,44	5,55	35,777	337,73	8017,96	1	tambah lapis	42,83	42,8302	85,66	0,653	1	15,0	49,225	0,5	17
18	9,19	5,30	35,777	328,79	8346,75	1	tambah lapis	41,147	41,1468	82,294	0,679	1	14,9	47,68333	0,5	17
19	8,94	5,05	35,777	319,85	8666,60	1	tambah lapis	39,463	39,4635	78,927	0,708	1	14,8	46,14167	0,5	17
20	8,69	4,80	35,777	310,90	8977,50	1	tambah lapis	37,778	37,7801	75,56	0,74	1	14,7	44,6	0,5	17
21	8,44	4,55	35,777	301,96	9279,45	1	tambah lapis	36,097	36,0967	72,193	0,774	1	14,5	43,05833	0,5	17
22	8,19	4,30	35,777	293,01	9572,47	1	tambah lapis	34,413	34,4134	68,827	0,812	1	14,4	41,51667	0,5	17
23	7,94	4,05	35,777	284,07	9856,53	1	tambah lapis	32,73	32,73	65,46	0,854	1	14,3	39,975	0,5	17
24	7,69	3,80	35,777	275,12	10131,66	1	tambah lapis	31,047	31,0467	62,093	0,9	1	14,2	38,43333	0,5	16
25	7,44	3,55	35,777	266,18	10397,84	1	tambah lapis	29,363	29,3633	58,727	0,952	1	14,1	36,89167	0,5	16
26	7,19	3,30	35,777	257,24	10655,07	1	tambah lapis	27,678	27,6789	55,36	1,01	1,1	14,0	35,35	0,5	16
27	6,94	3,05	35,777	248,29	10903,37	1	tambah lapis	25,997	25,9966	51,993	1,075	1,1	13,9	33,80833	0,5	16
28	6,69	2,80	35,777	239,35	11142,71	1	tambah lapis	24,313	24,3132	48,626	1,15	1,2	13,8	32,26667	0,5	16
29	6,44	2,55	35,777	230,40	11373,12	1	tambah lapis	22,628	22,6298	45,26	1,235	1,3	13,7	30,725	0,5	16
30	6,19	2,30	35,777	221,46	11594,58	1	tambah lapis	20,946	20,9465	41,893	1,334	1,4	13,6	29,18333	0,5	16
31	5,94	2,05	35,777	212,51	11807,09	1	tambah lapis	19,263	19,2631	38,526	1,451	1,5	13,5	27,64167	0,5	16
32	5,69	1,80	35,777	203,57	12010,66	1	tambah lapis	17,578	17,5798	35,16	1,59	1,6	13,3	26,1	0,5	16
33	5,44	1,55	35,777	194,63	12205,29	1	tambah lapis	15,896	15,8964	31,793	1,758	1,8	13,2	24,55833	0,5	16
34	5,19	1,30	35,777	185,68	12390,97	1	tambah lapis	14,213	14,213	28,426	1,967	2	13,1	23,01667	0,5	16
35	4,94	1,05	35,777	176,74	12567,71	1	cukup	12,53	12,5297	25,059	2,231	2,3	13,01	21,475	1,5	18

- Hasil dari program bantu pada timbunan tinggi 9,2m kemiringan 1:2 seperti berikut:

SF	Kordinat Pusat		R	Momen Resistance
	X	Y	(m)	(KNm)
0,87	75,72	41,86	25,47	31960

SF	0,867			
M Resistance	31960,0	kNm		
Kordinat Pusat	75,72	41,9		
Kordinat Puncak Timbunan (Y)	33,4			
Kordinat Awal Timbunan (Y)	24,2			
Tinggi Timbunan	9,2	m		
Kuat tarik ultimate geotextile	100	kN/m		
M Dorong	36862,745	kNm	<<<=	MR 31960,0
SF Rencana	1,25			SF 0,867
M Resistance Rencana	46078,431	kNm	<<<=	1,25 x 36862,7
ΔM Resistance Rencana	14118,4	kNm	<<<=	46078,43 - 31960,0

No Lapis	Jarak titik longsor ke lapisan geotekstie (m)	Sisa Tinggi Timbunan (m)	Tallow (Si) (KN/m ²)	Momen penahan geotekstie	ΔM Resistance kumulatif	Jumlah Lapis	Keterangan	t1 (KN/m ²)	t2 (KN/m ²)	It (KN/m ²)	Le (m)	Le pakai (m)	Lr (m)	σ _z (m)	Lo (m)	Ltot (m)
1	17,66	9,20	35,777	631,82	631,82	1	tambah lapis	67,4073	21,53877	88,9461	0,6285	1	23,6	71,733333	0,5	26
2	17,41	8,95	35,777	622,88	1254,70	1	tambah lapis	65,7239	65,72393	131,448	0,4253	1	23,3	70,191667	0,5	26
3	17,16	8,70	35,777	613,93	1868,63	1	tambah lapis	64,0406	64,04056	128,081	0,4365	1	23,0	68,65	0,5	25
4	16,91	8,45	35,777	604,99	2473,61	1	tambah lapis	62,3572	62,3572	124,714	0,4482	1	22,6	67,108333	0,5	25
5	16,66	8,20	35,777	596,04	3069,66	1	tambah lapis	60,6738	60,67384	121,348	0,4607	1	22,3	65,566667	0,5	25
6	16,41	7,95	35,777	587,10	3656,76	1	tambah lapis	58,9905	58,99048	117,981	0,4738	1	22,0	64,025	0,5	24
7	16,16	7,70	35,777	578,15	4234,91	1	tambah lapis	57,3071	57,30711	114,614	0,4877	1	21,7	62,483333	0,5	24
8	15,91	7,45	35,777	569,21	4804,12	1	tambah lapis	55,6238	55,62375	111,248	0,5025	1	21,3	60,941667	0,5	24
9	15,66	7,20	35,777	560,27	5364,39	1	tambah lapis	53,9404	53,94039	107,881	0,5182	1	21,0	59,4	0,5	23
10	15,41	6,95	35,777	551,32	5915,71	1	tambah lapis	52,257	52,25703	104,514	0,5349	1	20,7	57,858333	0,5	23
11	14,91	6,45	35,777	533,43	6449,14	1	tambah lapis	48,8903	48,8903	97,7806	0,5717	1	20,4	54,775	0,5	23
12	14,66	6,20	35,777	524,49	6973,63	1	tambah lapis	47,2069	47,20694	94,4139	0,5921	1	20,0	53,233333	0,5	22
13	14,41	5,95	35,777	515,55	7489,18	1	tambah lapis	45,5236	45,52358	91,0472	0,614	1	19,7	51,691667	0,5	22
14	14,16	5,70	35,777	506,60	7995,78	1	tambah lapis	43,8402	43,84021	87,6804	0,6376	1	19,4	50,15	0,5	22
15	13,91	5,45	35,777	497,66	8493,43	1	tambah lapis	42,1569	42,15685	84,3137	0,663	1	19,1	48,608333	0,5	21
16	13,66	5,20	35,777	488,71	8982,15	1	tambah lapis	40,4735	40,47349	80,947	0,6906	1	18,7	47,066667	0,5	21
17	13,41	4,95	35,777	479,77	9461,92	1	tambah lapis	38,7901	38,79013	77,5803	0,7206	1	18,4	45,525	0,5	21
18	13,16	4,70	35,777	470,82	9932,74	1	tambah lapis	37,1068	37,10677	74,2135	0,7533	1	18,1	43,983333	0,5	20
19	12,91	4,45	35,777	461,88	10394,62	1	tambah lapis	35,4234	35,4234	70,8468	0,789	1	17,7	42,441667	0,5	20
20	12,66	4,20	35,777	452,94	10847,55	1	tambah lapis	33,74	33,74004	67,4801	0,8284	1	17,4	40,9	0,5	20
21	12,41	3,95	35,777	443,99	11291,55	1	tambah lapis	32,0567	32,05668	64,1134	0,8719	1	17,1	39,358333	0,5	19
22	12,16	3,70	35,777	435,05	11726,59	1	tambah lapis	30,3733	30,37332	60,7466	0,9202	1	16,8	37,816667	0,5	19
23	11,91	3,45	35,777	426,10	12152,70	1	tambah lapis	28,69	28,68995	57,3799	0,9742	1	16,4	36,275	0,5	19
24	11,66	3,20	35,777	417,16	12569,85	1	tambah lapis	27,0067	27,00659	54,0132	1,035	1,1	16,1	34,733333	0,5	18
25	11,41	2,95	35,777	408,21	12978,07	1	tambah lapis	25,3232	25,32323	50,6465	1,1038	1,2	15,8	33,191667	0,5	18
26	11,16	2,70	35,777	399,27	13377,34	1	tambah lapis	23,6399	23,63987	47,2797	1,1824	1,2	15,5	31,65	0,5	18
27	10,91	2,45	35,777	390,33	13767,66	1	tambah lapis	21,9565	21,9565	43,913	1,273	1,3	15,1	30,108333	0,5	18
28	10,66	2,20	35,777	381,38	14149,05	1	cukup	20,2731	20,27314	40,5463	1,3787	1,4	14,8	28,566667	0,5	17

- Hasil dari program bantu pada timbunan tinggi 9,2m kemiringan 1:1 seperti berikut:

