



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**PERENCANAAN SANITARY LANDFILL DAN LAPISAN
DASAR LANDFILL PADA TEMPAT PEMBUANGAN
AKHIR (TPA) SEKOTO-KABUPATEN KEDIRI**

A WINARDI
NRP. 031 1 17 4000 0 101

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Noor Endah M., MSc. PhD.

Dosen Pembimbing II
Putu Tantri Kumala S., ST. MT.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**PERENCANAAN SANITARY LANDFILL DAN LAPISAN
DASAR LANDFILL PADA TEMPAT PEMBUANGAN
AKHIR (TPA) SEKOTO-KABUPATEN KEDIRI**

A WINARDI
NRP. 031 1 17 4000 0 101

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Noor Endah M., MSc. PhD.

Dosen Pembimbing II
Putu Tantri Kumala S., ST. MT.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT (RC18-4803)

**SANITARY LANDFILL AND BARRIER LAYER OF
LANDFILL DESIGN ON MUNICIPAL SOLID WASTE
DISPOSAL SEKOTO-KABUPATEN KEDIRI**

A WINARDI
NRP. 031 1 17 4000 0 101

Academic Supervisor I
Prof. Ir. Noor Endah M., MSc. PhD.

Academic Supervisor II
Putu Tantri Kumala S., ST. MT.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PERENCANAAN SANITARY LANDFILL DAN
LAPISAN DASAR LANDFILL PADA TEMPAT
PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SEKOTO-
KABUPATEN KEDIRI**

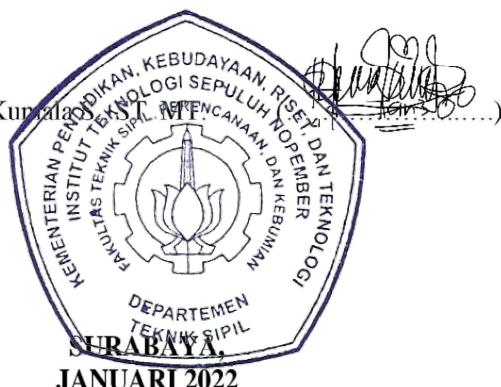
TUGAS AKHIR

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

Oleh :
A WINARDI
NRP. 031 1 17 4000 0 101

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Noor Endah M., MSc. PhD. (.....)
2. Putu Tantri Kurniadi (.....)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERENCANAAN SANITARY LANDFILL DAN LAPISAN DASAR LANDFILL PADA TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SEKOTO-KABUPATEN KEDIRI

Nama Mahasiswa : A Winardi
NRP : 03111740000101
Jurusan : Teknik Sipil FTSPK-ITS
Dosen Konsultasi : 1. Prof. Ir. Noor Endah M., MSc. PhD.
2. Putu Tantri Kumala S., ST. MT.

ABSTRAK

TPA Sekoto berada di Kecamatan Badas, Kabupaten Kediri, Provinsi Jawa Timur, melayani pengangkutan sampah dari 13 kecamatan yang berada di Kabupaten Kediri. TPA Sekoto yang telah menerapkan sistem controlled landfill, pada kenyataannya masih memberikan dampak negatif pada lingkungan. Hal ini disebabkan oleh rusaknya saluran pembuangan air lindi dan kolam instalasi pengolahan air lindi (IPAL). Kondisi ini juga diperparah dengan landfill yang mengalami overload pada tahun 2020. Oleh karena itu, TPA baru dibangun disamping lokasi TPA lama. Selain itu, berdasarkan hasil penyelidikan tanah dilokasi pembangunan, ditemukan air yang berupa air rembesan lindi pada kedalaman bervariasi antara satu sampai empat meter. Oleh sebab itu, perencanaan TPA baru harus mempertimbangkan dampak lingkungan yang ditimbulkannya.

Dalam Tugas Akhir ini, direncanakan TPA Sekoto Baru dengan sistem sanitary landfill. Perencanaan meliputi perencanaan tanggul, pekuatan tanggul dengan geotekstile, dan perkuatan tanah dasar landfill dengan cerucuk, lapisan liner di bawah landfill, tinggi dan kapasitas landfill, struktur kolam IPAL, dan jaringan perpipaan air lindi.

Dari hasil perhitungan perencanaan tersebut didapatkan, 1) Tinggi tanggul 5 meter yang mengelilingi landfill dan diperlukan perkuatan geotekstile sebanyak 6 lapis; 2) 9 buah

cerucuk untuk perkuatan timbunan sampah yang menghadap ke sawah dan 10 cerucuk untuk timbunan sampah yang menghadap ke kolam IPAL; 3) Kombinasi lapisan liner terdiri atas geotekstile non-woven, lapisan kerikil, geomembran HDPE 2 mm dan geogrid; 4) Tinggi timbunan sampah dalam periode layan rencana 10 tahun yaitu 20,4 meter dengan kapasitas landfill sebesar 358554,17 m³; 5) Struktur kolam IPAL bervariasi sesuai jenis dan dimensi kolam IPAL; kolam yang memiliki ukuran struktur dan kombinasi tulangan terbesar adalah kolam unit fakultatif; 6) Diameter pipa pengalir air lindi bervariasi sesuai dengan luasan daerah aliran dimana ukuran pipa terbesar berdiameter 114 mm.

