



---

**TUGAS AKHIR (RC-14-1501)**

**SISTEM PERBAIKAN TANAH PADA JALAN LINGKAR  
LUAR TIMUR SURABAYA PADA STA 11+850 SAMPAI  
DENGAN STA 13+850**

**GALIH WICAKSONO  
NRP 3111 100 103**

**Dosen Pembimbing I  
Ir. Suwarno, M.Eng**

**Dosen Pembimbing II  
Putu Tantri, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2015**



---

**FINAL PROJECT (RC-14-1501)**

**SOIL REPAIR SYSTEM ON THE EAST OUTER  
RING ROAD IN SURABAYA STA 11 + 850 UP TO  
STA 13 + 850**

**GALIH WICAKSONO  
NRP 3111 100 103**

**Dosen Pembimbing I  
Ir. Suwarno, M.Eng**

**Dosen Pembimbing II  
Putu Tantri, ST., MT.**

**DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2015**

**SISTEM PERBAIKAN TANAH PADA  
JALAN LINGKAR LUAR TIMUR SURABAYA  
PADA STA 11+850 SAMPAI DENGAN STA 13+850**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat**

**Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**pada**

**Bidang Studi Geoteknik**

**Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil**

**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

Oleh:

**GALIH WICAKSONO**

**3111 100 103**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

**Pembimbing I:**

**Ir. Suwarno, M.Eng**

**NIP. 195909271986031003**

**Pembimbing II:**

**Putu Tantri, S.T., M.T.**

**NIP. 198611022014042004**



**SURABAYA**

**JUNI, 2015**

## **SISTEM PERBAIKAN TANAH JALAN LINGKAR LUAR TIMUR SURABAYA PADA STA 11+850 S.D. STA 13+850**

**Nama Mahasiswa** : Galih Wicaksono  
**NRP** : 3111100103  
**Jurusan** : Teknik Sipil  
**Dosen Pembimbing 1** : Ir. Suwarno, M.Eng  
**Dosen Pembimbing 2** : Putu Tantri, ST., MT.

### **ABSTRAK**

*Jalan Lingkar Luar Timur merupakan akses baru yang direncanakan sebagai alternatif jalur masuk Surabaya. Jalan ini nanti akan menghubungkan Jembatan Suramadu dan Bandara Juanda.*

*Dalam tugas akhir ini akan dibandingkan penggunaan timbunan miring dan timbunan tegak pada STA 11+850 sampai STA 13+850 serta pada STA 12+550 direncanakan underpass. Geotextile dan micropile sebagai alternatif perkuatan timbunan miring. Geotextile Wall sebagai alternatif perkuatan timbunan tegak.*

*Karena Pemampatan yang lama, sehingga digunakan PVD untuk mempercepat proses pemampatan. PVD dipasang dengan pola segitiga dengan jarak  $S = 0,9$  m (timbunan setinggi 3 meter) dan jarak  $S = 1,1$  m (timbunan setinggi 5 meter). Waktu konsolidasi yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi  $>90\%$  adalah 10 minggu untuk timbunan setinggi 3 meter dan 17 minggu untuk timbunan setinggi 5 meter.*

*Perencanaan ini menghasilkan tipe perkuatan timbunan yang paling ekonomis dari segi harga bahan. Dari hasil perhitungan diperoleh kebutuhan perkuatan timbunan sebagai berikut : 1) Perkuatan geotextile yang dibutuhkan pada timbunan miring setinggi 3 meter adalah 14 lapis, sedangkan pada timbunan miring setinggi 5 meter adalah 27 lapis. 2) kebutuhan*

*geotextile sebagai dinding penahan tanah yang dibutuhkan pada timbunan tegak setinggi 3 meter adalah 8 lapis dengan  $S_v = 0,5$  meter pada  $z = 0$  s.d.  $z = 1,5$  meter dan  $S_v = 0,3$  meter pada  $z = 1,5$  s.d.  $z = 3$ , sedangkan pada timbunan tegak setinggi 5 meter adalah 13 lapis dengan  $S_v = 0,5$  meter pada  $z = 0$  s.d.  $z = 3,5$  meter dan  $S_v = 0,25$  meter pada  $z = 3,5$  s.d.  $z = 5$  meter. 3) Perkuatan micropile 300 mm sebagai cerucuk yang dibutuhkan pada timbunan miring setinggi 3 meter adalah 20 buah, sedangkan pada timbunan miring setinggi 5 meter adalah 36 buah. Dari segi harga total bahan yang diperlukan, perkuatan paling ekonomis menggunakan geotextile wall dengan total biaya Rp. 1.367.590.000 untuk timbunan setinggi 3 meter dan Rp. 235.200.000 untuk timbunan setinggi 5 meter. Pada perencanaan underpass digunakan Box 4000/5000 PT. Lisa Concrete Indonesia dengan tulangan yang dibutuhkan adalah D19-150.*

**Kata kunci : Jalan, Timbunan, Preloading, PVD, Gesotextile, Micropile, Geotextile Wall, Box Culvert, Underpass.**

# SOIL REPAIR SYSTEM ON THE EAST OUTER RING ROAD IN SURABAYA STA 11 + 850 UP TO STA 13 + 850

**Nama Mahasiswa** : Galih Wicaksono  
**NRP** : 3111100103  
**Jurusan** : Teknik Sipil  
**Dosen Pembimbing 1** : Ir. Suwarno, M.Eng  
**Dosen Pembimbing 2** : Putu Tantri, ST., MT.

## **ABSTRACT**

*East Outer Ring Road is a planned new access as an alternative entry point to Surabaya. This road will connect the Suramadu bridge and Juanda Airport.*

*In this final project will be compared to the use of slope embankment and upright embankment on STA STA 11 + 850 to 13 + 850 and the STA 12 + 550 planned underpass. Geotextile and micropile as an alternative to strengthening the slope embankment. Geotextile Wall and Ground anchor as an alternative to strengthening the upright embankment.*

*Because the compression of time, so it is used to accelerate the process of compression PVD. PVD fitted with triangular pattern with a distance  $S = 0.9$  m (pile as high as 3 meters) and the distance  $S = 1.1$  m (5-meter-high pile). Time consolidation needed to achieve the degree of consolidation of  $> 90\%$  is 10 weeks to pile as high as 3 meters and 17 weeks for the heap as high as 5 meters.*

*This plan resulted in the type of reinforcement embankment of the most economical in terms of material cost. From the calculations, the need for strengthening the embankment as follows: 1) the need geotextile at sloping piles as high as 3 meters is 14 layers, while the sloping embankment as high as 5 meters is 27 layers. 2) the need geotextile as needed*

*retaining wall on an upright pile as high as 3 meters is 8 ply with  $S_v = 0.5$  meters at  $z = 0$  sd  $z = 1.5$  meters and 0.3 meters at  $S_v = z = 1.5$  sd  $z = 3$ , while the upright pile as high as 5 meters is 13 layers with  $S_v = 0.5$  meters at  $z = 0$  sd  $z = 3.5$  meters and 0.25 meters at  $S_v = z = 3.5$  sd  $z = 5$  meters. 3) the need micropile size 300 mm as required cerucuk on sloping piles as high as 3 meters is 20 pieces, while the sloping embankment as high as 5 meters is 36 pieces. In terms of the total price of the necessary materials, the most economical use of geotextile reinforcement wall with the total cost. 1.36759 billion to embankment as high as 3 meters and Rp. 235.2 million for the 5-meter-high pile. In planning the underpass used Box 4000/5000 PT. Lisa Concrete Indonesia.*

**Kata kunci : Jalan, Timbunan, Preloading, PVD, Gesotextile, Micropile, Geotextile Wall, Panel Beton.**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan YME atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Sistem Perbaikan Tanah Jalan Lingkar Luar Timur Surabaya STA 11+850 s.d. STA 13+850” dapat terselesaikan tepat pada waktunya.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak memperoleh bantuan dan bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua dan kakak-kakak penulis yang selalu memberikan kasih sayang, doa dan dukungan kepada penulis.
2. Segenap keluarga besar penulis yang telah memberikan doa dan dukungan yang begitu besar.
3. Bapak Ir. Suwarno, M.Eng. selaku dosen pembimbing I atas bimbingan dan bantuan ketika penulis mengalami kesulitan dalam pengerjaan dan penyelesaian Tugas Akhir.
4. Ibu Putu Tantri, ST., MT. selaku dosen pembimbing II atas bimbingan dan bantuan ketika penulis mengalami kesulitan dalam pengerjaan dan penyelesaian Tugas Akhir.
5. Para BFN : Egy, Dyah, Titi, Desta, Amik, dan Obeng, Marning, Rani, Ian, atas kepedulian, dan pengobaran semangat dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir, serta canda tawa yang memenuhi hari-hari selama masa kuliah walaupun terpisahkan oleh jarak.
6. Andre, Anita, Bobby, Brima, Caca, Carisaa, Cicha, Dedy, Diana, Dudun, Epi, Finna, Firna, Gleny, Jerry, Ichsan R., Indrayon, Icha, Kiki, Lisa, Michael, Nindi, Owik, Rasti, Regi, Reta, Revi, Sauqi, Sisy, Widya atas bantuan, kepedulian, dan pengobaran semangat dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir, serta kekonyolan, ketidakberaturan, pendawasaan, dan segala suatu bantuan kalian yang memenuhi selama 4 tahun ini. Terima kasih telah menjadi



sahabat serta teman yang baik selama masa kuliah.

7. Teman-teman Kerajaan Bumi yang telah berjuang bersama-sama dalam pengerjaan Tugas Akhir bidang Geoteknik.
8. Teman-teman Jurusan Teknik Sipil Angkatan 2011, terimakasih banyak untuk segala bantuan dan semangat, canda tawa, dan senang sedih sejak penulis memasuki awal perkuliahan.
9. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak. Penulis juga mohon maaf atas segala kekurangan yang ada pada buku Tugas Akhir ini. Manusia adalah tempat kesalahan dan kesempurnaan hanya milik Tuhan YME.

## DAFTAR ISI

Abstrak.....	i
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel.....	xv
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Kemampuan Mampat Tanah.....	5
2.2 Asumsi Beban Lalu Lintas.....	9
2.3 Prinsip Penentuan Tinggi Timbunan Awal dan Akhir.....	11
2.4 Waktu Konsolidasi Tanah Dasar.....	12
2.5 Prinsip <i>Vertical Drain</i> .....	14
2.6 Kenaikan Daya Dukung Tanah.....	20
2.7 Perkuatan Tanah dengan Geosintetik.....	21
2.7.1 Penggunaan <i>Geotextile</i> Sebagai Konstruksi Perkuatan Timbunan.....	21
2.7.2 Prinsip Desain Stabilitas Timbunan yang Diperkuat Geotextile.....	23
2.7.3 Prinsip <i>Geotextile</i> untuk Dinding Penahan Tanah.....	25
2.8 Perkuatan Tanah Menggunakan Cerucuk.....	28
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	33
3.1 Studi Literatur.....	36
3.2 Input Data Lapangan.....	36
3.3 Perencanaan Tinggi Awal Timbunan.....	37
3.4 Metode Perbaikan Tanah.....	37
3.5 Perencanaan Perkuatan Timbunan.....	37
3.6 Daya Dukung dan Stabilitas.....	37
3.7 Kesimpulan.....	38

<b>BAB IV. DATA PERENCANAAN</b> .....	39
4.1 Data Tanah Asli .....	39
4.1.1 Parameter Data Tanah .....	39
4.1.2 Nilai NSPT Terkoreksi .....	39
4.2 Data Timbunan .....	41
4.3 Data <i>Geotextile</i> .....	43
4.4 Data <i>Micropile</i> .....	44
4.5 Data <i>Box Culvert</i> .....	44
<b>BAB V. PERENCANAAN TIMBUNAN</b> .....	47
5.1 Perencanaan Beban .....	47
5.2 Perhitungan Besar Konsolidasi .....	48
5.3 Penentuan Tinggi Awal Timbunan (Hinitial) .....	49
5.4 Perhitungan Kebutuhan PVD .....	53
5.5 Perencanaan Perkuatan Timbunan .....	57
5.5.1 Perencanaan Perkuatan <i>Geotextile</i> .....	59
5.5.2 Perencanaan Perkuatan <i>Geotextile Wall</i> .....	63
5.5.3 Perencanaan Perkuatan <i>Micropile</i> Sebagai Cerucuk .....	66
5.6 Analisa Biaya Perkuatan .....	72
<b>BAB VI. PERENCANAAN UNDERPASS</b> .....	73
6.1 Analisa Gaya pada <i>Box Culvert</i> .....	73
6.2 Perhitungan Kebutuhan Tulangan <i>Box Culvert</i> .....	74
<b>BAB VII. KESIMPULAN</b> .....	77
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	xvii
<b>LAMPIRAN</b> .....	xix

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan U dan Tv.....	14
Tabel 2.2 Nilai Faktor Geotekstil.....	24
Tabel 4.1 Parameter Tanah Dasar.....	39
Tabel 4.2 Tabel Koresksi NSPT.....	40
Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi untuk Berbagai Macam Besar Beban pada Timbunan Miring.....	48
Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi untuk Berbagai Macam Besar Beban pada Timbunan Tegak.....	49
Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Penurunan, Tinggi Awal, dan Tinggi Akhir pada Timbunan Miring Setinggi 3 meter.....	49
Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Penurunan, Tinggi Awal, dan Tinggi Akhir pada Timbunan Tegak Setinggi 3 meter.....	50
Tabel 5.5 Besar Tinggi Timbunan Awal.....	53
Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Faktor <i>Vertical Drain</i> Pola Segitiga.....	54
Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Faktor <i>Vertical Drain</i> Pola Segiempat.....	54
Tabel 5.8 Hasil Perhitungan $U_{rata-rata}$ PVD Pola Segitiga.....	55
Tabel 5.9 Hasil Perhitungan $U_{rata-rata}$ PVD Pola Segiempat.....	55
Tabel 5.10 Hasil Analisa dengan Program XSTABL.....	59
Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Panjang <i>Geotextile</i> Timbunan Miring 3 Meter (Setengah Timbunan).....	60
Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Panjang <i>Geotextile</i> Timbunan Miring 5 Meter (Setengah Timbunan).....	60
Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Kebutuhan <i>Geotextile</i> Timbunan Miring 3 Meter.....	61
Tabel 5.14 Hasil Perhitungan Kebutuhan <i>Geotextile</i> Timbunan Miring 5 Meter.....	61
Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Jarak Pemasangan <i>Geotextile Wall</i> Pada Timbunan Tegak 3 Meter.....	64
Tabel 5.16 Hasil Perhitungan Jarak Pemasangan <i>Geotextile Wall</i> Pada Timbunan Tegak 5 Meter.....	64

Tabel 5.17 Hasil Perhitungan Kebutuhan Panjang <i>Geotextile Wall</i> Pada Timbunan Tegak 3 Meter.....	65
Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Kebutuhan Panjang <i>Geotextile Wall</i> Pada Timbunan Tegak 5 Meter.....	65
Tabel 5.19 Hasil Perhitungan Kebutuhan <i>Micropile</i> .....	69
Tabel 5.20 Rekap biaya perkuatan.....	102
Tabel 6.1 Rekap Analisa gaya menggunakan SAP2000.....	106

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Layout</i> Perencanaan Jalan Lingkar Luar Timur Surabaya.....	2
Gambar 2.1 Grafik Influence Factor untuk beban trapesium.....	7
Gambar 2.2 Grafik Influence Factor untuk beban segiempat.....	8
Gambar 2.3 Penentuan Nilai $\Delta\sigma$ .....	9
Gambar 2.4 Kurva Hubungan Antara Tebal Timbunan dengan Intensitas Beban yang Bersesuaian dengan Beban Traffic.....	11
Gambar 2.5 Konsolidasi Akibat Timbunan.....	12
Gambar 2.6 Prinsip Kerja PVD.....	15
Gambar 2.7 Pola Pemasangan PVD Bujursangkar.....	16
Gambar 2.8 Pola Pemasangan PVD Segitiga.....	16
Gambar 2.9 Diameter Ekuivalen PVD.....	18
Gambar 2.10 <i>Internal Stability</i> .....	23
Gambar 2.11 <i>Overall Stability</i> .....	24
Gambar 2.12 Geotekstil.....	24
Gambar 2.13 Proses pembuatan dinding penahan tanah dengan penggunaan geotekstil sebagai “reinforcement ”.....	25
Gambar 2.14 Prinsip Beban yang Bekerja Pada <i>Geotextile Wall</i> .....	26
Gambar 2.15 <i>External Stability</i> Pada <i>Geotextile Walls</i> .....	27
Gambar 2.16 Sketsa Peningkatan Kekuatan Geser Tanah dengan Cerucuk.....	28
Gambar 2.17 Grafik Penentuan Harga $f$ .....	29
Gambar 2.18 Grafik Penentuan Harga $F_M$ .....	30
Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	36
Gambar 4.1 Visualisasi Tanah Dasar.....	41
Gambar 4.2 Visualisasi Timbunan Miring 3 meter.....	42
Gambar 4.3 Visualisasi Timbunan Miring 5 meter.....	42
Gambar 4.4 Visualisasi Timbunan Tegak 3 meter.....	43
Gambar 4.5 Visualisasi Timbunan Tegak 5 meter.....	43
Gambar 4.6 Lokasi <i>Underpass</i> pada STA 12+550 s.d. STA 12+559.....	44
Gambar 4.7 Potongan <i>Underpass</i> pada STA 12+550.....	45

Gambar 5.1 Grafik Hubungan antara $H_{final}$ dan $H_{initial}$ pada Timbunan Miring.....	51
Gambar 5.2 Grafik Hubungan antara $H_{inisial}$ dan $S_c$ pada Timbunan Miring.....	51
Gambar 5.3 Grafik Hubungan antara $H_{final}$ dan $H_{initial}$ pada Timbunan Tegak.....	52
Gambar 5.4 Grafik Hubungan antara $H_{inisial}$ dan $S_c$ pada Timbunan Tegak.....	52
Gambar 5.5 Grafik Hubungan $U$ dengan Waktu Timbunan dengan PVD Pola Segitiga.....	56
Gambar 5.6 Grafik Hubungan $U$ dengan Waktu Timbunan dengan PVD Pola Segiempat.....	57
Gambar 5.7 Hasil Analisa Kelongsoran Timbunan Miring Setinggi 3 meter dengan Program XSTABL.....	58
Gambar 5.8 Hasil Analisa Kelongsoran Timbunan Miring Setinggi 5 meter dengan Program XSTABL.....	58
Gambar 5.9 Ilustrasi Pemasangan <i>Geotextile</i> Pada Timbunan Miring 3 meter.....	63
Gambar 5.10 Ilustrasi Pemasangan <i>Geotextile</i> Pada Timbunan Miring 5 meter.....	63
Gambar 5.11 Ilustrasi Pemasangan <i>Geotextile Wall</i> Pada Timbunan Tegak 3 meter.....	66
Gambar 5.12 Ilustrasi Pemasangan <i>Geotextile Wall</i> Pada Timbunan Tegak 5 meter.....	66
Gambar 5.13 Ilustrasi Pemasangan <i>Micropile</i> Pada Timbunan Miring 3 meter.....	70
Gambar 5.14 Tampak Atas Pemasangan <i>Micropile</i> Pada Timbunan Miring 3 meter.....	70
Gambar 5.15 Ilustrasi Pemasangan <i>Micropile</i> Pada Timbunan Miring 5 meter.....	71
Gambar 5.16 Tampak Atas Pemasangan <i>Micropile</i> Pada Timbunan Miring 5 meter.....	71
Gambar 6.1 Analisa Momen berdasarkan Program SAP2000.....	73
Gambar 6.2 Kebutuhan Tulangan <i>Box Culvert</i> .....	75
Gambar 6.3 Tampak Atas Kebutuhan Tulangan <i>Box Culvert</i> .....	76

Gambar 6.4 Tampak Samping Kebutuhan Tulangan..... 76



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah 1: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah 2: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Mochtar, Noor Endah. 2012. *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Surabaya: ITS Press.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Medan pada tanggal 24 Februari 1995, merupakan anak keempat dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Inpres Pa'baeng-baeng I Makassar, SMP Kristen Satya Wacana Salatiga, dan SMAN 5 Palembang. Setelah lulus dari SMAN 5 Palembang tahun 2011, penulis melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS dan terdaftar dengan NRP 3111100103.

Di Jurusan Teknik Sipil ITS ini, penulis mengambil tugas akhir di bidang Geoteknik. Penulis sempat aktif sebagai pengurus di Himpunan Mahasiswa Sipil pada Departemen Dana dan Usaha pada kepengurusan 2012/2013. Penulis juga aktif di beberapa kegiatan yang diselenggarakan baik oleh jurusan, fakultas, maupun institut. Penulis dapat dihubungi melalui email [galihcakson@yahoo.co.id](mailto:galihcakson@yahoo.co.id).

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kota Surabaya adalah ibu kota Provinsi Jawa Timur, Indonesia sekaligus menjadi kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta. Kota Surabaya juga merupakan pusat bisnis, perdagangan, industri, dan pendidikan di kawasan Indonesia bagian timur. Dengan kondisi seperti ini, dibutuhkan akan adanya pengembangan sistem transportasi yang handal yang berbasis pada transportasi darat.

Keberhasilan pembangunan transportasi darat di Surabaya membawa pengaruh terhadap tingkat aktifitas dan mobilitas penumpang dan barang cukup tinggi yang pada akhirnya mempunyai pengaruh terhadap kondisi lalu lintas dan angkutan jalan pada seluruh jaringan jalan yang ada. Sebagaimana kita ketahui bahwa sektor transportasi merupakan bagian yang dominan dalam pembangunan dibidang politik, sosial, budaya dan pertahanan keamanan sehingga penyelenggaraan jasa transportasi haruslah dilaksanakan secara cepat, lancar, tertib, teratur dan terjangkau oleh kemampuan masyarakat, mengingat jalur jalan konvensional memiliki tingkat kepadatan yang luar biasa. Proyek jalan lingkar (*outer ring road*) menjadi salah satu alternatif agar mobilitas barang, jasa maupun orang dapat lancar sehingga pergerakan ekonomi semakin lancar.

Di Surabaya, akses utama menuju pusat kota yaitu melalui Jalan Ahmad Yani dan untuk daerah Surabaya timur memiliki *Middle East Ring Road* (MERR). Akan tetapi pada *Middle East Ring Road* (MERR) belum terhubung langsung dengan akses dari Bandara. Oleh karena itu, dibuatlah akses baru yaitu Jalan Lingkar Timur Surabaya. Jalan lingkar luar timur ini direncanakan akan melintasi lima kecamatan, mulai Kecamatan Bulak, Mulyorejo, Sukolilo, Rungkut, hingga Gunung Anyar. Proyek tersebut akan tersambung dengan wilayah Sidoarjo di kawasan Tambak Oso, Kecamatan Waru. Kawasan itu merupakan

akses menuju Bandara Juanda. Jalan ini nanti akan menghubungkan Jembatan Suramadu dan Bandara Juanda. Sehingga Jalan Lingkar Luar Timur Surabaya mempunyai panjang 15,75 km.



Gambar 1.1 *Layout* Perencanaan Jalan Lingkar Luar Timur Surabaya  
(Sumber : maps.google.com)

Jalan Lingkar Luar Timur Surabaya mempunyai dua macam konstruksi yaitu timbunan. Pada STA 11+850 s.d. STA 12+450 dan STA 12+659 s.d. STA 13+850 direncanakan timbunan setinggi 3 meter dan pada bagian oprit *underpass* direncanakan tinggi timbunan setinggi 5 meter.

Pada daerah perencanaan (STA 11+850 s.d. STA 13+850) memiliki tanah dasar yang lunak. Yang dimaksud dengan tanah dasar yang lunak adalah tanah asli yang terdiri dari lapisan-lapisan tanah yang memiliki konsistensi sangat lunak hingga lunak yang mempunyai kelemahan yaitu memiliki daya dukung tanah yang relatif sangat rendah, sehingga tidak dapat mendukung timbunan *embankment* jalan yang agak tinggi serta memiliki

penurunan jangka panjang (*consolidation settlement*) yang relatif besar. Karena masalah di atas, pada tanah dasar diperlukan perlakuan tertentu yang membuatnya lebih stabil. Pada Proyek jalan lingkaran tersebut digunakan alternatif perkuatan tanah dasar dengan menggunakan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* dan *Preloading*. Selain itu direncanakan timbunan setinggi 3 meter yang memiliki potensi longsor, sehingga dibandingkan perkuatan *Geotextile* dan *Micropile* sebagai perkuatan timbunan lereng serta *Geotextile Wall* sebagai dinding penahan tanah sebagai perkuatan timbunan tegak dan dari ketiga perkuatan tersebut manakah yang paling ekonomis.

Pada *underpass* direncanakan *box culvert* yang dibutuhkan. Karena adanya *box culvert* sehingga dilakukan kontrol stabilitas tanah. Kemudian direncanakan perkuatan pada *box culvert* apabila dibutuhkan. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk dilakukan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam perencanaan ini :

1. Berapa besar penurunan jangka panjang (*consolidation settlement*) yang terjadi akibat beban timbunan diatas tanah tersebut.
2. Berapa tinggi timbunan awal pada Jalan Lingkaran Timur Surabaya di STA 11+850 s.d. STA 13+850
3. Berapa kebutuhan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* yang akan dipasang pada Jalan Lingkaran Timur Surabaya di STA 11+850 s.d. STA 13+850.
4. Berapa kebutuhan *Geotextile, Micropile, Geotextile Wall*, untuk perkuatan stabilitas timbunan.
5. Berapa tulangan *box culvert* yang dibutuhkan untuk perencanaan *Underpass* pada STA 12+550

### 1.3 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam perencanaan ini sebagai berikut :

1. Mengetahui besar penurunan jangka panjang (*consolidation settlement*) yang terjadi akibat beban timbunan diatas tanah tersebut.
2. Memperoleh tinggi timbunan awal pada Jalan Lingkar Timur Surabaya di STA 11+850 s.d. STA 13+850.
3. Mengetahui kebutuhan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) yang akan dipasang pada Jalan Lingkar Timur Surabaya di Kecamatan Rungkut.
4. Mengetahui kebutuhan *Geotextile, Micropile, Geotextile Wall* untuk perkuatan stabilitas timbunan.
5. Mengetahui tulangan *box culvert* yang dibutuhkan untuk perencanaan *Underpass* pada STA 12+550

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam perencanaan Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Studi ini tidak meninjau mengenai konstruksi perkerasan, tapi hanya menganalisis metode perbaikan tanah dasar dan stabilitas timbunan.
2. Tidak membahas drainase jalan.
3. Data tanah merupakan data tanah sekunder

### 1.5 Manfaat

Hasil perencanaan timbunan ini dapat berguna sebagai referensi dalam pembangunan Jalan Lingkar Luar Timur Surabaya yang berlokasi di daerah Rungkut, Surabaya Timur, beserta konstruksi lain yang memiliki karakteristik tanah yang kurang lebih sama dengan tanah Jalur Lingkar Luar Timur Surabaya STA 11+850 s.d. STA 13+850.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kemampuan Mampat Tanah

Penurunan atau yang biasa disebut dengan *settlement* pada tanah disebabkan oleh pembebanan yang terjadi di atas lapisan tanah. *Settlement* dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, antara lain:

1) Penurunan Konsolidasi (*consolidation settlement*)

Penurunan konsolidasi merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.

2) Penurunan Segera (*immediate settlement*)

Penurunan segera merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas. (Das, Braja M. 1985)

Adapun dua definisi dasar konsolidasi yang didasarkan pada sejarah tegangan yang pernah dialami tanah, antara lain:

1) Tanah *Nomally Consolidated* (NC Soil)

Adalah tanah dimana tekanan efektif overburden pada saat dibebani adalah tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah tersebut.

2) Tanah *Over Consolidated* (OC Soil)

Adalah tanah dimana tekanan efektif overburden pada saat dibebani nilainya lebih kecil dari tekanan yang pernah dialami oleh tanah tersebut sebelumnya. Tekanan efektif overburden maksimum yang pernah dialami sebelumnya dinamakan tekanan prakonsolidasi.

Selain itu, formula yang dipakai untuk menghitung besar konsolidasi ( $S_c$ ) yang telah dikembangkan oleh Terzaghi (1942) adalah sebagai berikut:

- Besar pemampatan untuk tanah NC Soil :

$$S_{ci} = \frac{H}{1+e_o} \left[ C_c \log \left( \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \quad (2.1)$$

- Besar pemampatan untuk tanah OC Soil :  
Bila  $(\sigma'_0 + \Delta\sigma) \leq \sigma_c'$

$$S_{ci} = \frac{H}{1+e_o} \left[ C_s \log \left( \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \quad (2.2)$$

$$S_{ci} = \left[ \frac{H}{1+e_o} C_s \log \frac{\sigma_c'}{\sigma_o'} \right] + \left[ \frac{H}{1+e_o} C_c \log \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_c'} \right] \quad (2.3)$$

Dimana:

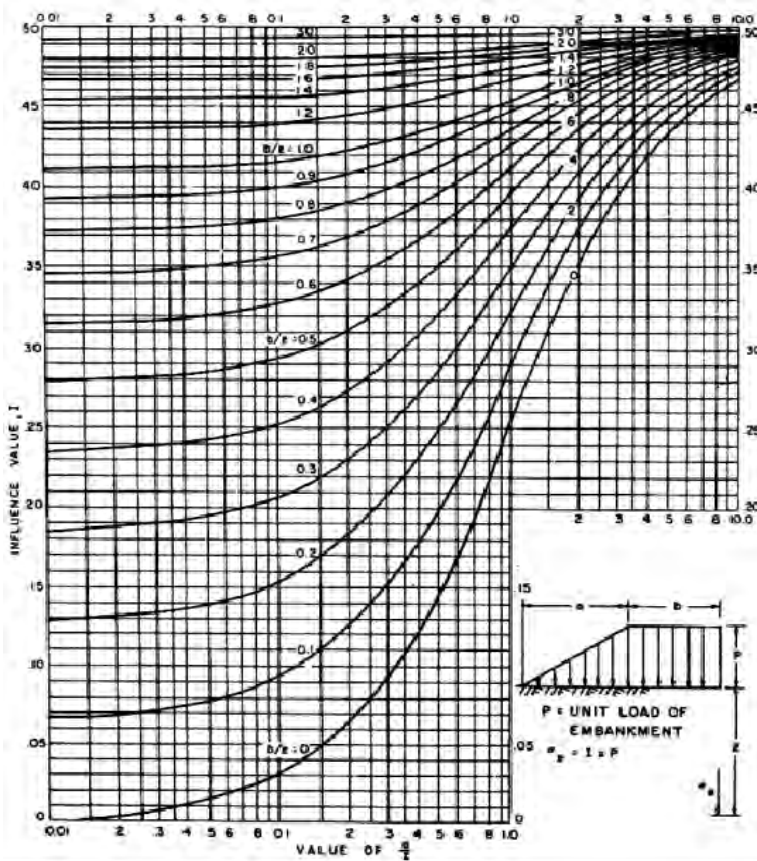
- $S_{ci}$  : pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah ke-i  
 $H_i$  : tebal lapisan tanah ke -i  
 $e_o$  : angka pori awal dari lapisan tanah ke -i  
 $C_c$  : indeks kompresi dari lapisan tanah ke -i  
 $C_s$  : indeks mengembang dari lapisan tanah ke -i  
 $\sigma'_0$  : tekanan tanah vertikal evertif dari suatu titik ditengah tengah lapisan ke-i akibat beban tanah sendiri diatas titik tersebut (*effective overburden pressure*)  
 $\sigma_c'$  : tegangan konsolidasi efektif di masa lampau (*effective past overburden pressure*)  
 $\Delta\sigma$  : penambahan tegangan vertikal yang ditinjau (detengah lapisan ke-i) akibat beban timbunan yang baru (beban luar)

$$\Delta p = \sigma_z = 2 \times I \times q \quad (2.4)$$

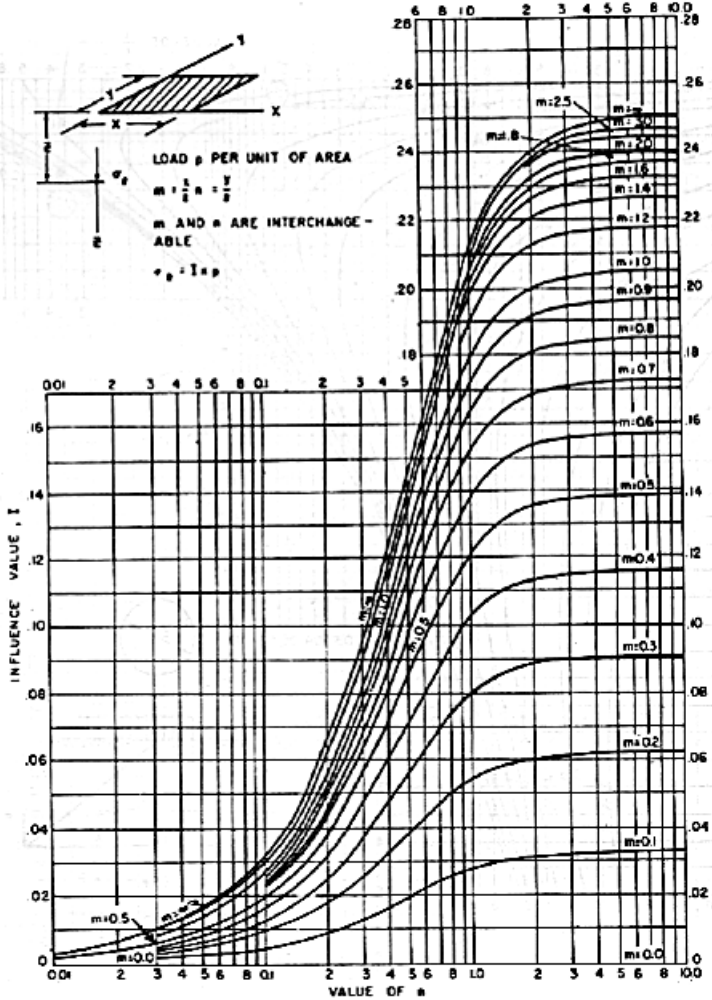
Dimana:

$q$  = tegangan vertikal efektif di muka tanah berupa timbunan

I = faktor pengaruh dari kurva NAVFAC DM-7, 1970 yang dapat dilihat pada gambar 2.1

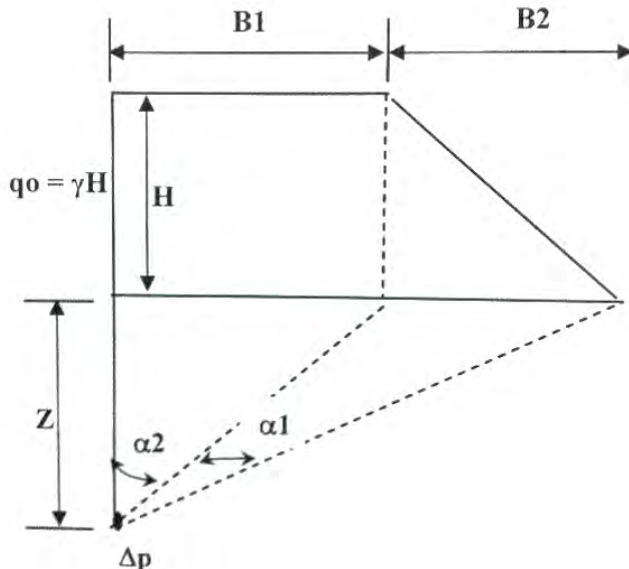


**Gambar 2.1** Grafik *Influence Factor* untuk beban trapezium  
(Sumber: Navfac,1970)



**Gambar 2.2** Grafik Influence Factor untuk beban segiempat  
(Sumber: Navfac,1970)

Adapun harga  $\Delta\sigma$  juga dapat dicari dengan menggunakan persamaan:



**Gambar 2.3** Penentuan Nilai  $\Delta\sigma$   
(sumber : Das, Braja M. 1985)

$$\Delta\sigma = - \left[ \frac{q_0}{z} \cdot \left( \alpha_2 - \alpha_1 \right) - \frac{2}{z} \right] \quad (2.5)$$

Dimana:

$q$  = beban timbunan

= tegangan akibat pengaruh timbunan

=  $\tan^{-1} \frac{B_2}{z} - \tan^{-1} \frac{B_1}{z}$  (radian)

=  $\tan^{-1} \frac{B_1}{z}$  (radian)

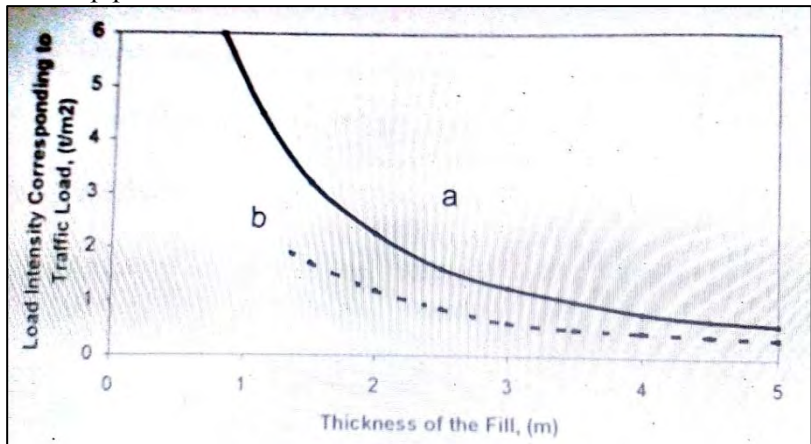
$B_1$  = lebar timbunan

$B_2$  = panjang proyeksi horizontal kemiringan timbunan

## 2.2 Asumsi Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas dapat menyebabkan penurunan tanah dasar, untuk itu beban lalu lintas harus diperhitungkan sebagai tambahan

beban merata yang menyebabkan penurunan tanah. Menurut *Japan Road Association* (1986), JRA, beban lalu lintas diperhitungkan sebagai beban merata yang tergantung dari tinggi timbunan (lihat Gambar 2.2). Beban lalu lintas tersebut kemudian dapat dikorelasikan dalam tinggi timbunan tambahan yang di akhir waktu konsolidasi, tinggi tambahan tersebut dibongkar. Makin tebal tinggi timbunan, makin kecil pengaruh beban *traffic* terhadap penurunan tanah.



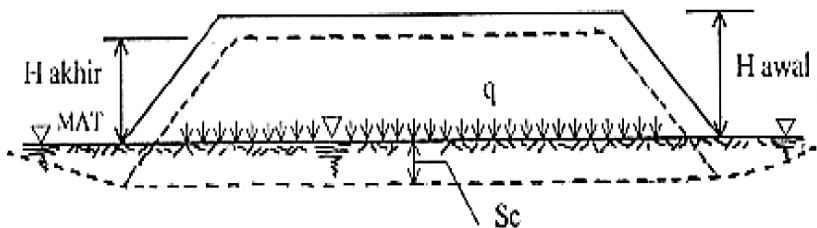
**Gambar 2.4** Kurva Hubungan Antara Tebal Timbunan dengan Intensitas Beban yang Bersesuaian dengan Beban Traffic (Sumber: JRA, 1986)

Hasil studi oleh JRA (1986) tersebut berlaku untuk suatu timbunan tanah asli yang belum diperbaiki. Untuk tanah asli yang sudah memampat akibat adanya *vertical drain*, pengaruh beban lalu lintas tersebut tidak sebesar aslinya. Jadi, dapat diasumsikan pengaruh beban lalu lintas pada tanah dasar yang telah terkonsolidasi hanya sebagian dari harga menurut JRA tersebut. Jika intensitas tersebut hanya  $\frac{1}{2}$  dari harga JRA, maka kurva hubungan mengikuti kurva b dari Gambar 2.2 tersebut.

### 2.3 Prinsip Penentuan Tinggi Timbunan Awal dan Akhir

Timbunan yang di letakkan di atas tanah dasar akan menjadi beban bagi tanah dasar itu sendiri. Maka apabila tanah tersebut berupa tanah dasar yang lembek, maka akan terjadi konsolidasi pada tanah dasar tersebut. Konsolidasi pada tanah dasar menyebabkan beban yang diletakkan di atasnya, dalam hal ini berupa timbunan, akan mengalami penurunan (*settlement*) setelah lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan. Selain itu, setelah timbunan mengalami pemampatan akan terjadi perubahan berat karena selama terjadi pemampatan sebagian tanah akan tenggelam berada dibawah permukaan air tanah. Oleh karena itu, tinggi timbunan awal harus lebih dari tinggi rencana agar didapatkan tinggi rencana timbunan setelah terjadinya *settlement* ( $H_{akhir}$ ) yang sesuai.

Berdasarkan penjelasan prinsip di atas, maka dapat disimpulkan gambaran seperti apa tinggi awal ( $H_{awal}$ ), tinggi akhir ( $H_{akhir}$ ), dan pengurangan tinggi timbunan awal akibat *settlement* ( $Sc$ ). Gambaran perencanaan timbunan dengan  $H_{awal}$  dan  $H_{akhir}$  , beserta sketsa terjadinya *settlement* terdapat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.5** Konsolidasi Akibat Timbunan  
(sumber : Mochtar, 2012)

Pada umumnya, pada bagian miring timbunan memiliki rasio kemiringan ( $z$ ) yaitu 1:1 atau 1:1,5. Perhitungan tinggi awal timbunan pada saat pelaksanaan adalah sebagai berikut:

$$q_{akhir} = q = (H_{awal} - Sc)\gamma_{timb} + Sc(\gamma_{sat-timb} - \gamma_w) \quad (2.6)$$

$$q = H_{\text{awal}} \times \gamma_{\text{timb}} - Sc \times \gamma_{\text{timb}} + Sc \times \gamma'_{\text{timb}} \quad (2.7)$$

$$q = H_{\text{awal}} \times \gamma_{\text{timb}} - Sc \times (\gamma_{\text{timb}} - \gamma'_{\text{timb}}) \quad (2.8)$$

$$H_{\text{awal}} = \frac{q - Sc \times (\gamma_{\text{timb}} - \gamma'_{\text{timb}})}{\gamma_{\text{timb}}} \quad (2.9)$$

**Bila  $\gamma_{\text{sat}} = \gamma_{\text{timb}}$ , maka:**

$$q = H_{\text{awal}} \times \gamma_{\text{timb}} - Sc \times \gamma_w \quad (2.10)$$

$$H_{\text{awal}} = \frac{q - Sc \times \gamma_w}{\gamma_{\text{timb}}} \quad (2.11)$$

$$\text{Jadi, } H_{\text{akhir}} = H_{\text{awal}} - Sc$$

## 2.4 Waktu Konsolidasi Tanah Dasar

Terjadinya konsolidasi pada tanah dasar memakan waktu yang cukup lama, terlebih lagi dalam situasi dimana tanah dasar berjenis tanah lempung. Perbandingan antara pemampatan tanah pada waktu  $t$  dengan pemampatan total terjadi disebut dengan derajat konsolidasi. Nilai derajat konsolidasi ini berkisar antara 0% sampai 100%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan perhitungan derajat konsolidasi dalam rumusan sebagai berikut:

$$U = \frac{St}{S} \times 100\% \quad (2.12)$$

Dimana :  
 $U$  = Derajat konsolidasi  
 $St$  = Pemampatan pada waktu  $t$   
 $S$  = Pemampatan total yang terjadi

Terdapat dua jenis pemampatan, yaitu *single drainage* dimana proses pemampatan terjadi karena keluarnya air pori ke lapisan yang lebih *porous*, yaitu ke atas saja atau ke bawah saja. Sementara itu pada suatu keadaan memungkinkan air pori keluar menuju dua arah, yakni ke atas dan kebawah. Kondisi tersebut dinamakan jenis pemampatan *double drainage*. Waktu konsolidasi dapat diasumsikan sebagai berikut:

$$t = \frac{T(H_{\text{dr}})^2}{C_v} \quad (2.13)$$

Dimana :  
 $t$  = waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pemampatan (konsolidasi)  
 $T$  = *time factor*  
 $H_{\text{dr}}$  = jarak terjauh air pori untuk mengalir keluar



$C_v$  = koefisien konsolidasi akibat aliran pori arah vertikal

Umumnya, pada kondisi lapangan biasa ditemui jenis tanah yang berbeda-beda dengan ketebalan tanah yang berbeda-beda pula. Pada kondisi demikian harga  $C_v$  gabungan dapat ditentukan dengan cara berikut :

$$C_v \text{ gabungan} = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{1}{\sqrt{C_{v2}}}} \quad (2.14)$$

Harga faktor waktu berhubungan dengan derajat konsolidasi, nilai, dari faktor waktu dapat diperoleh dengan melihat tabel variasi faktor terhadap derajat konsolidasi:

**Tabel 2.1** Hubungan U dan  $T_v$

U%	$T_v$
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	~

(sumber : Mochtar, 2012)

Kecepatan pemampatan pada umur jalan dapat dihitung melalui rumus berikut ini:

$$T_V = \frac{t(H_{dr})^2}{C_v} \quad (2.15)$$

Dimana :  $H_{dr}$  = jarak terjauh air pori untuk mengalir keluar

$C_v$  = koefisien konsolidasi akibat aliran pori arah vertikal

$t$  = waktu yang ditentukan

Untuk  $U$  antara 0-60%

$$U_V = \left( 2 \sqrt{\frac{T_V}{\pi}} \right) \times 100\% \quad (2.16)$$

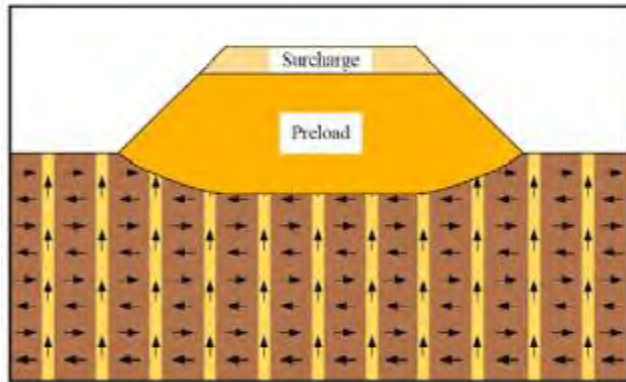
Untuk  $U > 60\%$

$$U_V = (100 - a) \% \text{ dimana nilai } a \text{ adalah}$$

$$a = \frac{1,781 - T_V}{0,933} \quad (2.17)$$

## 2.5 Prinsip Vertical Drain

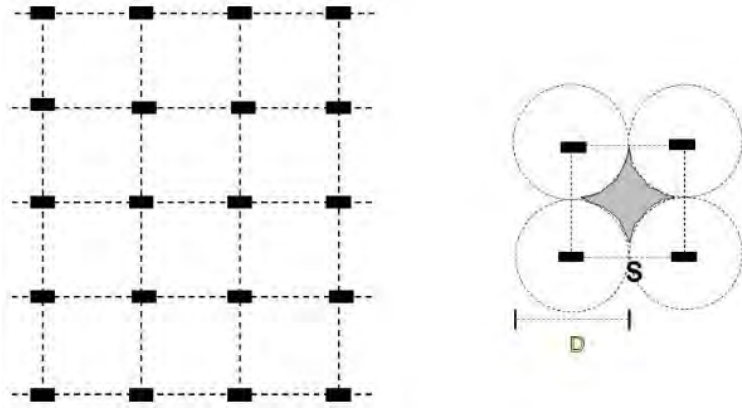
Tanah lempung lunak memiliki *permeabilitas* yang rendah, sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk menyelesaikan konsolidasi. Untuk mempersingkat waktu konsolidasi tersebut, drainase vertikal (*vertical drains*) dikombinasikan dengan teknik *preloading*. *Vertical drain* tersebut sebenarnya merupakan jalur drainase buatan yang dimasukkan kedalam lapisan lempung. Dengan kombinasi *preloading*, air pori diperas keluar selama konsolidasi dan mengalir lebih cepat pada arah horizontal daripada arah vertikal. Selanjutnya, air pori tersebut mengalir sepanjang jalur drainase vertikal yang telah diinstalasi. Oleh karena itu, *vertical drain* berfungsi untuk memperpendek jalur drainase dan sekaligus mempercepat proses konsolidasi.