SF	Kordinat Pusat		R	Momen Resistance
	X	Y	(m)	(KNm)
0,81	60,71	37,85	19,81	20220

SF	0,813
M Resistance	20220,0 kNm
Kordinat Pusat	60,71 37,9
Kordinat Puncak Timbunan (Y)	33,4
Kordinat Awal Timbunan (Y)	24,2
Tinggi Timbunan	9,2 m
Kuat tarik ultimate geotextile	100 kN/m
M Dorong	24870,849 kNm <<<= MR 20220,0
SF Rencana	1,25 SF 0,813
M Resistance Rencana	31088,561 kNm <<<= 1,25 x 24870,8
ΔM Resistance Rencana	10868,6 kNm <<<= 31088,56 - 20220,0

No Lapis	Jarak titik longsor ke lapisan geotekstle (m)	Sisa Tinggi Timbunan (m)	Tailow (Si) (kN/m ²)	Momen penahan geotekstle	ΔM Resistance kumulatif	Jumlah Lapis	Keterangan	t1 (kN/m ²)	t2 (kN/m ²)	Σt (kN/m ²)	Le (m)	Le pakai (m)	L' (m)	σ _g (m)	Lo (m)	Ltot (m)
1	13,65	9,20	35,777	488,35	488,35	1	tambah lapis	67,4073	21,53877	88,9461	0,6285	1	16,3	71,733333	0,5	18
2	13,40	8,95	35,777	479,41	967,77	1	tambah lapis	65,7239	65,72393	131,448	0,4253	1	16,15	70,191667	0,5	18
3	13,15	8,70	35,777	470,47	1438,23	1	tambah lapis	64,0406	64,04056	128,081	0,4365	1	16,04	68,65	0,5	18
4	12,90	8,45	35,777	461,52	1899,75	1	tambah lapis	62,3572	62,3572	124,714	0,4482	1	15,94	67,108333	0,5	18
5	12,65	8,20	35,777	452,58	2352,33	1	tambah lapis	60,6738	60,67384	121,348	0,4607	1	15,84	65,566667	0,5	18
6	12,40	7,95	35,777	443,63	2795,96	1	tambah lapis	58,9905	58,99048	117,981	0,4738	1	15,73	64,025	0,5	18
7	12,15	7,70	35,777	434,69	3230,65	1	tambah lapis	57,3071	57,30711	114,614	0,4877	1	15,63	62,483333	0,5	18
8	11,90	7,45	35,777	425,75	3656,40	1	tambah lapis	55,6238	55,62375	111,248	0,5025	1	15,53	60,941667	0,5	18
9	11,65	7,20	35,777	416,80	4073,20	1	tambah lapis	53,9404	53,94039	107,881	0,5182	1	15,42	59,4	0,5	18
10	11,40	6,95	35,777	407,86	4481,06	1	tambah lapis	52,257	52,25703	104,514	0,5349	1	15,32	57,858333	0,5	18
11	10,90	6,45	35,777	389,97	4871,02	1	tambah lapis	48,8903	48,8903	97,7065	0,5717	1	15,22	54,775	0,5	17
12	10,65	6,20	35,777	381,02	5252,05	1	tambah lapis	47,2069	47,20694	94,4139	0,5921	1	15,11	53,233333	0,5	17
13	10,40	5,95	35,777	372,08	5624,13	1	tambah lapis	45,5236	45,52358	91,0472	0,614	1	15,01	51,691667	0,5	17
14	10,15	5,70	35,777	363,14	5987,26	1	tambah lapis	43,8402	43,84021	87,6804	0,6376	1	14,91	50,15	0,5	17
15	9,90	5,45	35,777	354,19	6341,45	1	tambah lapis	42,1569	42,15685	84,3137	0,663	1	14,80	48,608333	0,5	17
16	9,65	5,20	35,777	345,25	6686,70	1	tambah lapis	40,4735	40,47349	80,947	0,6906	1	14,70	47,066667	0,5	17
17	9,40	4,95	35,777	336,30	7023,00	1	tambah lapis	38,7901	38,79013	77,5803	0,7206	1	14,60	45,525	0,5	17
18	9,15	4,70	35,777	327,36	7350,36	1	tambah lapis	37,1068	37,10677	74,1135	0,7533	1	14,50	43,983333	0,5	17
19	8,90	4,45	35,777	318,41	7668,78	1	tambah lapis	35,4234	35,4234	70,6468	0,789	1	14,39	42,441667	0,5	17
20	8,65	4,20	35,777	309,47	7978,25	1	tambah lapis	33,74	33,74004	67,4801	0,8284	1	14,29	40,9	0,5	17
21	8,40	3,95	35,777	300,53	8278,77	1	tambah lapis	32,0567	32,05668	64,1134	0,8719	1	14,19	39,358333	0,5	16
22	8,15	3,70	35,777	291,58	8570,36	1	tambah lapis	30,3733	30,37332	60,7466	0,9202	1	14,08	37,816667	0,5	16
23	7,90	3,45	35,777	282,64	8852,99	1	tambah lapis	28,69	28,68995	57,3799	0,9742	1	13,98	36,275	0,5	16
24	7,65	3,20	35,777	273,69	9126,69	1	tambah lapis	27,0067	27,00659	54,0132	1,035	1,1	13,88	34,733333	0,5	16
25	7,40	2,95	35,777	264,75	9391,44	1	tambah lapis	25,3232	25,32323	50,6465	1,1038	1,2	13,77	33,191667	0,5	16
26	7,15	2,70	35,777	255,80	9647,24	1	tambah lapis	23,6399	23,63987	47,2797	1,1824	1,2	13,67	31,65	0,5	16
27	6,90	2,45	35,777	246,86	9894,10	1	tambah lapis	21,9565	21,9565	43,913	1,273	1,3	13,57	30,108333	0,5	16
28	6,65	2,20	35,777	237,92	10132,02	1	tambah lapis	20,2731	20,27314	40,5465	1,3787	1,4	13,46	28,566667	0,5	16
29	6,40	1,95	35,777	228,97	10360,99	1	tambah lapis	18,5898	18,58978	37,1796	1,5036	1,6	13,36	27,025	0,5	16
30	6,15	1,70	35,777	220,03	10581,02	1	tambah lapis	16,9064	16,90642	33,8128	1,6533	1,7	13,26	25,483333	0,5	16
31	5,90	1,45	35,777	211,08	10792,10	1	tambah lapis	15,2231	15,22306	30,4461	1,8361	1,9	13,15	23,941667	0,5	16
32	5,65	1,20	35,777	202,14	10994,24	1	cukup	13,5397	13,53969	27,0794	2,0644	2,1	13,05	22,4	1,5	17

- Hasil dari program bantu pada timbunan tinggi 7,8m kemiringan 1:2 seperti berikut:

SF	Kordinat Pusat		R	Momen Resistance
	X	Y	(m)	(KNm)
0,94	69,77	40,65	23,7	25750

SF	0,942			
M Resistance	25750,0	kNm		
Kordinat Pusat	69,77	40,7		
Kordinat Puncak Timbunan (Y)	32,0			
Kordinat Awal Timbunan (Y)	24,2			
Tinggi Timbunan	7,8	m		
Kuat tarik ultimate geotextile	100	kN/m		
M Dorong	27335,456	kNm	<<<=	MR 25750,0
SF Rencana	1,25			SF 0,942
M Resistance Rencana	34169,321	kNm	<<<=	1,25 x 27335,5
ΔM Resistance Rencana	8419,3	kNm	<<<=	34169,32 - 25750,0

No Lapis	Jarak titik longsor ke lapisan geotekstile (m)	Sisa Tinggi Timbunan (m)	T allow (Si) (KN/m ²)	Momen penahan geotekstile	ΔM Resistance kumulatif	Jumlah Lapis	Keterangan	τ1 (KN/m ²)	τ2 (KN/m ²)	It (KN/m ²)	Le (m)	Le pakai (m)	Lr (m)	og (m)	Lo (m)	Ltot (m)
1	16,45	7,80	35,777	588,53	588,53	1	tambah lapis	57,9805	20,78516	78,7656	0,7097	1	22,7	63,1	0,5	25
2	16,20	7,55	35,777	579,59	1168,12	1	tambah lapis	56,2971	56,2971	112,594	0,4965	1	22,38	61,558333	0,5	25
3	15,95	7,30	35,777	570,64	1738,76	1	tambah lapis	54,6137	54,61373	109,227	0,5118	1	22,08	60,016667	0,5	24
4	15,70	7,05	35,777	561,70	2300,45	1	tambah lapis	52,9304	52,93037	105,861	0,5281	1	21,77	58,475	0,5	24
5	15,45	6,80	35,777	552,75	2853,21	1	tambah lapis	51,247	51,24701	102,494	0,5454	1	21,47	56,933333	0,5	24
6	15,20	6,55	35,777	543,81	3397,02	1	tambah lapis	49,5636	49,56365	99,1273	0,5639	1	21,16	55,391667	0,5	23
7	14,95	6,30	35,777	534,86	3931,88	1	tambah lapis	47,8803	47,88028	95,7606	0,5838	1	20,86	53,85	0,5	23
8	14,70	6,05	35,777	525,92	4457,80	1	tambah lapis	46,1969	46,19692	92,3938	0,605	1	20,55	52,308333	0,5	23
9	14,45	5,80	35,777	516,98	4974,78	1	tambah lapis	44,5136	44,51356	89,0271	0,6279	1	20,25	50,766667	0,5	22
10	14,20	5,55	35,777	508,03	5482,81	1	tambah lapis	42,8302	42,8302	85,6604	0,6526	1	19,94	49,225	0,5	22
11	13,70	5,05	35,777	490,14	5972,95	1	tambah lapis	39,4635	39,46347	78,9269	0,7083	1	19,63	46,141667	0,5	22
12	13,45	4,80	35,777	481,20	6454,15	1	tambah lapis	37,7801	37,78011	75,5602	0,7398	1	19,33	44,6	0,5	22
13	13,20	4,55	35,777	472,26	6926,41	1	tambah lapis	36,0967	36,09675	72,1935	0,7743	1	19,02	43,058333	0,5	21
14	12,95	4,30	35,777	463,31	7389,72	1	tambah lapis	34,4134	34,41339	68,8268	0,8122	1	18,72	41,516667	0,5	21
15	12,70	4,05	35,777	454,37	7844,08	1	tambah lapis	32,73	32,73002	65,46	0,854	1	18,41	39,975	0,5	21
16	12,45	3,80	35,777	445,42	8289,51	1	tambah lapis	31,0467	31,04666	62,0933	0,9003	1	18,11	38,433333	0,5	20
17	12,20	3,55	35,777	436,48	8725,98	1	cukup	29,3633	29,3633	58,7266	0,9519	1	17,8	36,891667	0,5	20