Kata kunci: *geotextile, kolam IPAL, micropile, pipa air lindi, sanitary landfill*

SANITARY LANDFILL AND BARRIER LAYER OF LANDFILL DESIGN OF MUNICIPAL SOLID WASTE DISPOSAL SEKOTO-KABUPATEN KEDIRI

Student name	: A Winardi
NRP	: 03111740000101
Department	: Teknik Sipil FTSPK-ITS
Advisor	: 1. Prof. Ir. Noor Endah M., MSc. PhD. 2. Putu Tantri Kumala S., ST. MT.

ABSTRACT

TPA Sekoto located in Badas District, Kediri Regency, East Java Province, serves the transportation of waste from 13 sub-districts in Kediri Regency. TPA Sekoto which has implemented a controlled landfill system, in fact still has a negative impact on the environment. This was caused by the damage to the leachate drainage channel and the leachate treatment pond. This condition is also exacerbated by landfills that are overloaded in 2020. Therefore, a new TPA was built next to the old TPA location. In addition, based on the results of the soil investigation at the construction site, it was found that water in the form of leachate seepage at a depth varying from one to four meters. Therefore, the planning of a new landfill must consider the environmental impact.

In this final project, it is planned that the TPA Sekoto Baru will use a sanitary landfill system. Planning includes planning the embankments, strengthening embankments with geotextiles, and strengthening landfill subgrades with micropile, liner layers under the landfill, landfill height and capacity, the structure of the leachate treatment pond and leachate channel.

From the results of the calculations, it is found that 1) The embankments is 5 meters high surrounding the landfill requires 6 layers of geotextile reinforcement; 2) 9 micropiles for

strengthening the waste heap facing the rice fields and 10 micropiles for strengthening the waste heap facing the leachate treatment pond; 3) Combination of liner layers consisting of non-woven geotextile, gravel layer, geomembrane HDPE 2 mm and geogrid; 4) The height of the waste in the planned service period of 10 years is 20.4 meters with a landfill capacity of 358554.17 m³; 5) The structure of leachate treatment pond varies according to the type and dimensions of the pond; pond that has the largest structural size and combination of reinforcement are the facultative unit pond; 6) The diameter of the leachate drainage channel varies according to the surface run-off area; with the largest pipe diameter is 114 mm.

Keywords: geotextile, leachate drainage channel, leachate treatment pond, micropile, sanitary landfill

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Perencanaan Sanitary Landfill dan Lapisan Dasar Landfill pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sekoto - Kabupaten Kediri. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Kesuksesan penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari berbagai bantuan serta dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Ir. Noor Endah M., MSc. PhD. Dan Putu Tantri Kumala S., ST. MT. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dengan baik dan sabar sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai.
2. Orang Tua dan seluruh keluarga, atas doa, motivasi serta dukungan yang telah diberikan selama ini.
3. Balai Prasarana Pemukiman Wilayah Jawa Timur, UPT Pengelolaan Sumber Daya Air di Kediri, Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Kediri, dan khususnya Ibu Yustika Widayasari atas dukungannya berupa pemberian data yang penulis perlukan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Loka Galung yang sudah penulis anggap sebagai sudara sendiri yang setia menemani dan memberikan motivasi dalam penggerjaan Tugas Akhir ini.
5. Dini Nabila, Dwi Rohmawati, Adit Galih, Iffarel, Melati Juliya, Hilda Imama dan Nunuk Rohmawati sebagai sahabat karib yang selalu mendampingi selama masa kuliah.

6. Rismalia, Syifaул Zudhi dan Dita Rizkya yang tidak pernah lelah memberikan hiburan dan motivasi saat penulis merasa suntuk mengerjakan Tugas Akhir pada saat pandemi ini.
7. Bekti Eka, Joko Purnomo, Budi Laksono, sebagai teman kosan yang setia menemani saat penulis sedang suntuk mengerjakan Tugas Akhir ini dirumah saat pandemi.
8. Seluruh rekan S60 Teknik Sipil dan seluruh pihak yang telah ikut membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari terdapat kekurangan, oleh sebab itu kritik dan saran dari berbagai pihak akan sangat membantu penulis dalam penyempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini nantinya dapat menjadi referensi yang sangat bermanfaat bagi perkembangan ilmu, khususnya di bidang teknik sipil.

Surabaya, Januari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah	9
2.2. Karakteristik Sampah Pada TPA	11
2.3. Air Lindi	16
2.4. Lapisan Dasar <i>Sanitary Landfill</i>	19
2.5. Tanah	23
2.6. Stabilitas Timbunan.....	27
2.7. Perkuatan Timbunan Menggunakan <i>Geotextile</i>	31
2.8. Perkuatan Tanah di Bawah Timbunan Menggunakan Cerukuk/ <i>Micropile</i>	36
2.9. Perencanaan Struktur Kolam IPAL	39
2.10. Perencanaan Saluran Pengumpul Lindi	46
BAB III METODOLOGI PERENCANAAN.....	51
3.1. Metodologi Perencanaan	51
3.2. Uraian tahapan Perencanaan	53
BAB IV DATA UNTUK PERENCANAAN TPA DAN ANALISISNYA	57
4.1. Data Tanah	57
4.2. Data Curah Hujan.....	64
4.3. Data Parameter Sampah	66