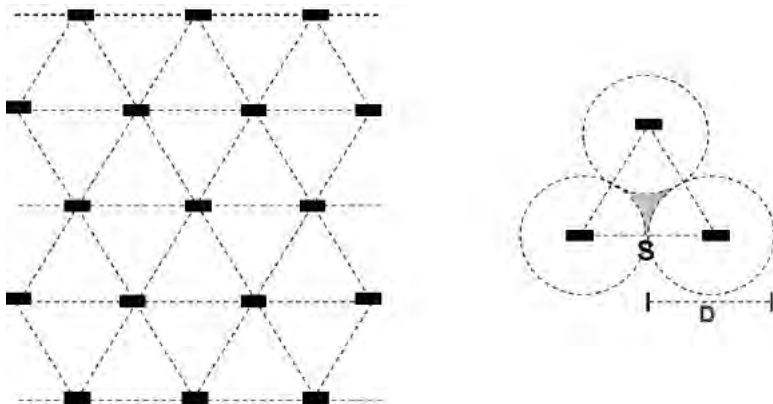
**Gambar 2.6** Prinsip Kerja PVD  
(Sumber : D.J.Moran,1925)

Metode tradisional yang digunakan dalam pemasangan vertical drains ini yaitu dengan membuat lobang bor pada lapisan lempung dan mengisi kembali dengan pasir yang bergradasi sesuai titik. Ukuran diameternya sekitar 200 - 600 mm dengan panjang saluran sedalam lebih dari 5 meter. Karena tujuannya untuk memperpendek panjang lintasan pengaliran, maka jarak antar drainase merupakan hal yang terpenting.

Prefabricated band shaped drains, metode penginstalan dengan driven atau vibratory closed-end mandrel. Istilah lain yang biasanya digunakan untuk tipe ini yaitu prefabricated vertical drain (PVD), umumnya berbentuk pita (band-shaped) dengan sebuah inti plastik beralur yang dibungkus dengan selubung filterterbuat dari kertas atau susunan plastik tak beranyam (non woven plastic fabric). Ukuran yang biasa digunakan yaitu lebar 10 cm dan tebal 0.4 cm. Biasanya gangguan yang disebabkan oleh penggunaan sistem drainase dengan PVD ini lebih kecil dibanding dengan sistem drainase pasir konvensional.



**Gambar 2.7** Pola Pemasangan PVD Bujursangkar  
(sumber: Mochtar, 2012)



**Gambar 2.8** Pola Pemasangan PVD Segitiga  
(sumber : Mochtar, 2012)

Fungsi  $F(n)$  dalam rumusan di atas merupakan fungsi hambatan akibat jarak antar titik pusat PVD. Berdasarkan hasil pengembangan oleh Hansbo (1979), harga  $F(n)$  didefinisikan sebagai berikut:

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

atau

$$F(n) = \left( \frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \left[ \ln(n) - 3/4 - \left( \frac{1}{4n^2} \right) \right] \quad (2.18)$$

Dimana:  $n = D/dw$   
 $dw =$  diameter ekivalen dari *vertical drain*  
 Pada umumnya  $n > 20$  sehingga dapat dianggap  
 $1/n = 0$

Jadi:  $F(n) = \ln(n) - 3/4$ , atau  
 $F(n) = \ln(D/dw) - 3/4$

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

$$t = \left( \frac{D^2}{8.Ch} \right) \cdot (F(n) + F_s + F_r) \cdot \ln \left( \frac{1}{1 - U_h} \right) \quad (2.19)$$

Dimana:  $F_s =$  faktor hambatan tanah yang terganggu  
 $F_r =$  faktor hambatan akibat gangguan pada  
 PVD sendiri

Harga  $F_r$  sendiri merupakan fakto tahunan akibat daya gangguan PVD dan dirumuskan sebgai berikut:

$$F_r = \pi.z.(L - Z) \cdot \left( \frac{kh}{qw} \right) \quad (2.20)$$

Dimana:  $z =$  kedalaman titik yang ditinjau terhadap  
 PVD  
 $L =$  panjang PVD

kh = koefisien permeabilitas arah horizontal dalam tanah yang tidak terganggu (*undisturbed*)

qw = kapasitas *discharge* dari PVD (tergantung jenis PVD)

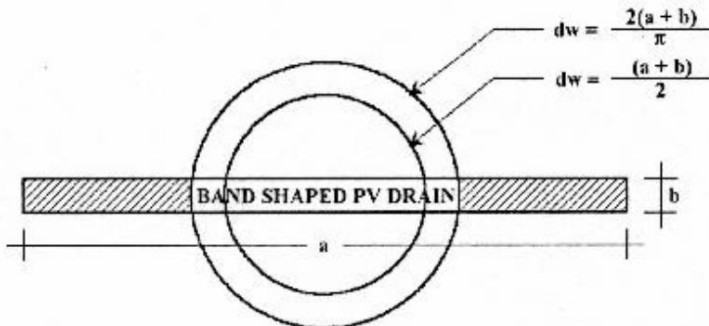
Harga  $F_s$  merupakan faktor yang disebabkan oleh ada tidaknya perubahan tanah disekitar PVD akibat pemancangan PVD itu sendiri. Faktor ini memisahkan pengaruh *disturbance* (gangguan) terhadap tanah karena pemancangan tersebut.  $F_s$  dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_s = \left( \frac{kh}{ks} - 1 \right) \ln \left( \frac{ds}{dw} \right) \quad (2.21)$$

Dimana:  $K_s$  = koefisien permeabilitas tanah arah horizontal pada tanah dalam kondisi sudah terganggu

$D_s$  = diameter daerah yang terganggu (*disturbed*) sekeliling *vertical drain*

$d_w$  = diameter ekuivalen



**Gambar 2.9** Diameter Ekuivalen PVD  
(sumber: Mochtar, 2012)

Dapat disimpulkan dari persamaan diatas bahwa adanya faktor  $F_s$  dan  $F_r$  memperlambat kecepatan konsolidasi. Sementara

itu dari penyelidikan diketahui bahwa faktor yang paling penting adalah  $F(n)$ . Besar  $F_s$  dapat mendekati atau lebih besar daripada  $F(n)$  tergantung dari besarnya kerusakan pada tanah akibat pemancangan PVD. Untuk memudahkan perencanaan dapat diasumsikan bahwa  $F(n) = F_s$ . Pengaruh perlawanan aliran ( $F_r$ ) umumnya kecil dan tidak begitu penting, maka harga  $F_r$  dapat diabaikan, atau dianggap 0.

Maka dengan melihat asumsi diatas, persamaan waktu konsolidasi dapat ditulis sebagai berikut:

$$t = \left( \frac{D^2}{8 \cdot Ch} \right) \cdot (2 \cdot F(n)) \cdot \ln \left( \frac{1}{1 - U_h} \right) \quad (2.22)$$

Dimana :

- t = waktu untuk menyelesaikan konsolidasi primer
- D = diameter ekuivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari PVD  $1,13 \times S$  untuk pola susunan bujursangkar dan  $1,05 \times S$  untuk pola susunan segitiga
- Ch = koefisien konsolidasi tanah arah horizontal
- Uh = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah radial
- S = jarak antar PVD

Dengan memasukkan harga t yang direncanakan, dapat dicari harga  $\bar{u}_h$  pada lapisan tanah tempat dipasangnya PVD. Selain itu juga terjadi konsolidasi arah vertikal ( $\bar{u}_v$ ) yang dapat dihitung dengan rumus:

Untuk U antara 0-60%

$$U_v = \left( 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \quad (2.23)$$

Untuk U > 60%

$$U_v = ( \quad ) \% \text{ dimana nilai } a \text{ adalah}$$

$$a = \frac{\quad}{\quad} \quad (2.24)$$

Derajat konsolidasi rata-rata  $U$  dapat dicari dengan rumus:

$$\bar{U} = [1 - (1 - \bar{U}_h) \cdot (1 - \bar{U}_v)] \times 100\% \quad (2.25)$$

## 2.6 Kenaikan Daya Dukung Tanah

Pada saat terjadinya konsolidasi pada suatu lapisan tanah, maka lapisan tanah tersebut akan menjadi lebih padat. Pemadatan pada lapisan tanah tersebut membuat peningkatan pada daya dukung lapisan tanah tersebut. Peningkatan daya dukung tanah tersebut merupakan akibat dari kenaikan harga  $C_u$  (*Undrained shear Strength*). Apabila proses perletakan timbunan dilakukan secara bertahap, maka daya dukung tanah juga akan mengalami peningkatan secara bertahap. Nilai kenaikan  $C_u$  dapat dicari dengan menggunakan beberapa persamaan, salah satunya adalah yang dikembangkan oleh Ardana dan Mochtar (1999), yaitu:

- Untuk harga indeks plastisitas,  $PI \text{ tanah} < 120\%$   
 $C_u = 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 PI) \sigma_p' \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (2.26)$

- Untuk harga indeks plastisitas,  $PI \text{ tanah} > 120\%$   
 $C_u = 0,0737 + (0,0454 - 0,0004 PI) \sigma_p' \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (2.27)$

Dimana:  $\sigma_p'$  = tegangan tanah vertikal efektif, diperoleh dengan cara:

$$\sigma_p' = \left( \frac{p_o' + \Delta_p'}{p_o'} \right)^{1/2} \cdot p_o' \quad (2.28)$$

Bila  $U = 100\% = 1 \quad \rightarrow \sigma_p' = p_o' + \Delta_p' \quad (2.29)$

$U < 100\% \quad \rightarrow \sigma_p' = p_o' + \Delta_p' \quad (2.30)$

$p_o'$  = tegangan overburden efektif mula-mula

$\Delta_p'$  = penambahan tegangan akibat penambahan timbunan

$U$  = derajat konsolidasi rata-rata



## 2.7 Perkuatan Tanah dengan Geosintetik

Geosintetik adalah bahan sintetik buatan yang digunakan untuk aplikasi teknik sipil dalam lingkungan tanah. Geosintetik dapat berfungsi sebagai perkuatan, separator, drainase, filtrasi, maupun penahan cairan. Berdasarkan jenisnya, geosintetik dapat berupa *geotextile, geogrid, geomembrane, geocomposit, dan geocell*.

### 2.7.1. Penggunaan Geotextile Sebagai Konstruksi Perkuatan Timbunan

Perencanaan perkuatan timbunan tanah dengan menggunakan geotekstil memerlukan data stabilitas timbunan yang bisa didapatkan dari program bantu seperti XSTABL. Hasil analisa dari program bantu tersebut dapat memudahkan untuk memperoleh data kelongsoran yang dialami timbunan rencana . Data data tersebut antara lain adalah nilai faktor keamanan (SF), momen penahan/ momen *resisting* ( $M_r$ ), jari- jari kelongsoran (R), serta koordinat titik pusat bidang longsor. Tahapan perhitungan perencanaan geotekstil adalah:

- 1) Mencari nilai momen dorong ( $M_D$ )

$$M_D = \frac{M_R}{SF} \quad (2.31)$$

- 2) Mencari nilai momen resisten rencana dengan angka keamanan rencana ( $M_R$ )

$$M_{R \text{ rencana}} = M_D \times SF_{\text{Rencana}} \quad (2.32)$$

- 3) Mencari nilai tambahan momen penahan yang dibutuhkan dari angka keamanan rencana ( $\Delta M_R$ )

$$\Delta M_R = M_{R \text{ rencana}} - M_R \quad (2.33)$$

- 4) Mencari kekuatan dari bahan geotekstil ( $T_{\text{allow}}$ )

$$T_{\text{allow}} = T_{\text{ult}} \times \frac{1}{FS_{id} \times FS_{cr} \times FS_{cd} \times FS_{bd}} \quad (2.34)$$

Dimana :

$T_{\text{allow}}$	= kekuatan geotekstil yang tersedia
$T_{\text{ult}}$	= kekuatan ultimate geotekstil
$FS_{id}$	= faktor keamanan pada saat pemasangan
$FS_{cr}$	= faktor keamanan akibat rangkai

$FS_{cd}$  = faktor keamanan akibat pengaruh bahan kimia

$FS_{id}$  = faktor keamanan akibat pengaruh aktivitas biologi dalam tanah

Nilai  $FS_{id}$ ,  $FS_{cr}$ ,  $FS_{cd}$ ,  $FS_{id}$  dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Nilai Faktor Geotekstil

Penggunaan Geotextile	Faktor Pemasangan, $FS_{id}$	Faktor Rangkak, $FS_{cr}$	Faktor Kimia, $FS_{cd}$	Faktor Biologi, $FS_{id}$
Separation	1,1 – 2,5	1,1 – 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	1,5 – 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

(sumber: Mochtar, 2012)

5) Menentukan jumlah geotekstil yang dibutuhkan

$$\Delta M_R < T_{\text{allow}} \times \Sigma R_i \quad (2.35)$$

Dimana:  $\Sigma R_i$  = penjumlahan jarak pasang masing-masing geotekstil terhadap titik-titik pusat kelongsoran

6) Menghitung jarak antara geotekstil ( $S_v$ )

$$S_v = \frac{\Delta M_R}{\sigma_{HZ}} \quad (2.36)$$

Dimana:  $\sigma_{HZ}$  = teganga horizontal pada kedalaman  $z$

7) Menghitung panjang geotekstil dibelakang bidang longsor ( $L_e$ )

$$L_e = \frac{h}{\tau} \quad (2.37)$$

$$L_e = \frac{h}{\tau} \quad (2.38)$$

Dimana:  $T_{\text{all}}$  = kekuatan tarik yang diijinkan

SF = faktor keamanan (rencana)

$\tau_{\text{bawah}}$  = tegangan geser antar geotekstil dengan tanah dibawah geotekstil

$\tau_{\text{atas}}$  = tegangan geser antar geotekstil dengan tanah di atas geotekstil

$C_u$  = kohesi tanah

$\theta$  = sudut tahanan geser tanah

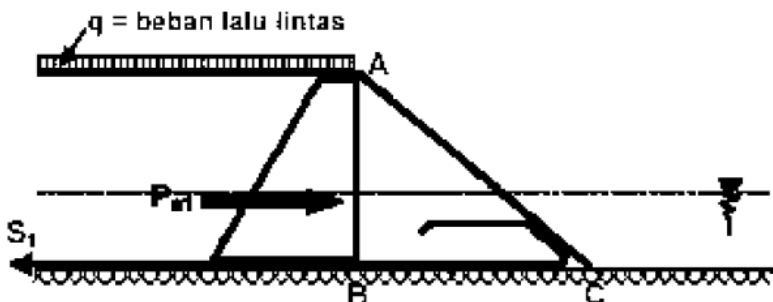
#### 8) Menghitung panjang geotekstil didepan bidang longsor

Untuk perhitungan panjang geotekstil didepan bidang longsor dapat digunakan cara menggambar manual secara tepat model timbunan, daerah bidang longsor, dan panjang geotekstil dibelakang bidang longsor sesuai dengan koordinat titiknya yang telah diperoleh dari hasil analisa program bantu XSATBLE. Setelah memperoleh panjang geotekstil didepan bidang longsor maka dapat diperoleh pula panjang total geotekstil yang dibutuhkan dengan menjumlahkan dengan panjang geotekstil dibelakang bidang longsor ( $L_e$ ).

### 2.7.2. Prinsip Desain Stabilitas Timbunan yang Diperkuat Geotextile

Perencanaan stabilitas timbunan dengan perkuatan geotekstil haru memperhatikan dua kondisi, yaitu *internal stability* dan *overall stability*. Berikut ini adalah penjelasan dari kedua kontrol tersebut:

#### A. Kondisi *Internal Stability*



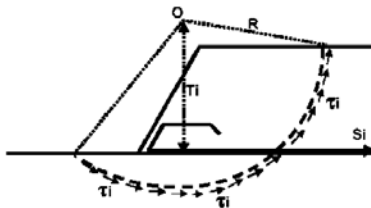
Gambar 2.10 *Internal Stability*  
(sumber : Mochtar, 2012)

Kondisi *internal stability* dikatakan tercapai apabila tidak terjadi longsor pada lereng AC, dan bila perlu digunakan beberapa lapis geotekstil.

$$\frac{(B \quad ABC)x}{(2.39)}$$

Dimana:  $\delta$  = sudut geser antara tanah timbunan dan material geotekstil  
 SF = 1,25 untuk jalan sementara dan 1,5 untuk jalan pemanen

B. Kondisi *Overal Stability*

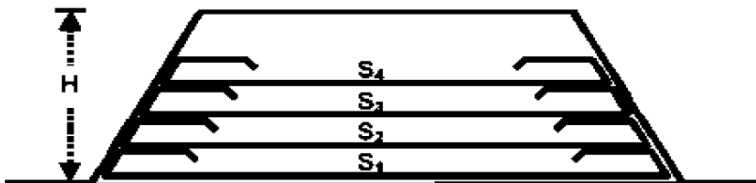


**Gambar 2.11** *Overall Stability*  
 (sumber: Mochtar, 2012)

Tanpa geotekstil:

Momen penahan ( $M_r$ ) =  $R \times \sum \tau_i \times l_i$  (2.40)

Dengan Geotekstil :

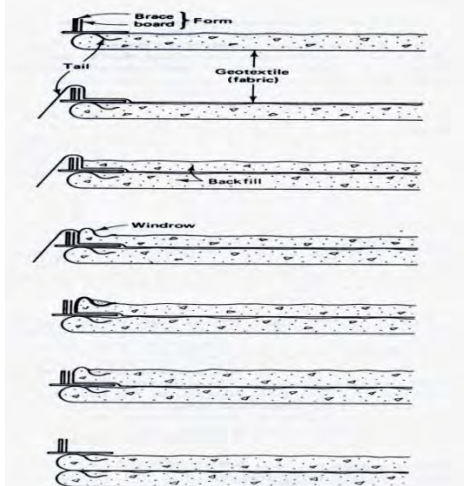


$$\Delta M_r = \sum T_i \cdot S_i$$

Momen penahan ( $M_r$ ) =  $R \times \sum \tau_i \times l_i + T_i \times S_i = M_r + \Delta M_r$  (2.40)

**Gambar 2.13** Geotekstil  
(sumber: Mochtar, 2012)

### 2.7.3. Prinsip *Geotextile* untuk Dinding Penahan Tanah



**Gambar 2.13** Proses pembuatan dinding penahan tanah dengan penggunaan geotekstil sebagai *reinforcement*

Stabilitas *Geotextile* sebagai dinding penahan tanah yang perlu ditinjau adalah *Internal Stability* dan *External Stability*.

Pada *Internal Stability* gaya-gaya yang perlu diperhatikan adalah :

- Tanah di beakang dinding
- Beban luar :   Beban Surcharge  
                  Beban Hidup

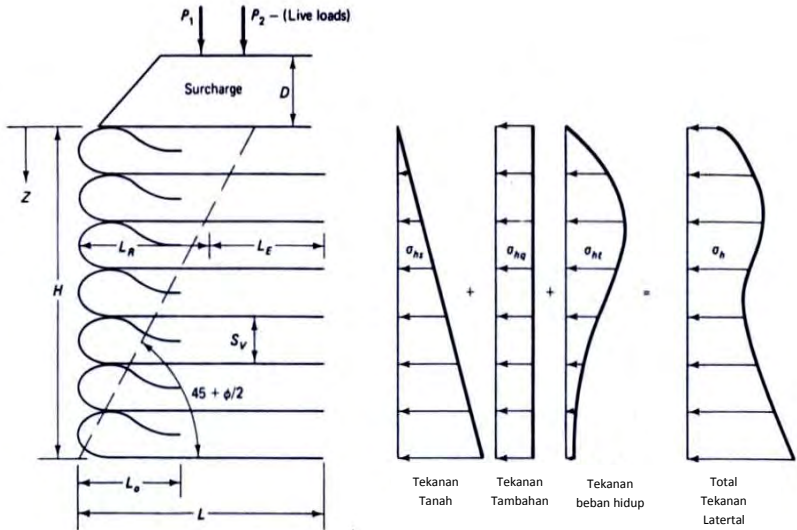
Besar tegangan horisontal yang diterima dinding ( $\sigma_H$ ) :

$$\sigma_H = \sigma_{HS} + \sigma_{Hq} + \sigma_{HL} \quad (2.41)$$

Dimana :  $\sigma_{HS}$  = tegangan horisontal akibat tanah dibelakang dinding

$\sigma_{Hq}$  = tegangan horisontal akibat tanah timbunan surcharge

$\sigma_{HL}$  = tegangan horisontal akibat tanah hidup



**Gambar 2.14** Prinsip Beban yang Bekerja Pada *Geotextile Wall*

Jarak Vertikal pemasangan geotextile ( $S_v$ ) :

$$\sigma_{HZ} \times S_v \times l = \frac{T_{ALL}}{SF} \rightarrow S_v = \frac{T_{ALL}}{SF \times \sigma_{HZ} \times l} \quad (2.42)$$

Dimana :  $\sigma_{HZ}$  = tegangan horisontal pada kedalaman Z

SF = 1.3 s/d 1.5

Panjang *Geotextile* yang ditanam (L) :

$$L = L_e + L_r$$

$L_e$  = panjang geotextile yang berada dalam *anchorage zone*  
(minimum = 3 ft / 1.0m)

$L_R$  = panjang geotextile yang berada di depan bidang longsor

Dimana :

Panjang  $L_R$

$$L_R = (H - Z) \times \left[ \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \right] \quad (2.43)$$

Panjang  $L_e$

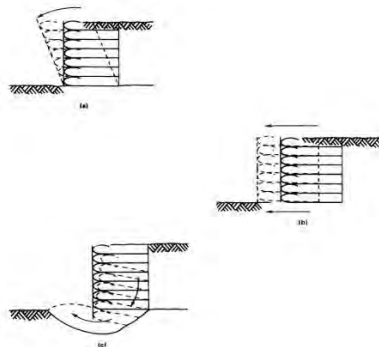
$$L_e = \frac{S_V \cdot \sigma_H \cdot SF}{2[c + \sigma_V (\operatorname{tg} \delta)]} \quad (2.44)$$

Panjang Lipatan  $L_o$  Gaya yang diperhitungkan  $\frac{1}{2} \sigma_H$  :

$$L_o = \frac{S_V \cdot \sigma_H \cdot SF}{4[c + \sigma_V (\operatorname{tg} \delta)]} \quad (2.45)$$

Untuk perencanaan *Geotextile* sebagai dinding penahan tanah perlu diperhatikan *External Stability*, yaitu:

- Aman terhadap geser
- Aman terhadap guling
- Aman terhadap kelongsoran daya dukung



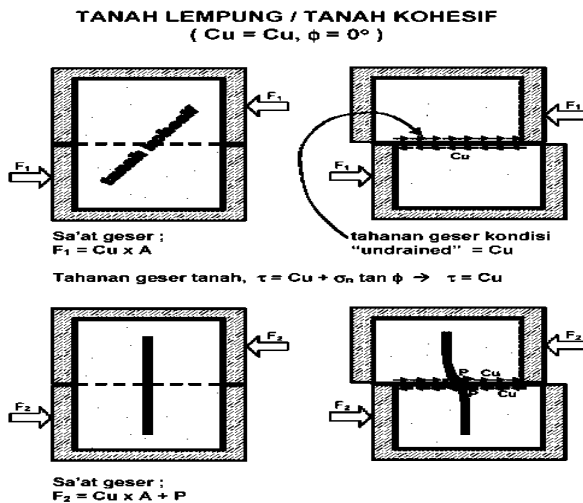
**Gambar 2.15** *External Stability* Pada *Geotextile Walls* (a) Aman terhadap geser (b) Aman terhadap geser (c) Aman terhadap kelongsoran daya dukung

## 2.8 Perkuatan Tanah Menggunakan Cerucuk

Cerucuk merupakan salah satu jenis perkuatan timbunan tanah. Penerapan cerucuk adalah dengan menggunakan bahan buatan yang dipasang secara memanjang pada kedalaman vertikal tanah. Penggunaan cerucuk dimaksudkan untuk menaikkan kuat geser tanah. Kenaikan kuat geser tanah berarti meningkatkan daya dukung tanah itu juga. Jadi, cerucuk merupakan salah satu jenis perkuatan untuk meningkatkan daya dukung tanah.

Cerucuk memiliki beberapa jenis, antara lain:

- Cerucuk bambu
- Cerucuk kayu
- Cerucuk beton (mini pile)



**Gambar 2.16** Sketsa Peningkatan Kekuatan Geser Tanah dengan Cerucuk  
(sumber: Mochtar,2012)

Pemasangan cerucuk pada timbunan badan jalan dilakukan dengan menepatkan kelompok tiang pada permukaan tanah yang menerima gaya horizontal (bidang longsor). Gaya horizontal merupakan tegangan geser yang terjadi sepanjang



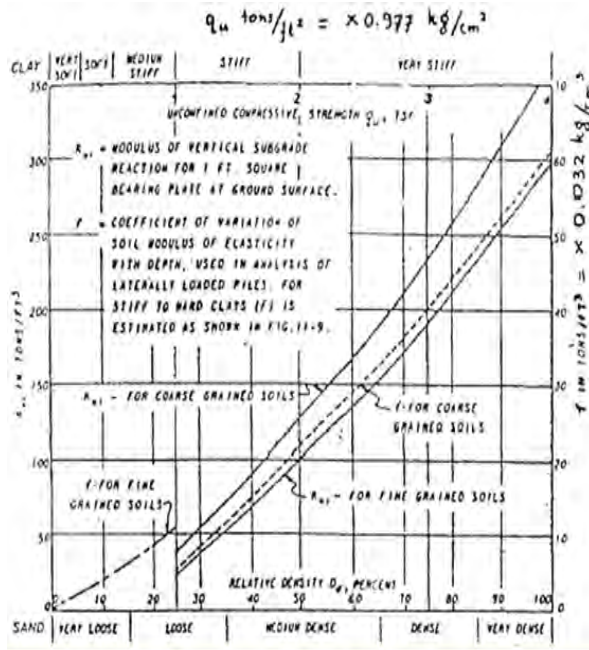
bidang longsor timbunan. Tahapan perhitungan cerucuk adalah sebagai berikut:

A. Menghitung faktor kekakuan relatif

$$\left[ - \right] \quad (2.46)$$

- Dimana: T = faktor kekakuan relatif
- E = modulus elastisitas cerucuk
- I = momen inersia cerucuk
- f = koefisien dari variasi modulus tanah

Harga f didapatkan dari grafik NAVFAC DM-1971



**Gambar 2.17** Grafik Penentuan Harga f (sumber: Mochtar, 2012)

B. Menghitung gaya horizontal yang dapat ditahan oleh satu tiang

$$M_p = F_M (P \times T) \tag{2.47}$$

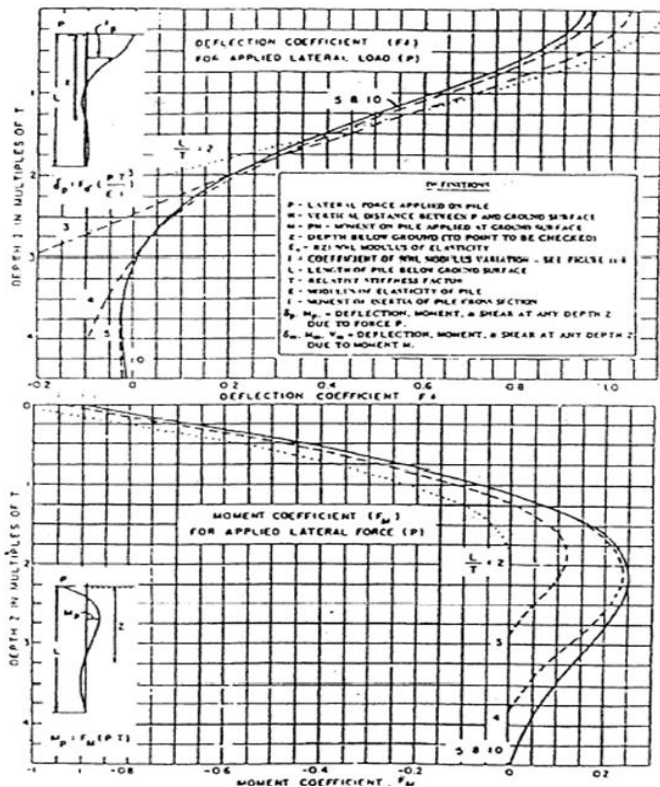
Dimana:  $M_p$  = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban P

$F_M$  = koefisien momen akibat gaya lateral P

P = gaya horizontal yang diterima cerucuk

T = faktor kekakuan

Harga  $F_M$  didapatkan dari grafik NAVFAC DM-7 1971



Gambar 2.18 Grafik Penentuan Harga  $F_M$  (sumber: Mochtar, 2012)

C. Menghitung jumlah cerucuk yang dibutuhkan

$$n = \frac{\Delta MR}{P_{max} \times r} \quad (2.48a)$$

Dimana: n = jumlah perkuatan cerucuk yang dibutuhkan  
 $\Delta MR$  = momen tambahan yang dibutuhkan untuk mencapai factor keamanan rencana  
 r = jari-jari kelongsoran  
 $P_{max} = P \times Fk$  (2.48b)

Dimana:  $P_{max}$  = beban maksimum yang dapat diterima satu cerucuk

$$Fk = 2,643 \left[ \frac{0,89 + 0,12 \frac{L}{D}}{2,69} \right] \left[ \frac{0,855 C_u^{-0,392}}{2,865} \right] \quad (2.49)$$

L = panjang cerucuk dibawah bidang longsor

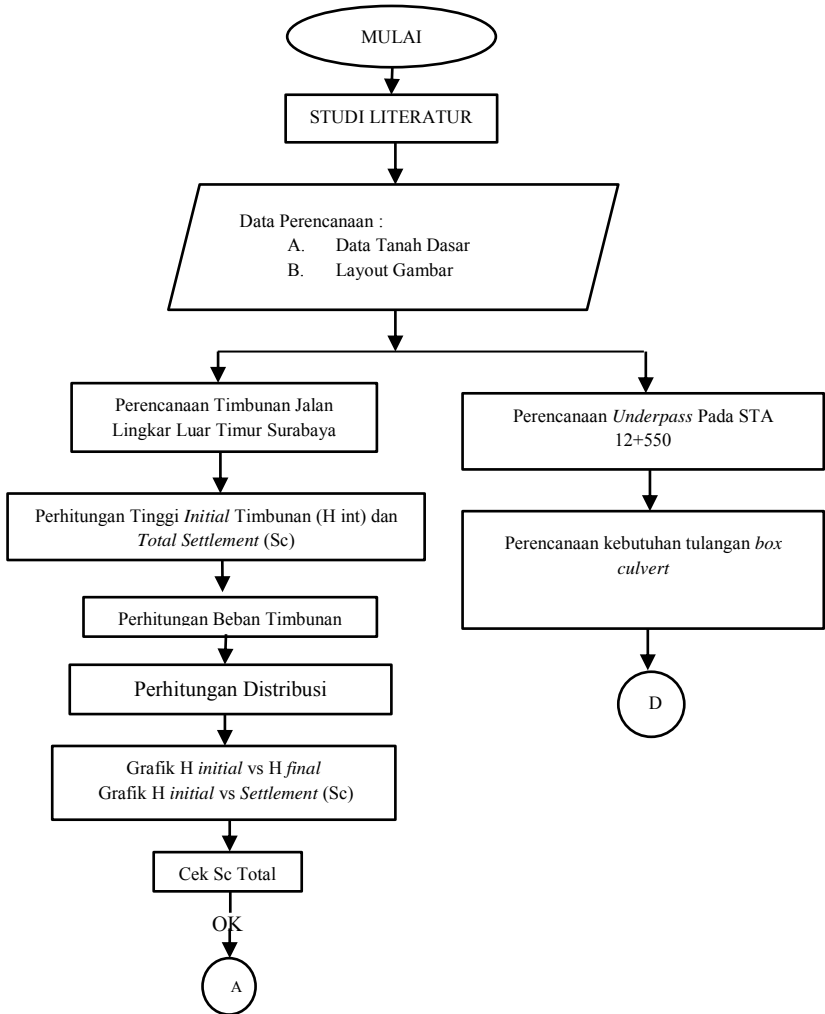
D = diameter cerucuk

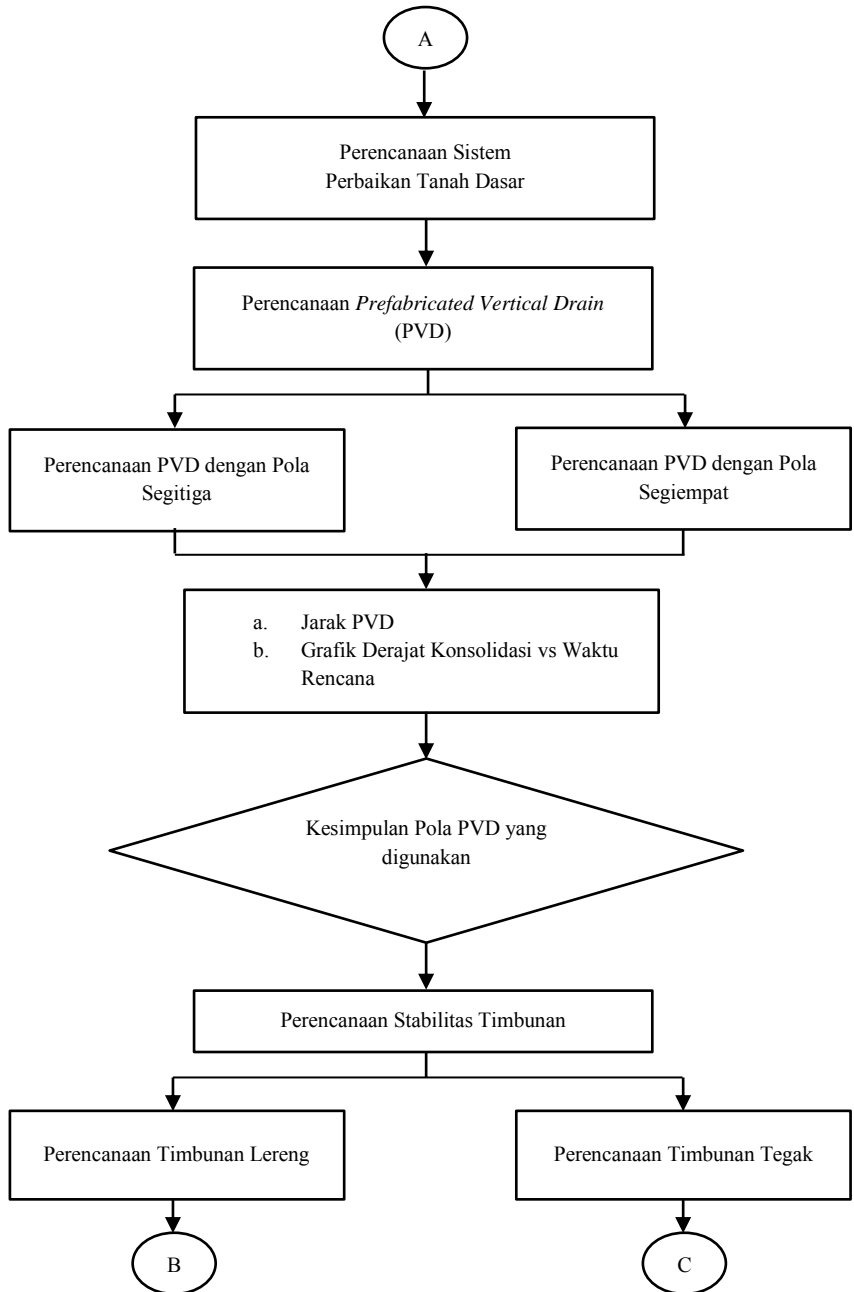
Cu = *undrained shear strength*

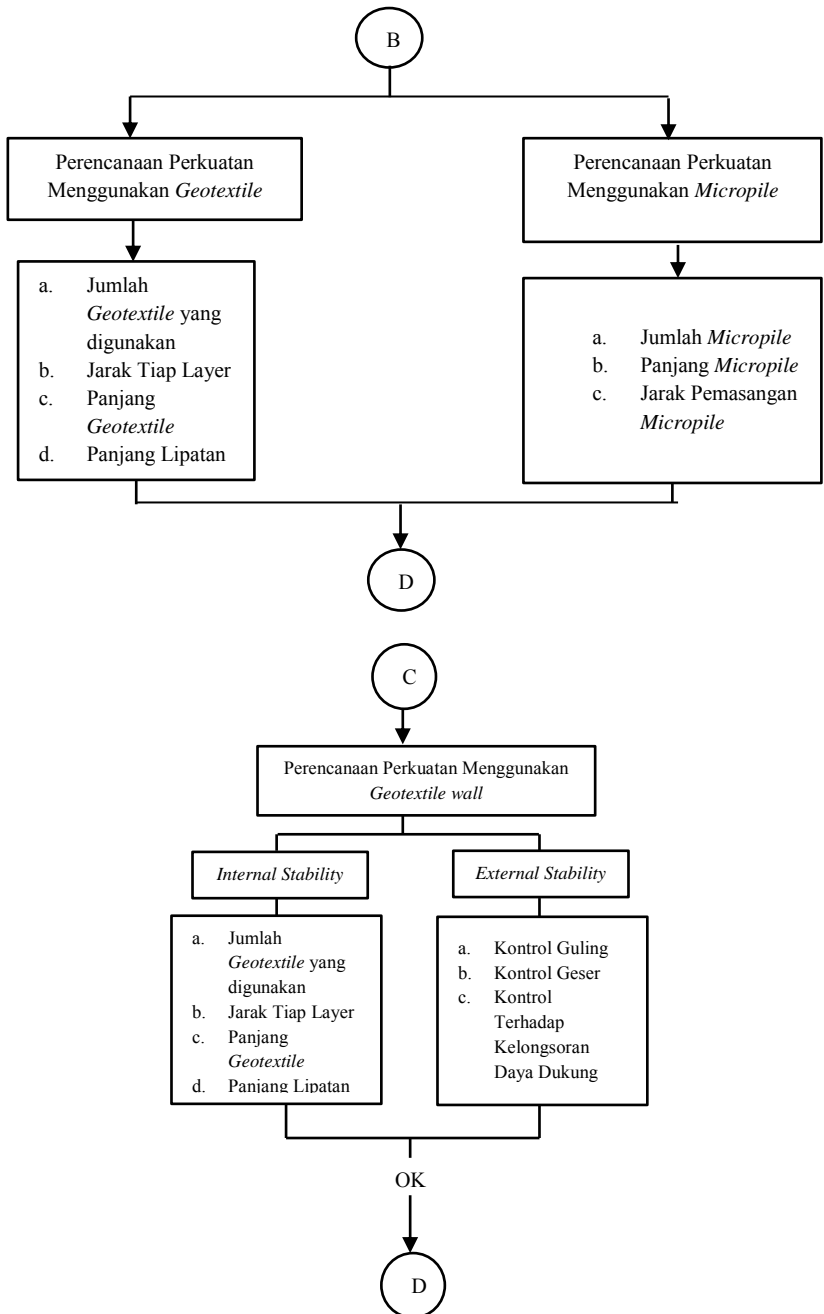
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

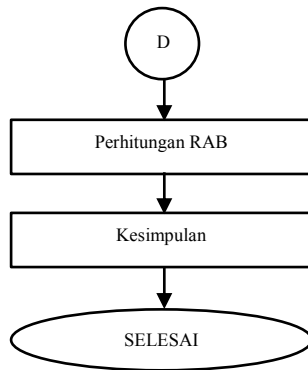
### BAB III METODOLOGI

Prosedur rincian pengerjaan Tugas Akhir ini disajikan dalam flowchart di bawah ini:









**Gambar 3.1** Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur pada tugas akhir diperlukan sebagai sarana penunjang untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Di dalam proses studi literatur, penulis dapat mengetahui berbagai macam dasar teori yang digunakan dalam pengerjaan Tugas akhir, meliputi pengetahuan tentang tanah, metode perbaikan tanah, dan berbagai macam perkuatan timbunan. Studi literatur didapat dari berbagai sumber seperti buku diktat kuliah, jurnal, peraturan-peraturan terkait, internet, serta buku penunjang lainnya yang berhubungan dengan penyelesaian Tugas Akhir.

### 3.2 Input Data Lapangan

Data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data sekunder. Data yang digunakan dalam proses perhitungan antara lain:

- Data Tanah Dasar di Balai Hinggil MERR
- Data Spesifikasi Bahan PVD
- Data Spesifikasi Bahan *Geotextile*
- Data Spesifikasi Bahan *Microplie*



- Data Spesifikasi *Box Culvert*

### 3.3 Perencanaan Tinggi Awal Timbunan

Pada perencanaan ini timbunan terbagi atas dua jenis yaitu timbunan tegak dan timbunan miring. Dalam menentukan besarnya tinggi timbunan yang diperlukan, terlebih dahulu harus diketahui besarnya pemampatan atau settlement yang terjadi pada tanah dasar akibat dari beban yang bekerja pada timbunan. Untuk mempermudah, maka dibuat kurva hubungan  $H_{inisial}$ ,  $H_{final}$ , dan  $Settlement (S_c)$ , sehingga tinggi timbunan awal yang dibutuhkan dapat diketahui. Dari desain  $H_{inisial}$  timbunan dapat diketahui daya dukung pada tanah dasar dengan menggunakan program bantu yaitu *xstable*.

### 3.4 Metode Perbaikan Tanah

Metode perbaikan tanah yang direncanakan dalam Tugas Akhir ini adalah sistem *pre-loading* yang dikombinasikan dengan *Prefabricated Drain (PVD)* yang dipasang pada tanah dasar. Penggunaan PVD ini bertujuan untuk mempercepat waktu yang dibutuhkan agar tercapai derajat konsolidasi sebesar 90%.

### 3.5 Perencanaan Perkuatan Timbunan

Dalam Tugas Akhir ini, perencanaan stabilitas timbunan digunakan *geotextile*, *Micropile*, *Geotextile Wall*, sebagai perkuatan timbunan.

### 3.6 Cek Daya Dukung dan Stabilitas

Pada setiap metode perkuatan tanah, akan dicek daya dukung dan stabilitas dari perencanaan konstruksi yang dibuat. Pada tahap ini, juga digunakan program bantu *xstable*.

### **3.7 Kesimpulan**

Pada bagian kesimpulan akan diperoleh jumlah PVD yang dibutuhkan dalam perbaikan tanah dasar serta jenis geotekstile apa yang paling murah dari segi bahan yang dibutuhkan dalam pekerjaan konstruksi timbunan. Serta pada STA 12+550 terdapat *box culvert* sebagai *underpass*.