- Hasil dari program bantu pada timbunan tinggi 7,8m kemiringan 1:1 seperti berikut:

SF	Kordinat Pusat		R	Momen Resistance
	X	Y	(m)	(KNm)
0,89	57,53	36,11	17,32	14520

SF	0,891
M Resistance	14520,0 kNm
Kordinat Pusat	57,53 36,1
Kordinat Puncak Timbunan (Y)	32,0
Kordinat Awal Timbunan (Y)	24,2
Tinggi Timbunan	7,8 m
Kuat tarik ultimate geotextile	100 kN/m
M Dorong	16296,296 kNm <<<= MR 14520,0
SF Rencana	1,25 SF 0,891
M Resistance Rencana	20370,37 kNm <<<= 1,25 x 16296,3
ΔM Resistance Rencana	5850,4 kNm <<<= 20370,37 - 14520,0

No. Urut	Jarak dari lereng ke bagian belakang (m)	Tinggi Timbunan (m)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)	Waktu (hr)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- Hasil dari program bantu pada timbunan tinggi 6,3m kemiringan 1:2 seperti berikut:

SF	Kordinat Pusat		R	Momen Resistance
	X	Y	(m)	(KNm)
1,06	64,35	39,03	21,42	19030

SF	1,058			
M Resistance	19030,0	kNm		
Kordinat Pusat	64,35	39		
Kordinat Puncak Timbunan (Y)	30,5			
Kordinat Awal Timbunan (Y)	24,2			
Tinggi Timbunan	6,3	m		
Kuat tarik ultimate geotextile	100	kN/m		
M Dorong	17986,767	kNm	<<<=	MR 19030,0
SF Rencana	1,25			SF 1,058
M Resistance Rencana	22483,459	kNm	<<<=	1,25 x 17986,8
Δ M Resistance Rencana	3453,5	kNm	<<<=	22483,46 - 19030,0

No Lapis	Jarak titik longsor ke lapisan geotekstile (m)	Sisa Tinggi Timbunan (m)	T allow (Si) (KN/m ²)	Momen penahan geotekstile	Δ M Resistance kumulatif	Jumlah Lapis	Keterangan	τ_1 (KN/m ²)	τ_2 (KN/m ²)	$\Sigma\tau$ (KN/m ²)	Le (m)	Le pakai (m)	Lr (m)	e_z (m)	Lo (m)	Ltot (m)
1	14,83	6,30	35,777	530,57	530,57	1	tambah lapis	42,4207	19,54126	61,962	0,9022	1	20,5	38,85	0,5	23
2	14,58	6,05	35,777	521,63	1052,20	1	tambah lapis	40,7374	40,73737	81,4747	0,6861	1	20,23	37,308333	0,5	22
3	14,33	5,80	35,777	512,68	1564,88	1	tambah lapis	39,054	39,05401	78,108	0,7157	1	19,95	35,766667	0,5	22
4	14,08	5,55	35,777	503,74	2068,62	1	tambah lapis	37,3706	37,37064	74,7413	0,7479	1	19,67	34,225	0,5	22
5	13,83	5,30	35,777	494,79	2563,41	1	tambah lapis	35,6873	35,68728	71,3746	0,7832	1	19,38	32,683333	0,5	22
6	13,58	5,05	35,777	485,85	3049,26	1	tambah lapis	34,0039	34,00392	68,0078	0,822	1	19,10	31,141667	0,5	21
7	13,33	4,80	35,777	476,91	3526,17	1	cukup	32,3206	32,32056	64,6411	0,8648	1	18,82	29,6	0,5	21

- Hasil dari program bantu pada timbunan tinggi 6,3m kemiringan 1:1 seperti berikut:

SF	Kordinat Pusat		R	Momen Resistance
	X	Y	(m)	(KNm)
1,005	54,51	34,7	15,31	10270

SF	1,005			
M Resistance	10270,0	kNm		
Kordinat Pusat	54,51	34,7		
Kordinat Puncak Timbunan (Y)	30,5			
Kordinat Awal Timbunan (Y)	24,2			
Tinggi Timbunan	6,3	m		
Kuat tarik ultimate geotextile	100	kN/m		
M Dorong	10218,9055	kNm	<<<<=	MR 10270,0
SF Rencana	1,25			SF 1,005
M Resistance Rencana	12773,6318	kNm	<<<<=	1,25 x 10218,91
Δ M Resistance Rencana	2503,6	kNm	<<<<=	12773,63 - 10270,0

No. Layer	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil	Spesifikasi Geotekstil
1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
3	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
4	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
5	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
6	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
7	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
8	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

- Hasil dari program bantu pada timbunan tinggi 5m kemiringan 1:2 seperti berikut:

SF	Kordinat Pusat		R	Momen Resistance
	X	Y	(m)	(KNm)
1,21	60,13	36,52	17,93	12130

SF	1,213	
M Resistance	12130,0	kNm
Kordinat Pusat	60,13	37
Kordinat Puncak Timbunan (Y)	29,2	
Kordinat Awal Timbunan (Y)	24,2	
Tinggi Timbunan	5,0	m
Kuat tarik ultimate geotextile	100	kN/m
M Dorong	10000	kNm <== MR 12130,0
SF Rencana	1,50	SF 1,213
M Resistance Rencana	15000	kNm <== 1,50 x 10000
ΔM Resistance Rencana	2870,0	kNm <== 15000,00 - 12130,0

Urut	Jarak antar lapis (cm)	Waktu (jam)	Waktu (hari)	Waktu (bulan)	Waktu (tahun)	Waktu (decade)	Waktu (abadi)	Waktu (eternity)	Waktu (infinity)	Waktu (eternity)	Waktu (infinity)	Waktu (eternity)	Waktu (infinity)
1	100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2	200	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
3	300	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
4	400	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
5	500	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
6	600	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00

- Hasil dari program bantu pada timbunan tinggi 5m kemiringan 1:1 seperti berikut:

SF	Kordinat Pusat		R	Momen Resistance
	X	Y	(m)	(KNm)
1,155	52,23	33,7	13,93	7605

SF	1,155			
M Resistance	7605,0	kNm		
Kordinat Pusat	52,23	34		
Kordinat Puncak Timbunan (Y)	29,2			
Kordinat Awal Timbunan (Y)	24,2			
Tinggi Timbunan	5,0	m		
Kuat tarik ultimate geotextile	100	kN/m		
M Dorong	6584,4156	kNm	<<<<	MR 7605,0
SF Rencana	1,50			SF 1,155
M Resistance Rencana	9876,6234	kNm	<<<<	1,50 x 6584,42
ΔM Resistance Rencana	2271,6	kNm	<<<<	9876,62 - 7605,0

Baris	Urutan	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Lampiran 7

Perkuatan Stone Column

ANALISA STABILITAS LERENG DENGAN STONE COLUMN 10,2 m 1:2

No.	Dia.	As	S	Dc	A	as	ac	n	μ_s	μ_c	γ_s	γ_{smb}	γ'_c	Cu	ϕ_s
S.C.	S.C.	S.C.	2D	(1,13S)	U.Cell						(kN/m3)			kPa	(°)
	(m)	(m2)	(m)	(m)	(m2)										
1	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,15	40
2	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
3	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
4	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
5	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
6	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
7	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
8	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
9	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
No.	hn	Zn	β_n	σ_s	σ_c	σ_z^z	σ_{kr}^z	τ_s	Pn	R	ΔMr	ΔMr	KONTROL		
S.C.	(m)	(m)	(°)	kN/m2	kN/m2	kN/m2			(t)	(m)	(P.R)	KUMULATIF			
											kNm	kNm	$\Delta Mr > 21416,1$		
1	10,2	3,9	38	529,12	105,82	583,72	362,47	304,15	109,130	28,22	2566,368	2566,368	NOT OK		
2	10,08	4,6	32	522,90	104,58	587,30	422,37	354,41	118,163	28,22	2778,812	5345,180	NOT OK		
3	9,5	5,3	31	492,81	98,56	567,01	416,60	349,57	115,308	28,22	2711,67	8056,850	NOT OK		
4	8,9	5,9	26	461,68	92,34	544,28	439,69	368,94	116,062	28,22	2729,401	10786,251	NOT OK		
5	8,2	6,4	23	425,37	85,07	514,97	436,35	366,14	112,464	28,22	2644,789	13431,040	NOT OK		
6	7,7	6,9	22	399,43	79,89	496,03	426,43	357,81	109,115	28,22	2566,015	15997,056	NOT OK		
7	7	7,3	22	363,12	72,62	465,32	400,02	335,66	102,359	28,22	2407,139	18404,195	NOT OK		
8	6,3	7,7	22	326,81	65,36	434,61	373,62	313,51	95,603	28,22	2248,263	20652,458	NOT OK		
9	5,6	8,1	22	290,50	58,10	403,90	347,22	291,35	88,847	28,22	2089,387	22741,845	OK		