4.4. Data Material Gesintetik	67
4.5. Data Material Micropile	68
4.6. Data Kependudukan dan Proyeksi Produksi Sampah ...	69
BAB V PERENCANAAN TPA SEKOTO.....	73
5.1. Sel TPA Sekoto dan Kapasitasnya	73
5.2. Perencanaan Tanggul.....	77
5.3. Stabilitas Tanggul pada TPA Sekoto.....	83
5.4. Perkuatan Lereng untuk <i>Internal Stability</i> Tanggul ...	83
5.5. Perencanaan Lapisan Dasar (<i>Liner</i>) TPA Sekoto	88
5.6. Perencanaan Tinggi Timbunan Sampah.....	89
5.7. Settlement Akibat Timbunan Beban Bertahap Sampah	93
5.8. Perbedaan Besarnya Settlement Akibat Timbunan Berundak.....	96
5.9. Stabilitas Timbunan Sampah dan Tanggulnya	101
5.10. Ketinggian Kritis Timbunan Sampah dan Peningkatan Daya Dukung Tanah.....	107
5.11. Peningkatan Stabilitas Timbunan Sampah dan Tanggulnya Akibat Perubahan Parameter Tanah Dasar.....	110
5.12. Perkuatan Tanah Dasar Landfill	111
BAB VI PERENCANAAN JARINGAN DAN DIMENSI PIPA AIR LINDI DI DASAR TPA SEKOTO.....	117
6.1. Perencanaan jaringan Pipa Air Lindi	117
6.2. Perhitungan Debit Rencana.....	117
6.3. Perhitungan Kapasitas Pipa.....	120
6.4. Fasilitas Penunjang Jaringan Perpipaan Air Lindi	122
BAB VIII PERENCANAAN STRUKTUR KOLAM IPAL...	127
7.1. Dimensi Kolam IPAL dan Dasar Perencanaan	127
7.2. Perencanaan Struktur Pelat Lantai	129
7.3. Perencanaan Struktur Balok Sloof	135
7.4. Perencanaan Struktur Dinding Kolam.....	141
BAB VIII PENUTUP	149
8.1. Kesimpulan	149
8.2. Saran.....	150

DAFTAR PUSTAKA.....	153
BIODATA PENULIS.....	157
LAMPIRAN	

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi TPA Sekoto, Kabupaten Kediri.....	3
Gambar 1.2 <i>Layout Plan</i> TPA Sekoto Baru.....	4
Gambar 2.1 Lapisan dasar TPA (Permen PU No. 3 Tahun 2013)	21
Gambar 2.2 Desain geosynthetic liner yang disarankan; (a) pada dasar landfill, (b) pada dasar instalasi pengolahan air lindi (IPAL) (Koerner, 1933)	23
Gambar 2.3 Kemiringan lereng tumpukan sampah yang disarankan	29
Gambar 2.4 Contoh gambar potongan tanggul sampah yang disarankan	30
Gambar 2.5 Kondisi kestabilan internal.....	32
Gambar 2.6 Ilustrasi kondisi kestabilan <i>Overall</i>	34
Gambar 2.7 Ilustrasi Total Panjang Geotekstil	35
Gambar 2.8 Design Manual, NAVFAC DM-1971	37
Gambar 2.9 <i>Design Manual</i> , NAVFAC DM-7 1971	38
Gambar 3.1 Diagram Alir Motodologi Perencanaan	51
Gambar 4.1 Rekapitulasi hasil sondir TPA Sekoto Baru	62
Gambar 4.2 Grafik curah hujan bulanan stasiun hujan	65
Gambar 5.1 Rencana sel sampah dan arah penimbunan	74
Gambar 5.2 Tampak atas TPA Sekoto Baru	79
Gambar 5.3 Hubungan antara waktu dan total besarnya pemampatan akibat beban tanggul	82
Gambar 5.4 Hasil analisis tanggul sisi menghadap sawah....	83
Gambar 5.5 Hasil analisis tanggul sisi menghadap kolam IPAL.....	84
Gambar 5.6 Ilustrasi persamaan lingkaran dan kebutuhan panjang geotekstile.....	86
Gambar 5.7 Pemasangan perkuatan geotekstil	87
Gambar 5.8 Ilustrasi rencana lapisan liner.....	89
Gambar 5.9 Potongan melintang landfill	90
Gambar 5.10 Grafik hubungan besarnya pemampatan akibat beban bertahap dengan waktu	96