## BAB IV DATA PERENCANAAN

### 4.1 Data Tanah Asli

#### 4.1.1 Parameter Data Tanah

Dalam perencanaan jalan pada tugas akhir ini membutuhkan data karakteristik dan parameter dari tanah dasar. Dari data tersebut dapat diketahui kelayakan tanah dasar sehubungan dengan daya dukungnya dan metode perbaikan tanah yang dilakukan bila diperlukan. Adapun nilai parameter tanah dasar yang merupakan hasil dari penyelidikan tanah asli dan hitungan ditampilkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter Tanah Dasar

Kedalaman (meter)	Volumetri + Gravimetri							
	Gs	e	Sr	Wc	n	$\gamma_t$	$\gamma_d$	$\gamma_{sat}$
-3	2.724	1.515	100	55.61	60.23	1.686	1.083	1.686
-6	2.715	1.504	100	55.4	60.06	1.685	1.084	1.685
-9	2.703	1.468	100	54.31	59.48	1.69	1.095	1.69
-12	2.667	1.497	100	55.71	59.95	1.676	1.076	1.676
-15	2.669	1.437	100	53.64	58.97	1.685	1.095	1.685
-18	2.749	1.218	100	44.31	54.91	1.789	1.239	1.789
-21	2.637	1.234	100	46.8	55.24	1.733	1.18	1.733

Tabel 4.1 Parameter Tanah Dasar (Lanjutan)

Kedalaman (meter)	Consolidation			Atterberg Limits			Strenght Test	
	Pp	Cc	Cv	LL	PL	IP	$\Phi$	Cu
-3	1.15	1.081	0.0014	58.08	30.22	25.86	0	0.05
-6	1.11	0.931	0.0009	71.77	34.19	37.58	0	0.08
-9	1.08	0.864	0.00098	72.1	33.8	38.22	0	0.09
-12	1.05	0.78	0.0006	68.15	33.47	34.68	0	0.25
-15				72.27	34.73	37.54	0	0.65
-18				NP	NP	NP	0	0.871
-21				NP	NP	NP	0	1.15

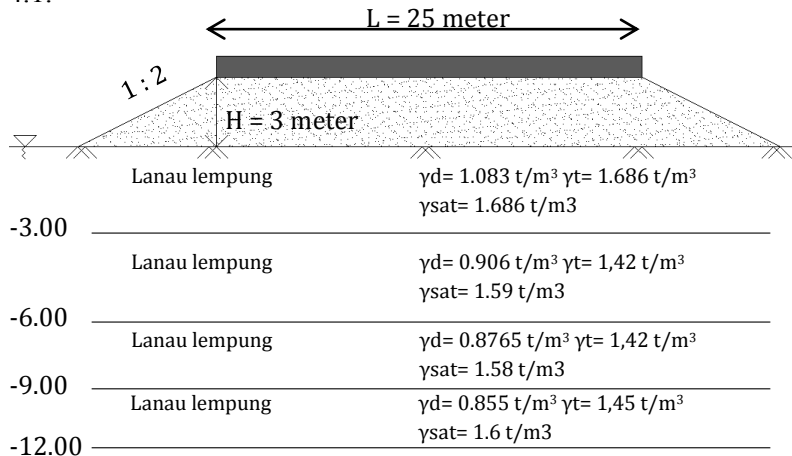
#### 4.1.2 Nilai NSPT Terkoreksi

Nilai NSPT terlebih dahulu dilakukan koreksi. Berikut adalah hasil koreksi nilai NSPT :

Tabel 4.2 Tabel Koreksi NSPT

Depth	Nspt	L/P	N >15sand	N >15sand	N1	$\gamma_{sat}$	$\gamma'$	po	N2	2N1	N Corr
(m)			15+..	0,6 N		(t/m3)	(t/m3)	(ton/m2)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		L	0.00	0.00	0.00	1.686	0.686	0.5	0.000	0	0.00
1.5		L	0.00	0.00	0.00	1.686	0.686	0.8575	0.000	0	0.00
2	1	L	1.00	1.00	1.00	1.686	0.686	1.2005	2.702	2	2.00
2.5	1.25	L	1.25	1.25	1.25	1.686	0.686	1.5435	3.091	2.5	2.50
3	1.5	L	1.50	1.50	1.50	1.686	0.686	1.8865	3.420	3	3.00
3.5	1.75	L	1.75	1.75	1.75	1.685	0.685	2.2293	3.700	3.5	3.50
4	2	L	2.00	2.00	2.00	1.685	0.685	2.5688	3.946	4	3.95
4.5	2	L	2.00	2.00	2.00	1.685	0.685	2.9113	3.696	4	3.70
5	2	L	2.00	2.00	2.00	1.685	0.685	3.2538	3.476	4	3.48
5.5	1.5	L	1.50	1.50	1.50	1.685	0.685	3.5963	2.461	3	2.46
6	1	L	1.00	1.00	1.00	1.685	0.685	3.9388	1.553	2	1.55
6.5	0.5	L	0.50	0.50	0.50	1.69	0.690	4.2825	0.737	1	0.74
7	0	L	0.00	0.00	0.00	1.69	0.690	4.6575	0.000	0	0.00
7.5	1	L	1.00	1.00	1.00	1.69	0.690	5.0025	1.333	2	1.33
8	2	L	2.00	2.00	2.00	1.69	0.690	5.3475	2.549	4	2.55
8.5	3.5	L	3.50	3.50	3.50	1.69	0.690	5.6925	4.272	7	4.27
9	5	L	5.00	5.00	5.00	1.69	0.690	6.0375	5.857	10	5.86
9.5	5.5	L	5.50	5.50	5.50	1.676	0.676	6.379	6.194	11	6.19
10	6	L	6.00	6.00	6.00	1.676	0.676	6.591	6.600	12	6.60
10.5	6.5	L	6.50	6.50	6.50	1.676	0.676	6.929	6.894	13	6.89
11	7	L	7.00	7.00	7.00	1.676	0.676	7.267	7.167	14	7.17
11.5	9	L	9.00	9.00	9.00	1.676	0.676	7.605	8.976	18	8.98
12	11	L	11.00	11.00	11.00	1.676	0.676	7.943	10.880	22	10.88
12.5	11.5	L	11.50	11.50	11.50	1.685	0.685	8.2833	11.279	23	11.28
13	12	L	12.00	12.00	12.00	1.685	0.685	8.7338	11.641	24	11.64
13.5	13	L	13.00	13.00	13.00	1.685	0.685	9.0763	12.507	26	12.51
14	14	L	14.00	14.00	14.00	1.685	0.685	9.4188	13.359	28	13.36

Visualisasi pembagian lapisan tanah dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Visualisasi Tanah Dasar  
Data-data tanah secara lengkap dilampirkan pada Lampiran.

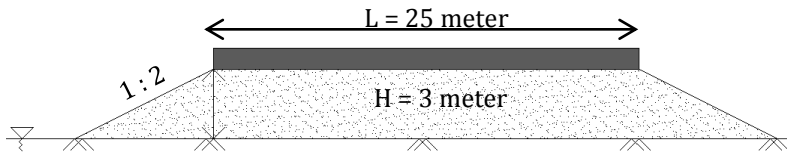
#### 4.2 Data Timbunan

Pada perencanaan ini dibandingkan 2 jenis timbunan dengan 2 ketinggian 3 meter dan 5 meter. Berikut adalah data timbunan jalan :

##### Data Timbunan Jalan (Miring)

- Tinggi timbunan jalan : 3,00 m
- Kemiringan (*slope*) melintang : 1:2
- Lebar badan jalan rencana : 25 m
- $\emptyset$  : 30<sup>0</sup>
- $\gamma$  timbunan : 1,85 t/m<sup>3</sup>
- $\gamma_{sat}$  timbunan : 1,95 t/m<sup>3</sup>
- Fluktuasi muka air banjir : 1,5 meter

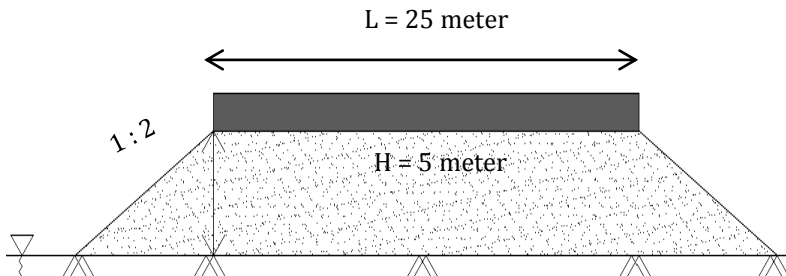
Visualisasi timbunan yang direncanakan adalah seperti **Gambar 4.2** berikut:



Gambar 4.2 Visualisasi Timbunan miring 3 meter

**Data Timbunan Jalan (Miring)**

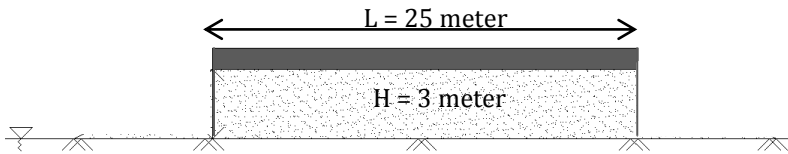
- Tinggi timbunan jalan : 5,00 m
- Kemiringan (*slope*) melintang : 1:2
- Lebar badan jalan rencana : 25 m
- $\emptyset$  :  $30^0$
- $\gamma$  timbunan :  $1,85 \text{ t/m}^3$
- $\gamma$  sat timbunan :  $1,95 \text{ t/m}^3$
- Fluktuasi muka air banjir : 1,5 meter



Gambar 4.3 Visualisasi Timbunan miring 5 meter

**Data Timbunan Jalan (Tegak)**

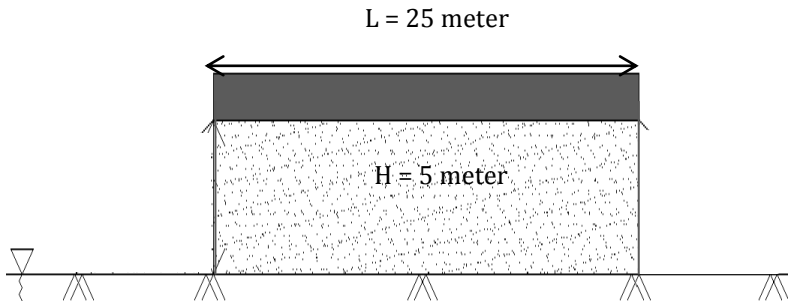
- Tinggi timbunan jalan : 3,00 m
- Lebar badan jalan rencana : 25 m
- $\emptyset$  :  $30^0$
- $\gamma$  timbunan :  $1,85 \text{ t/m}^3$
- $\gamma$  sat timbunan :  $1,95 \text{ t/m}^3$
- Fluktuasi muka air banjir : 1,5 meter



Gambar 4.4 Visualisasi Timbunan tegak 3 meter

#### Data Timbunan Jalan (Tegak)

- Tinggi timbunan jalan : 3,00 m
- Lebar badan jalan rencana : 25 m
- $\emptyset$  :  $30^0$
- $\gamma$  timbunan :  $1,85 \text{ t/m}^3$
- $\gamma_{\text{sat}}$  timbunan :  $1,95 \text{ t/m}^3$
- Fluktuasi muka air banjir : 1,5 meter



Gambar 4.5 Visualisasi Timbunan tegak 5 meter

#### 4.3 Data Geotextile

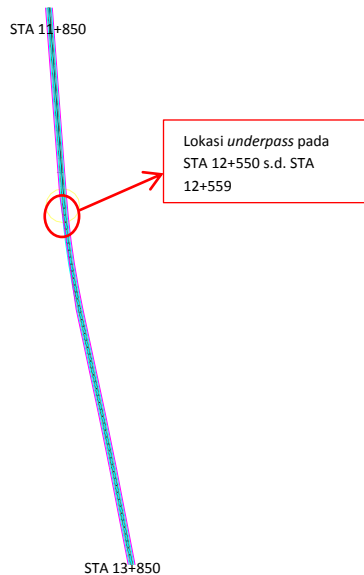
*Geotextile* direncanakan menggunakan spesifikasi STABILENKA 200/45 dengan tensile strength  $200 \text{ KN/m}^2$ .

#### 4.4 Data *Micropile*

*Micropile* direncanakan menggunakan *pile* PC SPUN PILE . Spesifikasi *micropile* yang digunakan adalah *micropile* segi empat dengan dimensi 300 mm kelas c.

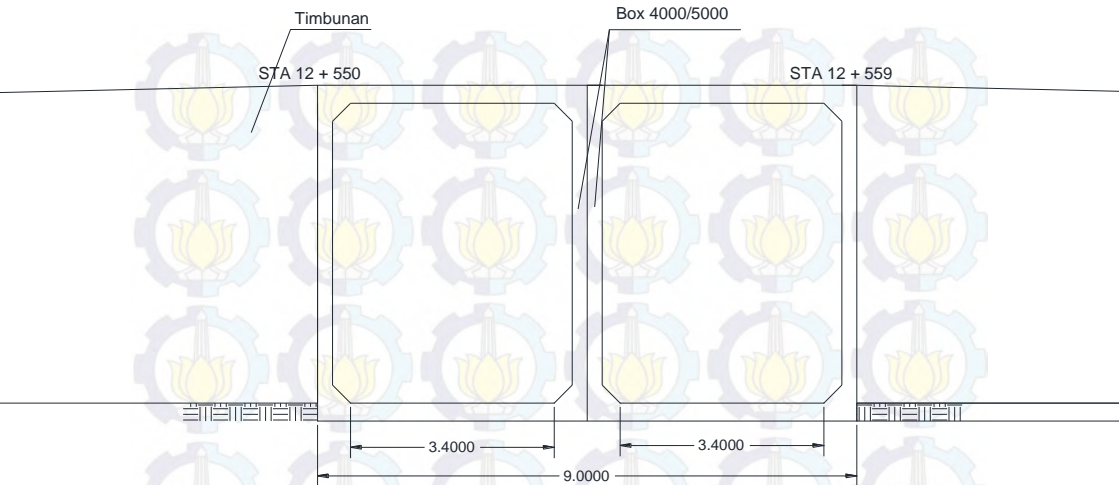
#### 4.5 Data *Box Culvert*

Pada STA 12+550 s.d. STA 12+559 terdapat *underpass*, sehingga direncanakan *box culvert* sebagai *underpass*. Direncanakan *box culvert* menggunakan PT. Lisa Concrete Indonesia dengan tipe Box 4000/5000. Berikut adalah denah lokasi dari *box culvert* dan potongan dari *box underpass* yang akan di analisis pada bab berikut. denah lokasi bisa dilihat pada Gambar 4.6. Sedangkan potongan *underpass* bisa dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.6** Lokasi Underpass pada STA 12+550 s.d. STA 12+559





**Gambar 4.7** Potongan *Underpass* pada STA 12+550

Data-data *geotextile*, *micropile*, dan *box culvert* secara lengkap ditampilkan pada Lampiran.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB V PERENCANAAN TIMBUNAN

### 5.1. Perhitungan Beban

Beban yang diterima oleh tanah dasar meliputi beban timbunan, beban perkerasan, dan beban lalu-lintas (*traffic*). Timbunan direncanakan dua tipe, yaitu timbunan miring dan timbunan tegak. Kedua tipe timbunan tersebut memiliki tinggi 3 meter dan 5 meter. Berat jenis timbunan adalah  $1.85 \text{ t/m}^3$  dan berat jenis *saturated* adalah  $1.95 \text{ t/m}^3$ .

Dalam perencanaan timbunan ini, direncanakan jenis perkerasan *flexible pavement*. Data-data rincian dari timbunan tersebut adalah sebagai berikut :

- Lebar jalan = 25 meter
- Tebal surface = 5 cm
- Tebal base course = 25 cm
- Tebal sub base = 10 cm
- Berat jenis aspa l =  $2.2 \text{ ton/m}^3$
- Berat jenis batu pecah =  $2.0 \text{ ton/m}^3$

Beban lalu lintas ( $q_{\text{traffic}}$ ) diasumsikan sebesar  $= 1.0 \text{ t/m}^2$ .  
Beban-beban yang ada di atas tanah dasar adalah sebagai berikut :

Untuk timbunan dengan tinggi 3 meter :

• $q_{\text{timbunan}} = 1.85 \times 3$	=	5.55	$\text{t/m}^2$
• $q_{\text{surface}} = 2.2 \times 0.05$	=	0.11	$\text{t/m}^2$
• $q_{\text{base}} = 2.0 \times 3$	=	0.5	$\text{t/m}^2$
• $q_{\text{sub base}} = 2.0 \times 3$	=	0.2	$\text{t/m}^2$
• $q_{\text{traffic}}$	=	1.0	$\text{t/m}^2$
$q_{\text{akhir}}$	=	7.36	$\text{t/m}^2$

Untuk timbunan dengan tinggi 5 meter :

• $q_{\text{timbunan}} = 1.85 \times 5$	=	9.25	$\text{t/m}^2$
• $q_{\text{surface}} = 2.2 \times 0.05$	=	0.11	$\text{t/m}^2$
• $q_{\text{base}} = 2.0 \times 3$	=	0.5	$\text{t/m}^2$

$$\begin{array}{rcl}
 \bullet \quad q_{\text{sub base}} & = 2.0 \times 3 & = 0.2 \quad \text{t/m}^2 \\
 \bullet \quad q_{\text{traffic}} & & = 1.0 \quad \text{t/m}^2 \\
 & & \hline
 & & Q_{\text{akhir}} = 11.06 \quad \text{t/m}^2
 \end{array}$$

## 5.2. Perhitungan Besar Konsolidasi

Berdasarkan perencanaan timbunan, beban timbunan tersebut dapat menyebabkan tanah dasar yang ada di bawahnya mengalami konsolidasi atau penurunan tanah, karena konsistensi tanah dasar di bawahnya yang bersifat lunak hingga kedalaman 12 meter. Hal ini ditunjukkan oleh hasil *bore log* pada Lampiran I-II yaitu baru pada kedalaman 12 meter N-SPT yang diperoleh sebesar 10,88. Pada kedalaman 12 meter ini konsistensi tanah adalah menengah (*medium*). Perhitungan besarnya konsolidasi dilakukan hingga kedalaman 12 meter karena pada umumnya kondisi tanah yang kaku sudah tidak terjadi penurunan (*settlement*) yang signifikan atau sangat kecil sekali.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, diketahui bahwa jenis tanah dasar adalah tanah *Over Consolidated*. Perhitungan besarnya konsolidasi dilakukan dengan membagi bagian-bagian tanah dasar dengan kedalaman 1 m pada setiap lapisan. Dari hasil perhitungan tersebut besar konsolidasi ditunjukkan pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2. Perhitungan lengkap dapat dilihat pada Lampiran II.

**Tabel 5.1** Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi untuk Berbagai Macam Besar Beban pada Timbunan Miring

No	$Q_{\text{akhir}} \text{ (t/m}^2\text{)}$	$S_c \text{ (m)}$
1	7.36	1.74
2	11.06	2.30
3	14.76	2.74
4	18.46	3.09
5	22.16	3.39
6	25.86	3.64

(sumber : Hasil Perhitungan)

**Tabel 5.2** Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi untuk Berbagai Macam Besar Beban pada Timbunan Tegak

No	$Q_{akhir}$ (t/m <sup>2</sup> )	$Sc$ (m)
1	7.36	1.71
2	11.06	2.27
3	14.76	2.69
4	18.46	3.04
5	22.16	3.33
6	25.86	3.58

(sumber : Hasil Perhitungan)

### 5.3. Penentuan Tinggi Awal Timbunan ( $H_{initial}$ )

Tanah dasar akan mengalami pemampatan dengan adanya pengaruh beban timbunan yang berada di atasnya. Oleh sebab itu perlu diketahui tinggi awal timbunan ( $H_{initial}$ ) harus diletakkan di atas tanah dasar agar pada saat penurunan konsolidasi penuh terjadi, tinggi timbunan akan sesuai dengan tinggi timbunan yang direncanakan ( $H_{final}$ ).

Timbunan ini akan dilalui oleh lalu lintas di atasnya. sehingga agar tidak terjadi pemampatan saat dilalui, beban lalu lintas tersebut akan diasumsikan sebagai timbunan ( $H_{traffic}$ ). Setelah terjadi pemampatan,  $H_{traffic}$  tersebut akan dibongkar untuk mencapai  $H_{final}$  yang telah direncanakan.

Hasil perhitungan besarnya tinggi awal dan tinggi akhir ditunjukkan pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4.

**Tabel 5.3** Hasil Perhitungan Penurunan, Tinggi Awal, dan Tinggi Akhir pada Timbunan Miring

No	$Q_{akhir}$ (t/m <sup>2</sup> )	$Sc$ (m)	$H_{inisial}$ (m)	$H_{akhir}$ (m)
1	7.36	1.74	4.82	2.11
2	11.06	2.30	7.10	3.82
3	14.76	2.74	9.31	5.60
4	18.46	3.09	11.48	7.41
5	22.16	3.39	13.63	9.26
6	25.86	3.64	15.75	11.13

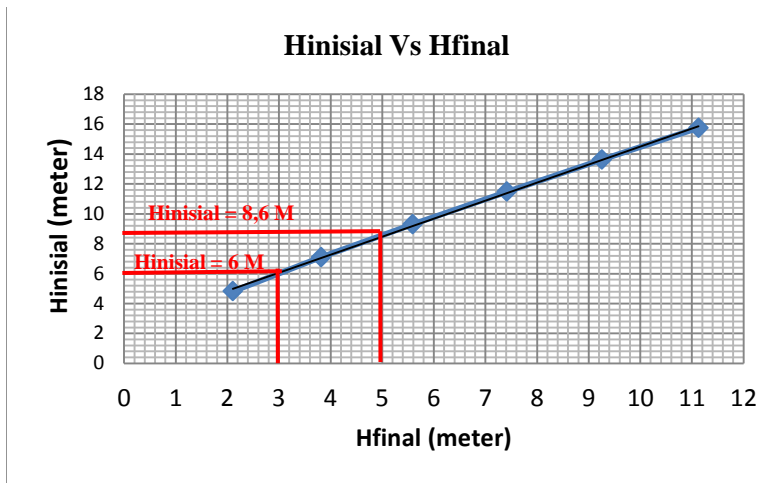
(sumber : Hasil Perhitungan)

**Tabel 5.4** Hasil Perhitungan Penurunan, Tinggi Awal, dan Tinggi Akhir pada Timbunan Tegak Setinggi 3 meter

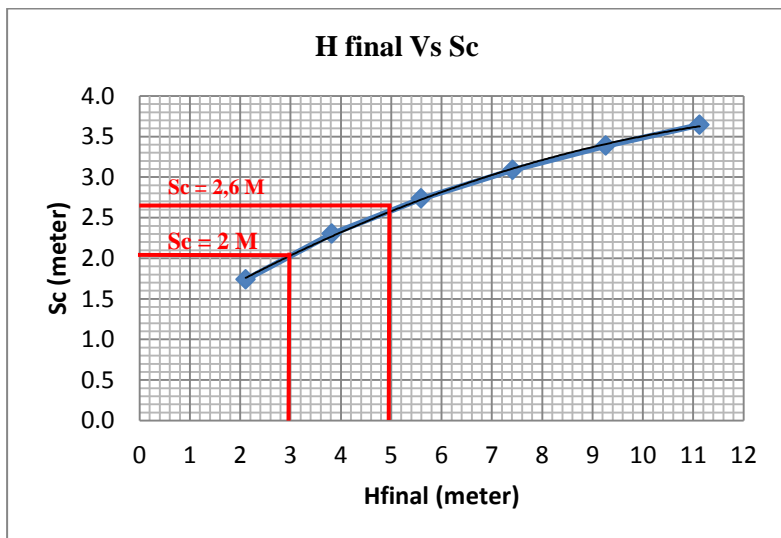
No	Beban ( $t/m^2$ )	Sc (m)	Hinisial (m)	Hakhir (m)
1	7.66	1.77	5.00	2.09
2	11.36	2.31	7.26	3.82
3	15.06	2.72	9.47	5.60
4	18.76	3.06	11.63	7.43
5	22.46	3.35	13.77	9.28
6	26.16	3.60	15.89	11.15

(sumber : Hasil Perhitungan)

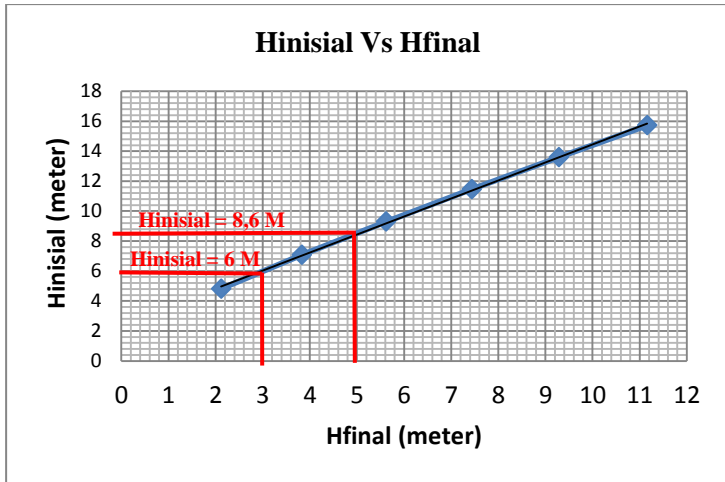
Untuk mendapatkan besarnya penurunan untuk masing-masing tinggi timbunan yang direncanakan, maka dari data pada Tabel 5.3 (timbunan tegak), harus dibuat grafik hubungan antara Hfinal dan Hinitial, serta grafik hubungan antara Hfinal dengan Sc seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.4 pada timbunan miring dan Gambar 5.5 sampai dengan Gambar 5.8 pada timbunan tegak.



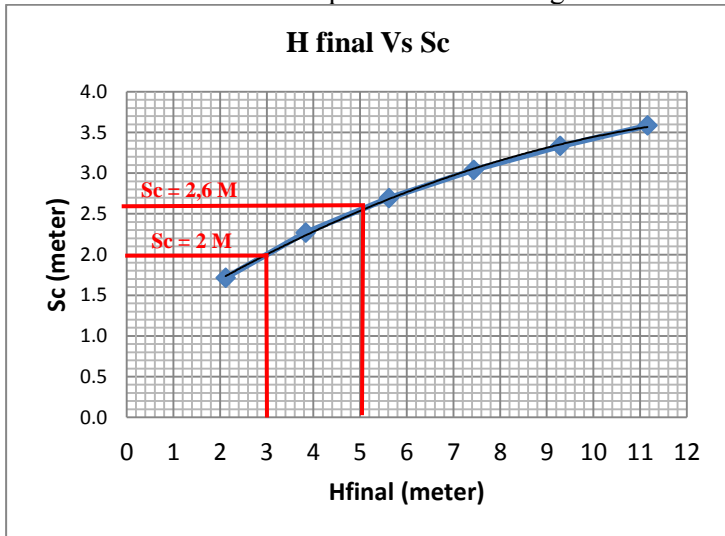
**Gambar 5.1** Grafik Hubungan antara  $H_{\text{final}}$  dan  $H_{\text{inisial}}$  pada Timbunan Miring



**Gambar 5.2** Grafik Hubungan antara  $H_{\text{inisial}}$  dan  $S_c$  pada Timbunan Miring



**Gambar 5.3** Grafik Hubungan antara Hfinal dan HinitiaI pada Timbunan Tegak



**Gambar 5.4** Grafik Hubungan antara Hinisial dan Sc pada Timbunan Tegak  
Pada perencanaan timbunan ini, dibagi menjadi 2 jenis



timbunan dengan batas  $H_{final}$  adalah 5 m dan 3 m. Dengan menggunakan grafik pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 pada timbunan miring serta Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 pada timbunan tegak, akan diketahui berapa  $H_{inisial}$  yang dibutuhkan untuk masing-masing ketinggian timbunan.

**Tabel 5.5** Besar Tinggi Awal Timbunan

No	Jenis Timbunan	$H_{final}$ (m)	$H_{inisial}$ (m)	$H_{bongkar}$ (m)	$Sc$ (m)
1	Miring	3	6.0	1	2
2	Miring	5	8.6	1	2.6
3	Tegak	3	6.0	1	2
4	Tegak	5	8.6	1	2.6

#### 5.4. Perhitungan Kebutuhan PVD (*Pre-fabricated Drain Vertical*)

Berdasarkan hasil perhitungan dari Persamaan 2.13, diperoleh waktu yang dibutuhkan tanah untuk konsolidasi 42,85 tahun. Karena waktu yang dibutuhkan tanah untuk konsolidasi sebesar 90% tanpa bantuan PVD sangat lama. Tujuan dari pemasangan PVD pada perencanaan ini adalah untuk membantu mempercepat proses pemampatan konsolidasi, sehingga dapat berlangsung dengan waktu yang relatif singkat.

Perencanaan PVD dalam Tugas Akhir ini menggunakan pola persegi dan pola segitiga, dengan jarak antar PVD yang dihitung adalah 0,8; 1; 1,1; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; dan 2 meter. Asumsi yang digunakan adalah:

1. Tebal lapisan terkonsolidasi ( $H_{dr} = 12$  m, karena aliran air tanah hanya terjadi ke satu arah vertikal ke permukaan tanah).
2. Harga  $C_v$  (koefisien konsolidasi) yang dipakai adalah  $C_{v_{gab}}$  dari semua lapisan tanah terkonsolidasi yang besarnya seperti perhitungan di atas.
3.  $C_h$  (koefisien konsolidasi horizontal) diasumsikan 2 kali  $C_v$ .

Perhitungan dimulai dengan menentukan diameter ekivalen *vertical drain* ( $D$ ), faktor *vertical drain* ( $n$ ), dan faktor hambatan ( $F_n$ ). Perbedaan antara pola segiempat dan segitiga terdapat pada

rumus  $D$ , di mana untuk pola persegi  $D=1,13 \times S$  dan untuk pola segitiga  $D = 1,05 \times S$ . Dengan rincian perhitungan seperti Lampiran II, didapat hasil perhitungan faktor *vertical drain* seperti pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 berikut:

**Tabel 5.6** Hasil Perhitungan Faktor *Vertical Drain* Pola Segitiga

Jarak Pemasangan (m)	D (cm)	n	Fn
0.8	84	13	1.80
0.9	94.5	14	1.91
1.0	115.5	17	2.01
1.2	126	19	2.19
1.4	120.75	18	2.34
1.6	168	25	2.47
1.8	189	28	2.59
2	210	31	2.70

**Tabel 5.7** Hasil Perhitungan Faktor *Vertical Drain* Pola Segiempat

Jarak Pemasangan (m)	D (cm)	n	Fn
0.8	90.4	14	1.87
1	113	17	2.09
1.1	124.3	19	2.18
1.2	135.6	20	2.27
1.4	158.2	24	2.41
1.6	180.8	27	2.55
1.8	203.4	30	2.67
2	226	34	2.77

Dari faktor *vertical drain* di atas, dapat dihitung faktor waktu konsolidasi ( $T_v$ ). Kemudian derajat konsolidasi tanah arah vertikal ( $U_v$ ) dan derajat konsolidasi tanah arah horizontal ( $U_h$ ), dan derajat konsolidasi tanah rata-rata dapat dihitung dengan Persamaan 2.25. Rincian perhitungan ditampilkan pada Lampiran II, dengan contoh hasil  $U_{\text{rata-rata}}$  seperti Tabel 5.6 dan Tabel 5.7 berikut.

**Tabel 5.8** Hasil Perhitungan  $U_{rata-rata}$  PVD Pola Segita

t	$U_{rata-rata}$ (%)							
	S= 0.8 m	S= 0.9 m	S= 1.1 m	S= 1.2 m	S= 1.4 m	S= 1.6 m	S= 1.8 m	S= 2.0 m
1	31.474	25.081	17.110	14.581	11.165	9.015	7.599	6.623
2	52.178	42.839	30.028	25.694	19.631	15.693	13.049	11.203
3	66.527	56.257	40.755	35.166	27.072	21.648	17.932	15.305
4	76.534	66.473	49.760	43.344	33.722	27.068	22.421	19.092
5	83.533	74.278	57.355	50.441	39.706	32.047	26.592	22.634
6	88.436	80.252	63.775	56.619	45.111	36.641	30.490	25.968
7	91.875	84.830	69.213	62.006	50.005	40.893	34.146	29.121
8	94.289	88.342	73.824	66.711	54.443	44.837	37.583	32.112
9	95.984	91.038	77.736	70.822	58.474	48.500	40.821	34.954
10	97.176	93.109	81.058	74.419	62.137	51.906	43.875	37.659
11	98.013	94.700	83.881	77.567	65.468	55.076	46.758	40.237
12	98.602	95.922	86.280	80.323	68.499	58.028	49.482	42.696
13	99.016	96.862	88.320	82.738	71.260	60.779	52.058	45.044
14	99.307	97.585	90.055	84.854	73.774	63.343	54.496	47.287
15	99.512	98.142	91.531	86.708	76.064	65.735	56.803	49.431
16	99.657	98.569	92.787	88.334	78.152	67.966	58.987	51.482
17	99.758	98.899	93.856	89.760	80.055	70.049	61.057	53.444
18	99.830	99.152	94.766	91.010	81.790	71.993	63.018	55.321
19	99.880	99.347	95.541	92.107	83.373	73.809	64.877	57.119
20	99.916	99.497	96.200	93.070	84.817	75.504	66.639	58.841
21	99.940	99.613	96.762	93.914	86.134	77.088	68.311	60.490
22	99.958	99.702	97.241	94.656	87.336	78.567	69.896	62.070
23	99.970	99.770	97.648	95.306	88.433	79.950	71.399	63.584
24	99.979	99.823	97.996	95.877	89.434	81.242	72.826	65.035

**Tabel 5.9** Hasil Perhitungan  $U_{rata-rata}$  Setiap PVD Pola Segiempat

t	$U_{rata-rata}$ (%)							
	S= 0.8 m	S= 1.0 m	S= 1.1 m	S= 1.2 m	S= 1.4 m	S= 1.6 m	S= 1.8 m	S= 2.0 m
1	23.461	15.046	12.524	10.651	8.139	6.571	5.542	4.835
2	40.625	26.851	22.444	19.087	14.473	11.528	9.569	8.210
3	53.838	36.877	31.087	26.565	20.195	16.037	13.233	11.269
4	64.070	45.466	38.697	33.275	25.448	20.225	16.653	14.128
5	72.013	52.852	45.427	39.328	30.305	24.149	19.880	16.835
6	78.189	59.217	51.392	44.803	34.812	27.843	22.942	19.414
7	82.995	64.708	56.689	49.764	39.003	31.329	25.858	21.883
8	86.739	69.451	61.396	54.265	42.907	34.627	28.641	24.252
9	89.655	73.549	65.583	58.353	46.548	37.751	31.302	26.531
10	91.928	77.093	69.309	62.067	49.945	40.713	33.850	28.727
11	93.701	80.158	72.627	65.443	53.119	43.523	36.293	30.844
12	95.084	82.811	75.583	68.514	56.084	46.192	38.635	32.888

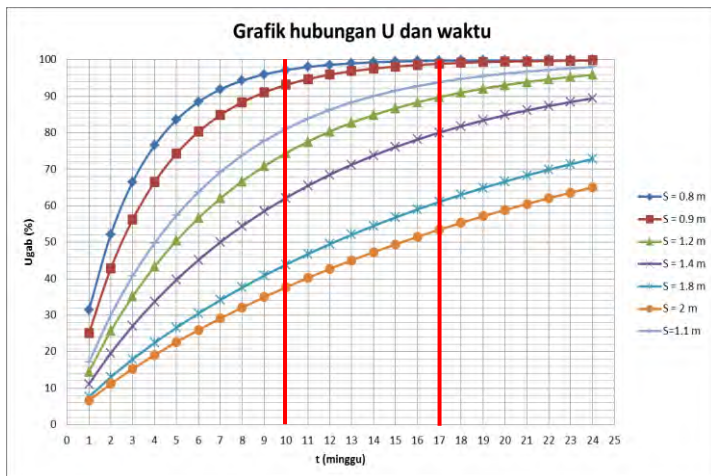
13	96.162	85.107	78.216	71.308	58.856	48.728	40.883	34.862
14	97.004	87.095	80.563	73.851	61.448	51.138	43.042	36.771
15	97.661	88.816	82.655	76.166	63.874	53.430	45.116	38.617
16	98.173	90.306	84.521	78.274	66.143	55.611	47.109	40.403
17	98.573	91.598	86.185	80.194	68.267	57.685	49.025	42.133
18	98.886	92.716	87.668	81.943	70.255	59.659	50.868	43.807
19	99.130	93.685	88.992	83.536	72.117	61.538	52.641	45.429
20	99.320	94.525	90.173	84.987	73.860	63.327	54.347	47.001
21	99.469	95.253	91.227	86.310	75.493	65.031	55.988	48.524
22	99.585	95.884	92.167	87.515	77.022	66.654	57.568	50.000
23	99.676	96.431	93.006	88.614	78.455	68.199	59.089	51.431
24	99.747	96.905	93.755	89.615	79.797	69.671	60.554	52.819

Keterangan :

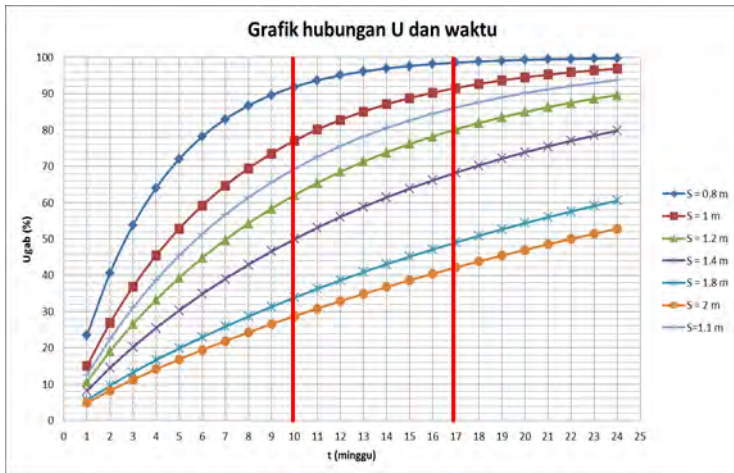
t = waktu penggunaan PVD (minggu)

S = jarak antar PVD (meter)

Dari Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 di atas, dapat dibuat grafik hubungan antara waktu penimbunan terhadap derajat konsolidasi rata-rata (U), seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.5 dan 5.6 di bawah ini:



**Gambar 5.5** Grafik Hubungan U dengan Waktu Timbunan dengan PVD Pola Segitiga



**Gambar 5.6** Grafik Hubungan U dengan Waktu Timbunan dengan PVD Pola Segiempat

Berdasarkan Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 dapat diketahui jarak PVD yang digunakan. Penetapan penggunaan PVD berdasarkan pada waktu penimbunan bertahap timbunan.

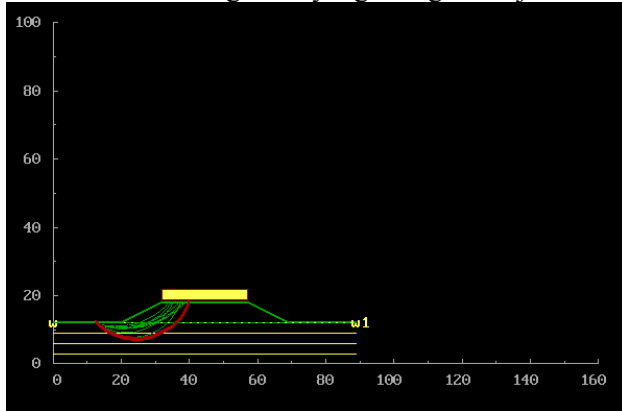
Pada timbunan setinggi 3 meter direncanakan penimbunan bertahap selama 10 minggu. Sehingga dari Gambar 5.5 didapatkan jarak PVD dengan pola segitiga sebesar 0,9 meter karena nilai konsolidasi  $> 90\%$  pada minggu ke 10.

Pada timbunan 5 meter direncanakan penimbunan bertahap selama 17 minggu. Sehingga dari Gambar 5.6 didapatkan jarak dengan pola segitiga PVD sebesar 1,1 meter karena nilai konsolidasi  $> 90\%$  pada minggu ke 17.

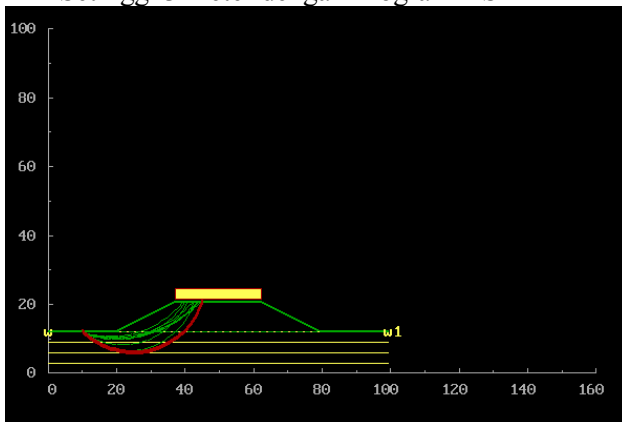
### 5.5 Perencanaan Perkuatan Timbunan

Dalam perencanaan ini, perkuatan timbunan dibagi menjadi beberapa perkuatan berdasarkan jenis timbunan. Pada timbunan miring digunakan *geotextile* dan cerucuk sebagai perkuatan. Sedangkan pada timbunan tegak digunakan *geotextile wall* dan *ground anchor* sebagai perkuatan.

Untuk menghitung jumlah masing-masing perkuatan yang dipakai, dicari terlebih dahulu besarnya gaya dalam yang terjadi jika terjadi kelongsoran. Kelongsoran ini dimodelkan dengan alat bantu XSTABL. Berikut adalah simulasi program XSTABL untuk memodelkan kelongsoran yang mungkin terjadi :



**Gambar 5.7** Hasil Analisa Kelongsoran Timbunan Miring Setinggi 3 meter dengan Program XSTABL



**Gambar 5.8** Hasil Analisa Kelongsoran Timbunan Miring Setinggi 5 meter dengan Program XSTABL

Dari hasil simulasi program XSTABL didapatkan nilai Momen Resisten sebagai berikut :

Tabel 5.10 Hasil Analisa dengan Program XSTABL

Jenis Timbunan	SF	Jari-jari Kelongsoran (m)	Momen Resisten (kN.m)
Timbunan Miring 3 meter	0,727	16,27	8454
Timbunan Miring 5 meter	0,655	20,70	16190

### 5.5.1 Perencanaan Perkuatan *Geotextile*

Dalam perencanaan ini, *geotextile* dipasang tiap 30 cm. Adapun langkah-langkah dalam perencanaan perkuatan *geotextile* ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung tegangan tarik izin ( $T_{allow}$ ) *Geotextile*  
Spesifikasi *geotextile* yang dipakai adalah STABILENKA 200/45 seperti pada Lampiran. Dengan menggunakan Persamaan 2.34 dan Tabel 2.2, maka  $T_{allow\_Geotextile}$  dapat dihitung.
2. Menghitung jarak *Geotextile* ke titik pusat kelongsoran ( $T_i$ )  
 $T_i$  dapat dihitung dengan menghitung selisih ordinat dasar kelongsoran dengan titik pusat kelongsoran.
3. Menghitung tegangan geser *geotextile* dengan tanah timbunan ( $\tau_1$ )  
Dengan mengetahui tegangan geser *undrained* tanah timbunan ( $Cu_1$ ) dan sudut geser tanah timbunan ( $\theta_1$ ) dan dengan Persamaan 2.38, maka  $\tau_1$  dapat dihitung.
4. Menghitung tegangan geser *geotextile* dengan tanah asli ( $\tau_2$ )  
Dengan mengetahui tegangan geser *undrained* tanah asli ( $Cu_2$ ) dan sudut geser tanah asli ( $\theta_2$ ) dan dengan Persamaan 2.38, maka  $\tau_2$  dapat dihitung.
5. Menghitung panjang *geotextile* di belakang bidang longsor ( $L_e$ )  
 $L_e$  dihitung menggunakan Persamaan 2.37.
6. Menghitung panjang *geotextile* di depan bidang longsor ( $L_r$ )  
Panjang *Geotextile* di Depan Bidang Longsor ( $L_r$ ) ditentukan menggunakan koordinat hasil analisa program

XTSABLE kemudian menggunakan program bantu AutoCAD untuk menggambar bidang longsor dan menentukan panjang di depan bidang longsor.