ANALISA STABILITAS LERENG DENGAN STONE COLUMN 10,2 m 1:1

No.	Dia.	As	S	Dc	A	as	ac	n	μ_s	μ_c	γ_c	γ_{limb}	γ^c	Cu	ϕ_s
S.C.	S.C.	S.C.	2D	(1,13S)	U.Cell						(kN/m3)			kPa	(°)
	(m)	(m2)	(m)	(m)	(m2)										
1	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,15	40
2	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
3	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
4	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
5	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
6	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
7	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
8	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
9	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
No.	hn	Zn	β_n	σ_s	σ_e	σ_z^e	σ_N^e	τ_s	Pn	R	ΔMr	ΔMr	KONTROL		
S.C.	(m)	(m)	(°)	kN/m2	kN/m2	kN/m2			(t)	(m)	(P.R)	KUMULATIF			
											kNm	kNm	$\Delta Mr > 13691,9$		
1	10,2	3,3	31	529,12	105,82	575,32	422,71	354,69	116,999	19,92	1942,181	1942,181	NOT OK		
2	10,2	3,95	26	529,12	105,82	584,42	472,11	396,15	124,621	19,92	2068,711	4010,892	NOT OK		
3	9,2	4,48	22	477,25	95,45	539,97	464,19	389,50	118,779	19,92	1971,725	5982,617	NOT OK		
4	8	4,92	18	415,00	83,00	483,88	437,67	367,25	109,181	19,92	1812,404	7795,022	NOT OK		
5	6,8	5,26	15	352,75	70,55	426,39	397,82	333,81	97,713	19,92	1622,041	9417,063	NOT OK		
6	5,6	5,52	11	290,50	58,10	367,78	354,39	297,37	85,652	19,92	1421,824	10838,887	NOT OK		
7	4,4	5,7	7	228,25	45,65	308,05	303,47	254,64	72,540	19,92	1204,158	12043,045	NOT OK		
8	3,2	5,8	3	166,00	33,20	247,20	246,52	206,86	58,567	19,92	972,22	13015,265	NOT OK		
9	2	5,83	2	103,75	20,75	185,37	185,14	155,35	43,952	19,92	729,6035	13744,869	OK		

ANALISA STABILITAS LERENG DENGAN STONE COLUMN 9,8 m 1:2

No.	Dia.	As	S	Dc	A	as	ac	n	μ_s	μ_c	γ_s	γ_{emb}	$\gamma'c$	Cu	ϕ_s
S.C.	S.C.	S.C.	2D	(1,13S)	U.Cell						(kN/m3)			kPa	($^\circ$)
	(m)	(m2)	(m)	(m)	(m2)										
1	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,15	40
2	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
3	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
4	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
5	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
6	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
7	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
8	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
No.	hn	Zn	β_n	σ_s	σ_c	σ_z^2	$\sigma_{\bar{y}}$	τ_s	Pn	R	ΔMr	ΔMr	KONTROL		
S.C.	(m)	(m)	($^\circ$)	kN/m2	kN/m2	kN/m2			(t)	(m)	(P.R)	KUMULATIF			
											kNm	kNm	$\Delta Mr > 18025,4$		
1	9,8	3,5	35	508,37	101,67	557,37	374,00	313,82	108,322	26,92	2430,013	2430,013	NOT OK		
2	9,8	4,3	31	508,37	101,67	568,57	417,75	350,53	115,626	26,92	2593,881	5023,894	NOT OK		
3	9,5	5	29	492,81	98,56	562,81	430,53	361,25	116,785	26,92	2619,87	7643,763	NOT OK		
4	8,9	5,6	26	461,68	92,34	540,08	436,30	366,10	115,167	26,92	2583,575	10227,338	NOT OK		
5	8,3	6,1	23	430,56	86,11	515,96	437,19	366,84	112,680	26,92	2527,79	12755,129	NOT OK		
6	7,6	6,6	20	394,25	78,85	486,65	429,72	360,58	108,494	26,92	2433,882	15189,011	NOT OK		
7	7	7	18	363,12	72,62	461,12	417,09	349,98	104,047	26,92	2334,114	17523,124	NOT OK		
8	6,5	7,3	15	337,18	67,44	439,38	409,95	343,99	100,692	26,92	2258,856	19781,980	OK		

ANALISA STABILITAS LERENG DENGAN STONE COLUMN 9,8 m 1:1

No.	Dia.	As	S	Dc	A	as	ac	n	μ_s	μ_c	γ_s	γ_{limb}	γ'_c	Cu	ϕ_s
S.C.	S.C.	S.C.	2D	(1,13S)	U.Cell						(kN/m3)			kPa	(°)
	(m)	(m2)	(m)	(m)	(m2)										
1	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,15	40
2	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
3	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
4	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
5	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
6	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
7	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
8	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
9	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
No.	hn	Zn	β_n	σ_s	σ_c	σ'_s	σ'_c	τ_s	Pn	R	ΔMr	ΔMr	KONTROL		
S.C.	(m)	(m)	(°)	kN/m2	kN/m2	kN/m2		(t)	(m)		(P.R)	KUMULATIF			
											kNm	kNm	$\Delta Mr > 12414,2$		
1	9,8	3,89	38	508,37	101,67	562,83	349,50	293,26	105,224	19,87	1742,339	1742,339	NOT OK		
2	9,8	4,39	32	508,37	101,67	569,83	409,81	343,87	114,650	19,87	1898,406	3640,745	NOT OK		
3	9,1	4,9	31	472,06	94,41	540,66	397,24	333,33	109,950	19,87	1820,587	5461,332	NOT OK		
4	7,9	5,36	26	409,81	81,96	484,85	391,68	328,66	103,389	19,87	1711,944	7173,275	NOT OK		
5	6,7	5,68	23	347,56	69,51	427,08	361,88	303,65	93,270	19,87	1544,392	8717,667	NOT OK		
6	5,5	5,9	22	285,31	57,06	367,91	316,28	265,39	80,931	19,87	1340,079	10057,746	NOT OK		
7	4,3	6,1	22	223,06	44,61	308,46	265,17	222,51	67,853	19,87	1123,539	11181,285	NOT OK		
8	3,1	6,2	22	160,81	32,16	247,61	212,86	178,61	54,468	19,87	901,9007	12083,186	NOT OK		
9	2	6,2	22	103,75	20,75	190,55	163,81	137,45	41,916	19,87	694,0575	12777,243	OK		

ANALISA STABILITAS LERENG DENGAN STONE COLUMN 9,2 m 1:2

No.	Dia.	As	S	Dc	A	as	ac	n	μ_s	μ_c	γ_c	γ_{imb}	$\gamma'c$	Cu	ϕ_s
S.C.	S.C.	S.C.	2D	(1,13S)	U.Cell										($^\circ$)
	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m ²)						(kN/m ³)			kPa	
1	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,15	40
2	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
3	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
4	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
5	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
6	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
7	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
No.	hn	Zn	β_n	σ_s	σ_c	σ'_s	σ'_c	τ_s	Pn	R	ΔMr	ΔMr	KONTROL		
S.C.	(m)	(m)	($^\circ$)	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²			(t)	(m)	(P.R)	KUMULATIF			
											kNm	kNm	$\Delta Mr > 14118,4$		
1	9,2	3	36	477,25	95,45	519,25	339,85	285,17	99,664	25,47	2115,361	2115,361	NOT OK		
2	9,2	3,84	33	477,25	95,45	531,01	373,49	313,40	105,657	25,47	2242,563	4357,924	NOT OK		
3	8,87	4,5	30	460,13	92,03	523,13	392,35	329,22	107,484	25,47	2281,35	6639,274	NOT OK		
4	8,27	5,2	25	429,00	85,80	501,80	412,18	345,86	107,898	25,47	2290,142	8929,416	NOT OK		
5	7,6	5,7	24	394,25	78,85	474,05	395,62	331,97	102,744	25,47	2180,746	11110,162	NOT OK		
6	7	6,2	21	363,12	72,62	449,92	392,14	329,04	99,654	25,47	2115,157	13225,319	NOT OK		
7	6,5	6,6	18	337,18	67,44	429,58	388,56	326,04	96,931	25,47	2057,353	15282,673	OK		