Gambar 5.11 Ilustrasi titik uji perhitungan pemampatan.....	97
Gambar 5.12 Potongan melintang dan memanjang titik uji perhitungan pemampatan	97
Gambar 5.13 Hasil analisa stabilitas internal lereng timbunan sampah setinggi 20,4 m.....	103
Gambar 5.14 Stabilitas overall timbunan sampah menghadap sawah.....	104
Gambar 5.15 Stabilitas overall timbunan sampah menghadap Kolam IPAL.....	104
Gambar 5.16 Ilustrasi <i>bearing capacity</i> tanah berlapis.....	105
Gambar 5.17 Grafik hubungan antara tinggi timbunan dan angka kemanan terhadap daya dukung tanah.....	107
Gambar 5.18 Perkuatan cerucuk untuk lereng timbunan menghadap sawah	114
Gambar 5.19 Perkuatan cerucuk untuk lereng timbunan menghadap kolam IPAL	116
Gambar 6.1 Perencanaan jaringan perpipaan air lindi	119
Gambar 6.2 Detail bak ventilasi.....	125
Gambar 7.1 Tampak atas lokasi kolam IPAL	128
Gambar 7.2 Ilustrasi pembagian pelat kolam fakultatif	132
Gambar 7.3 Penulangan lentur pada pelat lantai kolam fakultatif	134
Gambar 7.4 Ilustrasi balok melintang dan memanjang kolam fakultatif	136
Gambar 7.5 Penulangan lentur pada balok sloof kolam fakultatif	139
Gambar 7.6 Ilustrasi gaya tekan aktif terhadap kolam fakultatif	144
Gambar 7.7 Penulangan lentur pada dinding kolam fakultatif	146

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Studi Penelitian Khrisna R. Reddy (2009)	14
Tabel 2.2 Ringkasan tabel perbandingan parameter geoteknik dari sampah pada TPA berdasarkan beberapa peneliti oleh Mendoza, et al, (2013)	15
Tabel 2.3 Baku mutu lindi	17
Tabel 2.4 Kandungan organik pada rembesan air lindi di TPA Gunung Tugel	18
Tabel 2.5 Kandungan logam berat pada rembesan air lindi di TPA Gunung Tugel	19
Tabel 2.6 Konsistensi tanah untuk tanah dominan lanau dan lempung.....	24
Tabel 2.7 Beban lalu lintas untuk analisa stabilitas	30
Tabel 2.8 Faktor keamanan akibat pengurangan kekuatan geotekstil	34
Tabel 2.9 Ketebalan minimum pelat satu arah non-prategang.....	41
Tabel 2.10 Ketebalan minimum balok non prategang	43
Tabel 2.11 Tebal minimum dinding	45
Tabel 2.12 Luas basah dan jari-jari hidrolysis saluran berbentuk lingkaran.....	48
Tabel 4.1 Rekapitulasi hasil tes boring pada 3 titik pengeboran	58
Tabel 4.2 Rekapitulasi nilai bacaan konus pada 6 titik sondir TPA Sekoto Baru	60
Tabel 4.3 Hasil analisis data tanah.....	63
Tabel 4.4 Data curah hujan maksimum stasiun hujan Badas Kabupaten Kediri Tahun 2011-2020.....	64
Tabel 4.5 Data material geotekstile	67
Tabel 4.6 Data material geomembran.....	68
Tabel 4.7 Data material geogrid	68
Tabel 4.8 Data material lapisan dasar	68
Tabel 4.9 Data material micropile	69
Tabel 4.10 Proyeksi penduduk dan produksi sampah.....	71

Tabel 5.1 Desain sel sampah tahun 2022.....	76
Tabel 5.2 Kapasitas <i>landfill</i> yang dibutuhkan setiap tahunnya	76
Tabel 5.3 Hasil perhitungan settlement akibat beban tanggul.....	80
Tabel 5.4 Koefisien pemampatan (C_v) gabungan.....	81
Tabel 5.5 Waktu pemampatan akibat beban tanggul	82
Tabel 5.6 Kebutuhan perkuatan geotekstil.....	85
Tabel 5.7 Kebutuhan panjang geotekstil.....	87
Tabel 5.8 Volume landfill rencana dan ketinggian landfill	91
Tabel 5.9 Waktu penimbunan tiap lapisan sel sampah	92
Tabel 5.10 Besarnya pemampatan akibat beban bertahap	94
Tabel 5.11 Hasil perhitungan settlement beban lapisan 1 titik 6	100
Tabel 5.12 Hasil perhitungan settlement beban lapisan 2 titik 6	100
Tabel 5.13 Besarnya settlement untuk setiap titik uji	101
Tabel 5.14 Hasil analisa stabilitas internal lereng timbunan untuk beberapa ketinggian timbunan sampah	103
Tabel 5.15 Nilai faktor/koefisien daya dukung.....	105
Tabel 5.16 Nilai daya dukung tanah tiap lapisan	106
Tabel 5.17 Hasil perhitungan peningkatan nilai Cu	109
Tabel 5.18 Nilai daya dukung tanah dengan parameter Cu yang sudah meningkat.....	111
Tabel 6.1 Hasil perhitungan debit air lindi	120
Tabel 6.2 Hasil perhitungan kapasitas debit pipa	122
Tabel 6.3 Hasil perencanaan ukuran pipa air lindi	122
Tabel 7.1 Dimensi kolam IPAL	127
Tabel 7.2 Hasil perhitungan perencanaan pelat lantai kolam IPAL	135
Tabel 7.3 Hasil perhitungan balok memanjang kolam IPAL	140
Tabel 7.4 Hasil perhitungan balok melintang kolam IPAL	141
Tabel 7.5 Perhitungan gaya aktif pada dinding kolam fakultatif	144

Tabel 7.6 Hasil perhitungan perencanaan dinding kolam IPAL.....	148
---------------------------------------------------------------------------	-----

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk dan kemajuan tingkat perekonomian masyarakat di suatu wilayah mempengaruhi peningkatan jumlah sampah di wilayah tersebut. Laju pertumbuhan penduduk selalu berbanding lurus dengan tingkat konsumsi dan aktivitas masyarakat. Sebagai akibatnya, akan muncul permasalahan lingkungan apabila hal itu tidak diiringi dengan upaya perbaikan dan peningkatan pengelolaan sampah. Proses akhir dari pengelolaan sampah ini berada di tempat pembuangan akhir (TPA). Perencanaan umum TPA yang ada seharusnya mampu menampung volume sampah dalam jangka waktu tertentu.