#### 7. Menentukan Panjang Lipatan *geotextile* ( $L_o$ )

$L_o$  ditentukan 1 meter

Dengan rincian perhitungan yang ditampilkan pada Lampiran II, hasil perhitungan kebutuhan *geotextile* ditampilkan pada Tabel 5.11 dan Tabel 5.12 sebagai berikut:

Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Panjang *Geotextile* Timbunan Miring 3 Meter (Setengah Timbunan)

<u>Hi (m)</u>	<u>Le (m)</u>	<u>Lo (m)</u>	<u>Lr (m)</u>	<u>Ltotal</u>
6	1.210	1	16.2	19.4
5.7	0.687	1	15.9	18.6
5.4	0.725	1	15.6	18.3
5.1	0.767	1	15.3	18.1
4.8	0.815	1	15	17.8
4.5	0.870	1	14.7	17.6
4.2	0.932	1	14.4	17.3
3.9	1.004	1	14.1	17.1
3.6	1.087	1	13.8	16.9
3.3	1.186	1	13.5	16.7
3	1.305	1	13.2	16.5
2.7	1.450	1	12.9	16.3
2.4	1.631	1	12.6	16.2
2.1	1.864	1	12.3	16.2
1.8	2.174	1	12	16.2

Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Panjang *Geotextile* Timbunan Miring 5 Meter (Setengah Timbunan)

<u>Hi (m)</u>	<u>Le (m)</u>	<u>Lo (m)</u>	<u>Lr (m)</u>	<u>Ltotal</u>
8.6	0.863	1	20.8	23.7
8.3	0.472	1	20.5	23.0
8	0.489	1	20.2	22.7
7.7	0.508	1	19.9	22.4
7.4	0.529	1	19.6	22.1
7.1	0.551	1	19.3	21.9
6.8	0.576	1	19	21.6
6.5	0.602	1	18.7	21.3



6.2	0.631	1	18.4	21.0
5.9	0.663	1	18.1	20.8
5.6	0.699	1	17.8	20.5
5.3	0.739	1	17.5	20.2
5	0.783	1	17.2	20.0
4.7	0.833	1	16.9	16.9
4.4	0.890	1	16.6	16.6
4.1	0.955	1	16.3	16.3
3.8	1.030	1	16	16.0
3.5	1.118	1	15.7	15.7
3.2	1.223	1	15.4	15.4
2.9	1.350	1	15.1	15.1
2.6	1.505	1	14.8	14.8
2.3	1.702	1	14.5	14.5
2	1.957	1	14.2	14.2
1.7	2.302	1	16.1	16.1
1.4	2.796	1	15.5	15.5
1.1	3.558	1	14.9	14.9
0.8	4.893	1	14.3	14.3

Kemudian,  $M_{\text{geotextile}}$  dikumulatifkan dengan lapisan di atasnya, sehingga  $\Sigma M_{\text{geotextile}} > \Delta MR$ .

Hasil perhitungan jumlah lapisan *geotextile* yang dibutuhkan ditampilkan pada Tabel 5.13 dan Table 5.14 di bawah ini:

Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Kebutuhan *Geotextile*  
Timbunan Miring 3 Meter

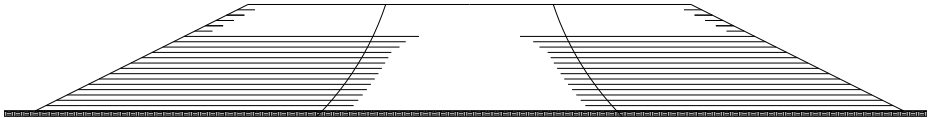
<u>Hi (m)</u>	<u>Ti (m)</u>	<u>Jumlah Lapis</u>	<u><math>\Delta MR</math> (kN.m)</u>	<u><math>\Delta MR</math> Kumulatif (kN.m)</u>
6	11.15	1	573.71	573.71
5.7	10.85	1	558.27	1131.98
5.4	10.55	1	542.84	1674.81
5.1	10.25	1	527.40	2202.21
4.8	9.95	1	511.96	2714.18
4.5	9.65	1	496.53	3210.70
4.2	9.35	1	481.09	3691.79
3.9	9.05	1	465.65	4157.45
3.6	8.75	1	450.22	4607.67
3.3	8.45	1	434.78	5042.45

3	8.15	1	419.35	5461.80
2.7	7.85	1	403.91	5865.71
2.4	7.55	1	388.47	6254.18
2.1	7.25	1	373.04	6627.22
1.8	6.95	1	357.60	6984.82

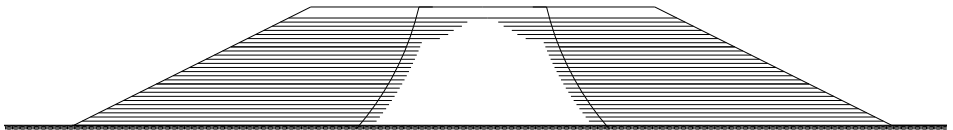
Tabel 5.14 Hasil Perhitungan Kebutuhan *Geotextile*  
Timbunan Miring 5 Meter

<u>Hi (m)</u>	<u>Ti (m)</u>	<u>Jumlah Lapis</u>	$\Delta$ MR (kN.m)	$\Delta$ MR Kumulatif (kN.m)
8.6	14.35	2	1476.72	1476.72
8.3	14.05	2	1445.85	2922.56
8	13.75	1	707.49	3630.05
7.7	13.45	1	692.05	4322.10
7.4	13.15	1	676.61	4998.71
7.1	12.85	1	661.18	5659.89
6.8	12.55	1	645.74	6305.63
6.5	12.25	1	630.31	6935.94
6.2	11.95	1	614.87	7550.81
5.9	11.65	1	599.43	8150.24
5.6	11.35	1	584.00	8734.24
5.3	11.05	1	568.56	9302.80
5	10.75	1	553.13	9855.93
4.7	10.45	1	537.69	10393.62
4.4	10.15	1	522.25	10915.87
4.1	9.85	1	506.82	11422.69
3.8	9.55	1	491.38	11914.07
3.5	9.25	1	475.95	12390.02
3.2	8.95	1	460.51	12850.53
2.9	8.65	1	445.07	13295.60
2.6	8.35	1	429.64	13725.24
2.3	8.05	1	414.20	14139.44
2	7.75	1	398.77	14538.20
1.7	7.45	1	383.33	14921.53
1.4	7.15	1	367.89	15289.43
1.1	6.85	1	352.46	15641.88
0.8	6.55	1	337.02	15978.90

Dari Tabel 5.18 pada timbunan miring 3 meter  $L_{total}$  hasil tersebut memiliki panjang lebih dari setengah timbunan. Sehingga *geotextile* dipasang pada sepanjang lebar timbunan. Ilustrasi pemasangan Geotextile dapat dilihat pada Gambar 5.16 dan Gambar 5.17.



**Gambar 5.9** Ilustrasi Pemasangan *Geotextile* Pada Timbunan Miring 3 meter



**Gambar 5.10** Ilustrasi Pemasangan *Geotextile* Pada Timbunan Miring 5 meter

### 5.5.2 Perencanaan Perkuatan *Geotextile Wall*

Untuk mendapatkan gaya yang bekerja pada *geotextile*, terlebih dahulu mencari tekanan horizontal ( $\sigma_H$ ) yang terjadi menggunakan Persamaan 2.42. Setelah itu, Menghitung tegangan tarik izin ( $T_{allow}$ ) *Geotextile*. Spesifikasi *geotextile* yang dipakai adalah STABILENKA 200/45 seperti pada Lampiran. Dengan menggunakan Persamaan 2.34 dan Tabel 2.2, maka  $T_{allow}$  *Geotextile* dapat dihitung. Kemudian mencari jarak antar geotextile ( $S_v$ ) menggunakan Persamaan 2.42. Hasil perhitungan nilai  $S_v$  ditunjukkan pada Tabel 5.27 dan Tabel 5.28.

Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Jarak Pemasangan *Geotextile Wall* Pada Timbunan Tegak 3 Meter

H	z	$\sigma_{Hs}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{Hq}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_H$ (kN/m <sup>2</sup> )	Sv
3	3	18.50	7.03	25.53	0.40
3	2	12.33	7.03	19.37	0.53
3	1	6.17	7.03	13.20	0.78

Tabel 5.16 Hasil Perhitungan Jarak Pemasangan *Geotextile Wall* Pada Timbunan Tegak 5 Meter

H	z	$\sigma_{Hs}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{Hq}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_H$ (kN/m <sup>2</sup> )	Sv
5	5	30.83	6.03	36.87	0.28
5	4	24.67	6.03	30.70	0.34
5	3	18.50	6.03	24.53	0.42
5	2	12.33	6.03	18.37	0.56
5	1	6.17	6.03	12.20	0.84

Pada Timbunan Tegak 3 Meter direncanakan :

- Pada  $z = 0$  s.d.  $z = 1,5$  meter digunakan  $S_v = 0,5$  meter
- Pada  $z = 1,5$  s.d.  $z = 3$  meter digunakan  $S_v = 0,3$  meter

Pada Timbunan Tegak 5 Meter direncanakan :

- Pada  $z = 0$  s.d.  $z = 3,5$  meter digunakan  $S_v = 0,5$  meter
- Pada  $z = 3,5$  s.d.  $z = 5$  meter digunakan  $S_v = 0,25$  meter

Setelah didapatkan jarak vertikal antar *geotextile*, kemudian menentukan kebutuhan panjang *geotextile* yang berada dalam *anchorage zone* ( $L_e$ ) menggunakan Persamaan 2.45 serta menentukan kebutuhan panjang *geotextile* yang berada di depan bidang longsor ( $L_r$ ) menggunakan Persamaan 2.44.

Dengan rincian perhitungan yang ditampilkan pada Lampiran II, hasil perhitungan kebutuhan *geotextile* ditampilkan pada Tabel 5.29 dan Tabel 5.30 sebagai berikut:

Tabel 5.17 Hasil Perhitungan Kebutuhan Panjang *Geotextile Wall* Pada Timbunan Tegak 3 Meter

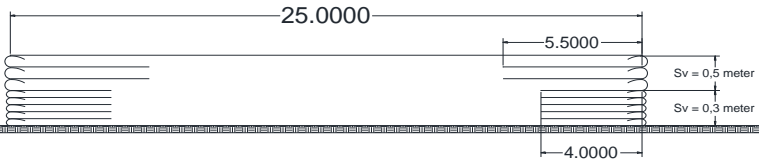
Layer	Z (m)	Sv (m)	Le (m)	Le Pakai (m)	Lr (m)	L Total (m)	L pakai (m)
1	0.5	0.5	0.65	1	4.3	5.3	5.5
2	1	0.5	0.43	1	3.5	4.5	5.5
3	1.5	0.3	0.21	1	2.6	3.6	4
4	1.8	0.3	0.20	1	2.1	3.1	4
5	2.1	0.3	0.18	1	1.6	2.6	4
6	2.4	0.3	0.18	1	1.0	2.0	4
7	2.7	0.3	0.17	1	0.5	1.5	4
8	3	0.3	0.17	1	0.0	1.0	4

Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Kebutuhan Panjang *Geotextile Wall* Pada Timbunan Tegak 5 Meter

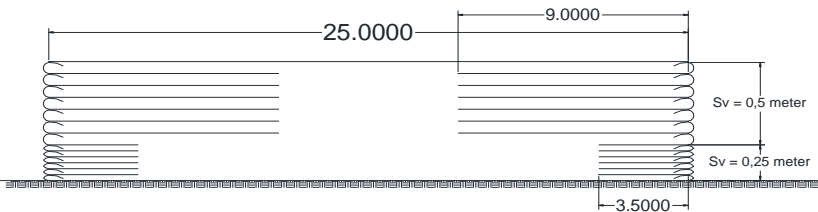
Layer	Z (m)	Sv (m)	Le (m)	Le Pakai (m)	Lr (m)	L Total (m)	L pakai (m)
1	0.5	0.5	0.59	1	7.8	8.8	9
2	1	0.5	0.39	1	6.9	7.9	9
3	1.5	0.5	0.33	1	6.1	7.1	9
4	2	0.5	0.30	1	5.2	6.2	9
5	2.5	0.5	0.28	1	4.3	5.3	9
6	3	0.5	0.26	1	3.5	4.5	9
7	3.5	0.25	0.13	1	2.6	3.6	9
8	3.75	0.25	0.13	1	2.2	3.2	3.5
9	4	0.25	0.12	1	1.7	2.7	3.5
10	4.25	0.25	0.12	1	1.3	2.3	3.5
11	4.5	0.25	0.12	1	0.9	1.9	3.5
12	4.75	0.25	0.12	1	0.4	1.4	3.5
13	5	0.25	0.12	1	0.0	1.0	3.5

\

Berikut adalah ilustrasi pemasangan *geotextile wall* pada timbunan tegak :



**Gambar 5.11** Ilustrasi Pemasangan *Geotextile Wall* Pada Timbunan Tegak 3 meter



**Gambar 5.12** Ilustrasi Pemasangan *Geotextile Wall* Pada Timbunan Tegak 5 meter

### 5.5.3 Perencanaan Perkuatan *Micropile* Sebagai Cerucuk

Dalam perencanaan *micropile* ini, spesifikasi yang digunakan adalah ATA BETON dengan penampang persegi dengan dimensi 20 x 20 cm. berikut perhitungan gaya horizontal yang dapat diterima satu *micropile* :

- Penentuan Dimensi

Dipakai:

bt = lebar penampang

= 20 cm

ht = tinggi penampang

= 20 cm

fy = tegangan leleh tulangan

= 400 MPa

$$f'c = \text{tegangan kekuatan beton} \\ = 37,35 \text{ Mpa}$$

$$D = \text{diameter tulangan memanjang } micropile \\ = 10 \text{ mm}$$

$$\phi = \text{diameter tulangan sengkang } micropile \\ = 6 \text{ mm}$$

$$d' = \text{tebal selimut beton} \\ = 40 \text{ mm}$$

$$\text{jumlah tulangan tarik} = 2 \text{ buah}$$

$$\text{jumlah tulangan tekan} = 2 \text{ buah}$$

$$\text{jarak pemasangan tulangan sengkang} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{As tarik} = 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2\right) \\ = 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2\right) \\ = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tarik} = 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2\right) \\ = 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 6^2\right) \\ = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$d = h - d' - (1/2 \times D) - \phi \\ = (18 \times 10) - 40 - (1/2 \times 10) - 6 \\ = 129 \text{ mm}$$

- Menghitung Panjang *micropile* (L)

$$L_a \text{ (di atas bidang longsor)} = 8 \text{ m}$$

Kedalaman *micropile* harus lebih besar dari  $L_b$ , sehingga direncanakan  $L_b = 2 \text{ m}$ .

$$L_{\text{total}} = 10 \text{ m}$$

- Menghitung Momen *Ultimate Micropile* ( $M_u$ )

$$\text{gaya tekan} = \text{gaya tarik}$$

$$0,85 \times f'c \times b \times a = \text{As tarik} \times f_y$$

$$a = \frac{157,08 \text{ mm}^2 \times 400}{0,85 \times 37,35 \text{ MPa} \times (16 \text{ cm} \times 10)}$$

$$a = 10,9951 \text{ mm}$$

gaya tekan:

$$C = 0,85 \times 37,35 \text{ MPa} \times (16 \text{ cm} \times 10) \times 10,9951 \text{ mm}$$

$$= 62831,9 \text{ N}$$

Momen nominal ( $M_n$ ):

$$\begin{aligned} M_n &= C\left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' x f_y (d - d') \\ &= 62.831,85 \times \left(40 - \frac{10,9951 \text{ mm}}{2}\right) + 157,08 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times \\ &\quad (129 \text{ mm} - 40) \\ &= 13.351.923,8 \text{ Nmm} \\ &= 1,335 \text{ ton.m} \end{aligned}$$

Momen ultimate ( $M_u$ )

$$\begin{aligned} M_u &= \phi \times M_n \\ &= 0,8 \times 1,335 \text{ ton.m} \\ &= 1,068 \text{ ton.m} \\ &= 106,8154 \text{ ton.cm} \end{aligned}$$

- Menghitung Gaya Penahan (*Resisting*)

Faktor modulus tanah ( $f$ )

$$\begin{aligned} C_u &= 21,62 \text{ KN/m}^2 \\ &= 0,2162 \text{ Kg/cm}^2 \\ q_u &= 2 \times C_u \\ &= 2 \times 0,2162 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 0,4324 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

dengan Grafik NAVFAC, DM-7, 1971 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 2.14**, maka didapat:

$$f = 0,256 \text{ kg/cm}^3$$

Momen inersia ( $I$ )

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} x b x h^3 \\ &= \frac{1}{12} x 18 x 18^3 \\ &= 87.480.000 \text{ mm}^4 \\ &= 8748 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Momen Tahanan ( $W$ )

$$\begin{aligned} W &= I/C \\ &= I/(0,5h) \\ &= 8748 \text{ cm}^4 / (0,5 \times 18\text{cm}) \\ &= 972 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Modulus Elastisitas ( $E$ )



$$E = 250000 \text{ kg/cm}^2$$

Faktor Kekakuan Relatif (T)

$$\begin{aligned} T &= (EI/f)^{1/5} \\ &= (250000 \text{ kg/cm}^2 \times 8748 \text{ cm}^4 / 0,256 \text{ Kg/cm}^3)^{1/5} \\ &= 96,89 \text{ cm} \end{aligned}$$

Koefisien Momen Akibat Gaya Lateral ( $F_M$ )

$$\begin{aligned} Lb/T &= 2 \times 100 / T \\ &= 2 \text{ cm} \times 100 / 96,89 \text{ cm} \\ &= 2,064 \end{aligned}$$

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

dengan Grafik NAVFAC, DM-7, 1971 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 2.15**, maka didapat:

$$F_M = 1$$

- Menghitung Gaya Horizontal yang Mampu Dipikul 1 Buah *Micropile*

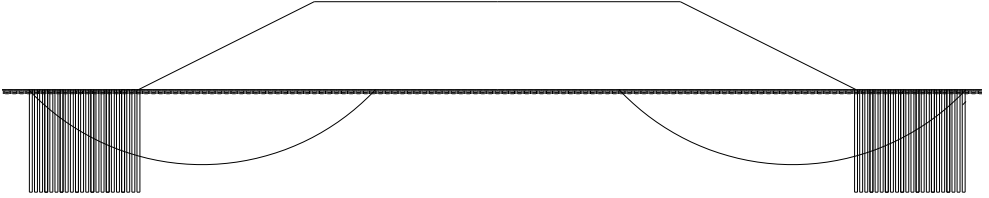
$$\begin{aligned} P &= Mu / (F_M \cdot T) \\ &= 106,8154 \text{ toncm} / (1 \times 102,638 \text{ cm}) \\ &= 1,047 \text{ ton} \\ &= 10,407 \text{ KN} \end{aligned}$$

Berdasarkan Persamaan 2.34 didapatkan  $\Delta MR$ . Setelah itu mencari nilai  $P_{max}$  menggunakan Persamaan 2.49b. kemudian berdasarkan Persamaan 2.48a didapatkan jumlah cerucuk. Untuk perhitungan secara detail ditampilkan pada Lampiran II.

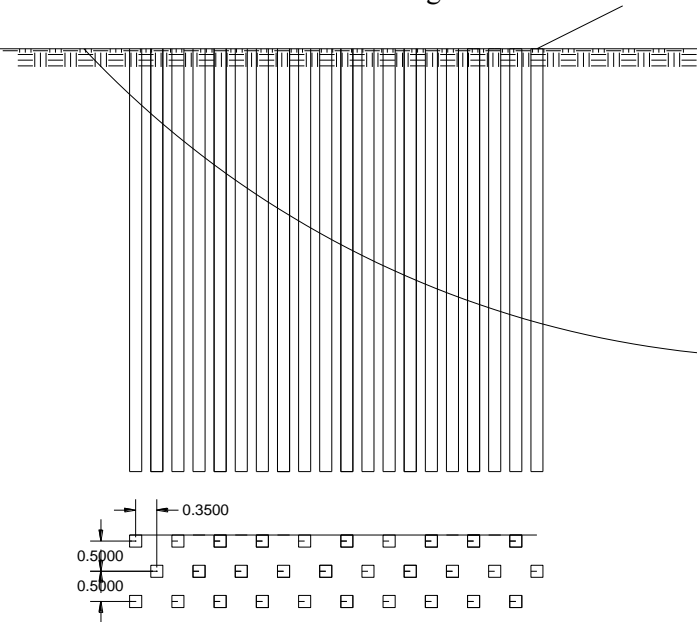
Tabel 5.19 Hasil Perhitungan Kebutuhan *Micropile*

Jenis Timbunan	Kebutuhan <i>Micropile</i>
Timbunan Miring 3 meter	20
Timbunan Miring 5 meter	36

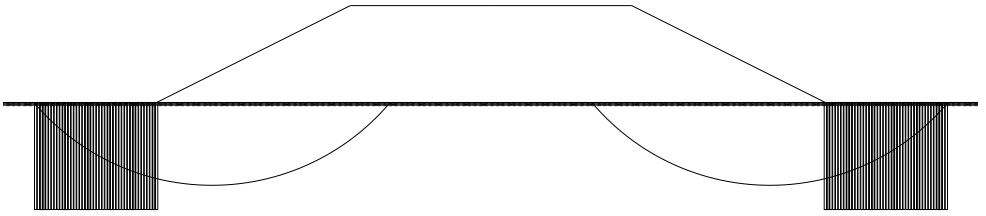
Berikut adalah ilustrasi pemasangan *micropile* pada timbunan miring :



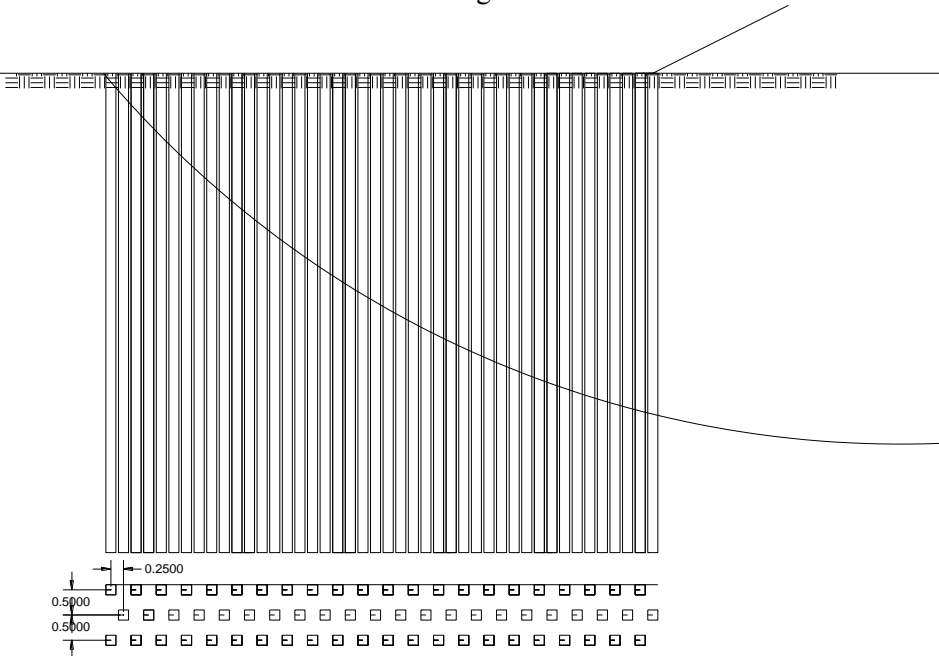
**Gambar 5.13** Ilustrasi Pemasangan *micropile* Pada Timbunan Miring 3 meter



**Gambar 5.14** Tampak Atas Pemasangan *micropile* Pada Timbunan Miring 3 meter



**Gambar 5.15** Ilustrasi Pemasangan *micropile*  
Pada Timbunan Miring 5 meter



**Gambar 5.16** Tampak Atas Pemasangan *micropile*  
Pada Timbunan Miring 5 meter

### 5.6 Analisa Biaya Perkuatan

Berdasarkan hasil perencanaan kebutuhan perkuatan didapatkan biaya yang dibutuhkan :

Tabel 5.20 Rekap biaya perkuatan

No	Jenis timbunan	Alternatif	Biaya
1	Timbunan 3 meter	Geotextile	Rp 20,312,228,160.00
		Geotextile Wall	Rp 2,735,180,000.00
		Cerucuk	Rp 47,468,769,800.00
2	Timbunan 5 meter	Geotextile	Rp 3,046,400,000.00
		Geotextile Wall	Rp 470,400,000.00
		Cerucuk	Rp 8,380,080,000.00

Berdasarkan Tabel 5.19 diperoleh harga perkuatan paling ekonomis menggunakan *geotextile wall* dengan total biaya Rp. 1.367.590.000 untuk timbunan setinggi 3 meter dan Rp. 235.200.000 untuk timbunan setinggi 5 meter.

## BAB VI PERENCANAAN BOX CULVERT

### 6.1 Analisa Gaya Pada Box Culvert

Berikut adalah beban-beban yang bekerja pada *box culvert* :

1. Berat sendiri

$$Q = ((0,3 \times 1,2 \times 2,5) + (0,25 \times 1,2 \times 2,5)) \times 4 = 6,1 \text{ t/m}^2$$

2. Beban lalu lintas

$$Q_{\text{traffic}} = 1,2 \text{ t/m}^2 + 4,4 \text{ t/m}^2 = 5,6 \text{ t/m}^2$$

3. Beban tekanan tanah

$$Q_{\text{Tanah}} = \gamma \cdot H \cdot K_a = 1,85 \cdot 5,9 \cdot \tan^2 (45 - \Phi/2) = 3,06195 \text{ t/m}^2$$

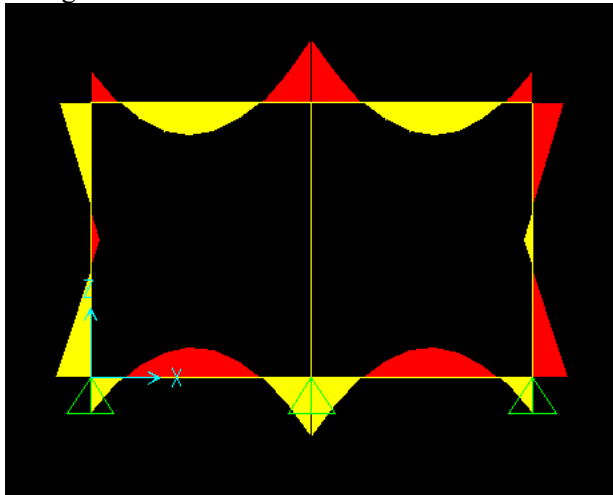
4. Tekanan Tanah akibat beban lalu lintas

$$Q_{\text{Traffic}}' = q_{\text{traffic}} \cdot K_a = 1 \cdot \tan^2 (45 - \Phi/2) = 0,5973 \text{ t/m}^2$$

5. Tekanan Tanah Atas (*uplift Pressure*)

$$Q_{\text{uplift}} = 7,1 \text{ t/m}^2$$

Berdasarkan Analisa Program SAP 2000 v14 didapatkan momen sebagai berikut :



**Gambar 6.1** Analisa Momen Berdasarkan Program SAP 2000

Berikut rekap analisa gaya menggunakan program SAP2000 pada *box culvert* :

Tabel 6.1 Rekap Analisa gaya menggunakan program SAP2000

No.	Jenis Pelat	Momen yang terjadi (t.m)
1	Pelat Atas	13,118
2	Pelat Bawah	12,134
3	Pelat Samping	7,625

## 6.2 Perhitungan Kebutuhan Tulangan *Box Culvert*

Berikut adalah perhitungan kebutuhan tulangan :

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{131,18}{0,80} = 163,975 \text{ kNm}$$

Direncanakan  $\Phi$  tulangan : 19 mm

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{390}{0,85 \times 29,05} = 15,79$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 * \beta_1 * fc'}{fy} * \frac{600}{(600 + fy)} \quad (\text{SNI } 03-2847-2013 \text{ lampiran } B.8.4.2)$$

$$= \frac{0,85 * 0,80 * 29,05}{390} * \frac{600}{(600 + 390)} = 0,032616$$

$$\rho_{\text{max}} \leq 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 * 0,032616 = 0.0244$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0036 \quad (\text{SNI } 03-2847-2013 \text{ pasal } 6.3.11)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{163,975}{1000 \times 260^2} = 2,425$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) =$$

$$\frac{1}{15,79} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{(2) \cdot (15,79) \cdot (2,425)}{390}} \right) = 0,006559 > \rho_{\text{min}}$$

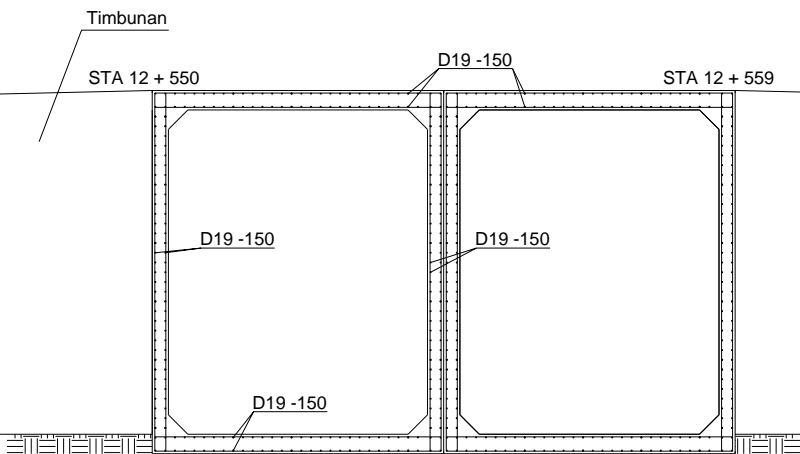
Jadi dipakai  $\rho_{\text{PERLU}}$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{min}} \times b \times d = 0,006559 \times 1000 \times 260 = 1705,454 \text{ mm}^2$$

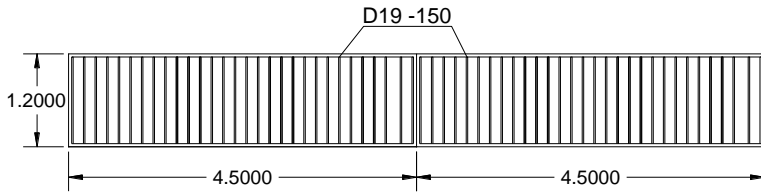
$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{A_s} = 166,139 \text{ mm}$$

Jadi jarak tulangan yang dipakai adalah 150 mm

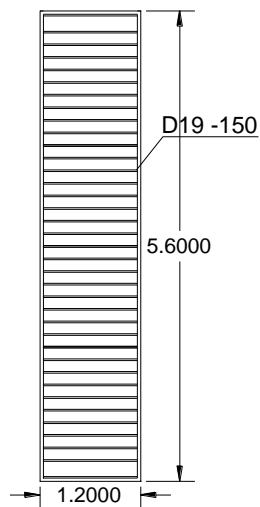
Berikut adalah ilustrasi penulangan *Box Culvert* :



**Gambar 6.2** Kebutuhan Tulangan *Box Culvert Underpass* pada STA 12+550



**Gambar 6.3** Tampak Atas Kebutuhan Tulangan *Box Culvert Underpass* pada STA 12+550



**Gambar 6.3** Tampak Samping Kebutuhan Tulangan *Box Culvert Underpass* pada STA 12+550



## BAB VII KESIMPULAN

Dalam perencanaan tugas akhir ini diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Penurunan yang terjadi akibat timbunan di atasnya adalah sebagai berikut :
  - Timbunan miring setinggi 3 meter = 2 meter
  - Timbunan miring setinggi 5 meter = 2,6 meter
  - Timbunan tegak setinggi 3 meter = 2 meter
  - Timbunan tegak setinggi 5 meter = 2,6 meter
2. Tinggi awal timbunan yang harus dibuat agar dapat sesuai dengan tinggi akhir setelah terjadi konsolidasi adalah :
  - Timbunan miring setinggi 3 meter = 6 meter
  - Timbunan miring setinggi 5 meter = 8,6 meter
  - Timbunan tegak setinggi 3 meter = 6 meter
  - Timbunan tegak setinggi 5 meter = 8,6 meter
3. PVD dipasang dengan pola segitiga dengan jarak  $S = 0,9$  m (timbunan setinggi 3 meter) dan jarak  $S = 1,1$  m (timbunan setinggi 5 meter). Waktu konsolidasi yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi  $>90\%$  adalah 10 minggu untuk timbunan setinggi 3 meter dan 17 minggu untuk timbunan setinggi 5 meter.
4. Perkuatan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :
  - Perkuatan *geotextile* yang dibutuhkan pada timbunan miring setinggi 3 meter adalah 14 lapis, sedangkan pada timbunan miring setinggi 5 meter adalah 27 lapis.
  - Perkuatan *geotextile* sebagai dinding penahan tanah yang dibutuhkan pada timbunan tegak setinggi 3 meter adalah 8 lapis dengan  $S_v = 0,5$  meter pada  $z = 0$  s.d.  $z = 1,5$  meter dan  $S_v = 0,3$  meter pada  $z = 1,5$  s.d.  $z = 3$ , sedangkan pada timbunan tegak setinggi 5 meter adalah 13 lapis dengan  $S_v = 0,5$  meter pada  $z = 0$  s.d.  $z = 3,5$  meter dan  $S_v = 0,25$  meter pada  $z = 3,5$  s.d.  $z = 5$  meter.

- Perkuatan *micropile* ATA BETON 20 x 20 cm sebagai cerucuk yang dibutuhkan pada timbunan miring setinggi 3 meter adalah 20 buah, sedangkan pada timbunan miring setinggi 5 meter adalah 36 buah.
  - perkuatan paling ekonomis menggunakan *geotextile wall* dengan total biaya Rp. 1.367.590.000 untuk timbunan setinggi 3 meter dan Rp. 235.200.000 untuk timbunan setinggi 5 meter.
5. *Box Culvert* menggunakan Box 4000/5000 PT. Lisa Concrete Indonesia dengan tulangan yang dibutuhkan adalah D19 - 150.

**LAMPIRAN II**  
**CONTOH PERHITUNGAN TIMBUNAN MIRING DAN**  
**TIMBUNAN TEGAK**

**1. Timbunan Miring 3 meter**

Berikut adalah contoh perhitungan *settlement* akibat timbunan jalan  $h_{\text{final}} = 3$  m pada STA 11+850 s/d 12+450 dan STA 12+659 s/d 13+850 :

**Perhitungan Besar *Settlement* dan Tinggi Awal Timbunan**

- Perhitungan  $q$  timbunan akibat beban lalu lintas

$H$  timbunan = 5 m

$q$  lalu lintas tot =  $q$  lalu lintas +  $q$  aspal +  $q$  base course +  $q$  sub base

Tabel 26. Hasil perhitungan  $q$  lalu lintas total

$q$ lalu lintas	1.0	$t/m^2$
$q$ aspal	0.1	$t/m^2$
$q$ base course	0.5	$t/m^2$
$q$ sub base	0.2	$t/m^2$
$q$ lalu lintas tot	1.81	$t/m^2$

$$\begin{aligned}
 H \text{ lalu lintas} &= \frac{q \text{ lalu lintas}}{\text{timbunan}} \\
 &= \frac{1,81 \text{ t/m}^2}{1,85 \text{ t/m}^3} \\
 &= 0,98
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H \text{ total} &= H \text{ timbunan} + H \text{ lalu lintas} \\
 &= 3 \text{ m} + 0,98 \text{ m} \\
 &= 3,98 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q \text{ total} &= H \text{ total} \times \text{timbunan} \\
 &= 3,98 \text{ m} \times 1,85 \text{ t/m}^3 \\
 &= 7,36 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, didapat  $q$  total untuk masing-masing  $H$  timbunan yang ditampilkan pada Tabel 27

Tabel 27. Hasil Perhitungan  $Q$  Total

H beban timb (m)	q lalu lintas (t/m <sup>2</sup> )	H traffic (m)	H total (m)	a (m)	B (m)	q total (t/m <sup>2</sup> )
3	1.81	0.98	3.98	7.96	12.50	7.36
5	1.81	0.98	5.98	11.96	12.50	11.06
7	1.81	0.98	7.98	15.96	12.50	14.76
9	1.81	0.98	9.98	19.96	12.50	18.46
11	1.81	0.98	11.98	23.96	12.50	22.16
13	1.81	0.98	13.98	27.96	12.50	25.86

- Perhitungan tegangan overburden efektif ( $\sigma'o$ )

Pada lapisan 1:

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

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

$$(\sigma'o) = \gamma \times Z$$

$$= (-1) \times Z$$

$$= (1,686 \text{ t/m}^3 - 1 \text{ t/m}^3) \times 0,5 \text{ m}$$

$$= 0,343 \text{ t/m}^2$$

Hasil perhitungan  $\sigma'o$  untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan pada Tabel 28.

Tabel 28. Hasil Perhitungan Tegangan *Overburden* Efektif

tegangan over burden	
Kedalaman (m)	$\sigma'o$ (t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.343
1-2	1.029
2-3	1.715
3-4	2.401
4-5	3.086
5-6	3.771
6-7	4.458
7-8	5.148

8-9	5.838
9-10	6.521
10-11	7.197
11-12	7.873

- Perhitungan distribusi tegangan akibat beban timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

Pada lapisan 1:

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

$$a = 2 \times H \text{ total}$$

$$= 2 \times 3,98 \text{ m}$$

$$= 7,96 \text{ m}$$

$$b = \frac{\text{lebar jalan rencana}}{2}$$

$$= \frac{25 \text{ m}}{2}$$

$$= 12,5 \text{ m}$$

$$B_1 = 1/2 \text{ lebar timbunan}$$

$$= 12,5 \text{ m}$$

$$B_2 = \text{Panjang proyeksi horisontal kemiringan timbunan}$$

$$= 7,96 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1}\{(B_1+B_2)/z\} - \tan^{-1}(B_1/z) \text{ (radian)}$$

$$= \tan^{-1}\{(12,5 + 7,96)/0,5\} - \tan^{-1}(12,5/0,5) \text{ radian}$$

$$= 0,98^\circ$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1}(B_1/z)$$

$$= 87,71^\circ$$

$$\Delta\sigma' = q_0/\pi[\{(B_1+B_2)/B_2\}(\alpha_1+\alpha_2) - B_1/B_2(\alpha_2)]$$

$$= 3,68 \text{ t/m}^2$$

Harga tersebut akibat beban  $1/2$  timbunan; untuk timbunan total yang simetris maka harga tersebut harus dikalikan 2 kalinya, sehingga :

$$2 \Delta\sigma' = 2 \times 3,68 = 7,36 \text{ t/m}^2$$

Hasil perhitungan  $\Delta\sigma'$  untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 29. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		3.978	m		
akibat timb		Q =	7.36	t/m			
kedalaman	z	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	7.96	0.89	87.71	3.68	7.3599
1-2	1.5	12.5	7.96	2.65	83.16	3.68	7.3574
2-3	2.5	12.5	7.96	4.34	78.69	3.67	7.3481
3-4	3.5	12.5	7.96	5.93	74.36	3.66	7.3283
4-5	4.5	12.5	7.96	7.39	70.20	3.65	7.2952
5-6	5.5	12.5	7.96	8.70	66.25	3.62	7.2472
6-7	6.5	12.5	7.96	9.85	62.53	3.59	7.1836
7-8	7.5	12.5	7.96	10.83	59.04	3.55	7.1047
8-9	8.5	12.5	7.96	11.65	55.78	3.51	7.0118
9-10	9.5	12.5	7.96	12.32	52.77	3.45	6.9063
10-11	10.5	12.5	7.96	12.86	49.97	3.40	6.7902
11-12	11.5	12.5	7.96	13.27	47.39	3.33	6.6654

Tabel 30. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		5.978	m		
akibat timb		Q =	11.06	t/m			
kedalaman	z	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	11.96	1.12	87.71	5.53	11.06
1-2	1.5	12.5	11.96	3.33	83.16	5.53	11.06
2-3	2.5	12.5	11.96	5.47	78.69	5.52	11.05
3-4	3.5	12.5	11.96	7.50	74.36	5.51	11.02
4-5	4.5	12.5	11.96	9.37	70.20	5.49	10.98
5-6	5.5	12.5	11.96	11.08	66.25	5.46	10.93

6-7	6.5	12.5	11.96	12.59	62.53	5.42	10.85
7-8	7.5	12.5	11.96	13.91	59.04	5.38	10.75
8-9	8.5	12.5	11.96	15.05	55.78	5.32	10.64
9-10	9.5	12.5	11.96	16.01	52.77	5.25	10.51
10-11	10.5	12.5	11.96	16.79	49.97	5.18	10.36
11-12	11.5	12.5	11.96	17.43	47.39	5.10	10.20

Tabel 31. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		7.978	m		
akibat timb		Q =	14.76	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	15.96	1.28	87.71	7.38	14.76
1-2	1.5	12.5	15.96	3.83	83.16	7.38	14.76
2-3	2.5	12.5	15.96	6.29	78.69	7.37	14.74
3-4	3.5	12.5	15.96	8.63	74.36	7.36	14.72
4-5	4.5	12.5	15.96	10.81	70.20	7.34	14.68
5-6	5.5	12.5	15.96	12.81	66.25	7.31	14.61
6-7	6.5	12.5	15.96	14.61	62.53	7.26	14.53
7-8	7.5	12.5	15.96	16.20	59.04	7.21	14.42
8-9	8.5	12.5	15.96	17.58	55.78	7.15	14.29
9-10	9.5	12.5	15.96	18.77	52.77	7.07	14.14
10-11	10.5	12.5	15.96	19.78	49.97	6.99	13.98
11-12	11.5	12.5	15.96	20.61	47.39	6.90	13.80

Tabel 32. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan	H timb =		9.978	m		
akibat timbunan	Q =	18.46	t/m			

kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	19.96	1.41	87.71	9.23	18.46
1-2	1.5	12.5	19.96	4.20	83.16	9.23	18.46
2-3	2.5	12.5	19.96	6.91	78.69	9.22	18.44
3-4	3.5	12.5	19.96	9.49	74.36	9.21	18.42
4-5	4.5	12.5	19.96	11.91	70.20	9.19	18.37
5-6	5.5	12.5	19.96	14.13	66.25	9.15	18.30
6-7	6.5	12.5	19.96	16.15	62.53	9.11	18.21
7-8	7.5	12.5	19.96	17.95	59.04	9.05	18.10
8-9	8.5	12.5	19.96	19.54	55.78	8.98	17.96
9-10	9.5	12.5	19.96	20.92	52.77	8.90	17.80
10-11	10.5	12.5	19.96	22.10	49.97	8.81	17.62
11-12	11.5	12.5	19.96	23.10	47.39	8.71	17.43

Tabel 33. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		11.978	m		
akibat timbunan		Q =	22.16	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	23.96	1.50	87.71	11.08	22.16
1-2	1.5	12.5	23.96	4.49	83.16	11.08	22.16
2-3	2.5	12.5	23.96	7.39	78.69	11.07	22.14
3-4	3.5	12.5	23.96	10.16	74.36	11.06	22.11
4-5	4.5	12.5	23.96	12.76	70.20	11.03	22.07
5-6	5.5	12.5	23.96	15.17	66.25	11.00	22.00
6-7	6.5	12.5	23.96	17.37	62.53	10.95	21.90
7-8	7.5	12.5	23.96	19.34	59.04	10.89	21.78



8-9	8.5	12.5	23.96	21.09	55.78	10.82	21.64
9-10	9.5	12.5	23.96	22.63	52.77	10.74	21.47
10-11	10.5	12.5	23.96	23.96	49.97	10.64	21.28
11-12	11.5	12.5	23.96	25.11	47.39	10.54	21.07

Tabel 34. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		13.978	m		
akibat timbunan		Q =	25.86	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	27.96	1.58	87.71	12.93	25.86
1-2	1.5	12.5	27.96	4.72	83.16	12.93	25.86
2-3	2.5	12.5	27.96	7.77	78.69	12.92	25.84
3-4	3.5	12.5	27.96	10.70	74.36	12.91	25.81
4-5	4.5	12.5	27.96	13.45	70.20	12.88	25.76
5-6	5.5	12.5	27.96	16.01	66.25	12.85	25.69
6-7	6.5	12.5	27.96	18.35	62.53	12.80	25.59
7-8	7.5	12.5	27.96	20.46	59.04	12.74	25.47
8-9	8.5	12.5	27.96	22.35	55.78	12.66	25.32
9-10	9.5	12.5	27.96	24.02	52.77	12.57	25.15
10-11	10.5	12.5	27.96	25.48	49.97	12.48	24.95
11-12	11.5	12.5	27.96	26.75	47.39	12.37	24.74

- Perhitungan besar pemampatan tanah yang terjadi

Pada lapisan 1:

$$\begin{aligned}
 H_i &= 1\text{ m} \\
 C_c &= 1,081 \\
 C_s &= 1/7 C_c \\
 &= 1/7 \times 1,081 \\
 &= 0,154
 \end{aligned}$$

$$e_0 = 1,515$$

$$\sigma'_o = 0,343 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta\sigma' = 7,66 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma'_o + \Delta\sigma' = 0,343 \text{ t/m}^2 + 7,36 \text{ t/m}^2$$

$$= 7,703 \text{ t/m}^2$$

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

$$\sigma'_c = \sigma'_o + P \text{ fluktuasi}$$

$$= 0,343 \text{ t/m}^2 + 1,5 \text{ t/m}^2$$

$$= 1,843 \text{ t/m}^2$$

$$\text{OCR} = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}$$

$$= \frac{1,843 \text{ t/m}^2}{0,343 \text{ t/m}^2}$$

$$= 5.373 > 1 \text{ (over-consolidated soil)}$$

Karena  $\sigma'_o + \Delta\sigma'$  ( $7,703 \text{ t/m}^2$ )  $>$   $\sigma'_c$  ( $1,843 \text{ t/m}^2$ ), maka perhitungan *settlement* menggunakan rumus:

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

sehingga:

$$S_c = \left[ \frac{1}{1+1,515} 0,154 \times \log \frac{1,843}{0,343} \right] + \left[ \frac{1}{1+1,515} 1,081 \times \log \frac{7,703}{1,843} \right]$$

$$S_{c1} = 0,312 \text{ m}$$

Rumus  $S_c$  kumulatif untuk setiap  $q$  total adalah:

$$S_{c \text{ kum}} = S_{c1} + S_{c2} + \dots + S_{c34}$$

Hasil perhitungan  $S_c$  untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 35. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\frac{\Delta\sigma' + \sigma'_o}{\sigma'_o}$	Pfluk	$\sigma'_c$	SC
(m)	(m)			( $\text{t/m}^2$ )	( $\text{t/m}^2$ )	( $\text{t/m}^2$ )	( $\text{t/m}^2$ )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	7.360	7.703	1.5	1.843	0.312
1-2	1	1.081	0.216	7.357	8.386	1.5	2.529	0.257
2-3	1	1.081	0.216	7.348	9.063	1.5	3.215	0.217

3-4	1	0.931	0.186	7.328	9.729	1.5	3.901	0.163
4-5	1	0.931	0.186	7.295	10.381	1.5	4.586	0.145
5-6	1	0.931	0.186	7.247	11.018	1.5	5.271	0.130
6-7	1	0.864	0.173	7.184	11.642	1.5	5.958	0.111
7-8	1	0.864	0.173	7.105	12.253	1.5	6.648	0.101
8-9	1	0.864	0.173	7.012	12.850	1.5	7.338	0.092
9-10	1	0.78	0.156	6.906	13.427	1.5	8.021	0.076
10-11	1	0.78	0.156	6.790	13.987	1.5	8.697	0.070
11-12	1	0.78	0.156	6.665	14.538	1.5	9.373	0.064
								<b><u>1.737</u></b>

Tabel 36. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	H <sub>i</sub>	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_{o}$	Pfluk	$\sigma'_{c}$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	11.060	11.403	1.5	1.843	0.385
1-2	1	1.081	0.216	11.057	12.086	1.5	2.529	0.326
2-3	1	1.081	0.216	11.046	12.761	1.5	3.215	0.281
3-4	1	0.931	0.186	11.022	13.423	1.5	3.901	0.215
4-5	1	0.931	0.186	10.983	14.068	1.5	4.586	0.194
5-6	1	0.931	0.186	10.925	14.696	1.5	5.271	0.176
6-7	1	0.864	0.173	10.849	15.307	1.5	5.958	0.152
7-8	1	0.864	0.173	10.753	15.901	1.5	6.648	0.140
8-9	1	0.864	0.173	10.638	16.476	1.5	7.338	0.130
9-10	1	0.78	0.156	10.508	17.029	1.5	8.021	0.108
10-11	1	0.78	0.156	10.362	17.559	1.5	8.697	0.100
11-12	1	0.78	0.156	10.205	18.078	1.5	9.373	0.094
								<b><u>2.301</u></b>

Tabel 37. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	H <sub>i</sub>	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	Δσ'	Δσ' + σ' <sub>o</sub>	Pfluk	σ'c	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	14.760	15.103	1.5	1.843	0.437
1-2	1	1.081	0.216	14.757	15.786	1.5	2.529	0.375
2-3	1	1.081	0.216	14.745	16.460	1.5	3.215	0.328
3-4	1	0.931	0.186	14.719	17.119	1.5	3.901	0.255
4-5	1	0.931	0.186	14.675	17.761	1.5	4.586	0.231
5-6	1	0.931	0.186	14.612	18.382	1.5	5.271	0.213
6-7	1	0.864	0.173	14.527	18.985	1.5	5.958	0.185
7-8	1	0.864	0.173	14.420	19.568	1.5	6.648	0.172
8-9	1	0.864	0.173	14.292	20.130	1.5	7.338	0.160
9-10	1	0.78	0.156	14.144	20.665	1.5	8.021	0.134
10-11	1	0.78	0.156	13.979	21.176	1.5	8.697	0.126
11-12	1	0.78	0.156	13.799	21.672	1.5	9.373	0.118
								<b>2.735</b>

Tabel 38. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	H <sub>i</sub>	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	Δσ'	Δσ' + σ' <sub>o</sub>	Pfluk	σ'c	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	18.760	19.103	1.5	1.843	0.478
1-2	1	1.081	0.216	18.756	19.785	1.5	2.529	0.415
2-3	1	1.081	0.216	18.744	20.459	1.5	3.215	0.366
3-4	1	0.931	0.186	18.716	21.117	1.5	3.901	0.286
4-5	1	0.931	0.186	18.670	21.756	1.5	4.586	0.262
5-6	1	0.931	0.186	18.602	22.373	1.5	5.271	0.242
6-7	1	0.864	0.173	18.511	22.969	1.5	5.958	0.212
7-8	1	0.864	0.173	18.396	23.544	1.5	6.648	0.198
8-9	1	0.864	0.173	18.258	24.096	1.5	7.338	0.186

9-10	1	0.78	0.156	18.099	24.620	1.5	8.021	0.156
10-11	1	0.78	0.156	17.919	25.116	1.5	8.697	0.147
11-12	1	0.78	0.156	17.722	25.595	1.5	9.373	0.139
								<b>3.088</b>

Tabel 39. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_{o'}$	Pfluk	$\sigma'c$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	18.460	18.803	1.5	1.843	0.512
1-2	1	1.081	0.216	18.456	19.485	1.5	2.529	0.447
2-3	1	1.081	0.216	18.444	20.159	1.5	3.215	0.398
3-4	1	0.931	0.186	18.416	20.817	1.5	3.901	0.312
4-5	1	0.931	0.186	18.370	21.456	1.5	4.586	0.288
5-6	1	0.931	0.186	18.303	22.073	1.5	5.271	0.267
6-7	1	0.864	0.173	18.212	22.670	1.5	5.958	0.235
7-8	1	0.864	0.173	18.098	23.246	1.5	6.648	0.220
8-9	1	0.864	0.173	17.960	23.798	1.5	7.338	0.208
9-10	1	0.78	0.156	17.801	24.322	1.5	8.021	0.175
10-11	1	0.78	0.156	17.623	24.820	1.5	8.697	0.166
11-12	1	0.78	0.156	17.426	25.299	1.5	9.373	0.158
								<b>3.386</b>

Tabel 40. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_{o'}$	Pfluk	$\sigma'c$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	26.160	26.503	1.5	1.843	0.540
1-2	1	1.081	0.216	26.156	27.185	1.5	2.529	0.475
2-3	1	1.081	0.216	26.143	27.858	1.5	3.215	0.425
3-4	1	0.931	0.186	26.114	28.514	1.5	3.901	0.335

4-5	1	0.931	0.186	26.064	29.150	1.5	4.586	0.310
5-6	1	0.931	0.186	25.992	29.762	1.5	5.271	0.289
6-7	1	0.864	0.173	25.894	30.352	1.5	5.958	0.255
7-8	1	0.864	0.173	25.770	30.918	1.5	6.648	0.240
8-9	1	0.864	0.173	25.621	31.459	1.5	7.338	0.227
9-10	1	0.78	0.156	25.447	31.968	1.5	8.021	0.192
10-11	1	0.78	0.156	25.251	32.448	1.5	8.697	0.183
11-12	1	0.78	0.156	25.034	32.907	1.5	9.373	0.174
								<b>3.643</b>

- Perhitungan H inisial

Dari perhitungan *settlement* di atas, didapat:

$$H \text{ total} = 3,98 \text{ m}$$

$$q \text{ total} = 7,36 \text{ t/m}^2$$

$$Sc = 1,737 \text{ m}$$

$$H \text{ inisial} = \frac{q_{final} + (Sc \cdot (w_{sat} - w_{timb}))}{w_{timb}}$$

$$= \frac{7,36 \text{ t/m}^2 + (1,737 \text{ m} \cdot (1,85 \frac{\text{t}^3}{\text{m}^3} + 1 \text{ t/m}^3 - 1,95 \text{ t/m}^3))}{1,85 \text{ t/m}^3}$$

$$= 4,82 \text{ m}$$

$$H \text{ traffic} = 0,98 \text{ m}$$

$$H \text{ final} = H \text{ inisial} - Sc - H \text{ traffic}$$

$$= 3,98 \text{ m} - 1,737 \text{ m} - 0,98 \text{ m}$$

$$= 2,11 \text{ m}$$

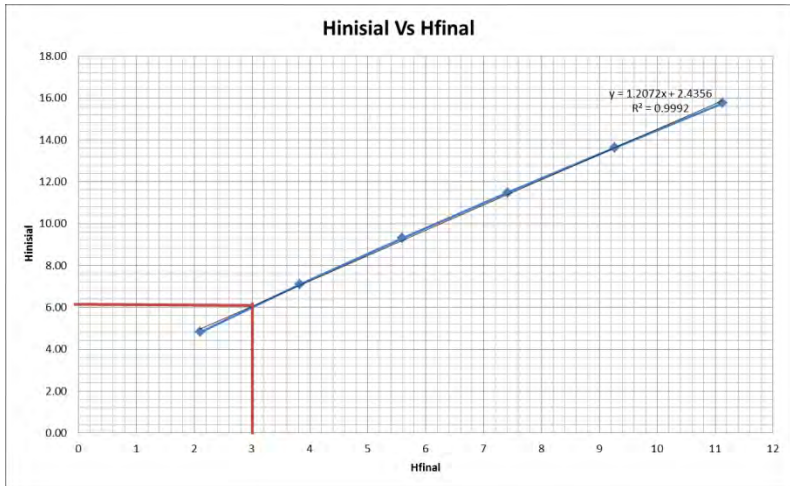
Langkah perhitungan di atas diulang untuk ketinggian H timbunan yang berbeda. Sehingga hasil perhitungan H final untuk H total lainnya ditampilkan dalam Tabel 41.

Tabel 41. Rekapitulasi Perhitungan H Final

H timb	Q total	Sc	H inisial	H traffic	H final
(m)	(t/m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(m)
3	7.36	1.74	4.82	0.98	2.11
5	11.06	2.30	7.10	0.98	3.82

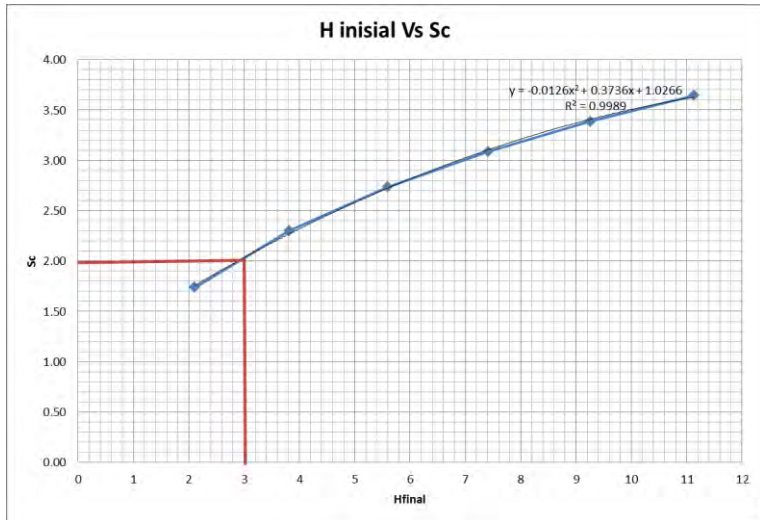
7	14.76	2.74	9.31	0.98	5.60
9	18.46	3.09	11.48	0.98	7.41
11	22.16	3.39	13.63	0.98	9.26
13	25.86	3.64	15.75	0.98	11.13

Dari Tabel 41 didapat grafik hubungan  $H_{\text{final}}$  dengan  $H_{\text{inisial}}$  seperti yang ditampilkan dalam Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 5. Grafik Hubungan  $H_{\text{inisial}}$  dengan  $H_{\text{final}}$

Dari Tabel 16 di atas juga bisa didapat grafik hubungan  $H_{\text{final}}$  dengan *settlement* seperti yang ditampilkan dalam Gambar 2.



Gambar 6. Grafik Hubungan  $H_{\text{inisial}}$  dengan *settlement* sebelum sungai

Dari grafik-grafik di atas dapat ditentukan  $H_{\text{inisial}}$  dan *settlement* yang terjadi dengan  $H_{\text{final}}$  3 meter, yaitu:

$$H_{\text{inisial}} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Settlement} = 2 \text{ m}$$

### Perencanaan dengan PVD Pola Segitiga

Berikut adalah contoh perhitungan untuk PVD pola segitiga dengan jarak  $S = 0,8 \text{ m}$ :

- Menghitung Fungsi Hambatan PVD ( $F(n)$ )

$D$  = diameter ekivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari *vertical drain*.

$$= 1,05 \times S$$

$$= 1,05 \times 0,8$$

$$= 0,84 \text{ m} \times 100 = 84 \text{ cm}$$

$$n = D/dw$$

$$= 84 \text{ cm} / 6,68 \text{ cm}$$

$$= 13$$

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



$$F(n) = \left( \frac{13^2}{13^2 - 1^2} \right) \left[ \ln(13) - \frac{3}{4} - \left( \frac{1}{13^2} \right) \right]$$

$$F(n) = 1,80$$

Hasil perhitungan D, n, dan F(n) untuk setiap jarak antar PVD ditampilkan pada Tabel 17.

Tabel 17 Hasil Perhitungan D, n, dan Fn Untuk PVD Pola Segitiga

Jarak PVD (S) (m)	D (cm)	n	F(n)
0.8	84	13	1.80
1	105	16	1.91
1.1	115.5	17	2.11
1.2	126	19	2.19
1.4	147	22	2.34
1.5	157.5	24	2.47
1.6	168	25	2.59
1.8	189	28	2.70
2	210	31	1.80

- Menghitung Derajat Konsolidasi (U) dengan PVD

$$T_v = \text{faktor waktu} = \frac{t \times C_v}{(H_{dr})^2}$$

$$= \frac{1 \text{ minggu} \times 0,0548 \text{ m}^2/\text{minggu}}{(12 \text{ m})^2}$$

$$= 0,0008$$

- U<sub>v</sub> = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah vertikal

$$= \left( 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\%$$

$$= \left( 2 \sqrt{\frac{0,0008}{\pi}} \right) \times 100\%$$

$$= 0,0311\%$$

Uh = derajat konsolidasi tanah arah horizontal

$$= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{tx8xCh}{D^2 x 2 x F(n)} \right)}} \right) \right]$$

$$= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{1x8x0,1097}{84^2 x 2 x 1,8} \right)}} \right) \right]$$

$$= 0,2927\%$$

$$U \text{ rata-rata} = (1 - (1 - Uh)) \times (1 - Uv) \times 100\%$$

$$= (1 - (1 - 0,2927)) \times (1 - 0,0311) \times 100\%$$

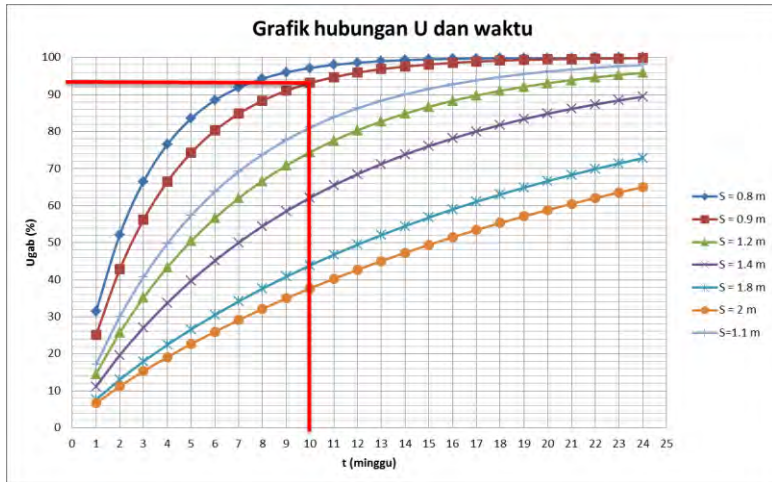
$$= 31,474 \%$$

Perhitungan di atas dilakukan untuk seluruh jarak PVD (S). Hasil perhitungan derajat konsolidasi rata-rata (U) untuk pola segiempat pada setiap S ditampilkan pada Tabel 18.

Tabel 18 Hasil Perhitungan U rata-rata Tiap Jarak PVD (S)

t	Uratarata (%)							
	S=0,8m	S=0,9m	S=1m	S=1,2m	S=1,4m	S=1,6m	S=1,8m	S=2m
1	31.474	25.081	17.110	14.581	11.165	9.015	7.599	6.623
2	52.178	42.839	30.028	25.694	19.631	15.693	13.049	11.203
3	66.527	56.257	40.755	35.166	27.072	21.648	17.932	15.305
4	76.534	66.473	49.760	43.344	33.722	27.068	22.421	19.092
5	83.533	74.278	57.355	50.441	39.706	32.047	26.592	22.634
6	88.436	80.252	63.775	56.619	45.111	36.641	30.490	25.968
7	91.875	84.830	69.213	62.006	50.005	40.893	34.146	29.121
8	94.289	88.342	73.824	66.711	54.443	44.837	37.583	32.112
9	95.984	91.038	77.736	70.822	58.474	48.500	40.821	34.954
10	97.176	93.109	81.058	74.419	62.137	51.906	43.875	37.659
11	98.013	94.700	83.881	77.567	65.468	55.076	46.758	40.237
12	98.602	95.922	86.280	80.323	68.499	58.028	49.482	42.696
13	99.016	96.862	88.320	82.738	71.260	60.779	52.058	45.044
14	99.307	97.585	90.055	84.854	73.774	63.343	54.496	47.287
15	99.512	98.142	91.531	86.708	76.064	65.735	56.803	49.431
16	99.657	98.569	92.787	88.334	78.152	67.966	58.987	51.482
17	99.758	98.899	93.856	89.760	80.055	70.049	61.057	53.444
18	99.830	99.152	94.766	91.010	81.790	71.993	63.018	55.321
19	99.880	99.347	95.541	92.107	83.373	73.809	64.877	57.119
20	99.916	99.497	96.200	93.070	84.817	75.504	66.639	58.841
21	99.940	99.613	96.762	93.914	86.134	77.088	68.311	60.490
22	99.958	99.702	97.241	94.656	87.336	78.567	69.896	62.070
23	99.970	99.770	97.648	95.306	88.433	79.950	71.399	63.584
24	99.979	99.823	97.996	95.877	89.434	81.242	72.826	65.035

Dari Tabel 18 di atas, dapat dibuat grafik hubungan antara waktu penimbunan terhadap derajat konsolidasi rata-rata (U), seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan U dengan Waktu Timbunan dengan PVD Pola Segitiga

### Perencanaan dengan PVD Pola Segiempat

- Menghitung Fungsi Hambatan PVD ( $F(n)$ )

$D$  = diameter ekivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari *vertical drain*.

$$= 1,13 \times S$$

$$= 1,13 \times 0,8$$

$$= 0,904 \text{ m} \times 100 = 90,4 \text{ cm}$$

$$n = D/dw$$

$$= 90,4 \text{ cm} / 6,68 \text{ cm}$$

$$= 14$$

$$\left( \frac{U}{100} \right) \left[ \ln \frac{3}{4} - \left( \frac{U}{100} \right) \right]$$

$$\left( \frac{U}{100} \right) \left[ \ln \frac{3}{4} \left( \frac{U}{100} \right) \right]$$

$$F(n) = 1,87$$

Hasil perhitungan  $D$ ,  $n$ , dan  $F(n)$  untuk setiap jarak antar PVD ditampilkan pada Tabel 19.

Tabel 19 Hasil Perhitungan D, n, dan Fn Untuk PVD Pola Segiempat

Jarak PVD (S) (m)	D (cm)	n	F(n)
0.8	90.4	14	1.8674
1	113	17	2.08665
1.1	124.3	19	2.18066
1.2	135.6	20	2.26664
1.4	158.2	24	2.41407
1.5	169.5	25	2.48306
1.6	180.8	27	2.5476
1.8	203.4	30	2.66538
2	226	34	2.77074

- Menghitung Derajat Konsolidasi (U) dengan PVD

$$\begin{aligned}
 T_v &= \text{faktor waktu} = \frac{t \times C_v}{(H_{dr})^2} \\
 &= \frac{1 \text{ minggu} \times 0,0548 \text{ m}^2/\text{minggu}}{(12 \text{ m})^2} \\
 &= 0,0004
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_v &= \text{derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah vertikal} \\
 &= \left( 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= \left( 2 \sqrt{\frac{0,0004}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= 0,023\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_h &= \text{derajat konsolidasi tanah arah horizontal} \\
 &= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{t \times 8 \times C_h}{D^2 \times 2 \times F(n)} \right)}} \right) \right] \\
 &= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{1 \times 8 \times 0,093}{90,4^2 \times 2 \times 1,87} \right)}} \right) \right]
 \end{aligned}$$

$$= 0,2167\%$$

$$U \text{ rata-rata} = (1-(1-U_h) \times (1-U_v)) \times 100\%$$

$$= (1-(1-0,2167) \times (1-0,023)) \times 100\%$$

$$= 23,461 \%$$

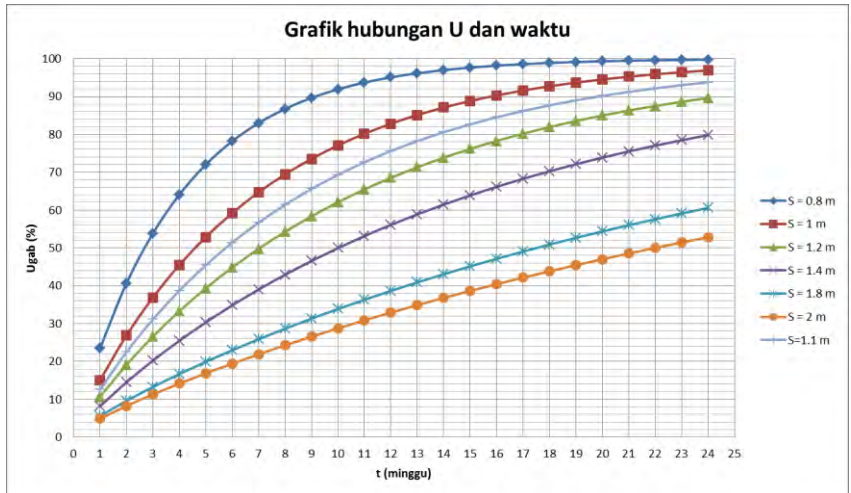
Perhitungan diatas dilakukan untuk seluruh jarak PVD (S). Hasil perhitungan derajat konsolidasi rata-rata (U) untuk pola segiempat pada setiap S ditampilkan pada Tabel 20.

Tabel 20 Hasil Perhitungan U rata-rata Tiap Jarak PVD (S)  
(lanjutan)

t	Uratarata (%)							
	S=0,8m	S=1,0m	S=1,1m	S=1,2m	S=1,4m	S=1,6m	S=1,8m	S=2m
1	23.461	15.046	12.524	10.651	8.139	6.571	5.542	4.835
2	40.625	26.851	22.444	19.087	14.473	11.528	9.569	8.210
3	53.838	36.877	31.087	26.565	20.195	16.037	13.233	11.269
4	64.070	45.466	38.697	33.275	25.448	20.225	16.653	14.128
5	72.013	52.852	45.427	39.328	30.305	24.149	19.880	16.835
6	78.189	59.217	51.392	44.803	34.812	27.843	22.942	19.414
7	82.995	64.708	56.689	49.764	39.003	31.329	25.858	21.883
8	86.739	69.451	61.396	54.265	42.907	34.627	28.641	24.252
9	89.655	73.549	65.583	58.353	46.548	37.751	31.302	26.531
10	91.928	77.093	69.309	62.067	49.945	40.713	33.850	28.727
11	93.701	80.158	72.627	65.443	53.119	43.523	36.293	30.844
12	95.084	82.811	75.583	68.514	56.084	46.192	38.635	32.888
13	96.162	85.107	78.216	71.308	58.856	48.728	40.883	34.862
14	97.004	87.095	80.563	73.851	61.448	51.138	43.042	36.771

15	97.661	88.816	82.655	76.166	63.874	53.430	45.116	38.617
16	98.173	90.306	84.521	78.274	66.143	55.611	47.109	40.403
17	98.573	91.598	86.185	80.194	68.267	57.685	49.025	42.133
18	98.886	92.716	87.668	81.943	70.255	59.659	50.868	43.807
19	99.130	93.685	88.992	83.536	72.117	61.538	52.641	45.429
20	99.320	94.525	90.173	84.987	73.860	63.327	54.347	47.001
21	99.469	95.253	91.227	86.310	75.493	65.031	55.988	48.524
22	99.585	95.884	92.167	87.515	77.022	66.654	57.568	50.000
23	99.676	96.431	93.006	88.614	78.455	68.199	59.089	51.431
24	99.747	96.905	93.755	89.615	79.797	69.671	60.554	52.819

Dari Tabel 20 dapat dibuat grafik hubungan antara waktu penimbunan terhadap derajat konsolidasi rata-rata (U), seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan U dengan Waktu Timbunan dengan PVD Pola Segiempat

### Menghitung Kebutuhan Geotextile

- Menghitung Tegangan Tarik Iizin (Tallow) *Geotextile* Spesifikasi *geotextile* yang dipakai adalah STABILENKA 200/45 seperti pada **Lampiran I**. Sehingga:

$$T_{allow} = \text{_____}$$

dengan

faktor  $F_{sid}$ ,  $F_{Scr}$ ,  $F_{Scd}$ , dan  $F_{Sbd}$  seperti **Tabel 2.3**.

Maka:

$$T_{allow} = \text{_____}$$

$$= 51,454 \text{ KNm}$$

- Menghitung Jarak *Geotextile* ke Titik Pusat Kelongsoran ( $T_i$ )

$$\begin{aligned} T_i &= Y_o - Y_c \\ &= 23,15 \text{ m} - 12 \text{ m} \\ &= 11,15 \text{ m} \end{aligned}$$



- Menghitung Tegangan Geser *Geotextile* dengan Tanah Timbunan ( $\tau_1$ )

$$\tau_1 = C_{u1} + \sigma_v \cdot \tan \theta_1$$

dengan:

$$\begin{aligned} C_{u1} &= \text{Tegangan geser tanah timbunan} \\ &= 0 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \text{timb} \times H \\ &= 18,5 \text{ KN/m}^3 \times 3 \text{ m} \\ &= 55,5 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tan \theta_1 &= \tan(30^\circ) \\ &= 0,577 \end{aligned}$$

maka:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= C_{u1} + \sigma_v \cdot \tan \theta_1 \\ &= 0 + (55,5 \text{ KN/m}^2 \times 0,577) \\ &= 32,043 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

- Menghitung Tegangan Geser *Geotextile* dengan Tanah Asli ( $\tau_2$ )

$$\tau_2 = C_{u2} + \sigma_v \cdot \tan \theta_2$$

dengan:

$$\begin{aligned} C_{u2} &= \text{Tegangan geser tanah asli} \\ &= 5 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \text{timb} \times H \\ &= 18,5 \text{ KN/m}^3 \times 3 \text{ m} \\ &= 55,5 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tan \theta_2 &= \tan(0^\circ) \\ &= 0 \end{aligned}$$

maka:

$$\begin{aligned} \tau_2 &= C_{u2} + \sigma_v \cdot \tan \theta_2 \\ &= 5 + (55,5 \text{ KN/m}^2 \times 0) \\ &= 5 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

- Menghitung Panjang *Geotextile* di Belakang Bidang Longsor ( $L_e$ )

$$L_e = (T_{allow} \times SF_{renc}) / [(\tau_1 + \tau_2) \times E]$$

dengan:

$$E = \text{efisiensi, diambil } E = 0,8$$

maka:

$$Le = (13,378 \text{ KN} \times 1,3) / [(32,043 \text{ KN/m}^2 + 5 \text{ KN/m}^2) \times 0,8]$$

$$= 0,587 \text{ m}$$

- Menghitung Panjang *Geotextile* di Depan Bidang Longsor (Lr)

Panjang *Geotextile* di Depan Bidang Longsor (Lr) ditentukan menggunakan program bantu AutoCAD untuk mempermudah perhitungan.

Hasi perhitungan Le, Lo, dan Lr ditampilkan pada Tabel 24.

Tabel 24. Hasi perhitungan Le, Lo, dan Lr

No	Hi	Ti	tan $\theta$	Cu	$\sigma_v$	Ka	$\sigma_h$	$\tau_1$	$\tau_2$	Le	Lo	Lr	L <sub>tot</sub>
	m	m		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	m	m	m
1	6	11.15	0.577	0	111	0.57	64.086	64.086	5.000	1.210	1	16.2	19.4
2	5.7	10.85	0.577	0	105.45	0.57	60.882	60.882	60.882	0.687	1	15.9	18.6
3	5.4	10.55	0.577	0	99.9	0.57	57.677	57.677	57.677	0.725	1	15.6	18.3
4	5.1	10.25	0.577	0	94.35	0.57	54.473	54.473	54.473	0.767	1	15.3	18.1
5	4.8	9.95	0.577	0	88.8	0.57	51.269	51.269	51.269	0.815	1	15	17.8
6	4.5	9.65	0.577	0	83.25	0.57	48.064	48.064	48.064	0.870	1	14.7	17.6
7	4.2	9.35	0.577	0	77.7	0.57	44.860	44.860	44.860	0.932	1	14.4	17.3
8	3.9	9.05	0.577	0	72.15	0.57	41.656	41.656	41.656	1.004	1	14.1	17.1
9	3.6	8.75	0.577	0	66.6	0.57	38.452	38.452	38.452	1.087	1	13.8	16.9
10	3.3	8.45	0.577	0	61.05	0.57	35.247	35.247	35.247	1.186	1	13.5	16.7
11	3	8.15	0.577	0	55.5	0.57	32.043	32.043	32.043	1.305	1	13.2	16.5
12													
13	2.7	7.85	0.577	0	49.95	0.57	28.839	28.839	28.839	1.450	1	12.9	16.3
14	2.4	7.55	0.577	0	44.4	0.57	25.634	25.634	25.634	1.631	1	12.6	16.2

15	2.1	7.25	0.577	0	38.85	0.57	22.430	22.430	22.430	1.864	1	12.3	16.2
16	1.8	6.95	0.577	0	33.3	0.57	19.226	19.226	19.226	2.174	1	12	16.2

- Menghitung Jumlah Lapisan *Geotextile* yang Dibutuhkan  
Dengan rumus di atas didapatkan:

$$M_{\text{geotextile}} = T_{\text{allow}} \times T_i$$

dengan:

$$T_{\text{allow}} = \text{Kekuatan tarik } \textit{geotextile}$$

$$T_i = \text{Jarak vertikal antara } \textit{geotextile} \text{ dengan pusat bidang longsor}$$

Kemudian,  $M_{\text{geotextile}}$  dikumulatifkan dengan lapisan di atasnya, sehingga  $\Sigma M_{\text{geotextile}} > \Delta MR$ .

Hasil perhitungan jumlah lapisan *geotextile* yang dibutuhkan ditampilkan pada Tabel 25.

Tabel 25. Hasil Perhitungan Kebutuhan *Geotextile*

<u>Hi (m)</u>	<u>Ti (m)</u>	<u>Jumlah Lapis</u>	<u>ΔMR (kN.m)</u>	<u>ΔMR Kumulatif (kN.m)</u>
6	11.15	1	573.71	573.71
5.7	10.85	1	558.27	1131.98
5.4	10.55	1	542.84	1674.81
5.1	10.25	1	527.40	2202.21
4.8	9.95	1	511.96	2714.18
4.5	9.65	1	496.53	3210.70
4.2	9.35	1	481.09	3691.79
3.9	9.05	1	465.65	4157.45
3.6	8.75	1	450.22	4607.67
3.3	8.45	1	434.78	5042.45
3	8.15	1	419.35	5461.80
2.7	7.85	1	403.91	5865.71
2.4	7.55	1	388.47	6254.18
2.1	7.25	1	373.04	6627.22
1.8	6.95	1	357.60	6984.82

### Perencanaan Perkuatan *Micropile* untuk wilayah Transisi

- Penentuan Dimensi

Dipakai:

bt = lebar penampang  
 = 18 cm  
 ht = tinggi penampang  
 = 18 cm  
 fy = tegangan leleh tulangan  
 = 400 MPa  
 f'c = tegangan kekuatan beton  
 = 37,35 Mpa  
 D = diameter tulangan memanjang *micropile*  
 = 10 mm  
 $\phi$  = diameter tulangan sengkang *micropile*  
 = 6 mm  
 d' = tebal selimut beton  
 = 40 mm  
 jumlah tulangan tarik = 2 buah  
 jumlah tulangan tekan = 2 buah  
 jarak pemasangan tulangan sengkang = 200 mm

$$\begin{aligned}
 \text{As tarik} &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2\right) \\
 &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2\right) \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As tarik} &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2\right) \\
 &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 6^2\right) \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - d' - (1/2 \times D) - \phi \\
 &= (18 \times 10) - 40 - (1/2 \times 10) - 6 \\
 &= 129 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Menghitung Panjang *micropile* (L)

$$L_a \text{ (di atas bidang longsor) } = 8 \text{ m}$$

Kedalaman *micropile* harus lebih besar dari  $L_b$ , sehingga direncanakan  $L_b = 2 \text{ m}$ .

$$L_{\text{total}} = 10 \text{ m}$$

- Menghitung Momen *Ultimate Micropile* (Mu)

$$\begin{aligned}
 \text{ gaya tekan} &= \text{ gaya tarik} \\
 0,85 \times f'c \times b \times a &= \text{As tarik} \times fy
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{157,08 \text{ mm}^2 \times 400}{0,85 \times 37,35 \text{ MPa} \times (16 \text{ cm} \times 10)}$$

$$a = 10,9951 \text{ mm}$$

gaya tekan:

$$C = 0,85 \times 37,35 \text{ MPa} \times (16 \text{ cm} \times 10) \times 10,9951 \text{ mm}$$

$$= 62831,9 \text{ N}$$

Momen nominal (Mn):

$$Mn = C \left( d - \frac{a}{2} \right) + As' \times fy (d - d')$$

$$= 62.831,85 \times \left( 40 - \frac{10,9951 \text{ mm}}{2} \right) + 157,08 \text{ mm}^2 \times 400$$

$$\text{MPa} \times (129 \text{ mm} - 40)$$

$$= 13.351.923,8 \text{ Nmm}$$

$$= 1,335 \text{ ton.m}$$

Momen ultimate (Mu)

$$Mu = \phi \times Mn$$

$$= 0,8 \times 1,335 \text{ ton.m}$$

$$= 1,068 \text{ ton.m}$$

$$= 106,8154 \text{ ton.cm}$$

- Menghitung Gaya Penahan (*Resisting*)

Faktor modulus tanah (f)

$$Cu = 13,31 \text{ KN/m}^2$$

$$= 0,1331 \text{ Kg/cm}^2$$

$$qu = 2 \times Cu$$

$$= 2 \times 0,1331 \text{ Kg/cm}^2$$

$$= 0,2662 \text{ Kg/cm}^2$$

dengan menggunakan Grafik NAVFAC, DM-7, 1971

seperti yang ditampilkan pada **Gambar 2.14**, maka didapat:

$$f = 0,192 \text{ kg/cm}^3$$

Momen inersia (I)

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 18 \times 18^3$$

$$= 87.480.000 \text{ mm}^4$$

$$= 8748 \text{ cm}^4$$

Momen Tahanan (W)

$$W = I/C$$

$$\begin{aligned}
&= I/(0,5h) \\
&= 8748 \text{ cm}^4 / (0,5 \times 18\text{cm}) \\
&= 972 \text{ cm}^3
\end{aligned}$$

Modulus Elastisitas (E)

$$E = 250000 \text{ kg/cm}^2$$

Faktor Kekakuan Relatif (T)

$$\begin{aligned}
T &= (EI/f)^{1/5} \\
&= (250000 \text{ kg/cm}^2 \times 8748 \text{ cm}^4 / 0,192 \text{ Kg/cm}^3)^{1/5} \\
&= 102,638 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Koefisien Momen Akibat Gaya Lateral ( $F_M$ )

$$\begin{aligned}
Lb/T &= 2 \times 100 / T \\
&= 2 \text{ cm} \times 100 / 102,638 \text{ cm} \\
&= 1,95
\end{aligned}$$

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

dengan Grafik NAVFAC, DM-7, 1971 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 2.15**, maka didapat:

$$F_M = 1$$

- Menghitung Gaya Horizontal yang Mampu Dipikul 1 Buah *Micropile*

$$\begin{aligned}
P &= Mu / (F_M.T) \\
&= 106,8154 \text{ toncm} / (1 \times 102,638 \text{ cm}) \\
&= 1,047 \text{ ton} \\
&= 10,407 \text{ KN}
\end{aligned}$$

- Menghitung Jumlah *Micropile* yang Dibutuhkan

$$\begin{aligned}
H_{\text{inisial}} &= 3 \text{ m} \\
SF_{\text{min}} &= 1,116 \\
MR_{\text{min}} &= 17150 \text{ KNm} \\
R_{\text{(jari-jari)}} &= 25,95 \text{ m} \\
SF_{\text{rencana}} &= 1,3 \\
M_{\text{dorong}} &= MR_{\text{min}} / SF_{\text{min}} \\
&= 17150 \text{ KNm} / 1,3 \\
&= 13192,31 \text{ KNm} \\
MR_{\text{rencana}} &= M_{\text{dorong}} \times SF_{\text{rencana}} \\
&= 13192,31 \text{ KNm} \times 1,3 \\
&= 17150,00 \text{ KNm} \\
\Delta MR &= MR_{\text{rencana}} - MR_{\text{min}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 19977,6 \text{ KNm} - 17150 \text{ KNm} \\
&= 2827,60 \text{ KNm} \\
F_k &= 2,643 \left[ 0,89 + 0,12 \frac{L}{D} \right] / 2,69 \times \left[ (0,85 \right. \\
&\quad \left. C_u^{-0,392}) / 2,865 \right] \\
&= 1,43 \\
P_{\max} &= P \times F_k \\
&= 9,596 \text{ KN} \times 1,43 \\
&= 14,96 \text{ KN} \\
\text{Diambil nilai } n &= 4, \text{ maka :} \\
\Delta MR &= n \times (P \times R) \\
&= 4 \times (14,96 \times 25,95) \\
&= 1552,51 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

### **Perencanaan Perkuatan *Micropile* untuk wilayah di bawah timbunan**

- Menghitung Jumlah *Micropile* yang Dibutuhkan

$$\begin{aligned}
H_{\text{inisial}} &= 3 \text{ m} \\
SF_{\min} &= 0.727 \\
MR_{\min} &= 8454 \text{ KNm} \\
R_{\text{(jari-jari)}} &= 16,27 \text{ m} \\
SF_{\text{rencana}} &= 1,3 \\
M_{\text{dorong}} &= MR_{\min} / SF_{\min} \\
&= 8454 \text{ KNm} / 0.727 \\
&= 11600 \text{ KNm} \\
MR_{\text{rencana}} &= M_{\text{dorong}} \times SF_{\text{rencana}} \\
&= 11600 \text{ KNm} \times 1,3 \\
&= 15100 \text{ KNm} \\
\Delta MR &= MR_{\text{rencana}} - MR_{\min} \\
&= 15100 \text{ KNm} - 11600 \text{ KNm} \\
&= 6660 \text{ KNm} \\
F_k &= 2,643 \left[ 0,89 + 0,12 \frac{L}{D} \right] / 2,69 \times \left[ (0,85 \right. \\
&\quad \left. C_u^{-0,392}) / 2,865 \right] \\
&= 1,98 \\
P_{\max} &= P \times F_k \\
&= 10,47 \text{ KN} \times 1,98 \\
&= 20,83 \text{ KN}
\end{aligned}$$

Diambil nilai  $n = 20$ , maka :

$$\begin{aligned}\Delta MR &= n \times (P \times R) \\ &= 20 \times (20 \times 16.27) \\ &= 6777,979 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$> \Delta MR$  yang dibutuhkan = 6660 kNm.

## 2. Timbunan Miring 5 meter

Berikut adalah contoh perhitungan *settlement* akibat timbunan jalan  $h_{\text{final}} = 5$  m pada STA 12+450 s/d 12+550 dan STA 12+559 s/d 12+659 :

### Perhitungan Besar *Settlement* dan Tinggi Awal Timbunan

- Perhitungan  $q$  timbunan akibat beban lalu lintas

$$H \text{ timbunan} = 5 \text{ m}$$

$$q \text{ lalu lintas tot} = q \text{ lalu lintas} + q \text{ aspal} + q \text{ base course} + q \text{ sub base}$$

Tabel 26. Hasil perhitungan  $q$  lalu lintas total

q lalu lintas	1.0	t/m <sup>2</sup>
q aspal	0.1	t/m <sup>2</sup>
q base course	0.5	t/m <sup>2</sup>
q sub base	0.2	t/m <sup>2</sup>
q lalu lintas tot	1.81	t/m <sup>2</sup>

$$\begin{aligned}H \text{ lalu lintas} &= \frac{q \text{ lalu lintas}}{\text{timbunan}} \\ &= \frac{1,81 \text{ t/m}^2}{1,85 \text{ t/m}^3} \\ &= 0,98\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H \text{ total} &= H \text{ timbunan} + H \text{ lalu lintas} \\ &= 3 \text{ m} + 0,98 \text{ m} \\ &= 3,98 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q \text{ total} &= H \text{ total} \times \text{timbunan} \\ &= 3,98 \text{ m} \times 1,85 \text{ t/m}^3 \\ &= 7,36 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$



Dengan cara yang sama, didapat q total untuk masing-masing H timbunan yang ditampilkan pada Tabel 27

Tabel 27. Hasil Perhitungan Q Total

H beban timb (m)	q lalu lintas (t/m <sup>2</sup> )	H traffic (m)	H total (m)	a (m)	B (m)	q total (t/m <sup>2</sup> )
3	1.81	0.98	3.98	7.96	12.50	7.36
5	1.81	0.98	5.98	11.96	12.50	11.06
7	1.81	0.98	7.98	15.96	12.50	14.76
9	1.81	0.98	9.98	19.96	12.50	18.46
11	1.81	0.98	11.98	23.96	12.50	22.16
13	1.81	0.98	13.98	27.96	12.50	25.86

- Perhitungan tegangan overburden efektif ( $\sigma'o$ )

Pada lapisan 1:

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

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

$$(\sigma'o) = \gamma' \times Z$$

$$= (-1) \times Z$$

$$= (1,686 \text{ t/m}^3 - 1 \text{ t/m}^3) \times 0,5 \text{ m}$$

$$= 0,343 \text{ t/m}^2$$

Hasil perhitungan  $\sigma'o$  untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan pada Tabel 28.