ANALISA STABILITAS LERENG DENGAN STONE COLUMN 9,2 m 1:1

No.	Dia.	As	S	Dc	A	as	ac	n	μ_s	μ_c	γ_t	γ_{emb}	$\gamma'c$	Cu	ϕ_s
S.C.	S.C.	S.C.	2D	(1,13S)	U.Cell						(kN/m3)			kPa	(°)
	(m)	(m2)	(m)	(m)	(m2)										
1	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,15	40
2	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
3	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
4	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
5	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
6	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
7	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
No.	hn	Zn	β_n	σ_s	σ_c	σ_s^2	σ_c^2	τ_s	Pn	R	ΔMr	ΔMr	KONTROL		
S.C.	(m)	(m)	(°)	kN/m2	kN/m2	kN/m2			(t)	(m)	(P.R)	KUMULATIF			
											kNm	kNm	$\Delta Mr > 10868,6$		
1	9,2	4,25	35	477,25	95,45	536,75	360,16	302,21	104,313	19,81	1722,038	1722,038	NOT OK		
2	9,2	4,77	31	477,25	95,45	544,03	399,72	335,40	110,635	19,81	1826,394	3548,432	NOT OK		
3	9,1	5,2	29	472,06	94,41	544,86	416,79	349,73	113,060	19,81	1866,433	5414,865	NOT OK		
4	7,9	5,55	26	409,81	81,96	487,51	393,82	330,46	103,956	19,81	1716,138	7131,003	NOT OK		
5	6,7	5,81	23	347,56	69,51	428,90	363,42	304,94	93,667	19,81	1546,29	8677,293	NOT OK		
6	5,5	6	20	285,31	57,06	369,31	326,11	273,64	82,335	19,81	1359,209	10036,502	NOT OK		
7	4,3	6,12	18	223,06	44,61	308,74	279,26	234,33	69,664	19,81	1150,031	11186,533	OK		

ANALISA STABILITAS LERENG DENGAN STONE COLUMN 7,8 m 1:2

No.	Dia.	As	S	Dc	A	as	ac	n	μ_s	μ_c	γ_s	γ_{lim}	γ'_c	Cu	ϕ_s
S.C.	S.C.	S.C.	2D	(1,13S)	U.Cell										(°)
	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m ²)						(kN/m ³)			kPa	
1	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,15	40
2	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
3	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
4	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
5	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
No.	hn	Zn	β_n	σ_s	σ_c	σ'_s	σ'_c	τ_s	Pn	R	ΔMr	ΔMr	KONTROL		
S.C.	(m)	(m)	(°)	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²		(t)	(m)	(P.R)	KUMULATIF				
											kNm	kNm	$\Delta Mr > 8419,3$		
1	7,8	3,9	31	404,62	80,92	459,22	337,41	283,12	93,389	23,70	1844,425	1844,425	NOT OK		
2	7,8	4,6	28	404,62	80,92	469,02	365,65	306,81	98,250	23,70	1940,443	3784,869	NOT OK		
3	7,67	5,1	25	397,88	79,58	469,28	385,46	323,44	100,905	23,70	1992,87	5777,739	NOT OK		
4	7	5,6	21	363,12	72,62	441,52	384,82	322,90	97,794	23,70	1931,422	7709,161	NOT OK		
5	6,4	6,1	18	332,00	66,40	417,40	377,54	316,79	94,181	23,70	1860,069	9569,230	OK		

ANALISA STABILITAS LERENG DENGAN STONE COLUMN 7,8 m 1:1

No.	Dia.	As	S	Dc	A	as	ac	n	μ_s	μ_c	γ_c	γ_{imb}	$\gamma'c$	Cu	ϕ_s
S.C.	S.C.	S.C.	2D	(1,135)	U.Cell										(°)
	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m ²)						(kN/m ³)			kPa	
1	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,15	40
2	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
3	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
4	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
5	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	17,260	17,77	40
No.	hn	Zn	β_n	σ_s	σ_c	σ_z^z	σ_{γ}	τ_s	Pn	R	ΔMr	ΔMr	KONTROL		
S.C.	(m)	(m)	(°)	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²			(t)	(m)	(P.R)	KUMULATIF			
											kNm	kNm	$\Delta Mr > 5850,4$		
1	7,8	2,68	33	404,62	80,92	442,14	310,99	260,95	87,975	17,32	1269,771	1269,771	NOT OK		
2	7,8	3,39	29	404,62	80,92	452,08	345,82	290,18	93,808	17,32	1353,969	2623,741	NOT OK		
3	7,8	3,97	24	404,62	80,92	460,20	384,07	322,27	99,743	17,32	1439,63	4063,371	NOT OK		
4	6,7	4,44	20	347,56	69,51	409,72	361,79	303,58	91,344	17,32	1318,394	5381,765	NOT OK		
5	5,5	4,81	16	285,31	57,06	352,65	325,86	273,43	80,425	17,32	1160,803	6542,568	OK		

ANALISA STABILITAS LERENG DENGAN STONE COLUMN 6,3 m 1:2

No.	Dia.	As	S	Dc	A	as	ac	n	μ_s	μ_c	γ_c	γ_{emb}	$\gamma'c$	Cu	ϕ_s
S.C.	S.C.	S.C.	2D	(1,135)	U.Cell						(kN/m ³)			kPa	(°)
	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m ²)										
1	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,15	40
2	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
3	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
No.	hn	Zn	β_n	σ_s	σ_c	σ_z^z	σ_y^y	τ_s	Pn	R	ΔMr	ΔMr	KONTROL		
S.C.	(m)	(m)	(°)	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²		(t)	(m)	(P,R)	KUMULATIF				
											kNm	kNm	$\Delta Mr > 3453,5$		
1	6,3	4,56	26	326,81	65,36	390,65	315,58	264,80	83,302	21,42	1486,935	1486,935	NOT OK		
2	6,3	5	22	326,81	65,36	396,81	341,13	286,24	87,288	21,42	1558,09	3045,025	NOT OK		
3	5,8	5,5	19	300,87	60,17	377,87	337,82	283,46	84,766	21,42	1513,072	4558,097	OK		

ANALISA STABILITAS LERENG DENGAN STONE COLUMN 6,3 m 1:1

No.	Dia.	As	S	Dc	A	as	ac	n	μ_s	μ_c	γ_c	γ_{emb}	$\gamma'c$	Cu	ϕ_s
S.C.	S.C.	S.C.	2D	(1,135)	U.Cell						(kN/m ³)			kPa	(°)
	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m ²)										
1	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,15	40
2	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
3	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
No.	hn	Zn	β_n	σ_s	σ_c	σ_z^z	σ_y^y	τ_s	Pn	R	ΔMr	ΔMr	KONTROL		
S.C.	(m)	(m)	(°)	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²		(t)	(m)	(P,R)	KUMULATIF				
											kNm	kNm	$\Delta Mr > 2503,6$		
1	6,3	3,7	22	326,81	65,36	378,61	325,48	273,11	83,284	15,31	1062,57	1062,570	NOT OK		
2	6,3	4,1	18	326,81	65,36	384,21	347,52	291,60	86,692	15,31	1106,05	2168,620	NOT OK		
3	5,5	5,5	13	285,31	57,06	362,31	343,98	288,63	83,755	15,31	1068,573	3237,194	OK		

ANALISA STABILITAS LERENG DENGAN STONE COLUMN 5 m 1:2

No.	Dia.	As	S	Dc	A	as	ac	n	μ_s	μ_c	γ_c	γ_{emb}	γ^c	Cu	ϕ_s
S.C.	S.C.	S.C.	2D	(1,13S)	U.Cell						(kN/m3)			kPa	(°)
	(m)	(m2)	(m)	(m)	(m2)										
1	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,15	40
2	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
3	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
No.	hn	Zn	β_n	σ_s	σ_c	σ_z^E	σ_{xy}^E	τ_s	Pn	R	ΔMr	ΔMr	KONTROL		
S.C.	(m)	(m)	(°)	kN/m2	kN/m2	kN/m2			(t)	(m)	(P.R)	KUMULATIF			
											kNm	kNm	$\Delta Mr > 2870$		
1	5	3,8	26	259,37	51,87	312,57	252,51	211,88	66,653	17,93	995,9018	995,902	NOT OK		
2	5	4,4	22	259,37	51,87	320,97	275,93	231,53	70,606	17,93	1054,968	2050,870	NOT OK		
3	4,67	4,8	18	242,25	48,45	309,45	279,90	234,87	69,825	17,93	1043,297	3094,166	OK		

ANALISA STABILITAS LERENG DENGAN STONE COLUMN 5 m 1:1

No.	Dia.	As	S	Dc	A	as	ac	n	μ_s	μ_c	γ_c	γ_{emb}	γ^c	Cu	ϕ_s
S.C.	S.C.	S.C.	2D	(1,13S)	U.Cell						(kN/m3)			kPa	(°)
	(m)	(m2)	(m)	(m)	(m2)										
1	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,15	40
2	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
3	0,6	0,283	1,2	1,356	1,444	0,196	0,804	5	2,804	0,561	24,00	18,50	16,400	16,97	40
No.	hn	Zn	β_n	σ_s	σ_c	σ_z^E	σ_{xy}^E	τ_s	Pn	R	ΔMr	ΔMr	KONTROL		
S.C.	(m)	(m)	(°)	kN/m2	kN/m2	kN/m2			(t)	(m)	(P.R)	KUMULATIF			
											kNm	kNm	$\Delta Mr > 2271,6$		
1	5	3,41	20	259,37	51,87	307,11	271,19	227,55	68,468	13,93	794,8034	794,803	NOT OK		
2	5	3,73	15	259,37	51,87	311,59	290,72	243,94	71,406	13,93	828,9096	1623,713	NOT OK		
3	4,38	3,97	9	227,21	45,44	282,79	275,87	231,48	66,266	13,93	769,2382	2392,951	OK		