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 3 Tahun 2013 Tentang Penyelengaraan Prasarana dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Rumah Tangga, perencanaan umum TPA seharusnya direncanakan menggunakan sistem saniter (*sanitary landfill*). Sebagai persyaratan, lokasi TPA tidak boleh berada pada daerah banjir, berjarak minimal satu kilometer dari pemukiman, serta tidak menimbulkan pencemaran air lindi pada air tanah. Tujuan dari *sanitary landfill* adalah untuk mengisolasi sampah beserta zat berbahaya yang ditimbulkannya dari lingkungan.

Air lindi merupakan cairan dari uap air yang dihasilkan selama proses degradasi sampah. Kandungan dan komposisi air lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis sampah dan curah hujan pada lokasi TPA (Anilkumar, et al., 2015). Air lindi pada umumnya mengandung senyawa organik dan anorganik (logam berat) yang tinggi (Fard, et al., 2017). Cairan ini akan larut dalam air hujan yang turun dan meresap kedalam tanah beserta logam berat yang dikandungnya. Jika logam berat tersebut masuk kedalam tubuh manusia, maka akan meimbulkan efek samping

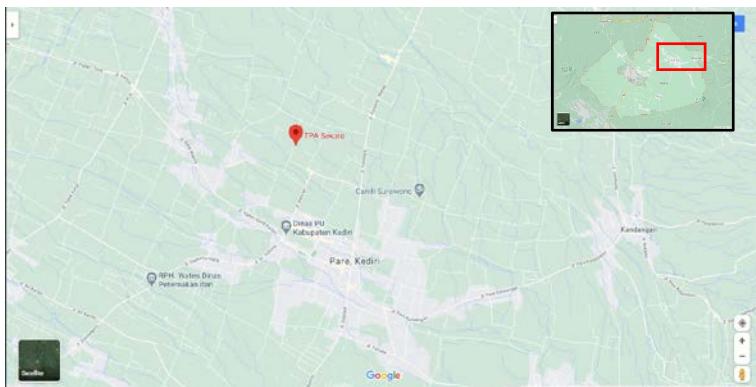
yang berbahaya. Kandungan logam berat dalam air lindi juga dapat mempengaruhi produksi tanaman (Ali, 2011) apabila lokasi TPA berada disekitar lahan persawahan. Hal ini dapat diatasi dengan lapisan dasar yang kedap air pada TPA dengan sistem *sanitary landfill*.

Material alami dan material buatan dapat digunakan sebagai lapisan dasar pada TPA (Davidovits, 1994). Material alami, seperti tanah, tidak dapat langsung digunakan karena perlu memperhatikan sifat-sifat mekanik tanah tersebut, sehingga direkomendasikan untuk menggunakan material natural yang direkayasa (EPA, 2016). TPA dengan sistem *open dumping* dapat mencemari lingkungan termasuk tanah disekitarnya. Tanah yang tercemar menjadi sulit untuk dimanfaatkan karena banyak tanah tercemar mengandung senyawa racun anorganik dan organik (Davidovits, 1994). Sebagai alternatif dari penggunaan tanah, *liner* geosintetik dapat digunakan asalkan memenuhi persyaratan.

Penggunaan tanah sebagai material alami lapisan dasar *landfill* harus memenuhi persyaratan-persyaratan tertentu. Untuk konstruksi TPA agar mencegah rembesan cairan berbahaya kedalam tanah diperlukan konduktifitas hidrolik *in situ* atau koefisien permeabilitas kurang dari 1×10^{-6} meter/detik (Permen PU No. 3 Tahun 2013), dengan ketebalan minimum sebesar 1 meter; tanah yang digunakan sebagai lapisan dasar TPA juga harus memiliki plastisitas yang tinggi dan distribusi ukuran partikel yang sesuai, tanpa partikel lebih besar dari 50 mm (EPA, 2016).