Tabel 28. Hasil Perhitungan Tegangan *Overburden* Efektif

tegangan over burden	
Kedalaman (m)	$\sigma'o$ (t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.343
1-2	1.029
2-3	1.715
3-4	2.401
4-5	3.086
5-6	3.771

6-7	4.458
7-8	5.148
8-9	5.838
9-10	6.521
10-11	7.197
11-12	7.873

- Perhitungan distribusi tegangan akibat beban timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

Pada lapisan 1:

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

$$a = 2 \times H \text{ total}$$

$$= 2 \times 3,98 \text{ m}$$

$$= 7,96 \text{ m}$$

$$b = \frac{\text{lebar jalan rencana}}{2}$$

$$= \frac{25 \text{ m}}{2}$$

$$= 12,5 \text{ m}$$

$$B_1 = 1/2 \text{ lebar timbunan}$$

$$= 12,5 \text{ m}$$

$$B_2 = \text{Panjang proyeksi horisontal kemiringan timbunan}$$

$$= 7,96 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \{(B_1+B_2)/Z\} - \tan^{-1} (B_1/Z) \text{ (radian)}$$

$$= \tan^{-1} \{(12,5 + 7,96)/0,5\} - \tan^{-1} (12,5/0,5) \text{ radian}$$

$$= 0,98^\circ$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} (B_1/Z)$$

$$= 87,71^\circ$$

$$\Delta\sigma' = q_0/\pi [ \{(B_1+B_2)/B_2\} (\alpha_1+\alpha_2) - B_1/B_2 (\alpha_2) ]$$

$$= 3,68 \text{ t/m}^2$$

Harga tersebut akibat beban  $1/2$  timbunan; untuk timbunan total yang simetris maka harga tersebut harus dikalikan 2 kalinya, sehingga :

$$2 \Delta\sigma' = 2 \times 3,68 = 7,36 \text{ t/m}^2$$

Hasil perhitungan  $\Delta\sigma'$  untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 29. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat  
Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		3.978	m		
akibat timb		Q =	7.36	t/m			
kedalaman	z	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	7.96	0.89	87.71	3.68	7.3599
1-2	1.5	12.5	7.96	2.65	83.16	3.68	7.3574
2-3	2.5	12.5	7.96	4.34	78.69	3.67	7.3481
3-4	3.5	12.5	7.96	5.93	74.36	3.66	7.3283
4-5	4.5	12.5	7.96	7.39	70.20	3.65	7.2952
5-6	5.5	12.5	7.96	8.70	66.25	3.62	7.2472
6-7	6.5	12.5	7.96	9.85	62.53	3.59	7.1836
7-8	7.5	12.5	7.96	10.83	59.04	3.55	7.1047
8-9	8.5	12.5	7.96	11.65	55.78	3.51	7.0118
9-10	9.5	12.5	7.96	12.32	52.77	3.45	6.9063
10-11	10.5	12.5	7.96	12.86	49.97	3.40	6.7902
11-12	11.5	12.5	7.96	13.27	47.39	3.33	6.6654

Tabel 30. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat  
Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		5.978	m		
akibat timb		Q =	11.06	t/m			
kedalaman	z	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	11.96	1.12	87.71	5.53	11.06
1-2	1.5	12.5	11.96	3.33	83.16	5.53	11.06
2-3	2.5	12.5	11.96	5.47	78.69	5.52	11.05
3-4	3.5	12.5	11.96	7.50	74.36	5.51	11.02

4-5	4.5	12.5	11.96	9.37	70.20	5.49	10.98
5-6	5.5	12.5	11.96	11.08	66.25	5.46	10.93
6-7	6.5	12.5	11.96	12.59	62.53	5.42	10.85
7-8	7.5	12.5	11.96	13.91	59.04	5.38	10.75
8-9	8.5	12.5	11.96	15.05	55.78	5.32	10.64
9-10	9.5	12.5	11.96	16.01	52.77	5.25	10.51
10-11	10.5	12.5	11.96	16.79	49.97	5.18	10.36
11-12	11.5	12.5	11.96	17.43	47.39	5.10	10.20

Tabel 31. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat  
Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		7.978	m		
akibat timb		Q =	14.76	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	15.96	1.28	87.71	7.38	14.76
1-2	1.5	12.5	15.96	3.83	83.16	7.38	14.76
2-3	2.5	12.5	15.96	6.29	78.69	7.37	14.74
3-4	3.5	12.5	15.96	8.63	74.36	7.36	14.72
4-5	4.5	12.5	15.96	10.81	70.20	7.34	14.68
5-6	5.5	12.5	15.96	12.81	66.25	7.31	14.61
6-7	6.5	12.5	15.96	14.61	62.53	7.26	14.53
7-8	7.5	12.5	15.96	16.20	59.04	7.21	14.42
8-9	8.5	12.5	15.96	17.58	55.78	7.15	14.29
9-10	9.5	12.5	15.96	18.77	52.77	7.07	14.14
10-11	10.5	12.5	15.96	19.78	49.97	6.99	13.98
11-12	11.5	12.5	15.96	20.61	47.39	6.90	13.80

Tabel 32. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat  
Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		9.978	m		
akibat timbunan		Q =	18.46	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	19.96	1.41	87.71	9.23	18.46
1-2	1.5	12.5	19.96	4.20	83.16	9.23	18.46
2-3	2.5	12.5	19.96	6.91	78.69	9.22	18.44
3-4	3.5	12.5	19.96	9.49	74.36	9.21	18.42
4-5	4.5	12.5	19.96	11.91	70.20	9.19	18.37
5-6	5.5	12.5	19.96	14.13	66.25	9.15	18.30
6-7	6.5	12.5	19.96	16.15	62.53	9.11	18.21
7-8	7.5	12.5	19.96	17.95	59.04	9.05	18.10
8-9	8.5	12.5	19.96	19.54	55.78	8.98	17.96
9-10	9.5	12.5	19.96	20.92	52.77	8.90	17.80
10-11	10.5	12.5	19.96	22.10	49.97	8.81	17.62
11-12	11.5	12.5	19.96	23.10	47.39	8.71	17.43

Tabel 33. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		11.978	m		
akibat timbunan		Q =	22.16	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	23.96	1.50	87.71	11.08	22.16
1-2	1.5	12.5	23.96	4.49	83.16	11.08	22.16
2-3	2.5	12.5	23.96	7.39	78.69	11.07	22.14
3-4	3.5	12.5	23.96	10.16	74.36	11.06	22.11
4-5	4.5	12.5	23.96	12.76	70.20	11.03	22.07
5-6	5.5	12.5	23.96	15.17	66.25	11.00	22.00

6-7	6.5	12.5	23.96	17.37	62.53	10.95	21.90
7-8	7.5	12.5	23.96	19.34	59.04	10.89	21.78
8-9	8.5	12.5	23.96	21.09	55.78	10.82	21.64
9-10	9.5	12.5	23.96	22.63	52.77	10.74	21.47
10-11	10.5	12.5	23.96	23.96	49.97	10.64	21.28
11-12	11.5	12.5	23.96	25.11	47.39	10.54	21.07

Tabel 34. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		13.978	m		
akibat timbunan		Q =	25.86	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2\times\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	27.96	1.58	87.71	12.93	25.86
1-2	1.5	12.5	27.96	4.72	83.16	12.93	25.86
2-3	2.5	12.5	27.96	7.77	78.69	12.92	25.84
3-4	3.5	12.5	27.96	10.70	74.36	12.91	25.81
4-5	4.5	12.5	27.96	13.45	70.20	12.88	25.76
5-6	5.5	12.5	27.96	16.01	66.25	12.85	25.69
6-7	6.5	12.5	27.96	18.35	62.53	12.80	25.59
7-8	7.5	12.5	27.96	20.46	59.04	12.74	25.47
8-9	8.5	12.5	27.96	22.35	55.78	12.66	25.32
9-10	9.5	12.5	27.96	24.02	52.77	12.57	25.15
10-11	10.5	12.5	27.96	25.48	49.97	12.48	24.95
11-12	11.5	12.5	27.96	26.75	47.39	12.37	24.74

- Perhitungan besar pemampatan tanah yang terjadi

Pada lapisan 1:

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

$$C_c = 1,081$$

$$C_s = 1/7 C_c$$

$$\begin{aligned}
&= 1/7 \times 1,081 \\
&= 0,154 \\
e_0 &= 1,515 \\
\sigma'_o &= 0,343 \text{ t/m}^2 \\
\Delta\sigma' &= 7,66 \text{ t/m}^2 \\
\sigma'_o + \Delta\sigma' &= 0,343 \text{ t/m}^2 + 7,36 \text{ t/m}^2 \\
&= 7,703 \text{ t/m}^2
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
\sigma'_c &= \sigma'_o + P \text{ fluktuasi} \\
&= 0,343 \text{ t/m}^2 + 1,5 \text{ t/m}^2 \\
&= 1,843 \text{ t/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
OCR &= \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} \\
&= \frac{1,843 \text{ t/m}^2}{0,343 \text{ t/m}^2} \\
&= 5.373 > 1 \text{ (over-consolidated soil)}
\end{aligned}$$

Karena  $\sigma'_o + \Delta\sigma'$  ( $7,703 \text{ t/m}^2$ )  $>$   $\sigma'_c$  ( $1,843 \text{ t/m}^2$ ), maka perhitungan *settlement* menggunakan rumus:

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

sehingga:

$$S_c = \left[ \frac{1}{1+1,515} 0,154 \times \log \frac{1,843}{0,343} \right] + \left[ \frac{1}{1+1,515} 1,081 \times \log \frac{7,703}{1,843} \right]$$

$$Sc_1 = 0,312 \text{ m}$$

Rumus  $S_c$  kumulatif untuk setiap  $q$  total adalah:

$$S_c \text{ kum} = S_{c1} + S_{c2} + \dots + S_{c34}$$

Hasil perhitungan  $S_c$  untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 35. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\frac{\Delta\sigma' + \sigma'_o}{\sigma'_o}$	Pfluk	$\sigma'_c$	SC
(m)	(m)			( $\text{t/m}^2$ )	( $\text{t/m}^2$ )	( $\text{t/m}^2$ )	( $\text{t/m}^2$ )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	7.360	7.703	1.5	1.843	0.312

1-2	1	1.081	0.216	7.357	8.386	1.5	2.529	0.257
2-3	1	1.081	0.216	7.348	9.063	1.5	3.215	0.217
3-4	1	0.931	0.186	7.328	9.729	1.5	3.901	0.163
4-5	1	0.931	0.186	7.295	10.381	1.5	4.586	0.145
5-6	1	0.931	0.186	7.247	11.018	1.5	5.271	0.130
6-7	1	0.864	0.173	7.184	11.642	1.5	5.958	0.111
7-8	1	0.864	0.173	7.105	12.253	1.5	6.648	0.101
8-9	1	0.864	0.173	7.012	12.850	1.5	7.338	0.092
9-10	1	0.78	0.156	6.906	13.427	1.5	8.021	0.076
10-11	1	0.78	0.156	6.790	13.987	1.5	8.697	0.070
11-12	1	0.78	0.156	6.665	14.538	1.5	9.373	0.064
								<b><u>1.737</u></b>

Tabel 36. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	H <sub>i</sub>	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_{o}$	Pfluk	$\sigma'_{c}$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	11.060	11.403	1.5	1.843	0.385
1-2	1	1.081	0.216	11.057	12.086	1.5	2.529	0.326
2-3	1	1.081	0.216	11.046	12.761	1.5	3.215	0.281
3-4	1	0.931	0.186	11.022	13.423	1.5	3.901	0.215
4-5	1	0.931	0.186	10.983	14.068	1.5	4.586	0.194
5-6	1	0.931	0.186	10.925	14.696	1.5	5.271	0.176
6-7	1	0.864	0.173	10.849	15.307	1.5	5.958	0.152
7-8	1	0.864	0.173	10.753	15.901	1.5	6.648	0.140
8-9	1	0.864	0.173	10.638	16.476	1.5	7.338	0.130
9-10	1	0.78	0.156	10.508	17.029	1.5	8.021	0.108
10-11	1	0.78	0.156	10.362	17.559	1.5	8.697	0.100
11-12	1	0.78	0.156	10.205	18.078	1.5	9.373	0.094
								<b><u>2.301</u></b>



Tabel 37. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_{o}$	Pfluk	$\sigma'c$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	14.760	15.103	1.5	1.843	0.437
1-2	1	1.081	0.216	14.757	15.786	1.5	2.529	0.375
2-3	1	1.081	0.216	14.745	16.460	1.5	3.215	0.328
3-4	1	0.931	0.186	14.719	17.119	1.5	3.901	0.255
4-5	1	0.931	0.186	14.675	17.761	1.5	4.586	0.231
5-6	1	0.931	0.186	14.612	18.382	1.5	5.271	0.213
6-7	1	0.864	0.173	14.527	18.985	1.5	5.958	0.185
7-8	1	0.864	0.173	14.420	19.568	1.5	6.648	0.172
8-9	1	0.864	0.173	14.292	20.130	1.5	7.338	0.160
9-10	1	0.78	0.156	14.144	20.665	1.5	8.021	0.134
10-11	1	0.78	0.156	13.979	21.176	1.5	8.697	0.126
11-12	1	0.78	0.156	13.799	21.672	1.5	9.373	0.118
								<b>2.735</b>

Tabel 38. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_{o}$	Pfluk	$\sigma'c$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	18.760	19.103	1.5	1.843	0.478
1-2	1	1.081	0.216	18.756	19.785	1.5	2.529	0.415
2-3	1	1.081	0.216	18.744	20.459	1.5	3.215	0.366
3-4	1	0.931	0.186	18.716	21.117	1.5	3.901	0.286
4-5	1	0.931	0.186	18.670	21.756	1.5	4.586	0.262
5-6	1	0.931	0.186	18.602	22.373	1.5	5.271	0.242
6-7	1	0.864	0.173	18.511	22.969	1.5	5.958	0.212
7-8	1	0.864	0.173	18.396	23.544	1.5	6.648	0.198

8-9	1	0.864	0.173	18.258	24.096	1.5	7.338	0.186
9-10	1	0.78	0.156	18.099	24.620	1.5	8.021	0.156
10-11	1	0.78	0.156	17.919	25.116	1.5	8.697	0.147
11-12	1	0.78	0.156	17.722	25.595	1.5	9.373	0.139
								<b>3.088</b>

Tabel 39. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	H <sub>i</sub>	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_{o}$	Pfluk	$\sigma'_{c}$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	18.460	18.803	1.5	1.843	0.512
1-2	1	1.081	0.216	18.456	19.485	1.5	2.529	0.447
2-3	1	1.081	0.216	18.444	20.159	1.5	3.215	0.398
3-4	1	0.931	0.186	18.416	20.817	1.5	3.901	0.312
4-5	1	0.931	0.186	18.370	21.456	1.5	4.586	0.288
5-6	1	0.931	0.186	18.303	22.073	1.5	5.271	0.267
6-7	1	0.864	0.173	18.212	22.670	1.5	5.958	0.235
7-8	1	0.864	0.173	18.098	23.246	1.5	6.648	0.220
8-9	1	0.864	0.173	17.960	23.798	1.5	7.338	0.208
9-10	1	0.78	0.156	17.801	24.322	1.5	8.021	0.175
10-11	1	0.78	0.156	17.623	24.820	1.5	8.697	0.166
11-12	1	0.78	0.156	17.426	25.299	1.5	9.373	0.158
								<b>3.386</b>

Tabel 40. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	H <sub>i</sub>	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_{o}$	Pfluk	$\sigma'_{c}$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	26.160	26.503	1.5	1.843	0.540
1-2	1	1.081	0.216	26.156	27.185	1.5	2.529	0.475
2-3	1	1.081	0.216	26.143	27.858	1.5	3.215	0.425

3-4	1	0.931	0.186	26.114	28.514	1.5	3.901	0.335
4-5	1	0.931	0.186	26.064	29.150	1.5	4.586	0.310
5-6	1	0.931	0.186	25.992	29.762	1.5	5.271	0.289
6-7	1	0.864	0.173	25.894	30.352	1.5	5.958	0.255
7-8	1	0.864	0.173	25.770	30.918	1.5	6.648	0.240
8-9	1	0.864	0.173	25.621	31.459	1.5	7.338	0.227
9-10	1	0.78	0.156	25.447	31.968	1.5	8.021	0.192
10-11	1	0.78	0.156	25.251	32.448	1.5	8.697	0.183
11-12	1	0.78	0.156	25.034	32.907	1.5	9.373	0.174
								<b>3.643</b>

- Perhitungan H inisial

Dari perhitungan *settlement* di atas, didapat:

$$H \text{ total} = 3,98 \text{ m}$$

$$q \text{ total} = 7,36 \text{ t/m}^2$$

$$Sc = 1,737 \text{ m}$$

$$H \text{ inisial} = \frac{q_{final} + (Sc \cdot ( \underset{timb}{\text{}} + w - \underset{sat}{\text{}} \text{ } \underset{timb}{\text{}} )}{1,85 \text{ t/m}^3}$$

$$= \frac{7,36 \text{ t/m}^2 + (1,737 \text{ m} \cdot (1,85 \frac{\text{t}^3}{\text{m}} + 1 \text{ t/m}^3 - 1,95 \text{ t/m}^3))}{1,85 \text{ t/m}^3}$$

$$= 4,82 \text{ m}$$

$$H \text{ traffic} = 0,98 \text{ m}$$

$$H \text{ final} = H \text{ inisial} - Sc - H \text{ traffic}$$

$$= 3,98 \text{ m} - 1,737 \text{ m} - 0,98 \text{ m}$$

$$= 2,11 \text{ m}$$

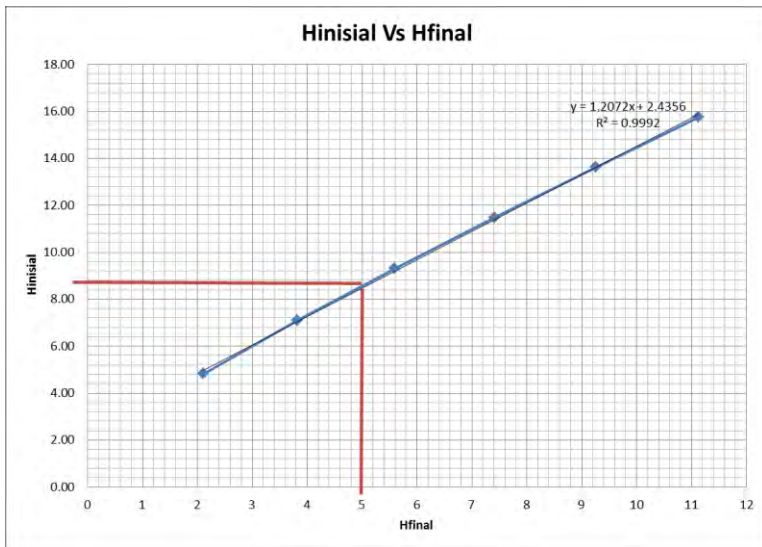
Langkah perhitungan di atas diulang untuk ketinggian H timbunan yang berbeda. Sehingga hasil perhitungan H final untuk H total lainnya ditampilkan dalam Tabel 41.

Tabel 41. Rekapitulasi Perhitungan H Final

H timb (m)	Q total (t/m <sup>2</sup> )	Sc (m)	H inisial (m)	H traffic (m)	H final (m)
3	7.36	1.74	4.82	0.98	2.11

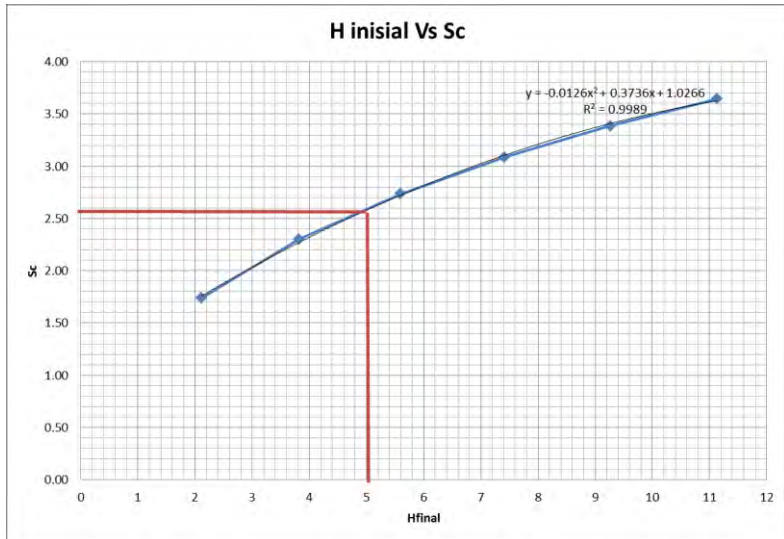
5	11.06	2.30	7.10	0.98	3.82
7	14.76	2.74	9.31	0.98	5.60
9	18.46	3.09	11.48	0.98	7.41
11	22.16	3.39	13.63	0.98	9.26
13	25.86	3.64	15.75	0.98	11.13

Dari Tabel 41 didapat grafik hubungan H final dengan H inisial seperti yang ditampilkan dalam Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 5. Grafik Hubungan  $H_{inisial}$  dengan  $H_{final}$

Dari Tabel 16 di atas juga bisa didapat grafik hubungan H final dengan *settlement* seperti yang ditampilkan dalam Gambar 2.



Gambar 6. Grafik Hubungan  $H_{\text{inisial}}$  dengan *settlement* sebelum sungai

Dari grafik-grafik di atas dapat ditentukan  $H_{\text{inisial}}$  dan *settlement* yang terjadi dengan  $H_{\text{final}}$  3 meter, yaitu:

$$H_{\text{inisial}} = 8,47 \text{ m}$$

$$\textit{Settlement} = 2,58 \text{ m}$$

### Perencanaan dengan PVD Pola Segitiga

Berikut adalah contoh perhitungan untuk PVD pola segitiga dengan jarak  $S = 0,8 \text{ m}$ :

- Menghitung Fungsi Hambatan PVD ( $F(n)$ )

$D$  = diameter ekivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari *vertical drain*.

$$= 1,05 \times S$$

$$= 1,05 \times 0,8$$

$$= 0,84 \text{ m} \times 100 = 84 \text{ cm}$$

$$n = D/dw$$

$$= 84 \text{ cm} / 6,68 \text{ cm}$$

$$= 13$$

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

$$F(n) = \left( \frac{13^2}{13^2 - 1^2} \right) \left[ \ln(13) - \frac{3}{4} - \left( \frac{1}{13^2} \right) \right]$$

$$F(n) = 1,80$$

Hasil perhitungan D, n, dan F(n) untuk setiap jarak antar PVD ditampilkan pada Tabel 42.

Tabel 42 Hasil Perhitungan D, n, dan Fn Untuk PVD Pola Segitiga

Jarak PVD (S) (m)	D (cm)	n	F(n)
0.8	84	13	1.80
1	105	16	1.91
1.1	115.5	17	2.11
1.2	126	19	2.19
1.4	147	22	2.34
1.5	157.5	24	2.47
1.6	168	25	2.59
1.8	189	28	2.70
2	210	31	1.80

- Menghitung Derajat Konsolidasi (U) dengan PVD

$$\begin{aligned} T_v &= \text{faktor waktu} = \frac{t \times C_v}{(H_{dr})^2} \\ &= \frac{1 \text{ minggu} \times 0,0548 \text{ m}^2/\text{minggu}}{(12 \text{ m})^2} \\ &= 0,0008 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_v &= \text{derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah vertikal} \\ &= \left( 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \\ &= \left( 2 \sqrt{\frac{0,0008}{\pi}} \right) \times 100\% \\ &= 0,0311\% \end{aligned}$$

$$U_h = \text{derajat konsolidasi tanah arah horizontal}$$

$$\begin{aligned}
&= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{tx8xCh}{D^2x2xF(n)} \right)}} \right) \right] \\
&= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{1x8x0,1097}{84^2x2x1,8} \right)}} \right) \right] \\
&= 0,2927\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
U \text{ rata-rata} &= (1-(1-U_h) \times (1-U_v) \times 100\% \\
&= (1-(1-0,2927) \times (1-0,0311) \times 100\% \\
&= 31,474 \%
\end{aligned}$$

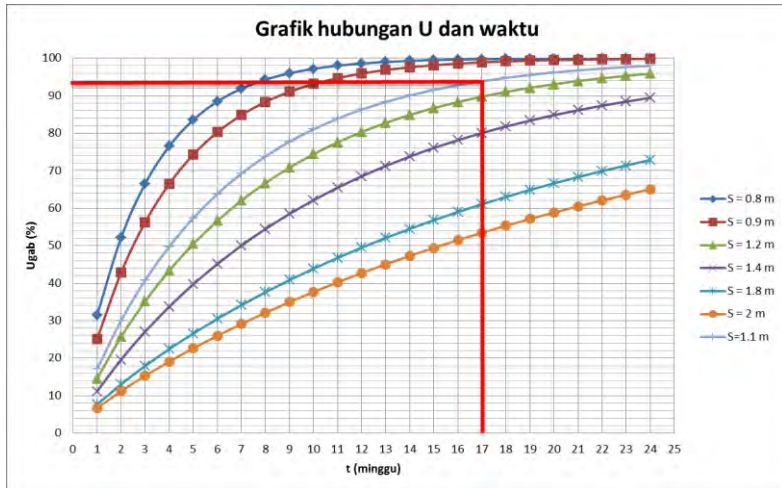
Perhitungan di atas dilakukan untuk seluruh jarak PVD (S). Hasil perhitungan derajat konsolidasi rata-rata (U) untuk pola segiempat pada setiap S ditampilkan pada Tabel 43.

Tabel 43. Hasil Perhitungan U rata-rata Tiap Jarak PVD (S)

t	Uratarata (%)							
	S=0,8m	S=0,9m	S=1m	S=1,2m	S=1,4m	S=1,6m	S=1,8m	S=2m
1	31.474	25.081	17.110	14.581	11.165	9.015	7.599	6.623
2	52.178	42.839	30.028	25.694	19.631	15.693	13.049	11.203
3	66.527	56.257	40.755	35.166	27.072	21.648	17.932	15.305
4	76.534	66.473	49.760	43.344	33.722	27.068	22.421	19.092
5	83.533	74.278	57.355	50.441	39.706	32.047	26.592	22.634
6	88.436	80.252	63.775	56.619	45.111	36.641	30.490	25.968
7	91.875	84.830	69.213	62.006	50.005	40.893	34.146	29.121
8	94.289	88.342	73.824	66.711	54.443	44.837	37.583	32.112
9	95.984	91.038	77.736	70.822	58.474	48.500	40.821	34.954
10	97.176	93.109	81.058	74.419	62.137	51.906	43.875	37.659
11	98.013	94.700	83.881	77.567	65.468	55.076	46.758	40.237
12	98.602	95.922	86.280	80.323	68.499	58.028	49.482	42.696
13	99.016	96.862	88.320	82.738	71.260	60.779	52.058	45.044
14	99.307	97.585	90.055	84.854	73.774	63.343	54.496	47.287
15	99.512	98.142	91.531	86.708	76.064	65.735	56.803	49.431
16	99.657	98.569	92.787	88.334	78.152	67.966	58.987	51.482
17	99.758	98.899	93.856	89.760	80.055	70.049	61.057	53.444
18	99.830	99.152	94.766	91.010	81.790	71.993	63.018	55.321
19	99.880	99.347	95.541	92.107	83.373	73.809	64.877	57.119
20	99.916	99.497	96.200	93.070	84.817	75.504	66.639	58.841
21	99.940	99.613	96.762	93.914	86.134	77.088	68.311	60.490
22	99.958	99.702	97.241	94.656	87.336	78.567	69.896	62.070
23	99.970	99.770	97.648	95.306	88.433	79.950	71.399	63.584
24	99.979	99.823	97.996	95.877	89.434	81.242	72.826	65.035

Dari Tabel 43 di atas, dapat dibuat grafik hubungan antara waktu penimbunan terhadap derajat konsolidasi rata-rata (U), seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.





Gambar 7. Grafik Hubungan U dengan Waktu Timbunan dengan PVD Pola Segitiga

### Perencanaan dengan PVD Pola Segiempat

- Menghitung Fungsi Hambatan PVD (F(n))

D = diameter ekivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari *vertical drain*.

$$= 1,13 \times S$$

$$= 1,13 \times 0,8$$

$$= 0,904 \text{ m} \times 100 = 90,4 \text{ cm}$$

$$n = D/dw$$

$$= 90,4 \text{ cm} / 6,68 \text{ cm}$$

$$= 14$$

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

$$\left( \frac{1}{n} \right) \left[ \ln \frac{3}{4} \left( \frac{1}{n} \right) \right]$$

$$F(n) = 1,87$$

Hasil perhitungan D, n, dan F(n) untuk setiap jarak antar PVD ditampilkan pada Tabel 44.

Tabel 44 Hasil Perhitungan D, n, dan Fn Untuk PVD Pola Segiempat

Jarak PVD (S) (m)	D (cm)	n	F(n)
0.8	90.4	14	1.8674
1	113	17	2.08665
1.1	124.3	19	2.18066
1.2	135.6	20	2.26664
1.4	158.2	24	2.41407
1.5	169.5	25	2.48306
1.6	180.8	27	2.5476
1.8	203.4	30	2.66538
2	226	34	2.77074

- Menghitung Derajat Konsolidasi (U) dengan PVD

$$\begin{aligned}
 T_v &= \text{faktor waktu} = \frac{t \times C_v}{(H_{dr})^2} \\
 &= \frac{1 \text{ minggu} \times 0,0548 \text{ m}^2/\text{minggu}}{(12 \text{ m})^2} \\
 &= 0,0004
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_v &= \text{derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah vertikal} \\
 &= \left( 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= \left( 2 \sqrt{\frac{0,0004}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= 0,023\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_h &= \text{derajat konsolidasi tanah arah horizontal} \\
 &= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{t \times 8 \times C_h}{D^2 \times 2 \times F(n)} \right)}} \right) \right] \\
 &= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{1 \times 8 \times 0,093}{90,4^2 \times 2 \times 1,87} \right)}} \right) \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,2167\% \\
 \text{U rata-rata} &= (1-(1-U_h) \times (1-U_v)) \times 100\% \\
 &= (1-(1-0,2167) \times (1-0,023)) \times 100\% \\
 &= 23,461\%
 \end{aligned}$$

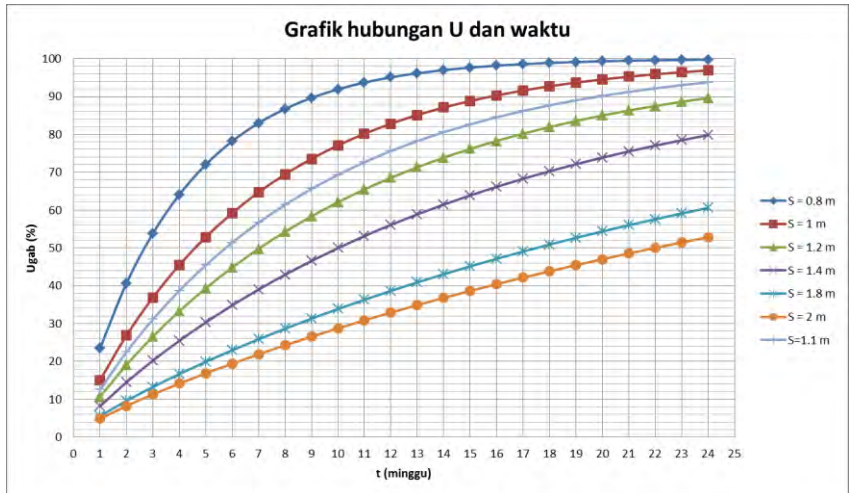
Perhitungan diatas dilakukan untuk seluruh jarak PVD (S). Hasil perhitungan derajat konsolidasi rata-rata (U) untuk pola segiempat pada setiap S ditampilkan pada Tabel 45.

Tabel 45 Hasil Perhitungan U rata-rata Tiap Jarak PVD (S)  
(lanjutan)

t	Uratarata (%)							
	S=0,8m	S=1,0m	S=1,1m	S=1,2m	S=1,4m	S=1,6m	S=1,8m	S=2m
1	23.461	15.046	12.524	10.651	8.139	6.571	5.542	4.835
2	40.625	26.851	22.444	19.087	14.473	11.528	9.569	8.210
3	53.838	36.877	31.087	26.565	20.195	16.037	13.233	11.269
4	64.070	45.466	38.697	33.275	25.448	20.225	16.653	14.128
5	72.013	52.852	45.427	39.328	30.305	24.149	19.880	16.835
6	78.189	59.217	51.392	44.803	34.812	27.843	22.942	19.414
7	82.995	64.708	56.689	49.764	39.003	31.329	25.858	21.883
8	86.739	69.451	61.396	54.265	42.907	34.627	28.641	24.252
9	89.655	73.549	65.583	58.353	46.548	37.751	31.302	26.531
10	91.928	77.093	69.309	62.067	49.945	40.713	33.850	28.727
11	93.701	80.158	72.627	65.443	53.119	43.523	36.293	30.844
12	95.084	82.811	75.583	68.514	56.084	46.192	38.635	32.888
13	96.162	85.107	78.216	71.308	58.856	48.728	40.883	34.862

14	97.004	87.095	80.563	73.851	61.448	51.138	43.042	36.771
15	97.661	88.816	82.655	76.166	63.874	53.430	45.116	38.617
16	98.173	90.306	84.521	78.274	66.143	55.611	47.109	40.403
17	98.573	91.598	86.185	80.194	68.267	57.685	49.025	42.133
18	98.886	92.716	87.668	81.943	70.255	59.659	50.868	43.807
19	99.130	93.685	88.992	83.536	72.117	61.538	52.641	45.429
20	99.320	94.525	90.173	84.987	73.860	63.327	54.347	47.001
21	99.469	95.253	91.227	86.310	75.493	65.031	55.988	48.524
22	99.585	95.884	92.167	87.515	77.022	66.654	57.568	50.000
23	99.676	96.431	93.006	88.614	78.455	68.199	59.089	51.431
24	99.747	96.905	93.755	89.615	79.797	69.671	60.554	52.819

Dari Tabel 45 dapat dibuat grafik hubungan antara waktu penimbunan terhadap derajat konsolidasi rata-rata (U), seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 8. Grafik Hubungan U dengan Waktu Timbunan dengan PVD Pola Segiempat

### Menghitung $\Delta$ MR Perkuatan Timbunan

Dalam perencanaan ini, SF yang direncanakan adalah 1,5. Maka MR rencana dapat dicari dengan:

$$\begin{aligned} MR &= MD \times SF \text{ rencana} \\ &= 9908,41 \text{ KNm} \times 1,3 \\ &= 2962,61 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Kemudian, penambahan MR untuk mencapai SF=1,5 dapat dihitung dengan:

$$\begin{aligned} \Delta MR &= MR \text{ rencana} - MR \text{ terjadi} \\ &= 19977,6 \text{ KNm} - 17150,00 \text{ KNm} \\ &= 2827,60 \text{ KNm} \end{aligned}$$

### Menghitung Kebutuhan Geotextile

- Menghitung Tegangan Tarik Izin (Tallow) *Geotextile*  
Spesifikasi *geotextile* yang dipakai adalah STABILENKA 200/45 seperti pada **Lampiran I**.  
Sehingga:

$$T \text{ allow} = \underline{\hspace{2cm}}$$

dengan

faktor  $F_{sid}$ ,  $F_{Scr}$ ,  $F_{Scd}$ , dan  $F_{Sbd}$  seperti **Tabel 2.3**.

Maka:

$$T_{allow} = \frac{200 \text{ KN/m}}{1,3 \times 2 \times 1,3 \times 1,15}$$
$$= 51,454 \text{ KNm}$$

- Menghitung Jarak *Geotextile* ke Titik Pusat Kelongsoran ( $T_i$ )

$$T_i = Y_o - Y_c$$
$$= 26,35 \text{ m} - 12 \text{ m}$$
$$= 14,35 \text{ m}$$

- Menghitung Tegangan Geser *Geotextile* dengan Tanah Timbunan ( $\tau_1$ )

$$\tau_1 = C_{u1} + \sigma_v \cdot \tan \theta_1$$

dengan:

$$C_{u1} = \text{Tegangan geser tanah timbunan}$$
$$= 0 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_v = \text{timb} \times H$$
$$= 18,5 \text{ KN/m}^3 \times 5 \text{ m}$$
$$= 92,5 \text{ KN/m}^2$$

$$\tan \theta_1 = \tan(30^\circ)$$
$$= 0,577$$

maka:

$$\tau_1 = C_{u1} + \sigma_v \cdot \tan \theta_1$$
$$= 0 + (92,5 \text{ KN/m}^2 \times 0,577)$$
$$= 53,405 \text{ KN/m}^2$$

- Menghitung Tegangan Geser *Geotextile* dengan Tanah Asli ( $\tau_2$ )

$$\tau_2 = C_{u2} + \sigma_v \cdot \tan \theta_2$$

dengan:

$$C_{u2} = \text{Tegangan geser tanah asli}$$
$$= 5 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_v = \text{timb} \times H$$
$$= 18,5 \text{ KN/m}^3 \times 5 \text{ m}$$
$$= 92,5 \text{ KN/m}^2$$

$$\tan \theta_2 = \tan(0^\circ)$$

$$=0$$

maka:

$$\begin{aligned}\tau_2 &= C_u + \sigma_v \cdot \tan \theta \\ &= 5 + (92,5 \text{ KN/m}^2 \times 0) \\ &= 5 \text{ KN/m}^2\end{aligned}$$

- Menghitung Panjang *Geotextile* di Belakang Bidang Longsor ( $L_e$ )

$$L_e = (T_{allow} \times S_{F_{renc}}) / [(\tau_1 + \tau_2) \times E]$$

dengan:

$$E = \text{efisiensi, diambil } E = 0,8$$

maka:

$$\begin{aligned}L_e &= (13,378 \text{ KN} \times 1,3) / [(53,405 \text{ KN/m}^2 + 5 \text{ KN/m}^2) \times 0,8] \\ &= 0,429 \text{ m}\end{aligned}$$

- Menghitung Panjang *Geotextile* di Depan Bidang Longsor ( $L_r$ )

Panjang *Geotextile* di Depan Bidang Longsor ( $L_r$ ) ditentukan menggunakan program bantu AutoCAD untuk mempermudah perhitungan.

Hasil perhitungan  $L_e$ ,  $L_o$ , dan  $L_r$  ditampilkan pada Tabel 49.

Tabel 49. Hasil perhitungan  $L_e$ ,  $L_o$ , dan  $L_r$

No	Hi	Ti	tan $\theta$	Cu	$\sigma_v$	Ka	$\sigma_h$	$\tau_1$	$\tau_2$	Le	Lo	Lr	L tot
	m	m		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>				
1	8.6	14.35	0.577	0	159.1	0.577	91.856	91.856	5.000	0.863	1	20.8	23.7
2	8.3	14.05	0.577	0	153.55	0.577	88.652	88.652	88.652	0.472	1	20.5	23.0
3	8	13.75	0.577	0	148	0.577	85.448	85.448	85.448	0.489	1	20.2	22.7
4	7.7	13.45	0.577	0	142.45	0.577	82.244	82.244	82.244	0.508	1	19.9	22.4
5	7.4	13.15	0.577	0	136.9	0.577	79.039	79.039	79.039	0.529	1	19.6	22.1
6	7.1	12.85	0.577	0	131.35	0.577	75.835	75.835	75.835	0.551	1	19.3	21.9

7	6.8	12.55	0.577	0	125.8	0.577	72.631	72.631	72.631	0.576	1	19	21.6
8	6.5	12.25	0.577	0	120.25	0.577	69.426	69.426	69.426	0.602	1	18.7	21.3
9	6.2	11.95	0.577	0	114.7	0.577	66.222	66.222	66.222	0.631	1	18.4	21.0
10	5.9	11.65	0.577	0	109.15	0.577	63.018	63.018	63.018	0.663	1	18.1	20.8
11	5.6	11.35	0.577	0	103.6	0.577	59.813	59.813	59.813	0.699	1	17.8	20.5
12	5.3	11.05	0.577	0	98.05	0.577	56.609	56.609	56.609	0.739	1	17.5	20.2
13	5	10.75	0.577	0	92.5	0.577	53.405	53.405	53.405	0.783	1	17.2	20.0
14	4.7	10.45	0.577	0	86.95	0.577	50.201	50.201	50.201	0.833	1	16.9	16.9
15	4.4	10.15	0.577	0	81.4	0.577	46.996	46.996	46.996	0.890	1	16.6	16.6
16	4.1	9.85	0.577	0	75.85	0.577	43.792	43.792	43.792	0.955	1	16.3	16.3
17	3.8	9.55	0.577	0	70.3	0.577	40.588	40.588	40.588	1.030	1	16	16.0
18	3.5	9.25	0.577	0	64.75	0.577	37.383	37.383	37.383	1.118	1	15.7	15.7
19	3.2	8.95	0.577	0	59.2	0.577	34.179	34.179	34.179	1.223	1	15.4	15.4
20	2.9	8.65	0.577	0	53.65	0.577	30.975	30.975	30.975	1.350	1	15.1	15.1
21	2.6	8.35	0.577	0	48.1	0.577	27.771	27.771	27.771	1.505	1	14.8	14.8
22	2.3	8.05	0.577	0	42.55	0.577	24.566	24.566	24.566	1.702	1	14.5	14.5
23	2	7.75	0.577	0	37	0.577	21.362	21.362	21.362	1.957	1	14.2	14.2
24	1.7	7.45	0.577	0	31.45	0.577	18.158	18.158	18.158	2.302	1	16.1	16.1
25	1.4	7.15	0.577	0	25.9	0.577	14.953	14.953	14.953	2.796	1	15.5	15.5
26	1.1	6.85	0.577	0	20.35	0.577	11.749	11.749	11.749	3.558	1	14.9	14.9
27	8.6	14.35	0.577	0	159.1	0.577	91.856	91.856	5.000	0.863	1	20.8	23.7

- Menghitung Jumlah Lapisan *Geotextile* yang Dibutuhkan  
Dengan rumus di atas didapatkan:



$$M_{\text{geotextile}} = T_{\text{allow}} \times T_i$$

dengan:

$T_{\text{allow}}$  = Kekuatan tarik *geotextile*

$T_i$  = Jarak vertikal antara *geotextile* dengan pusat bidang longsor

Kemudian,  $M_{\text{geotextile}}$  dikumulatikan dengan lapisan di atasnya, sehingga  $\Sigma M_{\text{geotextile}} > \Delta MR$ .

Hasil perhitungan jumlah lapisan *geotextile* yang dibutuhkan ditampilkan pada Tabel 50.

Tabel 50. Hasil Perhitungan Kebutuhan *Geotextile*

<u>Hi (m)</u>	<u>Ti (m)</u>	<u>Jumlah Lapis</u>	$\Delta MR$ (kN.m)	$\Delta MR$ Kumulatif (kN.m)
8.6	14.35	2	1476.72	1476.72
8.3	14.05	2	1445.85	2922.56
8	13.75	1	707.49	3630.05
7.7	13.45	1	692.05	4322.10
7.4	13.15	1	676.61	4998.71
7.1	12.85	1	661.18	5659.89
6.8	12.55	1	645.74	6305.63
6.5	12.25	1	630.31	6935.94
6.2	11.95	1	614.87	7550.81
5.9	11.65	1	599.43	8150.24
5.6	11.35	1	584.00	8734.24
5.3	11.05	1	568.56	9302.80
5	10.75	1	553.13	9855.93
4.7	10.45	1	537.69	10393.62
4.4	10.15	1	522.25	10915.87
4.1	9.85	1	506.82	11422.69
3.8	9.55	1	491.38	11914.07
3.5	9.25	1	475.95	12390.02
3.2	8.95	1	460.51	12850.53
2.9	8.65	1	445.07	13295.60
2.6	8.35	1	429.64	13725.24
2.3	8.05	1	414.20	14139.44
2	7.75	1	398.77	14538.20
1.7	7.45	1	383.33	14921.53
1.4	7.15	1	367.89	15289.43
1.1	6.85	1	352.46	15641.88
0.8	6.55	1	337.02	15978.90

## Perencanaan Perkuatan *Micropile* untuk wilayah Transisi

- Penentuan Dimensi

Dipakai:

bt = lebar penampang  
= 20 cm

ht = tinggi penampang  
= 20 cm

fy = tegangan leleh tulangan  
= 400 MPa

f'c = tegangan kekuatan beton  
= 37,35 Mpa

D = diameter tulangan memanjang *micropile*  
= 10 mm

φ = diameter tulangan sengkang *micropile*  
= 6 mm

d' = tebal selimut beton  
= 40 mm

jumlah tulangan tarik = 2 buah

jumlah tulangan tekan = 2 buah

jarak pemasangan tulangan sengkang = 200 mm

$$\begin{aligned} \text{As tarik} &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2\right) \\ &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2\right) \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As tarik} &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2\right) \\ &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 6^2\right) \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d' - (1/2 \times D) - \phi \\ &= (18 \times 10) - 40 - (1/2 \times 10) - 6 \\ &= 129 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Menghitung Panjang *micropile* (L)

L<sub>a</sub> (di atas bidang longsor) = 8 m

Kedalaman *micropile* harus lebih besar dari L<sub>b</sub>, sehingga direncanakan L<sub>b</sub> = 2 m.

$$L_{total} = 10 \text{ m}$$

- Menghitung Momen *Ultimate Micropile* ( $M_u$ )

$$\text{ gaya tekan} = \text{ gaya tarik}$$

$$0,85 \times f'_c \times b \times a = A_s \text{ tarik} \times f_y$$

$$a = \frac{157,08 \text{ mm}^2 \times 400}{0,85 \times 37,35 \text{ MPa} \times (16 \text{ cm} \times 10)}$$

$$a = 10,9951 \text{ mm}$$

gaya tekan:

$$\begin{aligned} C &= 0,85 \times 37,35 \text{ MPa} \times (16 \text{ cm} \times 10) \times 10,9951 \text{ mm} \\ &= 62831,9 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen nominal ( $M_n$ ):

$$\begin{aligned} M_n &= C \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \times f_y (d - d') \\ &= 62.831,85 \times \left( 40 - \frac{10,9951 \text{ mm}}{2} \right) + 157,08 \text{ mm}^2 \times 400 \\ &\quad \text{MPa} \times (129 \text{ mm} - 40) \\ &= 13.351.923,8 \text{ Nmm} \\ &= 1,335 \text{ ton.m} \end{aligned}$$

Momen ultimate ( $M_u$ )

$$\begin{aligned} M_u &= \phi \times M_n \\ &= 0,8 \times 1,335 \text{ ton.m} \\ &= 1,068 \text{ ton.m} \\ &= 106,8154 \text{ ton.cm} \end{aligned}$$

- Menghitung Gaya Penahan (*Resisting*)

Faktor modulus tanah ( $f$ )

$$\begin{aligned} C_u &= 13,31 \text{ KN/m}^2 \\ &= 0,1331 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 2 \times C_u \\ &= 2 \times 0,1331 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 0,2662 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

dengan menggunakan Grafik NAVFAC, DM-7, 1971 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 2.14**, maka didapat:

$$f = 0,192 \text{ kg/cm}^3$$

Momen inersia ( $I$ )

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 18 \times 18^3 \end{aligned}$$

$$= 87.480.000 \text{ mm}^4$$

$$= 8748 \text{ cm}^4$$

Momen Tahanan (W)

$$W = I/C$$

$$= I/(0,5h)$$

$$= 8748 \text{ cm}^4 / (0,5 \times 18\text{cm})$$

$$= 972 \text{ cm}^3$$

Modulus Elastisitas (E)

$$E = 250000 \text{ kg/cm}^2$$

Faktor Kekakuan Relatif (T)

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

$$= (250000 \text{ kg/cm}^2 \times 8748 \text{ cm}^4 / 0,192 \text{ Kg/cm}^3)^{1/5}$$

$$= 102,638 \text{ cm}$$

Koefisien Momen Akibat Gaya Lateral ( $F_M$ )

$$Lb/T = 2 \times 100 / T$$

$$= 2 \text{ cm} \times 100 / 102,638 \text{ cm}$$

$$= 1,95$$

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

dengan Grafik NAVFAC, DM-7, 1971 seperti yang ditampilkan pada **Gambar 2.15**, maka didapat:

$$F_M = 1$$

- Menghitung Gaya Horizontal yang Mampu Dipikul 1 Buah *Micropile*

$$P = Mu / (F_M \cdot T)$$

$$= 106,8154 \text{ toncm} / (1 \times 102,638 \text{ cm})$$

$$= 1,047 \text{ ton}$$

$$= 10,407 \text{ KN}$$

- Menghitung Jumlah *Micropile* yang Dibutuhkan

$$H_{\text{inisial}} = 5 \text{ m}$$

$$SF_{\text{min}} = 0,655$$

$$MR_{\text{min}} = 16190 \text{ KNm}$$

$$R_{\text{(jari-jari)}} = 12,70 \text{ m}$$

$$SF_{\text{rencana}} = 1,3$$

$$M_{\text{dorong}} = MR_{\text{min}} / SF_{\text{min}}$$

$$= 16190 \text{ KNm} / 0,655$$

$$= 24700 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned}
MR_{rencana} &= M_{dorong} \times SF_{rencana} \\
&= 24700 \text{ KNm} \times 1,3 \\
&= 32100 \text{ KNm} \\
\Delta MR &= MR_{rencana} - MR_{min} \\
&= 32100 \text{ KNm} - 24700 \text{ KNm} \\
&= 15900 \text{ KNm} \\
Fk &= 2,643 \left[ 0,89 + 0,12 \frac{L/D}{2,69} \times \left[ (0,85 \right. \right. \\
&\quad \left. \left. Cu^{-0,392}) / 2,865 \right] \right] \\
&= 1,98 \\
P_{max} &= P \times Fk \\
&= 10,47 \text{ KN} \times 1,437 \\
&= 20,83 \text{ KN} \\
\text{Diambil nilai } n &= 36, \text{ maka :} \\
\Delta MR &= 36 \times (P \times R) \\
&= 36 \times (20,83 \times 12,7) \\
&= 15990 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

>  $\Delta MR$  yang dibutuhkan = 15900 kNm.