Lampiran 8
Perkuatan Geogrid

Z_i = kedalaman dari muka timbunan

T_i = $(\gamma \times z_i + q) \times k_a$

L_e = $\frac{T_i \times SF}{2 \cdot b \cdot \tan \delta \cdot \gamma \cdot z}$

L_r = $Z_i \times \tan(90^\circ - \rho)$

L_o = $L_r + L_e$

- Kebutuhan geogrid pada timbunan tegak tinggi 5 meter

No Lapis	Z_i (m)	T_i (kN)	L_e (m)	L_e pakai (m)	L_r (m)	L_{tot}
1	1,20	7,40	0,572	1	2,19	3,2
2	1,40	8,63	0,572	1	2,08	3,1
3	1,60	9,87	0,572	1	1,96	3,0
4	1,80	11,10	0,572	1	1,85	2,8
5	2,00	12,33	0,572	1	1,73	2,7
6	2,20	13,57	0,572	1	1,62	2,6
7	2,40	14,80	0,572	1	1,50	2,5
8	2,60	16,03	0,572	1	1,39	2,4
9	2,80	17,27	0,572	1	1,27	2,3
10	3,00	18,50	0,572	1	1,15	2,2
11	3,20	19,73	0,572	1	1,04	2,0
12	3,40	20,97	0,572	1	0,92	1,9
13	3,60	22,20	0,572	1	0,81	1,8
14	3,80	23,43	0,572	1	0,69	1,7
15	4,00	24,67	0,572	1	0,58	1,6
16	4,20	25,90	0,572	1	0,46	1,5
17	4,40	27,13	0,572	1	0,35	1,3
18	4,60	28,37	0,572	1	0,23	1,2
19	4,80	29,60	0,572	1	0,12	1,1
20	5,00	30,83	0,572	1	0,00	1,0

- Kebutuhan geogrid pada timbunan tegak tinggi 6,3 meter

No Lapis	Zi (m)	Ti (KN)	Le (m)	Le pakai (m)	Lr (m)	Ltot
1	1,10	6,78	0,572	1	3,00	4,0
2	1,30	8,02	0,572	1	2,89	3,9
3	1,50	9,25	0,572	1	2,77	3,8
4	1,70	10,48	0,572	1	2,66	3,7
5	1,90	11,72	0,572	1	2,54	3,5
6	2,10	12,95	0,572	1	2,42	3,4
7	2,30	14,18	0,572	1	2,31	3,3
8	2,50	15,42	0,572	1	2,19	3,2
9	2,70	16,65	0,572	1	2,08	3,1
10	2,90	17,88	0,572	1	1,96	3,0
11	3,10	19,12	0,572	1	1,85	2,8
12	3,30	20,35	0,572	1	1,73	2,7
13	3,50	21,58	0,572	1	1,62	2,6
14	3,70	22,82	0,572	1	1,50	2,5
15	3,90	24,05	0,572	1	1,39	2,4
16	4,10	25,28	0,572	1	1,27	2,3
17	4,30	26,52	0,572	1	1,15	2,2
18	4,50	27,75	0,572	1	1,04	2,0
19	4,70	28,98	0,572	1	0,92	1,9
20	4,90	30,22	0,572	1	0,81	1,8
21	5,10	31,45	0,572	1	0,69	1,7
22	5,30	32,68	0,572	1	0,58	1,6
23	5,50	33,92	0,572	1	0,46	1,5
24	5,70	35,15	0,572	1	0,35	1,3
25	5,90	36,38	0,572	1	0,23	1,2
26	6,10	37,62	0,572	1	0,12	1,1
27	6,30	38,85	0,572	1	0,00	1,0

- Kebutuhan geogrid pada timbunan tegak tinggi 7,8 meter

No Lapis	Zi (m)	Ti (KN)	Le (m)	Le pakai (m)	Lr (m)	Ltot
1	1,20	7,40	0,572	1	3,81	4,8
2	1,40	8,63	0,572	1	3,70	4,7
3	1,60	9,87	0,572	1	3,58	4,6
4	1,80	11,10	0,572	1	3,46	4,5
5	2,00	12,33	0,572	1	3,35	4,3
6	2,20	13,57	0,572	1	3,23	4,2
7	2,40	14,80	0,572	1	3,12	4,1
8	2,60	16,03	0,572	1	3,00	4,0
9	2,80	17,27	0,572	1	2,89	3,9
10	3,00	18,50	0,572	1	2,77	3,8
11	3,20	19,73	0,572	1	2,66	3,7
12	3,40	20,97	0,572	1	2,54	3,5
13	3,60	22,20	0,572	1	2,42	3,4
14	3,80	23,43	0,572	1	2,31	3,3
15	4,00	24,67	0,572	1	2,19	3,2
16	4,20	25,90	0,572	1	2,08	3,1
17	4,40	27,13	0,572	1	1,96	3,0
18	4,60	28,37	0,572	1	1,85	2,8
19	4,80	29,60	0,572	1	1,73	2,7
20	5,00	30,83	0,572	1	1,62	2,6
21	5,20	32,07	0,572	1	1,50	2,5
22	5,40	33,30	0,572	1	1,39	2,4
23	5,60	34,53	0,572	1	1,27	2,3
24	5,80	35,77	0,572	1	1,15	2,2
25	6,00	37,00	0,572	1	1,04	2,0
26	6,20	38,23	0,572	1	0,92	1,9
27	6,40	39,47	0,572	1	0,81	1,8
28	6,60	40,70	0,572	1	0,69	1,7
29	6,80	41,93	0,572	1	0,58	1,6
30	7,00	43,17	0,572	1	0,46	1,5
31	7,20	44,40	0,572	1	0,35	1,3
32	7,40	45,63	0,572	1	0,23	1,2
33	7,60	46,87	0,572	1	0,12	1,1
34	7,80	48,10	0,572	1	0,00	1,0

- Kebutuhan geogrid pada timbunan tegak tinggi 9,2 meter

No Lapis	Zi (m)	Ti (KN)	Le (m)	Le pakai (m)	Lr (m)	Ltot
1	1,20	7,40	0,572	1	4,62	5,6
2	1,40	8,63	0,572	1	4,50	5,5
3	1,60	9,87	0,572	1	4,39	5,4
4	1,80	11,10	0,572	1	4,27	5,3
5	2,00	12,33	0,572	1	4,16	5,2
6	2,20	13,57	0,572	1	4,04	5,0
7	2,40	14,80	0,572	1	3,93	4,9
8	2,60	16,03	0,572	1	3,81	4,8
9	2,80	17,27	0,572	1	3,70	4,7
10	3,00	18,50	0,572	1	3,58	4,6
11	3,20	19,73	0,572	1	3,46	4,5
12	3,40	20,97	0,572	1	3,35	4,3
13	3,60	22,20	0,572	1	3,23	4,2
14	3,80	23,43	0,572	1	3,12	4,1
15	4,00	24,67	0,572	1	3,00	4,0
16	4,20	25,90	0,572	1	2,89	3,9
17	4,40	27,13	0,572	1	2,77	3,8
18	4,60	28,37	0,572	1	2,66	3,7
19	4,80	29,60	0,572	1	2,54	3,5
20	5,00	30,83	0,572	1	2,42	3,4
21	5,20	32,07	0,572	1	2,31	3,3
22	5,40	33,30	0,572	1	2,19	3,2
23	5,60	34,53	0,572	1	2,08	3,1
24	5,80	35,77	0,572	1	1,96	3,0
25	6,00	37,00	0,572	1	1,85	2,8
26	6,20	38,23	0,572	1	1,73	2,7
27	6,40	39,47	0,572	1	1,62	2,6
28	6,60	40,70	0,572	1	1,50	2,5
29	6,80	41,93	0,572	1	1,39	2,4
30	7,00	43,17	0,572	1	1,27	2,3
31	7,20	44,40	0,572	1	1,15	2,2
32	7,40	45,63	0,572	1	1,04	2,0
33	7,60	46,87	0,572	1	0,92	1,9
34	7,80	48,10	0,572	1	0,81	1,8
35	8,00	49,33	0,572	1	0,69	1,7
36	8,20	50,57	0,572	1	0,58	1,6
37	8,40	51,80	0,572	1	0,46	1,5
38	8,60	53,03	0,572	1	0,35	1,3
39	8,80	54,27	0,572	1	0,23	1,2
40	9,00	55,50	0,572	1	0,12	1,1
41	9,20	56,73	0,572	1	0,00	1,0