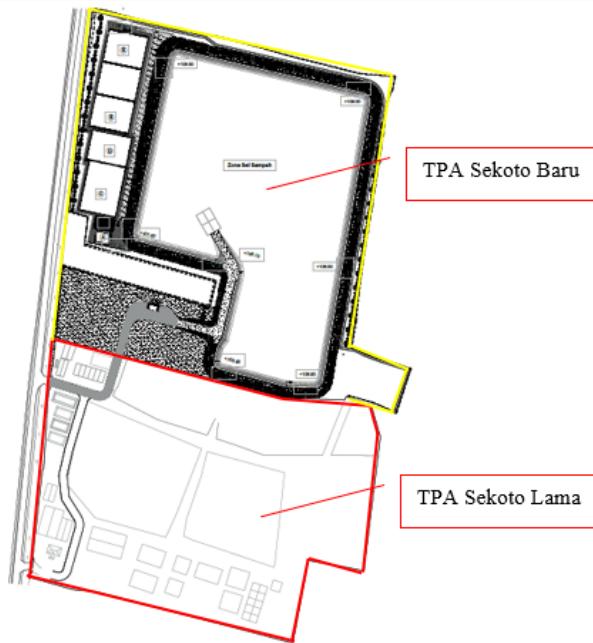
TPA Sekoto, berada di Kecamatan Badas, Kabupaten Kediri, Provinsi Jawa Timur (Gambar 1.1), melayani pengangkutan sampah dari 13 kecamatan yang berada di Kabupaten Kediri. TPA Sekoto yang telah menerapkan sistem *controlled landfill*, pada kenyataannya masih memberikan dampak negatif pada lingkungan. Hal ini disebabkan oleh saluran pembuangan air lindi dan kolam Instalasi pengolahan air lindi (IPAL), yang telah dibangun pada Tahun 2012, mengalami kerusakan yang parah. Hal ini menyebabkan air lindi yang seharusnya ditampung dalam kolam IPAL (instalasi pengolahan air

lindi) merembes dan mencemari air tanah. Lokasi TPA yang berada tidak jauh dari pemukiman penduduk yaitu kurang dari satu kilometer, dimana air tanah digunakan untuk keperluan sehari-hari dikhawatirkan dapat tercemar air lindi. Selain itu, lokasinya yang berada di tengah persawahan warga, dimana air tanah digunakan sebagai sumber irigasi sawah, hal ini juga dapat memberikan dampak buruk bagi tanaman.



Gambar 1.1 Lokasi TPA Sekoto, Kabupaten Kediri

Memiliki total luas landfill sebesar 3,5 hektar, TPA Sekoto menangani pengangkutan sampah mencapai 73,7 ton/hari atau $463,5 \text{ m}^2/\text{hari}$; sampah tersebut menyebabkan timbunan sampah seluas 1.247 m^2 pada Tahun 2019 (DLH Kab. Kediri, 2019). Sebetulnya, TPA Sekoto hanya melayani sebesar 37,21% dari total produksi sampah pada daerah layan pada tahun 2019. Sebagai akibat dari banyaknya volume sampah yang harus ditampung setiap tahunnya dan lahan penimbunan sampah (*landfill*) yang semakin berkurang, TPA Sekoto – Kabupaten Kediri mengalami *overload* pada tahun 2020 (Nugroho, 2020). Oleh sebab itu, pembangunan TPA baru harus segera dilaksanakan. Adapun pembangunan TPA baru yang direncanakan berada di samping lokasi TPA Sekoto lama (Gambar 1.2), maka dalam perencanaannya harus mempertimbangkan dampak lingkungan yang akan terjadi.



Gambar 1.2 Layout Plan TPA Sekoto Baru

Selain itu, berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lokasi pembangunan TPA Sekoto Baru, tanah dilokasi berupa tanah dominan lempung berlanau. Berdasarkan sondir di enam titik pengujian, tanah keras (nilai tanahanan conus 250 kg/cm^2) ditemukan pada kedalaman antara 4 - 6 meter. Sedangkan tanah kaku ditemukan pada kedalaman bervariasi antara 2,4 – 6 meter. Berdasarkan hasil pengujian bor di tiga titik, ditemukan air yang berada pada kedalaman 1 hingga 4 meter yang berupa air rembesan. Dapat disimpulkan bahwa air lindi dari TPA lama telah merembes pada daerah sekitar TPA.

Berdasarkan permasalahan yang ada di TPA Sekoto – Kabupaten Kediri, yaitu permasalahan pencemaran air lindi pada tanah dan *landfill* yang sudah *overload*, perencanaan desain ini dilakukan untuk menentukan desain perencanaan TPA Sekoto baru

dengan sistem *sanitary landfill* dengan lapisan dasar *landfill* yang dapat mencegah pencemaran air lindi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada maka permasalahan utama yang harus diselesaikan yaitu bagaimana perencanaan TPA Sekoto baru dengan sistem *sanitary landfill* dan lapisan dasar *landfill* yang dapat mencegah pencemaran air lindi. Adapun rincian permasalahan yang ada yaitu:

1. Berapa kapasitas *landfill* yang dibutuhkan dan ketinggian sampah pada *landfill* untuk periode layan TPA selama 10 tahun?
2. Bagaimana perencanaan, stabilitas serta perkuatan tanggul pada *landfill*?
3. Bagaimana *settlement* yang akan terjadi akibat dari timbunan sampah pada *landfill*?
4. Bagaimana kombinasi *liner* untuk menahan air lindi pada *landfill*?
5. Bagaimana perencanaan perkuatan pada tanah dasar akibat beban timbunan sampah di *landfill*?
6. Bagaimana perencanaan desain dan dimensi saluran pengumpul air lindi?
7. Bagaimana perencanaan dari struktur kolam instalasi pengolahan air lindi (IPAL) pada TPA?