### 3. Timbunan Tegak

Berikut adalah contoh perhitungan *settlement* akibat timbunan jalan  $h_{final} = 3$  m pada STA 11+850 s/d 12+450 dan STA 12+659 s/d 13+850 :

#### Perhitungan Besar *Settlement* dan Tinggi Awal Timbunan

- Perhitungan  $q$  timbunan akibat beban lalu lintas

H timbunan = 5 m

$q$  lalu lintas tot =  $q$  lalu lintas +  $q$  aspal +  $q$  base course +  $q$  sub base

Tabel 74. Hasil perhitungan  $q$  lalu lintas total

$q$ lalu lintas	1.0	t/m <sup>2</sup>
$q$ aspal	0.1	t/m <sup>2</sup>
$q$ base course	0.5	t/m <sup>2</sup>
$q$ sub base	0.2	t/m <sup>2</sup>
$q$ lalu lintas tot	1.81	t/m <sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 H \text{ lalu lintas} &= \frac{q \text{ lalu lintas}}{\text{timbunan}} \\
 &= \frac{1,81 \text{ t/m}^2}{1,85 \text{ t/m}^3} \\
 &= 0,98
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H \text{ total} &= H \text{ timbunan} + H \text{ lalu lintas} \\
 &= 3 \text{ m} + 0,98 \text{ m} \\
 &= 3,98 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q \text{ total} &= H \text{ total} \times \text{timbunan} \\
 &= 3,98 \text{ m} \times 1,85 \text{ t/m}^3 \\
 &= 7,36 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, didapat q total untuk masing-masing H timbunan yang ditampilkan pada Tabel 75.

Tabel 75. Hasil Perhitungan Q Total

H beban timb (m)	q lalu lintas (t/m <sup>2</sup> )	H traffic (m)	H total (m)	a (m)	B (m)	q total (t/m <sup>2</sup> )
3	1.81	0.98	3.98	0.01	12.50	7.36
5	1.81	0.98	5.98	0.01	12.50	11.06
7	1.81	0.98	7.98	0.01	12.50	14.76
9	1.81	0.98	9.98	0.01	12.50	18.46
11	1.81	0.98	11.98	0.01	12.50	22.16
13	1.81	0.98	13.98	0.01	12.50	25.86

- Perhitungan tegangan overburden efektif ( $\sigma'_{o}$ )

Pada lapisan 1:

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

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

$$(\sigma'_{o}) = \gamma \times Z$$

$$= (-1) \times Z$$

$$= (1,686 \text{ t/m}^3 - 1 \text{ t/m}^3) \times 0,5 \text{ m}$$

$$= 0,343 \text{ t/m}^2$$

Hasil perhitungan  $\sigma'_{o}$  untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan pada Tabel 76.

Tabel 76. Hasil Perhitungan Tegangan *Overburden* Efektif

tegangan over burden	
Kedalaman (m)	$\sigma'o$ (t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.343
1-2	1.029
2-3	1.715
3-4	2.401
4-5	3.086
5-6	3.771
6-7	4.458
7-8	5.148
8-9	5.838
9-10	6.521
10-11	7.197
11-12	7.873

- Perhitungan distribusi tegangan akibat beban timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

Pada lapisan 1:

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

$$a = 0 \times H \text{ total}$$

$$= 0 \times 3,98 \text{ m}$$

$$= 0 \text{ m}$$

$$b = \frac{\text{lebar jalan rencana}}{2}$$

$$= \frac{25 \text{ m}}{2}$$

$$= 12,5 \text{ m}$$

$$B_1 = 1/2 \text{ lebar timbunan}$$

$$= 12,5 \text{ m}$$

$$B_2 = \text{Panjang proyeksi horisontal kemiringan timbunan}$$

$$= 0,01 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1}\{(B_1+B_2)/Z\} - \tan^{-1}(B_1/Z) \text{ (radian)}$$

$$= \tan^{-1}\{(12,5 + 0,01)/0,5\} - \tan^{-1}(12,5/0,5) \text{ radian}$$

$$= 0,002^\circ$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} (B_1/z)$$

$$= 87,71^\circ$$

$$\Delta\sigma' = q_0/\pi [ \{ (B_1+B_2)/B_2 \} (\alpha_1+\alpha_2) - B_1/B_2 (\alpha_2) ]$$

$$= 3,68 \text{ t/m}^2$$

Harga tersebut akibat beban ½ timbunan; untuk timbunan total yang simetris maka harga tersebut harus dikalikan 2 kalinya, sehingga :

$$2 \Delta\sigma' = 2 \times 3,68 = 7,36 \text{ t/m}^2$$

Hasil perhitungan  $\Delta\sigma'$  untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 77. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		3.978	m		
akibat timb		Q =	7.36	t/m			
kedalaman	z	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>	Δσ'	2xΔσ'
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	0.01	0.00	87.71	3.68	7.3598
1-2	1.5	12.5	0.01	0.01	83.16	3.68	7.3547
2-3	2.5	12.5	0.01	0.01	78.69	3.67	7.3362
3-4	3.5	12.5	0.01	0.01	74.36	3.65	7.2974
4-5	4.5	12.5	0.01	0.01	70.20	3.62	7.2343
5-6	5.5	12.5	0.01	0.02	66.25	3.57	7.1453
6-7	6.5	12.5	0.01	0.02	62.53	3.52	7.0314
7-8	7.5	12.5	0.01	0.02	59.04	3.45	6.8954
8-9	8.5	12.5	0.01	0.02	55.78	3.37	6.7412
9-10	9.5	12.5	0.01	0.02	52.77	3.29	6.5729
10-11	10.5	12.5	0.01	0.02	49.97	3.20	6.3948
11-12	11.5	12.5	0.01	0.02	47.39	3.11	6.2106

Tabel 78. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )



distribusi tegangan		H timb =		5.978	m		
akibat timb		Q =	11.06	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	0.01	0.00	87.71	5.53	11.06
1-2	1.5	12.5	0.01	0.01	83.16	5.53	11.05
2-3	2.5	12.5	0.01	0.01	78.69	5.51	11.02
3-4	3.5	12.5	0.01	0.01	74.36	5.48	10.97
4-5	4.5	12.5	0.01	0.01	70.20	5.44	10.87
5-6	5.5	12.5	0.01	0.02	66.25	5.37	10.74
6-7	6.5	12.5	0.01	0.02	62.53	5.28	10.57
7-8	7.5	12.5	0.01	0.02	59.04	5.18	10.36
8-9	8.5	12.5	0.01	0.02	55.78	5.07	10.13
9-10	9.5	12.5	0.01	0.02	52.77	4.94	9.88
10-11	10.5	12.5	0.01	0.02	49.97	4.80	9.61
11-12	11.5	12.5	0.01	0.02	47.39	4.67	9.33

Tabel 79. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		7.978	m		
akibat timb		Q =	14.76	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	0.01	0.00	87.71	7.38	14.76
1-2	1.5	12.5	0.01	0.01	83.16	7.37	14.75
2-3	2.5	12.5	0.01	0.01	78.69	7.36	14.71
3-4	3.5	12.5	0.01	0.01	74.36	7.32	14.63
4-5	4.5	12.5	0.01	0.01	70.20	7.25	14.51
5-6	5.5	12.5	0.01	0.02	66.25	7.16	14.33

6-7	6.5	12.5	0.01	0.02	62.53	7.05	14.10
7-8	7.5	12.5	0.01	0.02	59.04	6.91	13.83
8-9	8.5	12.5	0.01	0.02	55.78	6.76	13.52
9-10	9.5	12.5	0.01	0.02	52.77	6.59	13.18
10-11	10.5	12.5	0.01	0.02	49.97	6.41	12.82
11-12	11.5	12.5	0.01	0.02	47.39	6.23	12.45

Tabel 80. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		9.978	m		
akibat timbunan		Q =	18.46	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	0.01	0.00	87.71	9.23	18.46
1-2	1.5	12.5	0.01	0.01	83.16	9.22	18.45
2-3	2.5	12.5	0.01	0.01	78.69	9.20	18.40
3-4	3.5	12.5	0.01	0.01	74.36	9.15	18.30
4-5	4.5	12.5	0.01	0.01	70.20	9.07	18.14
5-6	5.5	12.5	0.01	0.02	66.25	8.96	17.92
6-7	6.5	12.5	0.01	0.02	62.53	8.82	17.64
7-8	7.5	12.5	0.01	0.02	59.04	8.65	17.29
8-9	8.5	12.5	0.01	0.02	55.78	8.45	16.91
9-10	9.5	12.5	0.01	0.02	52.77	8.24	16.49
10-11	10.5	12.5	0.01	0.02	49.97	8.02	16.04
11-12	11.5	12.5	0.01	0.02	47.39	7.79	15.58

Tabel 81. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		11.978	m		
akibat timbunan		Q =	22.16	t/m			

kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2\times\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	0.01	0.00	87.71	11.08	22.16
1-2	1.5	12.5	0.01	0.01	83.16	11.07	22.14
2-3	2.5	12.5	0.01	0.01	78.69	11.04	22.09
3-4	3.5	12.5	0.01	0.01	74.36	10.99	21.97
4-5	4.5	12.5	0.01	0.01	70.20	10.89	21.78
5-6	5.5	12.5	0.01	0.02	66.25	10.76	21.51
6-7	6.5	12.5	0.01	0.02	62.53	10.59	21.17
7-8	7.5	12.5	0.01	0.02	59.04	10.38	20.76
8-9	8.5	12.5	0.01	0.02	55.78	10.15	20.30
9-10	9.5	12.5	0.01	0.02	52.77	9.90	19.79
10-11	10.5	12.5	0.01	0.02	49.97	9.63	19.25
11-12	11.5	12.5	0.01	0.02	47.39	9.35	18.70

Tabel 82. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		13.978	m		
akibat timbunan		Q =	25.86	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2\times\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	0.01	0.00	87.71	12.93	25.86
1-2	1.5	12.5	0.01	0.01	83.16	12.92	25.84
2-3	2.5	12.5	0.01	0.01	78.69	12.89	25.78
3-4	3.5	12.5	0.01	0.01	74.36	12.82	25.64
4-5	4.5	12.5	0.01	0.01	70.20	12.71	25.42
5-6	5.5	12.5	0.01	0.02	66.25	12.55	25.11
6-7	6.5	12.5	0.01	0.02	62.53	12.35	24.71
7-8	7.5	12.5	0.01	0.02	59.04	12.11	24.23

8-9	8.5	12.5	0.01	0.02	55.78	11.84	23.69
9-10	9.5	12.5	0.01	0.02	52.77	11.55	23.09
10-11	10.5	12.5	0.01	0.02	49.97	11.23	22.47
11-12	11.5	12.5	0.01	0.02	47.39	10.91	21.82

- Perhitungan besar pemampatan tanah yang terjadi

Pada lapisan 1:

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

$$C_c = 1,081$$

$$C_s = 1/7 C_c \\ = 1/7 \times 1,081 \\ = 0,154$$

$$e_0 = 1,515$$

$$\sigma'_o = 0,343 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta\sigma' = 7,36 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma'_o + \Delta\sigma' = 0,343 \text{ t/m}^2 + 7,36 \text{ t/m}^2 \\ = 7,703 \text{ t/m}^2$$

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

$$\sigma'_c = \sigma'_o + P \text{ fluktuasi} \\ = 0,343 \text{ t/m}^2 + 1,5 \text{ t/m}^2 \\ = 1,843 \text{ t/m}^2$$

$$\text{OCR} = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} \\ = \frac{1,843 \text{ t/m}^2}{0,343 \text{ t/m}^2} \\ = 5.373 > 1 \text{ (over-consolidated soil)}$$

Karena  $\sigma'_o + \Delta\sigma' (7,703 \text{ t/m}^2) > \sigma'_c (1,843 \text{ t/m}^2)$ , maka perhitungan *settlement* menggunakan rumus:

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

sehingga:

$$S_c = \left[ \frac{1}{1+1,515} 0,154 \times \log \frac{1,843}{0,343} \right] + \left[ \frac{1}{1+1,515} 1,081 \times \log \frac{7,703}{1,843} \right]$$

$$Sc_1 = 0,312 \text{ m}$$

Rumus  $Sc$  kumulatif untuk setiap  $q$  total adalah:

$$Sc_{\text{kum}} = Sc_1 + Sc_2 + \dots + Sc_{34}$$

Hasil perhitungan  $Sc$  untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 83. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	$H_i$	$C_c$	$C_s$	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_o$	Pfluk	$\sigma'_c$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	7.360	7.703	1.5	1.843	0.312
1-2	1	1.081	0.216	7.355	8.384	1.5	2.529	0.257
2-3	1	1.081	0.216	7.336	9.051	1.5	3.215	0.217
3-4	1	0.931	0.186	7.297	9.698	1.5	3.901	0.163
4-5	1	0.931	0.186	7.234	10.320	1.5	4.586	0.144
5-6	1	0.931	0.186	7.145	10.916	1.5	5.271	0.128
6-7	1	0.864	0.173	7.031	11.489	1.5	5.958	0.109
7-8	1	0.864	0.173	6.895	12.043	1.5	6.648	0.098
8-9	1	0.864	0.173	6.741	12.579	1.5	7.338	0.089
9-10	1	0.78	0.156	6.573	13.094	1.5	8.021	0.072
10-11	1	0.78	0.156	6.395	13.592	1.5	8.697	0.066
11-12	1	0.78	0.156	6.211	14.084	1.5	9.373	0.060
								<b><u>1.714</u></b>

Tabel 84. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	$H_i$	$C_c$	$C_s$	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_o$	Pfluk	$\sigma'_c$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	11.060	11.403	1.5	1.843	0.385
1-2	1	1.081	0.216	11.052	12.081	1.5	2.529	0.325
2-3	1	1.081	0.216	11.024	12.739	1.5	3.215	0.280
3-4	1	0.931	0.186	10.966	13.367	1.5	3.901	0.215

4-5	1	0.931	0.186	10.871	13.957	1.5	4.586	0.193
5-6	1	0.931	0.186	10.737	14.508	1.5	5.271	0.174
6-7	1	0.864	0.173	10.566	15.024	1.5	5.958	0.149
7-8	1	0.864	0.173	10.362	15.510	1.5	6.648	0.137
8-9	1	0.864	0.173	10.130	15.968	1.5	7.338	0.125
9-10	1	0.78	0.156	9.877	16.398	1.5	8.021	0.103
10-11	1	0.78	0.156	9.610	16.807	1.5	8.697	0.095
11-12	1	0.78	0.156	9.333	17.206	1.5	9.373	0.087
								<b>2.268</b>

Tabel 85. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_o$	Pfluk	$\sigma'_c$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	14.760	15.103	1.5	1.843	0.437
1-2	1	1.081	0.216	14.749	15.778	1.5	2.529	0.375
2-3	1	1.081	0.216	14.712	16.427	1.5	3.215	0.328
3-4	1	0.931	0.186	14.635	17.035	1.5	3.901	0.254
4-5	1	0.931	0.186	14.508	17.593	1.5	4.586	0.230
5-6	1	0.931	0.186	14.329	18.100	1.5	5.271	0.210
6-7	1	0.864	0.173	14.101	18.559	1.5	5.958	0.182
7-8	1	0.864	0.173	13.828	18.976	1.5	6.648	0.167
8-9	1	0.864	0.173	13.519	19.357	1.5	7.338	0.154
9-10	1	0.78	0.156	13.182	19.703	1.5	8.021	0.128
10-11	1	0.78	0.156	12.824	20.021	1.5	8.697	0.118
11-12	1	0.78	0.156	12.455	20.328	1.5	9.373	0.110
								<b>2.693</b>

Tabel 86. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_o$	Pfluk	$\sigma'_c$	SC
-------	----	----	----	-----------------	-----------------------------	-------	-------------	----

(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	18.460	18.803	1.5	1.843	0.478
1-2	1	1.081	0.216	18.447	19.476	1.5	2.529	0.415
2-3	1	1.081	0.216	18.400	20.115	1.5	3.215	0.366
3-4	1	0.931	0.186	18.303	20.704	1.5	3.901	0.285
4-5	1	0.931	0.186	18.145	21.230	1.5	4.586	0.260
5-6	1	0.931	0.186	17.921	21.692	1.5	5.271	0.239
6-7	1	0.864	0.173	17.636	22.094	1.5	5.958	0.208
7-8	1	0.864	0.173	17.295	22.443	1.5	6.648	0.193
8-9	1	0.864	0.173	16.908	22.746	1.5	7.338	0.179
9-10	1	0.78	0.156	16.486	23.007	1.5	8.021	0.149
10-11	1	0.78	0.156	16.039	23.236	1.5	8.697	0.138
11-12	1	0.78	0.156	15.577	23.450	1.5	9.373	0.129
								<b>3.039</b>

Tabel 87. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	H <sub>i</sub>	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	Δσ'	Δσ' + σ' <sub>o</sub>	Pfluk	σ' <sub>c</sub>	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	22.159	22.502	1.5	1.843	0.512
1-2	1	1.081	0.216	22.144	23.173	1.5	2.529	0.447
2-3	1	1.081	0.216	22.088	23.803	1.5	3.215	0.397
3-4	1	0.931	0.186	21.972	24.372	1.5	3.901	0.312
4-5	1	0.931	0.186	21.782	24.867	1.5	4.586	0.286
5-6	1	0.931	0.186	21.514	25.284	1.5	5.271	0.264
6-7	1	0.864	0.173	21.171	25.629	1.5	5.958	0.231
7-8	1	0.864	0.173	20.761	25.909	1.5	6.648	0.215
8-9	1	0.864	0.173	20.297	26.135	1.5	7.338	0.200

9-10	1	0.78	0.156	19.790	26.311	1.5	8.021	0.167
10-11	1	0.78	0.156	19.254	26.451	1.5	8.697	0.156
11-12	1	0.78	0.156	18.699	26.572	1.5	9.373	0.146
								<b>3.332</b>

Tabel 88. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_o$	Pfluk	$\sigma'_c$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	25.859	26.202	1.5	1.843	0.540
1-2	1	1.081	0.216	25.841	26.870	1.5	2.529	0.475
2-3	1	1.081	0.216	25.776	27.491	1.5	3.215	0.424
3-4	1	0.931	0.186	25.640	28.041	1.5	3.901	0.334
4-5	1	0.931	0.186	25.418	28.504	1.5	4.586	0.308
5-6	1	0.931	0.186	25.106	28.876	1.5	5.271	0.285
6-7	1	0.864	0.173	24.705	29.163	1.5	5.958	0.250
7-8	1	0.864	0.173	24.228	29.376	1.5	6.648	0.234
8-9	1	0.864	0.173	23.686	29.524	1.5	7.338	0.219
9-10	1	0.78	0.156	23.094	29.615	1.5	8.021	0.183
10-11	1	0.78	0.156	22.469	29.666	1.5	8.697	0.172
11-12	1	0.78	0.156	21.822	29.695	1.5	9.373	0.161
								<b>3.585</b>

- Perhitungan H inisial

Dari perhitungan *settlement* di atas, didapat:

$$H \text{ total} = 3,98 \text{ m}$$

$$q \text{ total} = 7,36 \text{ t/m}^2$$

$$Sc = 1,737 \text{ m}$$

$$H \text{ inisial} = \frac{q_{final} + (Sc \cdot (w_{sat} - w_{timb}))}{w_{timb}}$$



$$= \frac{7,36 t/m^2 + (1,737 m \cdot (1,85 \frac{t^3}{m} + 1 t/m^3 - 1,95 t/m^3))}{1,85 t/m^3}$$

$$= 4,82 \text{ m}$$

$$H \text{ traffic} = 0,98 \text{ m}$$

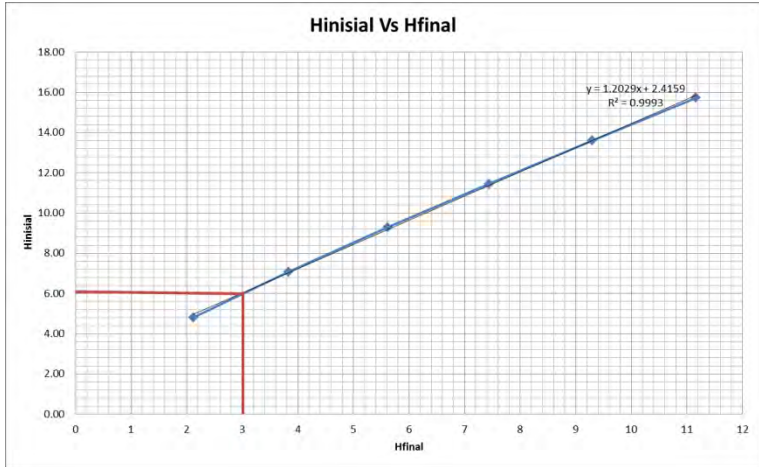
$$\begin{aligned} H \text{ final} &= H \text{ inisial} - Sc - H \text{ traffic} \\ &= 3,98 \text{ m} - 1,737 \text{ m} - 0,98 \text{ m} \\ &= 2,11 \text{ m} \end{aligned}$$

Langkah perhitungan di atas diulang untuk ketinggian H timbunan yang berbeda. Sehingga hasil perhitungan H final untuk H total lainnya ditampilkan dalam Tabel 89.

Tabel 89. Rekapitulasi Perhitungan H Final

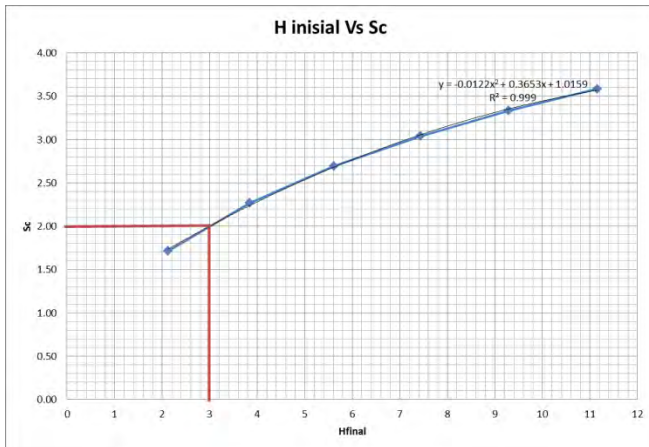
H timb (m)	Q total (t/m <sup>2</sup> )	Sc (m)	H inisial (m)	H traffic (m)	H final (m)
3	7.36	1.71	4.81	0.98	2.12
5	11.06	2.27	7.08	0.98	3.84
7	14.76	2.69	9.29	0.98	5.62
9	18.46	3.04	11.46	0.98	7.44
11	22.16	3.33	13.60	0.98	9.29
13	25.86	3.58	15.72	0.98	11.16

Dari Tabel 89 didapat grafik hubungan H final dengan H inisial seperti yang ditampilkan dalam Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 13. Grafik Hubungan  $H_{\text{inisial}}$  dengan  $H_{\text{final}}$

Dari Tabel 89 di atas juga bisa didapat grafik hubungan  $H_{\text{final}}$  dengan *settlement* seperti yang ditampilkan dalam Gambar 2.



Gambar 14. Grafik Hubungan  $H_{\text{inisial}}$  dengan *settlement* sebelum sungai

Dari grafik-grafik di atas dapat ditentukan  $H_{\text{inisial}}$  dan *settlement* yang terjadi dengan  $H_{\text{final}}$  3 meter, yaitu:

$$H_{\text{inisial}} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Settlement} = 2 \text{ m}$$

### Perencanaan dengan PVD Pola Segitiga

Berikut adalah contoh perhitungan untuk PVD pola segitiga dengan jarak  $S = 0,8 \text{ m}$ :

- Menghitung Fungsi Hambatan PVD ( $F(n)$ )

$D$  = diameter ekivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari *vertical drain*.

$$= 1,05 \times S$$

$$= 1,05 \times 0,8$$

$$= 0,84 \text{ m} \times 100 = 84 \text{ cm}$$

$$n = D/dw$$

$$= 84 \text{ cm} / 6,68 \text{ cm}$$

$$= 13$$

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

$$F(n) = \left( \frac{13^2}{13^2 - 1^2} \right) \left[ \ln(13) - \frac{3}{4} - \left( \frac{1}{13^2} \right) \right]$$

$$F(n) = 1,80$$

Hasil perhitungan  $D$ ,  $n$ , dan  $F(n)$  untuk setiap jarak antar PVD ditampilkan pada Tabel 17.

Tabel 67 Hasil Perhitungan  $D$ ,  $n$ , dan  $F_n$  Untuk PVD Pola Segitiga

Jarak PVD (S) (m)	D (cm)	n	F(n)
0.8	84	13	1.80
0.9	94.5	14	1.91
1.1	115.5	17	2.11
1.2	126	19	2.19
1.4	147	22	2.34

1.6	168	25	2.47
1.8	189	28	2.59
2	210	31	2.70
0.8	84	13	1.80

- Menghitung Derajat Konsolidasi (U) dengan PVD

$$\begin{aligned}
 T_v &= \text{faktor waktu} = \frac{t \times C_v}{(H_{dr})^2} \\
 &= \frac{1 \text{ minggu} \times 0,0548 \text{ m}^2/\text{minggu}}{(12 \text{ m})^2} \\
 &= 0,0008
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_v &= \text{derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah vertikal} \\
 &= \left( 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= \left( 2 \sqrt{\frac{0,0008}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= 0,0311\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_h &= \text{derajat konsolidasi tanah arah horizontal} \\
 &= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{t \times 8 \times C_h}{D^2 \times 2 \times F(n)} \right)}} \right) \right] \\
 &= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{1 \times 8 \times 0,1097}{84^2 \times 2 \times 1,8} \right)}} \right) \right] \\
 &= 0,2927\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U \text{ rata-rata} &= (1 - (1 - U_h)) \times (1 - U_v) \times 100\% \\
 &= (1 - (1 - 0,2927)) \times (1 - 0,0311) \times 100\% \\
 &= 31,474\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan di atas dilakukan untuk seluruh jarak PVD (S). Hasil perhitungan derajat konsolidasi rata-rata (U) untuk pola segiempat pada setiap S ditampilkan pada Tabel 68.

Tabel 68 Hasil Perhitungan U rata-rata Tiap Jarak PVD (S)

t	Uratarata (%)							
	S=0,8m	S=0,9m	S=1m	S=1,2m	S=1,4m	S=1,6m	S=1,8m	S=2m
1	31.474	25.081	17.110	14.581	11.165	9.015	7.599	6.623
2	52.178	42.839	30.028	25.694	19.631	15.693	13.049	11.203
3	66.527	56.257	40.755	35.166	27.072	21.648	17.932	15.305
4	76.534	66.473	49.760	43.344	33.722	27.068	22.421	19.092
5	83.533	74.278	57.355	50.441	39.706	32.047	26.592	22.634
6	88.436	80.252	63.775	56.619	45.111	36.641	30.490	25.968
7	91.875	84.830	69.213	62.006	50.005	40.893	34.146	29.121
8	94.289	88.342	73.824	66.711	54.443	44.837	37.583	32.112
9	95.984	91.038	77.736	70.822	58.474	48.500	40.821	34.954
10	97.176	93.109	81.058	74.419	62.137	51.906	43.875	37.659
11	98.013	94.700	83.881	77.567	65.468	55.076	46.758	40.237
12	98.602	95.922	86.280	80.323	68.499	58.028	49.482	42.696
13	99.016	96.862	88.320	82.738	71.260	60.779	52.058	45.044
14	99.307	97.585	90.055	84.854	73.774	63.343	54.496	47.287
15	99.512	98.142	91.531	86.708	76.064	65.735	56.803	49.431
16	99.657	98.569	92.787	88.334	78.152	67.966	58.987	51.482
17	99.758	98.899	93.856	89.760	80.055	70.049	61.057	53.444
18	99.830	99.152	94.766	91.010	81.790	71.993	63.018	55.321
19	99.880	99.347	95.541	92.107	83.373	73.809	64.877	57.119
20	99.916	99.497	96.200	93.070	84.817	75.504	66.639	58.841
21	99.940	99.613	96.762	93.914	86.134	77.088	68.311	60.490
22	99.958	99.702	97.241	94.656	87.336	78.567	69.896	62.070
23	99.970	99.770	97.648	95.306	88.433	79.950	71.399	63.584
24	99.979	99.823	97.996	95.877	89.434	81.242	72.826	65.035

Dari Tabel 68 di atas, dapat dibuat grafik hubungan antara waktu penimbunan terhadap derajat konsolidasi rata-rata (U), seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.



Tabel 69 Hasil Perhitungan D, n, dan Fn Untuk PVD Pola Segiempat

Jarak PVD (S) (m)	D (cm)	n	F(n)
0.8	90.4	14	1.8674
1	113	17	2.08665
1.1	124.3	19	2.18066
1.2	135.6	20	2.26664
1.4	158.2	24	2.41407
1.5	169.5	25	2.48306
1.6	180.8	27	2.5476
1.8	203.4	30	2.66538
2	226	34	2.77074

- Menghitung Derajat Konsolidasi (U) dengan PVD

$$\begin{aligned}
 T_v &= \text{faktor waktu} = \frac{t \times C_v}{(H_{dr})^2} \\
 &= \frac{1 \text{ minggu} \times 0,0548 \text{ m}^2/\text{minggu}}{(12 \text{ m})^2} \\
 &= 0,0004
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_v &= \text{derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah vertikal} \\
 &= \left( 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= \left( 2 \sqrt{\frac{0,0004}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= 0,023\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_h &= \text{derajat konsolidasi tanah arah horizontal} \\
 &= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{t \times 8 \times C_h}{D^2 \times 2 \times F(n)} \right)}} \right) \right] \\
 &= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{1 \times 8 \times 0,093}{90,4^2 \times 2 \times 1,87} \right)}} \right) \right] \\
 &= 0,2167\%
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 U \text{ rata-rata} &= (1-(1-U_h) \times (1-U_v)) \times 100\% \\
 &= (1-(1-0,2167) \times (1-0,023)) \times 100\% \\
 &= 23,461\%
 \end{aligned}$$

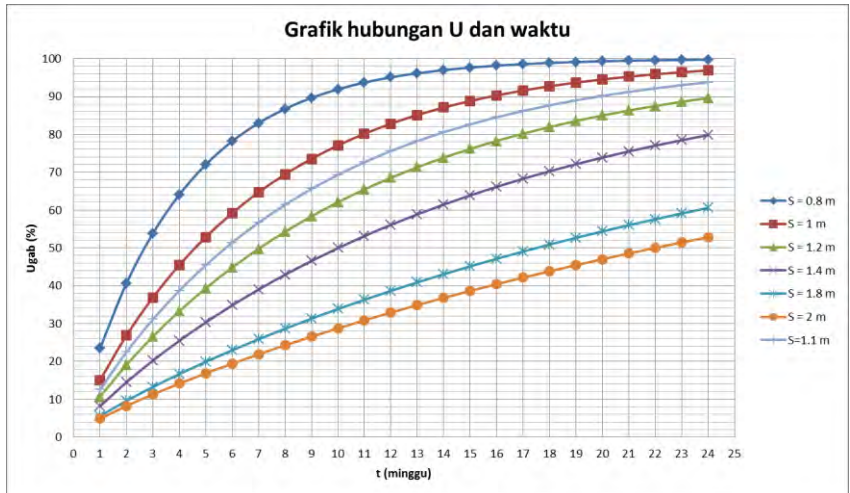
Perhitungan diatas dilakukan untuk seluruh jarak PVD (S). Hasil perhitungan derajat konsolidasi rata-rata (U) untuk pola segiempat pada setiap S ditampilkan pada Tabel 70.

Tabel 70 Hasil Perhitungan U rata-rata Tiap Jarak PVD (S)  
(lanjutan)

t	Uratarata (%)							
	S=0,8m	S=1,0m	S=1,1m	S=1,2m	S=1,4m	S=1,6m	S=1,8m	S=2m
1	23.461	15.046	12.524	10.651	8.139	6.571	5.542	4.835
2	40.625	26.851	22.444	19.087	14.473	11.528	9.569	8.210
3	53.838	36.877	31.087	26.565	20.195	16.037	13.233	11.269
4	64.070	45.466	38.697	33.275	25.448	20.225	16.653	14.128
5	72.013	52.852	45.427	39.328	30.305	24.149	19.880	16.835
6	78.189	59.217	51.392	44.803	34.812	27.843	22.942	19.414
7	82.995	64.708	56.689	49.764	39.003	31.329	25.858	21.883
8	86.739	69.451	61.396	54.265	42.907	34.627	28.641	24.252
9	89.655	73.549	65.583	58.353	46.548	37.751	31.302	26.531
10	91.928	77.093	69.309	62.067	49.945	40.713	33.850	28.727
11	93.701	80.158	72.627	65.443	53.119	43.523	36.293	30.844
12	95.084	82.811	75.583	68.514	56.084	46.192	38.635	32.888
13	96.162	85.107	78.216	71.308	58.856	48.728	40.883	34.862
14	97.004	87.095	80.563	73.851	61.448	51.138	43.042	36.771

15	97.661	88.816	82.655	76.166	63.874	53.430	45.116	38.617
16	98.173	90.306	84.521	78.274	66.143	55.611	47.109	40.403
17	98.573	91.598	86.185	80.194	68.267	57.685	49.025	42.133
18	98.886	92.716	87.668	81.943	70.255	59.659	50.868	43.807
19	99.130	93.685	88.992	83.536	72.117	61.538	52.641	45.429
20	99.320	94.525	90.173	84.987	73.860	63.327	54.347	47.001
21	99.469	95.253	91.227	86.310	75.493	65.031	55.988	48.524
22	99.585	95.884	92.167	87.515	77.022	66.654	57.568	50.000
23	99.676	96.431	93.006	88.614	78.455	68.199	59.089	51.431
24	99.747	96.905	93.755	89.615	79.797	69.671	60.554	52.819

Dari Tabel 70 dapat dibuat grafik hubungan antara waktu penimbunan terhadap derajat konsolidasi rata-rata (U), seperti yang ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Hubungan U dengan Waktu Timbunan dengan PVD Pola Segiempat

### Perhitungan Peningkatan Kuat Geser Undrain (Cu) dengan PVD

- Menghitung perubahan tegangan akibat beban bertahap ( $\Delta P$ )

Perumusan yang dipakai adalah sebagai berikut:

$$\Delta P_i = \left( \frac{\sigma'}{\sigma} \right) \sigma' - \sigma'$$

sehingga:

$$\Delta P_1 = \left( \frac{\sigma'}{P_0} \right) \sigma' - \sigma'$$

$$\Delta P_1 = \left( \frac{U}{100} \right) \sigma' - \sigma'$$

$$\Delta P_1' = 1,026 \text{ t/m}^2$$

Hasil perhitungan  $\Delta P_1'$  untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan pada Tabel 71.

Tabel 71. Hasil perhitungan  $\Delta P1'$

Perubahan Tegangan	Po'	$\Delta P1'$
	t/m2	t/m2
Tinggi Timbunan	H= 0m	H= 0.6m
Umur Timbunan	-	10 minggu
Kedalaman/ U(%)	0	
1	0.343	1.003
2	1.029	1.029
3	1.715	1.036
4	2.401	1.039
5	3.087	1.039
6	3.772	1.039
7	4.455	1.036
8	5.138	1.033
9	5.821	1.029
10	6.504	1.023
11	7.217	1.016
12	7.960	1.008

Kemudian, perubahan tegangan akibat beban tahapan pertama diakumulasi dengan tegangan akibat beban tahapan lainnya ( $\Sigma\sigma'$ ). Hasil perhitungan tegangan akibat beban seluruh penimbunan bertahap ditampilkan dalam Tabel 72.

Tabel 72. Hasil perhitungan tegangan akibat penimbunan bertahap

Tinggi Timbunan	$\Sigma\sigma'$
	(t/m <sup>2</sup> )
1	8.826
2	9.523
3	10.186
4	10.829
5	11.457
6	12.070
7	12.668
8	13.256
9	13.833
10	14.403
11	14.995
12	15.612

- Menghitung kuat geser *undrained* ( $C_u$ )

Untuk perhitungan zona C adalah sebagai berikut:  
karena  $PI = 40\% < 120\%$ :

$$C_u/(\sigma_p') = 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 \times PI)$$

maka:

$$Cu = 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 \times 25,86) \times 8,826 \text{ t/m}^2 / 10$$

$$Cu = 0,205 \text{ Kg/cm}^2 \times 100$$

$$= 20,5 \text{ KPa}$$

Perhitungan Cu selengkapnya ditampilkan pada Tabel

73.

Tabel 73 Hasil perhitungan Cu dengan PVD

Kedalaman	Zona A	Zona C
(m)	Kpa	Kpa
0-1	5	20.48
1-2	5	21.51
2-3	5	22.50
3-4	8	21.42
4-5	8	22.24
5-6	8	23.03
6-7	9	23.68
7-8	9	24.44
8-9	9	25.18
9-10	25	26.73
10-11	25	27.53
11-12	25	28.35

## Menghitung Kebutuhan Geotextile

### • Internal Stability

- Perhitungan tekanan horizontal

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 (45-\phi/2) \\ &= \tan^2 (45-30/2) \\ &= 0,33 \end{aligned}$$

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq}$$

- Kuat tarik ijin

$$T \text{ allow} = \frac{T}{FSid \times FScrx \times FScd \times FSbd}$$

dengan

faktor FSid, FScr, FScd, dan FSbd seperti **Tabel 2.3**.

Maka:

$$\begin{aligned} T \text{ allow} &= \frac{52 \text{ KN/m}}{1,3 \times 2 \times 1,3 \times 1,15} \\ &= 13,378 \text{ KNm} \end{aligned}$$

- Perhitungan spasi

Tabel 74 Perhitungan spasi

H (m)	Z (m)	$\sigma_{hs}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{hq}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_H$ (kN/m <sup>2</sup> )	Sv (m)
3	3	18.50	7.03	25.53	0.40
3	2	12.33	7.03	19.37	0.53
3	1	6.17	7.03	13.20	0.78

- Perhitungan panjang geotextile

Tabel 75 Perhitungan panjang geotextile

Layer	Z (m)	Sv (m)	$\sigma_{hs}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{hq}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_H$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{Hv}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Le (m)	Le Pakai	Lr	L Tot	L pakai
1	0.5	0.5	3.08	7.03	10.12	9.25	0.65	1	4.3	5.3	5.5
2	1	0.5	6.17	7.03	13.20	18.50	0.43	1	3.5	4.5	5.5
3	1.5	0.3	9.25	7.03	16.28	27.75	0.21	1	2.6	3.6	4
4	1.8	0.3	11.10	7.03	18.13	33.30	0.20	1	2.1	3.1	4
5	2.1	0.3	12.95	7.03	19.98	38.85	0.18	1	1.6	2.6	4
6	2.4	0.3	14.80	7.03	21.83	44.40	0.18	1	1.0	2.0	4
7	2.7	0.3	16.65	7.03	23.68	49.95	0.17	1	0.5	1.5	4
8	3	0.3	18.50	7.03	25.53	55.50	0.17	1	0.0	1.0	4
										L tot	35

- **External Stability**

- beban yang terjadi

$$\begin{aligned} P_1 &= q \times k_a \times H_1 \\ &= 2,11 \times 0,33 \times 3 \\ &= 2,09 \text{ t} \end{aligned}$$

$$P_1 \cos = 1,84 \text{ t}$$

$$P_1 \sin = 1 \text{ t}$$

$$R_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= 0,5 \times H_1^2 \times \gamma \times k_a \\ &= 0,5 \times 3^2 \times 1,85 \times 0,33 \\ &= 2,78 \text{ t} \end{aligned}$$

$$P_2 \cos = 2,44 \text{ t}$$

$$P_2 \sin = 1,32 \text{ t}$$

$$R_2 = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} W_1 &= 5,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,85 \text{ t/m}^3 \\ &= 15,26 \text{ t} \end{aligned}$$

$$R_{w1} = 2,75 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} W_2 &= 4 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,85 \text{ t/m}^3 \\ &= 11,1 \text{ t} \end{aligned}$$

$$R_{w2} = 2 \text{ m}$$

- Faktor terhadap guling

Momen dorong

$$P_1 \cos \times R_1 = 2,75 \text{ tm}$$

$$P_2 \cos \times R_2 = 2,44 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mdorong} &= 2,75 + 2,44 \\ &= 5,19 \text{ tm} \end{aligned}$$

Momen penahan

$$P_1 \sin \times R_1 = 8,47 \text{ tm}$$

$$P_2 \sin \times R_2 = 3,48 \text{ tm}$$

$$W_1 \times R_{w1} = 41,97 \text{ tm}$$

$$W_2 \times R_{w2} = 22,20 \text{ tm}$$

$$\text{Mpenahan} = 76,12 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} \text{SF} &= \text{Mdorong} / \text{M penahan} \\ &= 14,66 > \text{SFrencana} = 1,3 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Faktor terhadap sliding



Gaya penahan

$$P_1 \sin = 1,00 \text{ t}$$

$$P_2 \sin = 1,32 \text{ t}$$

$$W_1 = 15,26 \text{ t}$$

$$W_2 = 11,11 \text{ t}$$

$$F_{\text{penahan}} = 28,68 \text{ t}$$

Gaya pendorong

$$P_1 \cos = 1,84 \text{ t}$$

$$P_2 \cos = 2,44 \text{ t}$$

$$F_{\text{penahan}} = 4,27 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} \text{SF} &= F_{\text{dorongan}} / F_{\text{penahan}} \\ &= 7,74 > \text{SF}_{\text{rencana}} = 1,3 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Faktor terhadap keruntuhan pondasi

$$P_{\text{ult}} = c N_c + q N_q + 0.5 B N$$

$$N_c = 6,5$$

$$N_q = 1$$

$$N = 0$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{ult}} &= c N_c + q N_q + 0.5 B N \\ &= 13,975 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{act}} &= H \times q \\ &= 3 \times 1,85 + 2,11 \\ &= 7,66 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SF} &= Q_{\text{ult}} / Q_{\text{act}} \\ &= 1,82 > \text{SF}_{\text{rencana}} = 1,3 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

#### 4. Timbunan Tegak

Berikut adalah contoh perhitungan *settlement* akibat timbunan jalan  $h_{\text{final}} = 5 \text{ m}$  pada STA 12+450 s/d 12+550 dan STA 12+559 s/d 12+659 :

#### Perhitungan Besar Settlement dan Tinggi Awal Timbunan

- Perhitungan  $q$  timbunan akibat beban lalu lintas

$$H_{\text{timbunan}} = 5 \text{ m}$$

$$q_{\text{lalu lintas tot}} = q_{\text{lalu lintas}} + q_{\text{aspal}} + q_{\text{base course}} + q_{\text{sub base}}$$

Tabel 74. Hasil perhitungan  $q$  lalu lintas total

q lalu lintas	1.0	t/m <sup>2</sup>
q aspal	0.1	t/m <sup>2</sup>
q base course	0.5	t/m <sup>2</sup>
q sub base	0.2	t/m <sup>2</sup>
q lalu lintas tot	1.81	t/m <sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 H \text{ lalu lintas} &= \frac{q \text{ lalu lintas}}{\text{timbunan}} \\
 &= \frac{1,81 \text{ t/m}^2}{1,85 \text{ t/m}^3} \\
 &= 0,98
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H \text{ total} &= H \text{ timbunan} + H \text{ lalu lintas} \\
 &= 3 \text{ m} + 0,98 \text{ m} \\
 &= 3,98 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q \text{ total} &= H \text{ total} \times \text{timbunan} \\
 &= 3,98 \text{ m} \times 1,85 \text{ t/m}^3 \\
 &= 7,36 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, didapat q total untuk masing-masing H timbunan yang ditampilkan pada Tabel 75.