- Kebutuhan geogrid pada timbunan tegak tinggi 9,8 meter

No Lapis	Zi (m)	Ti (KN)	Le (m)	Le pakai (m)	Lr (m)	Ltot
1	1,20	7,40	0,572	1	4,97	6,0
2	1,40	8,63	0,572	1	4,85	5,8
3	1,60	9,87	0,572	1	4,73	5,7
4	1,80	11,10	0,572	1	4,62	5,6
5	2,00	12,33	0,572	1	4,50	5,5
6	2,20	13,57	0,572	1	4,39	5,4
7	2,40	14,80	0,572	1	4,27	5,3
8	2,60	16,03	0,572	1	4,16	5,2
9	2,80	17,27	0,572	1	4,04	5,0
10	3,00	18,50	0,572	1	3,93	4,9
11	3,20	19,73	0,572	1	3,81	4,8
12	3,40	20,97	0,572	1	3,70	4,7
13	3,60	22,20	0,572	1	3,58	4,6
14	3,80	23,43	0,572	1	3,46	4,5
15	4,00	24,67	0,572	1	3,35	4,3
16	4,20	25,90	0,572	1	3,23	4,2
17	4,40	27,13	0,572	1	3,12	4,1
18	4,60	28,37	0,572	1	3,00	4,0
19	4,80	29,60	0,572	1	2,89	3,9
20	5,00	30,83	0,572	1	2,77	3,8
21	5,20	32,07	0,572	1	2,66	3,7
22	5,40	33,30	0,572	1	2,54	3,5
23	5,60	34,53	0,572	1	2,42	3,4
24	5,80	35,77	0,572	1	2,31	3,3
25	6,00	37,00	0,572	1	2,19	3,2
26	6,20	38,23	0,572	1	2,08	3,1
27	6,40	39,47	0,572	1	1,96	3,0
28	6,60	40,70	0,572	1	1,85	2,8
29	6,80	41,93	0,572	1	1,73	2,7
30	7,00	43,17	0,572	1	1,62	2,6
31	7,20	44,40	0,572	1	1,50	2,5
32	7,40	45,63	0,572	1	1,39	2,4
33	7,60	46,87	0,572	1	1,27	2,3
34	7,80	48,10	0,572	1	1,15	2,2
35	8,00	49,33	0,572	1	1,04	2,0
36	8,20	50,57	0,572	1	0,92	1,9
37	8,40	51,80	0,572	1	0,81	1,8
38	8,60	53,03	0,572	1	0,69	1,7
39	8,80	54,27	0,572	1	0,58	1,6
40	9,00	55,50	0,572	1	0,46	1,5
41	9,20	56,73	0,572	1	0,35	1,3
42	9,40	57,97	0,572	1	0,23	1,2
43	9,60	59,20	0,572	1	0,12	1,1
44	9,80	60,43	0,572	1	0,00	1,0

- Kebutuhan geogrid pada timbunan tegak tinggi 10,2 meter

No Lapis	Zi (m)	Ti (KN)	Le (m)	Le pakai (m)	Lr (m)	Ltot
1 (top)	1,20	12,40	0,959	1	5,20	6,2
2	1,40	13,63	0,904	1	5,08	6,1
3	1,60	14,87	0,862	1	4,97	6,0
4	1,80	16,10	0,830	1	4,85	5,8
5	2,00	17,33	0,804	1	4,73	5,7
6	2,20	18,57	0,783	1	4,62	5,6
7	2,40	19,80	0,766	1	4,50	5,5
8	2,60	21,03	0,751	1	4,39	5,4
9	2,80	22,27	0,738	1	4,27	5,3
10	3,00	23,50	0,727	1	4,16	5,2
11	3,20	24,73	0,717	1	4,04	5,0
12	3,40	25,97	0,709	1	3,93	4,9
13	3,60	27,20	0,701	1	3,81	4,8
14	3,80	28,43	0,695	1	3,70	4,7
15	4,00	29,67	0,688	1	3,58	4,6
16	4,20	30,90	0,683	1	3,46	4,5
17	4,40	32,13	0,678	1	3,35	4,3
18	4,60	33,37	0,673	1	3,23	4,2
19	4,80	34,60	0,669	1	3,12	4,1
20	5,00	35,83	0,665	1	3,00	4,0
21	5,20	37,07	0,662	1	2,89	3,9
22	5,40	38,30	0,658	1	2,77	3,8
23	5,60	39,53	0,655	1	2,66	3,7
24	5,80	40,77	0,652	1	2,54	3,5
25	6,00	42,00	0,650	1	2,42	3,4
26	6,20	43,23	0,647	1	2,31	3,3
27	6,40	44,47	0,645	1	2,19	3,2
28	6,60	45,70	0,643	1	2,08	3,1
29	6,80	46,93	0,641	1	1,96	3,0
30	7,00	48,17	0,639	1	1,85	2,8
31	7,20	49,40	0,637	1	1,73	2,7
32	7,40	50,63	0,635	1	1,62	2,6
33	7,60	51,87	0,633	1	1,50	2,5
34	7,80	53,10	0,632	1	1,39	2,4
35	8,00	54,33	0,630	1	1,27	2,3
36	8,20	55,57	0,629	1	1,15	2,2
37	8,40	56,80	0,628	1	1,04	2,0
38	8,60	58,03	0,626	1	0,92	1,9
39	8,80	59,27	0,625	1	0,81	1,8
40	9,00	60,50	0,624	1	0,69	1,7
41	9,20	61,73	0,623	1	0,58	1,6
42	9,40	62,97	0,622	1	0,46	1,5
43	9,60	64,20	0,621	1	0,35	1,3
44	9,80	65,43	0,620	1	0,23	1,2
45	10,00	66,67	0,619	1	0,12	1,1
46 (bot)	10,20	67,90	0,618	1	0,00	1,0

Lampiran 9 Spesifikasi material

Geotekstile



HUESKER STABLENKA® DATA SHEET

HIGH STRENGTH WOVEN GEOTEXTILE FOR SOIL REINFORCEMENT

PRODUCT			100/50	120/120	150/45	200/45	300/45	400/50	600/50	800/50	1000/100
MECHANICAL	TEST	UNIT									
Ultimate tensile strength Longitudinal Transverse	EN ISO 10.319	kN/m	≥ 100 ≥ 50	≥ 120 ≥ 120	≥ 150 ≥ 45	≥ 200 ≥ 45	≥ 300 ≥ 45	≥ 400 ≥ 50	≥ 600 ≥ 50	≥ 800 ≥ 50	≥ 1000 ≥ 100
Tensile strength @ 6% strain : Longitudinal	EN ISO 10.319	kN/m	≥ 60	—	≥ 85	≥ 120	≥ 180	≥ 230	≥ 320	≥ 460	≥ 600
Strain @ nominal tensile Strength : longitudinal Transverse	EN ISO 10.319	%	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20
Creep after two years @ 50% stress ratio		%	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HYDRAULIC											
Permeability index normal to plane Tolerance		m/s	15x10 ³ -3x10 ⁷	7x10 ³ -1x10 ⁷	5x10 ³ -2x10 ⁷	5x10 ³ -2x10 ⁷	3x10 ³ -1x10 ⁷	3x10 ³ -1x10 ⁷	5x10 ³ -2x10 ⁷	4x10 ³ -1x10 ⁷	3x10 ³ -1x10 ⁷
PHYSICAL											
Weight	EN ISO 9864	g / m ²	~230	~400	~330	~390	~520	~605	~1010	~1360	~1800
PACKAGING											
Roll width x length	NA	m	5x300	5x300	5x300	5x300	5x300	5x200	5x200	5x100	5x100

Stabilenka® Datasheet: 03/2007 Rev. 1

Notes

- 1) Woven with a polyester yarn in the length direction (warp) and with polyamide or polyester yarns in the cross direction (weft), the use of high-modulus polyester multifilament yarn and a special patented weaving process (straight warp and no crimp) ensures that Stabilenka® mobilises high tensile forces at low elongations.
- 2) Stabilenka® high strength woven geotextiles resistant to naturally occurring soils having pH > 2 and < -10.
- 3) The information listed in this data sheet is subject to periodic review and could be changed without notice.
- 4) Stabilenka® high strength woven geotextiles are manufactured according to ISO 9001 quality assurance procedures.

PVD

CeTeau-Drain CT-D822

Drain Body

Extrusion profile of 100% polypropylene with the following important properties:

- environmental safe
- large water flow capacity
- flexible
- high tensile strength and toughness
- inert to natural occurring acids alkalis and salt
- workable and easy to handle at low temperatures
- no wet shrinkage or growth

Filter Jacket

Nonwoven fabric of 100% polyester without any binders, with the following important properties:

- balanced strength in both directions
- high tensile strength and toughness
- no wet shrinkage or growth
- good resistance to rot, moisture and insects
- high water permeability
- inert to natural occurring acids, alkalis and salt
- excellent filtration characteristics
- tear, burst and puncture resistant
- environmental safe

Physical properties		Unit	CT-D822
Drain Body	Configuration	-	-----
	Material	-	PP
Filter Jacket	Colour	-	white
	Material	-	PET
Assembled Drain	Colour	-	grey
	Weight	g/m	75
	Width	mm	100
	Thickness	mm	4