Tabel 75. Hasil Perhitungan Q Total

H beban timb (m)	q lalu lintas (t/m <sup>2</sup> )	H traffic (m)	H total (m)	a (m)	B (m)	q total (t/m <sup>2</sup> )
3	1.81	0.98	3.98	0.01	12.50	7.36
5	1.81	0.98	5.98	0.01	12.50	11.06
7	1.81	0.98	7.98	0.01	12.50	14.76
9	1.81	0.98	9.98	0.01	12.50	18.46
11	1.81	0.98	11.98	0.01	12.50	22.16
13	1.81	0.98	13.98	0.01	12.50	25.86

- Perhitungan tegangan overburden efektif ( $\sigma'_{o}$ )

Pada lapisan 1:

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

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

$$\begin{aligned}
 (\sigma'o) &= \gamma \times Z \\
 &= (-1) \times Z \\
 &= (1,686 \text{ t/m}^3 - 1 \text{ t/m}^3) \times 0,5 \text{ m} \\
 &= 0,343 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan  $\sigma'o$  untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan pada Tabel 76.

Tabel 76. Hasil Perhitungan Tegangan *Overburden* Efektif

tegangan over burden	
Kedalaman (m)	$\sigma'o$ (t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.343
1-2	1.029
2-3	1.715
3-4	2.401
4-5	3.086
5-6	3.771
6-7	4.458
7-8	5.148
8-9	5.838
9-10	6.521
10-11	7.197
11-12	7.873

- Perhitungan distribusi tegangan akibat beban timbunan

( $\Delta\sigma'$ )

Pada lapisan 1:

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

$$a = 0 \times H \text{ total}$$

$$= 0 \times 3,98 \text{ m}$$

$$= 0 \text{ m}$$

$$b = \frac{\text{lebar jalan rencana}}{2}$$

$$= \frac{25 \text{ m}}{2}$$

$$= 12,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
B_1 &= 1/2 \text{ lebar timbunan} \\
&= 12,5 \text{ m} \\
B_2 &= \text{Panjang proyeksi horisontal kemiringan timbunan} \\
&= 0,01 \text{ m} \\
\alpha_1 &= \tan^{-1}\{(B_1+B_2)/z\} - \tan^{-1}(B_1/z) \text{ (radian)} \\
&= \tan^{-1}\{(12,5+0,01)/0,5\} - \tan^{-1}(12,5/0,5) \text{ radian} \\
&= 0,002^\circ \\
\alpha_2 &= \tan^{-1}(B_1/z) \\
&= 87,71^\circ \\
\Delta\sigma' &= q_0/\pi[\{(B_1+B_2)/B_2\}(\alpha_1+\alpha_2) - B_1/B_2(\alpha_2)] \\
&= 3,68 \text{ t/m}^2
\end{aligned}$$

Harga tersebut akibat beban  $\frac{1}{2}$  timbunan; untuk timbunan total yang simetris maka harga tersebut harus dikalikan 2 kalinya, sehingga :

$$2 \Delta\sigma' = 2 \times 3,68 = 7,36 \text{ t/m}^2$$

Hasil perhitungan  $\Delta\sigma'$  untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 77. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		3.978	m		
akibat timb		Q =	7.36	t/m			
kedalaman	z	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	0.01	0.00	87.71	3.68	7.3598
1-2	1.5	12.5	0.01	0.01	83.16	3.68	7.3547
2-3	2.5	12.5	0.01	0.01	78.69	3.67	7.3362
3-4	3.5	12.5	0.01	0.01	74.36	3.65	7.2974
4-5	4.5	12.5	0.01	0.01	70.20	3.62	7.2343
5-6	5.5	12.5	0.01	0.02	66.25	3.57	7.1453
6-7	6.5	12.5	0.01	0.02	62.53	3.52	7.0314
7-8	7.5	12.5	0.01	0.02	59.04	3.45	6.8954
8-9	8.5	12.5	0.01	0.02	55.78	3.37	6.7412

9-10	9.5	12.5	0.01	0.02	52.77	3.29	6.5729
10-11	10.5	12.5	0.01	0.02	49.97	3.20	6.3948
11-12	11.5	12.5	0.01	0.02	47.39	3.11	6.2106

Tabel 78. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		5.978	m		
akibat timb		Q =	11.06	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	0.01	0.00	87.71	5.53	11.06
1-2	1.5	12.5	0.01	0.01	83.16	5.53	11.05
2-3	2.5	12.5	0.01	0.01	78.69	5.51	11.02
3-4	3.5	12.5	0.01	0.01	74.36	5.48	10.97
4-5	4.5	12.5	0.01	0.01	70.20	5.44	10.87
5-6	5.5	12.5	0.01	0.02	66.25	5.37	10.74
6-7	6.5	12.5	0.01	0.02	62.53	5.28	10.57
7-8	7.5	12.5	0.01	0.02	59.04	5.18	10.36
8-9	8.5	12.5	0.01	0.02	55.78	5.07	10.13
9-10	9.5	12.5	0.01	0.02	52.77	4.94	9.88
10-11	10.5	12.5	0.01	0.02	49.97	4.80	9.61
11-12	11.5	12.5	0.01	0.02	47.39	4.67	9.33

Tabel 79. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		7.978	m		
akibat timb		Q =	14.76	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	0.01	0.00	87.71	7.38	14.76

1-2	1.5	12.5	0.01	0.01	83.16	7.37	14.75
2-3	2.5	12.5	0.01	0.01	78.69	7.36	14.71
3-4	3.5	12.5	0.01	0.01	74.36	7.32	14.63
4-5	4.5	12.5	0.01	0.01	70.20	7.25	14.51
5-6	5.5	12.5	0.01	0.02	66.25	7.16	14.33
6-7	6.5	12.5	0.01	0.02	62.53	7.05	14.10
7-8	7.5	12.5	0.01	0.02	59.04	6.91	13.83
8-9	8.5	12.5	0.01	0.02	55.78	6.76	13.52
9-10	9.5	12.5	0.01	0.02	52.77	6.59	13.18
10-11	10.5	12.5	0.01	0.02	49.97	6.41	12.82
11-12	11.5	12.5	0.01	0.02	47.39	6.23	12.45

Tabel 80. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		9.978	m		
akibat timbunan		Q =	18.46	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2x\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	0.01	0.00	87.71	9.23	18.46
1-2	1.5	12.5	0.01	0.01	83.16	9.22	18.45
2-3	2.5	12.5	0.01	0.01	78.69	9.20	18.40
3-4	3.5	12.5	0.01	0.01	74.36	9.15	18.30
4-5	4.5	12.5	0.01	0.01	70.20	9.07	18.14
5-6	5.5	12.5	0.01	0.02	66.25	8.96	17.92
6-7	6.5	12.5	0.01	0.02	62.53	8.82	17.64
7-8	7.5	12.5	0.01	0.02	59.04	8.65	17.29
8-9	8.5	12.5	0.01	0.02	55.78	8.45	16.91
9-10	9.5	12.5	0.01	0.02	52.77	8.24	16.49
10-11	10.5	12.5	0.01	0.02	49.97	8.02	16.04

11-12	11.5	12.5	0.01	0.02	47.39	7.79	15.58
-------	------	------	------	------	-------	------	-------

Tabel 81. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		11.978	m		
akibat timbunan		Q =	22.16	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2\times\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	0.01	0.00	87.71	11.08	22.16
1-2	1.5	12.5	0.01	0.01	83.16	11.07	22.14
2-3	2.5	12.5	0.01	0.01	78.69	11.04	22.09
3-4	3.5	12.5	0.01	0.01	74.36	10.99	21.97
4-5	4.5	12.5	0.01	0.01	70.20	10.89	21.78
5-6	5.5	12.5	0.01	0.02	66.25	10.76	21.51
6-7	6.5	12.5	0.01	0.02	62.53	10.59	21.17
7-8	7.5	12.5	0.01	0.02	59.04	10.38	20.76
8-9	8.5	12.5	0.01	0.02	55.78	10.15	20.30
9-10	9.5	12.5	0.01	0.02	52.77	9.90	19.79
10-11	10.5	12.5	0.01	0.02	49.97	9.63	19.25
11-12	11.5	12.5	0.01	0.02	47.39	9.35	18.70

Tabel 82. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Beban Timbunan ( $\Delta\sigma'$ )

distribusi tegangan		H timb =		13.978	m		
akibat timbunan		Q =	25.86	t/m			
kedalaman	z	B1	B2	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta\sigma'$	$2\times\Delta\sigma'$
(m)	(m)	(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0-1	0.5	12.5	0.01	0.00	87.71	12.93	25.86
1-2	1.5	12.5	0.01	0.01	83.16	12.92	25.84
2-3	2.5	12.5	0.01	0.01	78.69	12.89	25.78

3-4	3.5	12.5	0.01	0.01	74.36	12.82	25.64
4-5	4.5	12.5	0.01	0.01	70.20	12.71	25.42
5-6	5.5	12.5	0.01	0.02	66.25	12.55	25.11
6-7	6.5	12.5	0.01	0.02	62.53	12.35	24.71
7-8	7.5	12.5	0.01	0.02	59.04	12.11	24.23
8-9	8.5	12.5	0.01	0.02	55.78	11.84	23.69
9-10	9.5	12.5	0.01	0.02	52.77	11.55	23.09
10-11	10.5	12.5	0.01	0.02	49.97	11.23	22.47
11-12	11.5	12.5	0.01	0.02	47.39	10.91	21.82

- Perhitungan besar pemampatan tanah yang terjadi

Pada lapisan 1:

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

$$C_c = 1,081$$

$$C_s = 1/7 C_c \\ = 1/7 \times 1,081 \\ = 0,154$$

$$e_0 = 1,515$$

$$\sigma'_{o} = 0,343 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta\sigma' = 7,36 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma'_{o} + \Delta\sigma' = 0,343 \text{ t/m}^2 + 7,36 \text{ t/m}^2 \\ = 7,703 \text{ t/m}^2$$

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

$$\sigma'_{c} = \sigma'_{o} + P \text{ fluktuasi} \\ = 0,343 \text{ t/m}^2 + 1,5 \text{ t/m}^2 \\ = 1,843 \text{ t/m}^2$$

$$\text{OCR} = \frac{\sigma'_{c}}{\sigma'_{o}} \\ = \frac{1,843 \text{ t/m}^2}{0,343 \text{ t/m}^2} \\ = 5.373 > 1 \text{ (over-consolidated soil)}$$

Karena  $\sigma'_{o} + \Delta\sigma'$  ( $7,703 \text{ t/m}^2$ )  $>$   $\sigma'_{c}$  ( $1,843 \text{ t/m}^2$ ), maka perhitungan *settlement* menggunakan rumus:

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



sehingga:

$$S_c = \left[ \frac{1}{1+1,515} 0,154 \times \log \frac{1,843}{0,343} \right] + \left[ \frac{1}{1+1,515} 1,081 \times \log \frac{7,703}{1,843} \right]$$

$$Sc1 = 0,312 \text{ m}$$

Rumus Sc kumulatif untuk setiap q total adalah:

$$Sc \text{ kum} = Sc_1 + Sc_2 + \dots + Sc_{34}$$

Hasil perhitungan Sc untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 83. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\frac{\Delta\sigma' + \sigma'_o}{\sigma'_o}$	Pfluk	$\sigma'_c$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	7.360	7.703	1.5	1.843	0.312
1-2	1	1.081	0.216	7.355	8.384	1.5	2.529	0.257
2-3	1	1.081	0.216	7.336	9.051	1.5	3.215	0.217
3-4	1	0.931	0.186	7.297	9.698	1.5	3.901	0.163
4-5	1	0.931	0.186	7.234	10.320	1.5	4.586	0.144
5-6	1	0.931	0.186	7.145	10.916	1.5	5.271	0.128
6-7	1	0.864	0.173	7.031	11.489	1.5	5.958	0.109
7-8	1	0.864	0.173	6.895	12.043	1.5	6.648	0.098
8-9	1	0.864	0.173	6.741	12.579	1.5	7.338	0.089
9-10	1	0.78	0.156	6.573	13.094	1.5	8.021	0.072
10-11	1	0.78	0.156	6.395	13.592	1.5	8.697	0.066
11-12	1	0.78	0.156	6.211	14.084	1.5	9.373	0.060
								<b>1.714</b>

Tabel 84. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\frac{\Delta\sigma' + \sigma'_o}{\sigma'_o}$	Pfluk	$\sigma'_c$	SC
-------	----	----	----	-----------------	---	-------	-------------	----

(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	11.060	11.403	1.5	1.843	0.385
1-2	1	1.081	0.216	11.052	12.081	1.5	2.529	0.325
2-3	1	1.081	0.216	11.024	12.739	1.5	3.215	0.280
3-4	1	0.931	0.186	10.966	13.367	1.5	3.901	0.215
4-5	1	0.931	0.186	10.871	13.957	1.5	4.586	0.193
5-6	1	0.931	0.186	10.737	14.508	1.5	5.271	0.174
6-7	1	0.864	0.173	10.566	15.024	1.5	5.958	0.149
7-8	1	0.864	0.173	10.362	15.510	1.5	6.648	0.137
8-9	1	0.864	0.173	10.130	15.968	1.5	7.338	0.125
9-10	1	0.78	0.156	9.877	16.398	1.5	8.021	0.103
10-11	1	0.78	0.156	9.610	16.807	1.5	8.697	0.095
11-12	1	0.78	0.156	9.333	17.206	1.5	9.373	0.087
								<b>2.268</b>

Tabel 85. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_o$	Pfluk	$\sigma'_c$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	14.760	15.103	1.5	1.843	0.437
1-2	1	1.081	0.216	14.749	15.778	1.5	2.529	0.375
2-3	1	1.081	0.216	14.712	16.427	1.5	3.215	0.328
3-4	1	0.931	0.186	14.635	17.035	1.5	3.901	0.254
4-5	1	0.931	0.186	14.508	17.593	1.5	4.586	0.230
5-6	1	0.931	0.186	14.329	18.100	1.5	5.271	0.210
6-7	1	0.864	0.173	14.101	18.559	1.5	5.958	0.182
7-8	1	0.864	0.173	13.828	18.976	1.5	6.648	0.167
8-9	1	0.864	0.173	13.519	19.357	1.5	7.338	0.154
9-10	1	0.78	0.156	13.182	19.703	1.5	8.021	0.128
10-11	1	0.78	0.156	12.824	20.021	1.5	8.697	0.118

11-12	1	0.78	0.156	12.455	20.328	1.5	9.373	0.110
								<b>2.693</b>

Tabel 86. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_o$	Pfluk	$\sigma'_c$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	18.460	18.803	1.5	1.843	0.478
1-2	1	1.081	0.216	18.447	19.476	1.5	2.529	0.415
2-3	1	1.081	0.216	18.400	20.115	1.5	3.215	0.366
3-4	1	0.931	0.186	18.303	20.704	1.5	3.901	0.285
4-5	1	0.931	0.186	18.145	21.230	1.5	4.586	0.260
5-6	1	0.931	0.186	17.921	21.692	1.5	5.271	0.239
6-7	1	0.864	0.173	17.636	22.094	1.5	5.958	0.208
7-8	1	0.864	0.173	17.295	22.443	1.5	6.648	0.193
8-9	1	0.864	0.173	16.908	22.746	1.5	7.338	0.179
9-10	1	0.78	0.156	16.486	23.007	1.5	8.021	0.149
10-11	1	0.78	0.156	16.039	23.236	1.5	8.697	0.138
11-12	1	0.78	0.156	15.577	23.450	1.5	9.373	0.129
								<b>3.039</b>

Tabel 87. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	Hi	Cc	Cs	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_o$	Pfluk	$\sigma'_c$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	22.159	22.502	1.5	1.843	0.512
1-2	1	1.081	0.216	22.144	23.173	1.5	2.529	0.447
2-3	1	1.081	0.216	22.088	23.803	1.5	3.215	0.397
3-4	1	0.931	0.186	21.972	24.372	1.5	3.901	0.312

4-5	1	0.931	0.186	21.782	24.867	1.5	4.586	0.286
5-6	1	0.931	0.186	21.514	25.284	1.5	5.271	0.264
6-7	1	0.864	0.173	21.171	25.629	1.5	5.958	0.231
7-8	1	0.864	0.173	20.761	25.909	1.5	6.648	0.215
8-9	1	0.864	0.173	20.297	26.135	1.5	7.338	0.200
9-10	1	0.78	0.156	19.790	26.311	1.5	8.021	0.167
10-11	1	0.78	0.156	19.254	26.451	1.5	8.697	0.156
11-12	1	0.78	0.156	18.699	26.572	1.5	9.373	0.146
								<b>3.332</b>

Tabel 88. Hasil Perhitungan *Settlement*

Depth	H <sub>i</sub>	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	$\Delta\sigma'$	$\Delta\sigma' + \sigma'_o$	Pfluk	$\sigma'_c$	SC
(m)	(m)			(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(m)
0-1	1	1.081	0.154	25.859	26.202	1.5	1.843	0.540
1-2	1	1.081	0.216	25.841	26.870	1.5	2.529	0.475
2-3	1	1.081	0.216	25.776	27.491	1.5	3.215	0.424
3-4	1	0.931	0.186	25.640	28.041	1.5	3.901	0.334
4-5	1	0.931	0.186	25.418	28.504	1.5	4.586	0.308
5-6	1	0.931	0.186	25.106	28.876	1.5	5.271	0.285
6-7	1	0.864	0.173	24.705	29.163	1.5	5.958	0.250
7-8	1	0.864	0.173	24.228	29.376	1.5	6.648	0.234
8-9	1	0.864	0.173	23.686	29.524	1.5	7.338	0.219
9-10	1	0.78	0.156	23.094	29.615	1.5	8.021	0.183
10-11	1	0.78	0.156	22.469	29.666	1.5	8.697	0.172
11-12	1	0.78	0.156	21.822	29.695	1.5	9.373	0.161
								<b>3.585</b>

- Perhitungan H inisial

Dari perhitungan *settlement* di atas, didapat:

$$H \text{ total} = 3,98 \text{ m}$$

$$q \text{ total} = 7,36 \text{ t/m}^2$$

$$Sc = 1,737 \text{ m}$$

$$H \text{ inisial} = \frac{q_{final} + (Sc \cdot (w_{timb} - w_{sat \ timb}))}{timb}$$

$$= \frac{7,36 \text{ t/m}^2 + (1,737 \text{ m} \cdot (1,85 \frac{\text{t}^3}{\text{m}} + 1 \text{ t/m}^3 - 1,95 \text{ t/m}^3))}{1,85 \text{ t/m}^3}$$

$$= 4,82 \text{ m}$$

$$H \text{ traffic} = 0,98 \text{ m}$$

$$H \text{ final} = H \text{ inisial} - Sc - H \text{ traffic}$$

$$= 3,98 \text{ m} - 1,737 \text{ m} - 0,98 \text{ m}$$

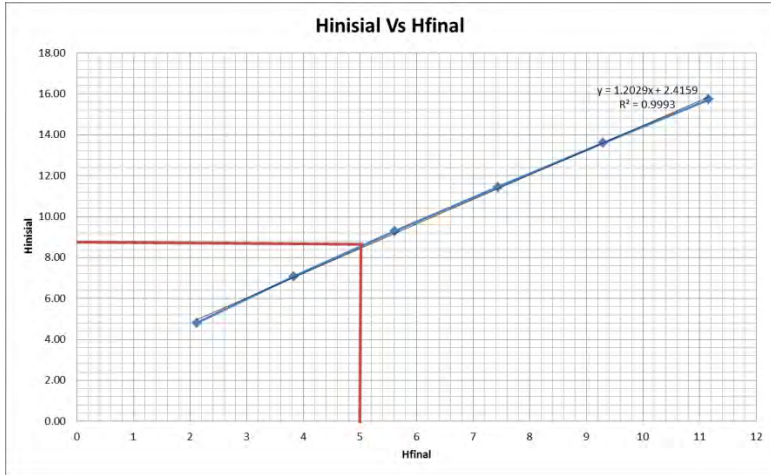
$$= 2,11 \text{ m}$$

Langkah perhitungan di atas diulang untuk ketinggian H timbunan yang berbeda. Sehingga hasil perhitungan H final untuk H total lainnya ditampilkan dalam Tabel 89.

Tabel 89. Rekapitulasi Perhitungan H Final

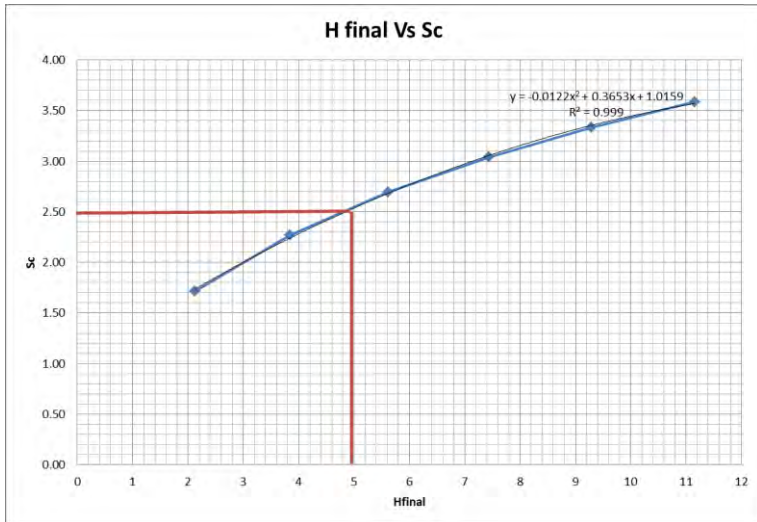
H timb (m)	Q total (t/m <sup>2</sup> )	Sc (m)	H inisial (m)	H traffic (m)	H final (m)
3	7.36	1.71	4.81	0.98	2.12
5	11.06	2.27	7.08	0.98	3.84
7	14.76	2.69	9.29	0.98	5.62
9	18.46	3.04	11.46	0.98	7.44
11	22.16	3.33	13.60	0.98	9.29
13	25.86	3.58	15.72	0.98	11.16

Dari Tabel 89 didapat grafik hubungan H final dengan H inisial seperti yang ditampilkan dalam Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 13. Grafik Hubungan  $H_{inisial}$  dengan  $H_{final}$

Dari Tabel 89 di atas juga bisa didapat grafik hubungan  $H_{final}$  dengan *settlement* seperti yang ditampilkan dalam Gambar 2.



Gambar 14. Grafik Hubungan  $H_{inisial}$  dengan *settlement* sebelum sungai

Dari grafik-grafik di atas dapat ditentukan H inisial dan *settlement* yang terjadi dengan H final 5 meter, yaitu:

$$H \text{ inisial} = 8,5 \text{ m}$$

$$\textit{Settlement} = 2,6 \text{ m}$$

### **Perencanaan dengan PVD Pola Segitiga**

Berikut adalah contoh perhitungan untuk PVD pola segitiga dengan jarak  $S = 0,8 \text{ m}$ :

- Menghitung Fungsi Hambatan PVD ( $F(n)$ )

$D$  = diameter ekivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari *vertical drain*.

$$= 1,05 \times S$$

$$= 1,05 \times 0,8$$

$$= 0,84 \text{ m} \times 100 = 84 \text{ cm}$$

$$n = D/dw$$

$$= 84 \text{ cm} / 6,68 \text{ cm}$$

$$= 13$$

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

$$F(n) = \left( \frac{13^2}{13^2 - 1^2} \right) \left[ \ln(13) - \frac{3}{4} - \left( \frac{1}{13^2} \right) \right]$$

$$F(n) = 1,80$$

Hasil perhitungan  $D$ ,  $n$ , dan  $F(n)$  untuk setiap jarak antar PVD ditampilkan pada Tabel 90.

Tabel 90 Hasil Perhitungan  $D$ ,  $n$ , dan  $F_n$  Untuk PVD Pola Segitiga

Jarak PVD (S) (m)	D (cm)	n	F(n)
0.8	84	13	1.80
1	105	16	1.91
1.1	115.5	17	2.11
1.2	126	19	2.19
1.4	147	22	2.34
1.5	157.5	24	2.47
1.6	168	25	2.59
1.8	189	28	2.70
2	210	31	1.80

- Menghitung Derajat Konsolidasi (U) dengan PVD

$$\begin{aligned}
 T_v &= \text{faktor waktu} = \frac{t \times C_v}{(H_{dr})^2} \\
 &= \frac{1 \text{ minggu} \times 0,0548 \text{ m}^2/\text{minggu}}{(12 \text{ m})^2} \\
 &= 0,0008
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_v &= \text{derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah vertikal} \\
 &= \left( 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= \left( 2 \sqrt{\frac{0,0008}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= 0,0311\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_h &= \text{derajat konsolidasi tanah arah horizontal} \\
 &= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{t \times 8 \times C_h}{D^2 \times 2 \times F(n)} \right)}} \right) \right] \\
 &= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{1 \times 8 \times 0,1097}{84^2 \times 2 \times 1,8} \right)}} \right) \right] \\
 &= 0,2927\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U \text{ rata-rata} &= (1 - (1 - U_h)) \times (1 - U_v) \times 100\% \\
 &= (1 - (1 - 0,2927)) \times (1 - 0,0311) \times 100\% \\
 &= 31,474\%
 \end{aligned}$$

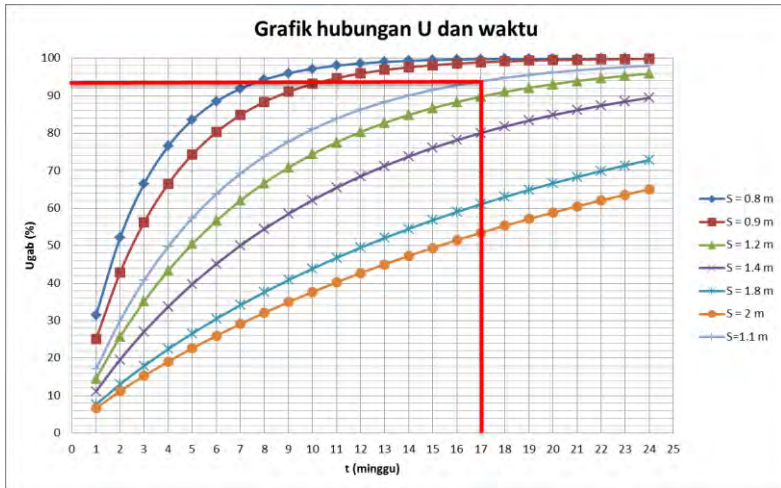


Perhitungan di atas dilakukan untuk seluruh jarak PVD (S). Hasil perhitungan derajat konsolidasi rata-rata (U) untuk pola segiempat pada setiap S ditampilkan pada Tabel 91.

Tabel 91 Hasil Perhitungan U rata-rata Tiap Jarak PVD (S)

t	Uratarata (%)							
	S=0,8m	S=0,9m	S=1m	S=1,2m	S=1,4m	S=1,6m	S=1,8m	S=2m
1	31.474	25.081	17.110	14.581	11.165	9.015	7.599	6.623
2	52.178	42.839	30.028	25.694	19.631	15.693	13.049	11.203
3	66.527	56.257	40.755	35.166	27.072	21.648	17.932	15.305
4	76.534	66.473	49.760	43.344	33.722	27.068	22.421	19.092
5	83.533	74.278	57.355	50.441	39.706	32.047	26.592	22.634
6	88.436	80.252	63.775	56.619	45.111	36.641	30.490	25.968
7	91.875	84.830	69.213	62.006	50.005	40.893	34.146	29.121
8	94.289	88.342	73.824	66.711	54.443	44.837	37.583	32.112
9	95.984	91.038	77.736	70.822	58.474	48.500	40.821	34.954
10	97.176	93.109	81.058	74.419	62.137	51.906	43.875	37.659
11	98.013	94.700	83.881	77.567	65.468	55.076	46.758	40.237
12	98.602	95.922	86.280	80.323	68.499	58.028	49.482	42.696
13	99.016	96.862	88.320	82.738	71.260	60.779	52.058	45.044
14	99.307	97.585	90.055	84.854	73.774	63.343	54.496	47.287
15	99.512	98.142	91.531	86.708	76.064	65.735	56.803	49.431
16	99.657	98.569	92.787	88.334	78.152	67.966	58.987	51.482
17	99.758	98.899	93.856	89.760	80.055	70.049	61.057	53.444
18	99.830	99.152	94.766	91.010	81.790	71.993	63.018	55.321
19	99.880	99.347	95.541	92.107	83.373	73.809	64.877	57.119
20	99.916	99.497	96.200	93.070	84.817	75.504	66.639	58.841
21	99.940	99.613	96.762	93.914	86.134	77.088	68.311	60.490
22	99.958	99.702	97.241	94.656	87.336	78.567	69.896	62.070
23	99.970	99.770	97.648	95.306	88.433	79.950	71.399	63.584
24	99.979	99.823	97.996	95.877	89.434	81.242	72.826	65.035

Dari Tabel 18 di atas, dapat dibuat grafik hubungan antara waktu penimbunan terhadap derajat konsolidasi rata-rata (U), seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 15. Grafik Hubungan U dengan Waktu Timbunan dengan PVD Pola Segitiga

### Perencanaan dengan PVD Pola Segiempat

- Menghitung Fungsi Hambatan PVD ( $F(n)$ )

$D$  = diameter ekivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari *vertical drain*.

$$= 1,13 \times S$$

$$= 1,13 \times 0,8$$

$$= 0,904 \text{ m} \times 100 = 90,4 \text{ cm}$$

$$n = D/dw$$

$$= 90,4 \text{ cm} / 6,68 \text{ cm}$$

$$= 14$$

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

$$F(n) = \left( \frac{14^2}{14^2 - 1^2} \right) \left[ \ln(14) - \frac{3}{4} - \left( \frac{1}{14^2} \right) \right]$$

$$F(n) = 1,87$$

Hasil perhitungan  $D$ ,  $n$ , dan  $F(n)$  untuk setiap jarak antar PVD ditampilkan pada Tabel 19.

Tabel 92 Hasil Perhitungan D, n, dan Fn Untuk PVD Pola Segiempat

Jarak PVD (S) (m)	D (cm)	n	F(n)
0.8	90.4	14	1.8674
1	113	17	2.08665
1.1	124.3	19	2.18066
1.2	135.6	20	2.26664
1.4	158.2	24	2.41407
1.5	169.5	25	2.48306
1.6	180.8	27	2.5476
1.8	203.4	30	2.66538
2	226	34	2.77074

- Menghitung Derajat Konsolidasi (U) dengan PVD

$$\begin{aligned}
 T_v &= \text{faktor waktu} = \frac{t \times C_v}{(H_{dr})^2} \\
 &= \frac{1 \text{ minggu} \times 0,0548 \text{ m}^2/\text{minggu}}{(12 \text{ m})^2} \\
 &= 0,0004
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_v &= \text{derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah vertikal} \\
 &= \left( 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= \left( 2 \sqrt{\frac{0,0004}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= 0,023\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_h &= \text{derajat konsolidasi tanah arah horizontal} \\
 &= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{1 \times 8 \times C_h}{D^2 \times 2 \times F(n)} \right)}} \right) \right] \\
 &= \left[ 1 - \left( \frac{1}{e^{\left( \frac{1 \times 8 \times 0,093}{90,4^2 \times 2 \times 1,87} \right)}} \right) \right]
 \end{aligned}$$

$$= 0,2167\%$$

$$U \text{ rata-rata} = (1-(1-U_h) \times (1-U_v)) \times 100\%$$

$$= (1-(1-0,2167) \times (1-0,023)) \times 100\%$$

$$= 23,461 \%$$

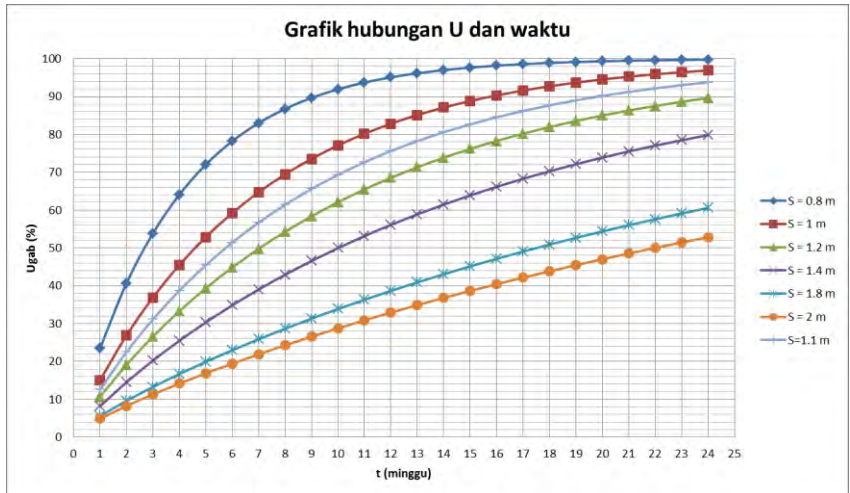
Perhitungan diatas dilakukan untuk seluruh jarak PVD (S). Hasil perhitungan derajat konsolidasi rata-rata (U) untuk pola segiempat pada setiap S ditampilkan pada Tabel 93.

Tabel 93 Hasil Perhitungan U rata-rata Tiap Jarak PVD (S)  
(lanjutan)

t	Uratarata (%)							
	S=0,8m	S=1,0m	S=1,1m	S=1,2m	S=1,4m	S=1,6m	S=1,8m	S=2m
1	23.461	15.046	12.524	10.651	8.139	6.571	5.542	4.835
2	40.625	26.851	22.444	19.087	14.473	11.528	9.569	8.210
3	53.838	36.877	31.087	26.565	20.195	16.037	13.233	11.269
4	64.070	45.466	38.697	33.275	25.448	20.225	16.653	14.128
5	72.013	52.852	45.427	39.328	30.305	24.149	19.880	16.835
6	78.189	59.217	51.392	44.803	34.812	27.843	22.942	19.414
7	82.995	64.708	56.689	49.764	39.003	31.329	25.858	21.883
8	86.739	69.451	61.396	54.265	42.907	34.627	28.641	24.252
9	89.655	73.549	65.583	58.353	46.548	37.751	31.302	26.531
10	91.928	77.093	69.309	62.067	49.945	40.713	33.850	28.727
11	93.701	80.158	72.627	65.443	53.119	43.523	36.293	30.844
12	95.084	82.811	75.583	68.514	56.084	46.192	38.635	32.888
13	96.162	85.107	78.216	71.308	58.856	48.728	40.883	34.862
14	97.004	87.095	80.563	73.851	61.448	51.138	43.042	36.771

15	97.661	88.816	82.655	76.166	63.874	53.430	45.116	38.617
16	98.173	90.306	84.521	78.274	66.143	55.611	47.109	40.403
17	98.573	91.598	86.185	80.194	68.267	57.685	49.025	42.133
18	98.886	92.716	87.668	81.943	70.255	59.659	50.868	43.807
19	99.130	93.685	88.992	83.536	72.117	61.538	52.641	45.429
20	99.320	94.525	90.173	84.987	73.860	63.327	54.347	47.001
21	99.469	95.253	91.227	86.310	75.493	65.031	55.988	48.524
22	99.585	95.884	92.167	87.515	77.022	66.654	57.568	50.000
23	99.676	96.431	93.006	88.614	78.455	68.199	59.089	51.431
24	99.747	96.905	93.755	89.615	79.797	69.671	60.554	52.819

Dari Tabel 93 dapat dibuat grafik hubungan antara waktu penimbunan terhadap derajat konsolidasi rata-rata (U), seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 16. Grafik Hubungan U dengan Waktu Timbunan dengan PVD Pola Segiempat

### Perhitungan Peningkatan Kuat Geser Undrain (Cu) dengan PVD

- Menghitung perubahan tegangan akibat beban bertahap ( $\Delta P'$ )

Perumusan yang dipakai adalah sebagai berikut:

$$\Delta P_i = \left( \frac{\sigma'}{\sigma} \right) \sigma'$$

sehingga:

$$\Delta P_1 = \left( \frac{\sigma'}{P_0} \right) \sigma'$$

$$\Delta P_1 = \left( \frac{\sigma'}{P_0} \right) \sigma'$$

$$\Delta P_1' = 0.827 \text{ t/m}^2$$

Hasil perhitungan  $\Delta P_1'$  untuk seluruh kedalaman tanah ditampilkan pada Tabel 21.

Tabel 94. Hasil perhitungan  $\Delta P1'$

Perubahan Tegangan	Po'	$\Delta P1'$
	t/m2	t/m2
Tinggi Timbunan	H= 0m	H= 0.6m
Umur Timbunan	-	17 minggu
Kedalaman/ U(%)	0	
1	0.343	0.827
2	1.029	0.849
3	1.715	0.856
4	2.401	0.858
5	3.087	0.860
6	3.772	0.860
7	4.455	0.859
8	5.138	0.858
9	5.821	0.855
10	6.504	0.853
11	7.217	0.849
12	7.960	0.845

Kemudian, perubahan tegangan akibat beban tahapan pertama diakumulasi dengan tegangan akibat beban tahapan lainnya ( $\Sigma\sigma'$ ). Hasil perhitungan tegangan akibat beban seluruh penimbunan bertahap ditampilkan dalam Tabel 95.

Tabel 95. Hasil perhitungan tegangan akibat penimbunan bertahap

Tinggi Timbunan	$\Sigma\sigma'$
	(t/m <sup>2</sup> )
1	10.985
2	11.671
3	12.324
4	12.958
5	13.579
6	14.185
7	14.779
8	15.363
9	15.938
10	16.504
11	17.094
12	17.707

- Menghitung kuat geser *undrained* ( $C_u$ )

Untuk perhitungan zona C adalah sebagai berikut:  
 karena  $PI = 40\% < 120\%$ :

$$C_u / (\sigma_p') = 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 \times PI)$$

maka:

$$C_u = 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 \times 25,86) \times 10,985 \text{ t/m}^2 / 10$$



$$Cu = 0,2369 \text{ Kg/cm}^2 \times 100$$

$$= 23,69 \text{ KPa}$$

Perhitungan  $C_u$  selengkapnya ditampilkan pada Tabel 96.

Tabel 96 Hasil perhitungan  $C_u$  dengan PVD

Kedalaman	Zona A	Zona C
(m)	Kpa	Kpa
0-1	5	23.69
1-2	5	24.70
2-3	5	25.67
3-4	8	24.19
4-5	8	24.99
5-6	8	25.78
6-7	9	26.40
7-8	9	27.15
8-9	9	27.89
9-10	25	29.55
10-11	25	30.35
11-12	25	31.17

### Menghitung Kebutuhan Geotextile

- **Internal Stability**
  - Perhitungan tekanan horizontal

$$\begin{aligned}
 K_a &= \tan^2 (45-\phi/2) \\
 &= \tan^2 (45-30/2) \\
 &= 0,33
 \end{aligned}$$

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq}$$

- Kuat tarik ijin

$$T \text{ allow} = \frac{T}{F_{Sid} \times F_{Scr} \times F_{Scd} \times F_{Sbd}}$$

dengan

faktor  $F_{sid}$ ,  $F_{Scr}$ ,  $F_{Scd}$ , dan  $F_{Sbd}$  seperti **Tabel 2.3**.

Maka:

$$\begin{aligned}
 T \text{ allow} &= \frac{52 \text{ KN/m}}{1,3 \times 2 \times 1,3 \times 1,15} \\
 &= 13,378 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan spasi

Tabel 97 Perhitungan spasi

H (m)	Z (m)	$\sigma_{hs}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{hq}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_H$ (kN/m <sup>2</sup> )	Sv (m)
5	5	30.83	6.03	36.87	0.28
5	4	24.67	6.03	30.70	0.34
5	3	18.50	6.03	24.53	0.42
5	2	12.33	6.03	18.37	0.56
5	1	6.17	6.03	12.20	0.84

- Perhitungan panjang *geotextile*

Tabel 98 Perhitungan panjang *geotextile*

Layer	Z (m)	Sv (m)	$\sigma_{hs}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{hq}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_H$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{Hv}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Le (m)	Le Pakai	Lr	L Tot	L pakai
1	0.5	0.5	3.08	6.03	9.12	9.25	0.59	1	7.8	8.8	9
2	1	0.5	6.17	6.03	12.20	18.50	0.39	1	6.9	7.9	9
3	1.5	0.5	9.25	6.03	15.28	27.75	0.33	1	6.1	7.1	9
4	2	0.5	12.33	6.03	18.37	37.00	0.30	1	5.2	6.2	9
5	2.5	0.5	15.42	6.03	21.45	46.25	0.28	1	4.3	5.3	9
6	3	0.5	18.50	6.03	24.53	55.50	0.26	1	3.5	4.5	9
7	3.5	0.25	21.58	6.03	27.62	64.75	0.13	1	2.6	3.6	9

8	3.75	0.25	23.13	6.03	29.16	69.38	0.13	1	2.2	3.2	3.5
9	4	0.25	24.67	6.03	30.70	74.00	0.12	1	1.7	2.7	3.5
10	4.25	0.25	26.21	6.03	32.24	78.63	0.12	1	1.3	2.3	3.5
11	4.5	0.25	27.75	6.03	33.78	83.25	0.12	1	0.9	1.9	3.5
12	4.75	0.25	29.29	6.03	35.33	87.88	0.12	1	0.4	1.4	3.5
13	5	0.25	30.83	6.03	36.87	92.50	0.12	1	0.0	1.0	3.5
										L tot	84

- **External Stability**

- beban yang terjadi

$$\begin{aligned}
 P_1 &= q \times k_a \times H_1 \\
 &= 1,81 \times 0,33 \times 5 \\
 &= 2,99 \text{ t}
 \end{aligned}$$

$$P_1 \cos = 2,62 \text{ t}$$

$$P_1 \sin = 1,43 \text{ t}$$

$$R_1 = 2,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= 0,5 \times H_1^2 \times \dots \times k_{a1} \\
 &= 0,5 \times 5^2 \times 1,85 \times 0,33 \\
 &= 7,71 \text{ t}
 \end{aligned}$$

$$P_2 \cos = 6,77 \text{ t}$$

$$P_2 \sin = 1,32 \text{ t}$$

$$R_2 = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 W_1 &= 9 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,85 \text{ t/m}^3 \\
 &= 81,45 \text{ t}
 \end{aligned}$$

$$R_{w1} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 W_2 &= 3,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,85 \text{ t/m}^3 \\
 &= 7,92 \text{ t}
 \end{aligned}$$

$$R_{w2} = 1,75 \text{ m}$$

- Faktor terhadap guling

Momen dorong

$$P_1 \cos \times R_1 = 6,56 \text{ tm}$$

$$P_2 \cos \times R_2 = 11,29 \text{ tm}$$

$$M_{\text{dorong}} = 6,56 + 11,29$$

$$= 17,85 \text{ tm}$$

Momen penahan

$$P_1 \sin \times R_1 = 12,11 \text{ tm}$$

$$P_2 \sin \times R_2 = 9,66 \text{ tm}$$

$$W_1 \times R_{w1} = 366,53 \text{ tm}$$

$$W_2 \times R_{w2} = 55,43 \text{ tm}$$

$$M_{\text{penahan}} = 443,72 \text{ tm}$$

$$SF = M_{\text{dorong}} / M_{\text{penahan}}$$

$$= 24,86 > SF_{\text{rencana}} = 1,3 \text{ (OK)}$$

- Faktor terhadap sliding

Gaya penahan

$$P_1 \sin = 1,43 \text{ t}$$

$$P_2 \sin = 3,68 \text{ t}$$

$$W_1 = 81,45 \text{ t}$$

$$W_2 = 7,92 \text{ t}$$

$$F_{\text{penahan}} = 94,47 \text{ t}$$

Gaya pendorong

$$P_1 \cos = 2,62 \text{ t}$$

$$P_2 \cos = 6,77 \text{ t}$$

$$F_{\text{penahan}} = 9,40 \text{ t}$$

$$SF = F_{\text{dorong}} / F_{\text{penahan}}$$

$$= 711,60 > SF_{\text{rencana}} = 1,3 \text{ (OK)}$$

- Faktor terhadap keruntuhan pondasi

$$P_{ult} = c N_c + q N_q + 0.5 \quad B N$$

$$N_c = 6,5$$

$$N_q = 2,25$$

$$N = 0,1$$

$$Q_{ult} = c N_c + q N_q + 0.5 \quad B N$$

$$= 19,005 \text{ t/m}^2$$

$$Q_{act} = H \times \quad + q$$

$$= 3 \times 1,85 + 2,11$$

$$= 11,06 \text{ t/m}^2$$

$$SF = Q_{ult} / Q_{act}$$

$$= 1,72 > SF_{\text{rencana}} = 1,3 \text{ (OK)}$$