Mechanical properties		Symbol	Test	Unit	CT-D822
Filter Jacket					
Grab Tensile Strength	<i>F</i>	ASTM D4632	N	480	
Elongation	<i>s</i>	ASTM D4632	%	32	
Tear Strength		ASTM D4533	N	120	
Pore Size	<i>O₂</i>	ASTM D4751	µm	< 75	
Permeability	<i>k</i>	ASTM D4491	m/s	> 1.0 x 10 ⁻⁴	
Assembled Drain					
Tensile Strength	<i>F</i>	ASTM D4595	kN	2.75	
Elongation at break	<i>s</i>	ASTM D4595	%	40	
Strength at 10% elongation	<i>F</i>	ASTM D4595	kN	2.2	
Elongation at 1 kN tensile strength	<i>s</i>	ASTM D4595	%	1.5	
Discharge capacity at 100 kPa	<i>q₁</i>	ASTM D4716	m/s	158 x 10 ⁻⁹	
Discharge capacity at 150 kPa	<i>q₂</i>	ASTM D4716	m/s	157 x 10 ⁻⁹	
Discharge capacity at 200 kPa	<i>q₃</i>	ASTM D4716	m/s	155 x 10 ⁻⁹	
Discharge capacity at 250 kPa	<i>q₄</i>	ASTM D4716	m/s	150 x 10 ⁻⁹	
Discharge capacity at 300 kPa	<i>q₅</i>	ASTM D4716	m/s	141 x 10 ⁻⁹	
Discharge capacity at 350 kPa	<i>q₆</i>	ASTM D4716	m/s	135 x 10 ⁻⁹	
Transport details			Unit	CT-D822	
Roll length			m	250	
Outside diameter roll			m	1.10	
Inside diameter roll			m	0.15	
Weight roll			kg	20	
40ft container			m	125,000	

Micropile

PRESTRESSED CONCRETE SQUARE PILE

SPECIFICATION STANDARD

PILE SIZE	CROSS SECTION AREA	UNIT WEIGHT	AXIAL LOAD	NUMBER OF PC BAR					
				File Length	Cracking Moment	File Length	Cracking Moment	File Length	Cracking Moment
mm	mm ²	kg/m	ton	Up to 12 m	1 m	13-15m	1 m	16-18 m	1 m
300 x 300	90.000	216	117	φ 7.0 x 8	3,0	φ 7.0 x 10	3,5		
350 x 350	122.500	294	160	φ 7.0 x 10	5,0	φ 7.0 x 12	5,8	φ 7.0 x 14	6,6
400 x 400	160.000	384	208	φ 7.0 x 12	7,0	φ 7.0 x 14	7,5	φ 7.0 x 16	8,0
450 x 450	202.500	480	257	φ 9.0 x 14	10,0	φ 7.0 x 16	10,5	φ 7.0 x 18	11,6
500 x 500	250.000	600	318	φ 9.0 x 18	13,5	φ 9.0 x 18	14,0	φ 9.0 x 18	14,5

* PC Bar Standard 28 G 3157, Breaking Strength 145 kgf/mm². * Concrete Strength Kc-900 for 28 days (Cube Test)
 Note : Number of PC Bar can be designed depend on technical requirement.


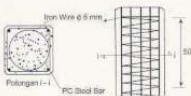
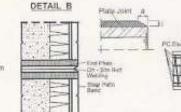


Plate Thickness	a	i
12 mm	8 mm	4 mm
16 mm	10 mm	6 mm

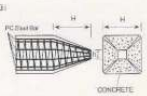
DETAIL A

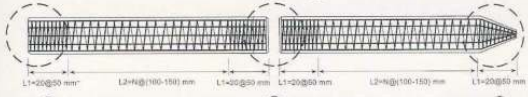


DETAIL B



DETAIL C





H (mm)	h (mm)
300	50
350	50
400	50
450	50
500	50

MARKETING : Jakarta Telp. (021) 590-2385 Fax. (021) 590-2383	Medan Telp. (061) 685-0365 Fax. (061) 685-0367	Surabaya Telp. (031) 750-7651 Fax. (031) 750-7649
--	---	--

Geogrid

PRODUCT DATA SHEET

Geosynthetic Limited Tel: 01455 617 139 Fax: 01455 617 140 Email: sales@geosyn.co.uk

Tenax Uni-axial Grids

Tenax TT SAMP

Type: 045 - 060 - 090 - 120 - 160
Mono-oriented geogrids



Tenax **TT SAMP** are mono-oriented geogrids especially designed for soil reinforcement. TENAX **TT SAMP** geogrids are manufactured with a unique extrusion technology using high quality polymers. TENAX **TT SAMP** geogrids have high tensile modulus, great interlock capacity and junction strength, as well as superior long term design strength and durability.

Technical Characteristics	Test Method	Unit	TT 045 SAMP	TT 060 SAMP	TT 090 SAMP	TT 120 SAMP	TT 160 SAMP	Notes
Strength at 2% Strain	ISO 10319	kN/m	11.0	17.0	26.0	36.0	45.0	a, c
Strength at 5% Strain	ISO 10319	kN/m	25.0	32.0	50.0	72.0	90.0	a, c
Peak Tensile Strength	ISO 10319	kN/m	45.0	60.0	90.0	120.0	160.0	a, c
Yield Point Elongation	ISO 10319	%	11.5	13.0	13.0	13.0	13.0	b, c
Junction Strength	GRI-GG2	kN/m	36.0	50.0	80.0	110.0	130.0	b
Long Term Design Strength	ISO 13431	kN/m	21.2	28.3	42.4	56.5	75.4	a, e

Applications:

- construction of steep slopes of road and railway embankments
- repair of slope failures
- construction of retaining walls
- widening the embankment crests
- systems preventing rock slides
- landfill embankments
- elements of retaining walls



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK – ITS

BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN
SEMINAR DAN LISAN
TUGAS AKHIR

Pada hari ini **Rabu** tanggal **11 Juli 2018** jam **09.00 WIB** telah diselenggarakan **UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR** Program Sarjana Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:

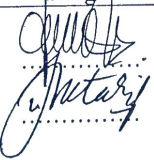
NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
03111645000001	Fathirul Rachman	Alternatif Perbaikan Tanah Dasar dan Perkuatan Timbunan pada Jalan Tol Krian - Legundi - Bunder - Manyar (STA 0+610 s/d STA 0+900)

Dengan Hasil :

<input type="checkbox"/> Lulus Tanpa Perbaikan <input checked="" type="checkbox"/> Lulus Dengan Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Seminar dan Lisan <input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Lisan
--	--

Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :

1. Jarak stone column = 1,2 m sehingga Mres yang dipakai $1/2 \times Mres$ dan hasil program bantu.
2. Cek perhit. kebutuhan geotextile $1/4$ timbunan tegak
3. Beri penjelasan pada Tabel 5.6
4. Gambar 5.13 cek knp ada cacangan & settlement yg tjd tdk sama dgn perhit. manual
5. Cek perhit. dt

Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Putu Tantri Kumala Sari, ST. MT	
Musta'in Arif, ST. MT	

Surabaya, 11 Juli 2018
 Dosen Pembimbing I

(Ketua)



Prof. Ir. Noor Endah, MSc. PhD

Dosen Pembimbing 2
 (Sekretaris)



Dr. Yudhi Lastiasih, ST. MT

Dosen Pembimbing 3
 (Sekretaris)



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc., Ph.D.
NAMA MAHASISWA	: Fathirul Rachman
NRP	: 0311164500001
JUDUL TUGAS AKHIR	: Alternatif Perbaikan Tanah Dasar dan Penguatan Timbunan Pada Jalan To KLBm STA 0+610 sd STA 0+900
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	1/3 18	Analisa data tanah dari laboratorium dan lapangan	Analisa data tanah menggunakan Statistika. Buatlah korelasi grafik data yang tidak diketahui	<u>Noor</u>
2	19/3 18	Analisa Statistik data tanah.	Lanjutkan Perhitungan Tinggi timbunan.	<u>Noor</u>
3	2/4 18	Asistensi Hasil Perhitungan H _{initial} , H _{final} pemampatan	Perbaiki Grafik H _{final} dan Pemampatan. Lanjutkan Perhitungan.	<u>Noor</u>
4	11/4 18	Asistensi Perhitungan PVD dan Perimbunan bertahap.	Cari rate Settlement	<u>Noor</u>
5	29/4 18	Asistensi Penguatan Menggunakan Geotekstil dan Geogrid	Sr Geogrid Setinggi Multi-blok. Cek bearing Geogrid.	<u>Noor</u>
6	25/5 18	Asistensi Penguatan Menggunakan Stone Column	Perbaiki Perhitungan berat laporan	<u>Noor</u>
7	2/6 18	Asistensi Laporan	Revisi laporan	<u>Noor</u>

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Fathirul Rachman dilahirkan di Jombang, 05 Maret 1994, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Kepanjen 1 Jombang, SMP Negeri 1 Jombang, kemudian SMA Negeri 3 Jombang. Setelah lulus dari pendidikan Sekolah Menengah Atas pada tahun

2012, Penulis mengikuti ujian masuk Diploma ITS dan diterima di jurusan DIII Teknik Sipil pada tahun 2012, terdaftar dengan NRP 3112.030.030. Di jurusan DIII Teknik Sipil ini penulis mengambil Program Studi Bangunan Gedung. Pada tahun 2016, Penulis mengikuti ujian masuk Program S1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil dan diterima dan terdaftar dengan NRP 3116.105.001. Penulis Aktif dalam beberapa organisasi mahasiswa dan Aktif dalam kegiatan kepanitiaan mahasiswa serta Aktif dalam bidang keilmiahan. Penulis bisa dihubungi melalui *email* fathirulrachman@gmail.com