1.3 Tujuan

Tujuan utama dari perencanaan ini yaitu merencanakan TPA Sekoto Baru dengan sistem *sanitary landfill* dengan lapisan dasar tanah yang dapat mencegah pencemaran air lindi. Adapun tujuan secara rinci yang ingin dicapai yaitu:

1. Mengetahui kapasitas *landfill* yang dibutuhkan dan ketinggian sampah pada *landfill* untuk periode layan TPA selama 10 tahun.

2. Mengetahui perencanaan, stabilitas serta perkuatan tanggul pada *landfill*
3. Mengetahui settlement yang akan terjadi akibat beban timbunan sampah pada *landfill*.
4. Mengetahui kombinasi *liner* untuk menahan air lindi pada *landfill*
5. Mengetahui perencanaan perkuatan pada tanah dasar akibat beban timbunan sampah di *landfill*
6. Mengetahui perencanaan desain dan dimensi saluran pengumpul air lindi
7. Mengetahui perencanaan dari struktur kolam instalasi pengolahan air lindi (IPAL) pada TPA

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat dicapai dari tugas akhir ini yaitu mendapatkan desain TPA Sekoto baru dengan menggunakan sistem *sanitary landfill* dan kombinasi lapisan dasar *landfill* untuk mencegah tanah tercemar air lindi. Selain itu, diharapkan tugas akhir ini dapat dijadikan referensi dalam perencanaan *sanitary landfill* pada kasus yang sejenis lainnya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam perencanaan desain *sanitary landfill* ini sebagai berikut:

1. Tidak memperhatikan TPA Sekoto - Kabupaten Kediri yang lama
2. Tidak menganalisis rembesan air lindi yang terjadi pada tanah dasar dan tidak memperhitungkan pengaruh air lindi terhadap konduktifitas hidrolik lapisan dasar
3. Tidak memperhatikan pengaruh settlement pada tanah dasar terhadap saluran pengumpul lindi dan lapisan *liner*
4. Tidak memperhatikan jumlah produksi air lindi terhadap kapasitas kolam instalasi pengolahan air lindi (IPAL)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah

Pembuangan merupakan tahap akhir dari pengelolaan sampah, dimana pembuangan ini dilakukan di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Menurut UU No. 18 Tahun 2008, TPA merupakan tempat dimana sampah mencapai tahap terakhir dalam pengelolaannya. TPA merupakan tempat dimana sampah diisolasi secara aman agar tidak menimbulkan gangguan terhadap lingkungan sekitarnya.

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 3 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemrosesan sampah di TPA ini. Pemrosesan Akhir Sampah adalah proses pengembalian sampah dan/atau residu hasil pengolahan sampah sebelumnya ke media lingkungan secara aman. Pemrosesan akhir sampah yang dimaksud dilakukan dengan menggunakan sistem:

- a. Metode lahan urug terkendali (*controlled landfill*)

Metode Lahan Urug Terkendali adalah metode pengurukan di areal pengurukan sampah, dengan cara dipadatkan dan ditutup dengan tanah penutup sekurang-kurangnya setiap tujuh hari.

- b. Metode lahan urug saniter (*sanitary landfill*)

Metode Lahan Urug Saniter adalah metode pengurukan di areal pengurukan sampah yang disiapkan dan dioperasikan secara sistematis, dengan penyebaran dan pemasukan sampah pada area pengurukan serta penutupan sampah setiap hari.

- c. Teknologi ramah lingkungan.

Pemrosesan akhir sampah yang dilakukan di TPA meliputi kegiatan:

- a. penimbunan/pemadatan;
- b. penutupan tanah;
- c. pengolahan lindi; dan
- d. penanganan gas.

Pemrosesan akhir sampah di TPA juga harus memperhatikan:

- a. Sampah yang boleh masuk ke TPA adalah sampah rumah tangga, sampah sejenis sampah rumah tangga, dan residu;
- b. Limbah yang dilarang diurug di TPA, yang meliputi:
 - 1) Limbah cair yang berasal dari kegiatan rumah tangga
 - 2) Limbah yang berkategori bahan berbahaya dan beracun (B3);
 - 3) Limbah medis dari pelayanan masyarakat
- c. Residu sebagaimana dimaksud pada huruf a tidak berkategori bahan berbahaya dan beracun atau mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun;
- d. Dalam hal terdapat sampah yang berkategori bahan berbahaya dan beracun atau mengandung limbah bahanberbahaya dan beracun di TPA harus disimpan di tempat penyimpanan sementara sesuai dengan ketentuan peraturan perundungan mengenai pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun; dan
- e. Dilarang melakukan kegiatan peternakan di TPA.

Perencanaan TPA dilakukan sebagai metode control pembuangan sampah. Penyediaan dan pengoperasian TPA harus memperhatikan pemilihan lokasi, kondisi fisik, kemudahan operasi, aspek lingkungan dan sosial. Pemilihan lokasi TPA harus memenuhi berbagai kriteria sebagaimana disebutkan dalam Pasal 35 ayat 2 Permen PU No. 3 Tahun 2013, diantaranya:

- a. kriteria geologi yang meliputi:
 - 1) lokasi tidak berada di daerah sesar atau patahan yang masih aktif
 - 2) lokasi tidak berada di zona bahaya geologi, seperti daerah gunung berapi
 - 3) lokasi tidak berada di daerah karst
 - 4) tidak berada di daerah berlahan gambut
 - 5) dianjurkan berada di daerah lapisan kedap air
- b. hidrogeologi, antara lain meliputi:
 - 1. kondisi muka air tanah tidak kurang dari tiga meter
 - 2. kondisi kelulusan tanah tidak lebih besar dari 10^{-6} cm/detik
 - 3. jarak terhadap sumber air minum lebih besar dari 100 meter di hilir aliran
- c. kemiringan zona, yaitu berada pada kemiringan kurang dari 20%
- d. jarak dari lapangan terbang, yaitu berjarak lebih dari 3000 m untuk lapangan terbang yang didarati pesawat turbo jet dan berjarak lebih dari 1500 m untuk lapangan terbang yang didarati pesawat jenis lain.
- e. Jarak dari pemukiman, yaitu lebih dari 1 km dengan mempertimbangkan pencemaran lindi, kebauan, penyebaran faktor penyakit dan aspek sosial
- f. Tidak berada di kawasan lindung/cagar alam
- g. Bukan merupakan daerah banjir periode ulang 25 tahun

Pada Pasal 36 Permen PU No. 3 Tahun 2013 dijelaskan bahwa penentuan luas lahan dan kapasitas TPA harus mempertimbangkan timbunan sampah, tingkat pelayanan dan kegiatan yang akan dilakukan di dalam TPA. Umur teknis dari TPA harus direncanakan paling sedikit 10 tahun. TPA juga harus memiliki prasarana dan sarana yang berupa fasilitas dasar, fasilitas

perlindungan lingkungan fasilitas operasional dan fasilitas penunjang. Fasilitas perlindungan lingkungan sebagaimana dimaksud tersebut terdiri atas:

- a. lapisan kedap air;
- b. saluran pengumpul lindi;
- c. instalasi pengolahan lindi;
- d. zona penyangga;
- e. sumur uji atau pantau; dan
- f. penanganan gas.

Apabila dalam tahap pemilihan lokasi, penggunaan lahan gambut dan berada di lokasi kurang kedap air tidak dapat dihindarkan, maka penrencanaan TPA harus direkayasa secara teknologi sehingga berada dilapisan kedap air. Rekayasa ini dapat berupa penggunaan lapisan kedap air alamiah dan/atau lapisan kedap air artifisial seperti geosintetis dan/atau bahan lain yang memenuhi persyaratan kelulusan hidrogeologi tidak lebih besar dari 10^{-6} cm/detik. Sebuah TPA seharusnya tidak bersistem open dumping, karena menyebabkan bau, asap, tidak sedap dipandang mata, masalah serangga dan binatang penggerat, dan lain sebagainya. Syarat terpenting dari TPA adalah tidak menghasilkan polutan. Hal ini dapat diatasi dengan TPA yang memiliki sistem atau metode lahan uruk saniter (*sanitary landfill*).

Tujuan utama *sanitary landfill* adalah untuk meminimalisir dampak negatif dari pembuangan limbah hasil pengolahan sampah ke lingkungan. Seperti polusi udara akibat gas buangan atau pencemaran air tanah akibat air lindi. Karena itu, *sanitary landfill* haruslah direncanakan dengan baik untuk mencegah kebocoran limbah. *Sanitary landfill* pada umumnya terdiri dari liner tanah liat, geomembran, sistem pengumpulan lindi dan lapisan penutup.

Lapisan penutup dibutuhkan untuk mencegah sampah berserakan, bahaya kebakaran, timbulnya bau, berkembang

biaknya lalat atau binatang penggerat dan mengurangi timbulan lindi. Menurut Permen PU No. 3 Tahun 2013 dijelaskan kriteria dan persyaratan lapisan penutup, yaitu:

1. Jenis tanah penutup adalah tanah yang tidak kedap air.
2. Periode penutupan tanah harus disesuaikan dengan metode pembuangannya, untuk *sanitary landfill* penutupan tanah dilakukan setiap hari.
3. Tahapan penutupan tanah untuk sanitary landfill terdiri dari penutupan harian setebal 10 – 15 cm, penutupan antara setebal 30 – 40 cm, dan penutupan tanah akhir setebal 50 – 100 cm tergantung rencana peruntukan bekas TPA nantinya.
4. Kemiringan tanah penutup harian harus cukup untuk dapat mengalirkan air hujan keluar dari atas lapisan penutup.
5. Kemiringan tanah penutup akhir hendaknya mempunyai grading dengan kemiringan tidak lebih dari 30 derajat untuk menghindari erosi.

2.2.Karakteristik Sampah pada TPA

Karakteristik suatu sampah pada TPA bergantung pada beberapa faktor seperti lokasi TPA dan tingkat sosial ekonomi masyarakat pada daerah layan TPA. Komposisi sampah mencakup presentase dari komponen pembentuk sampah yang secara fisik dapat dibedakan antara sampah organik dan sampah anorganik. Komposisi sampah pada TPA dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

1. Cuaca
Cuaca dapat mempengaruhi tingkat kelembaban dari sampah pada TPA. Pada daerah dengan curah hujan tinggi, kelembaban dari sampah juga akan semakin tinggi.
2. Frekuensi penimbunan sampah

Semakin intens sampah ditimbun pada TPA maka semakin tinggi tumpukan yang akan terbentuk, sehingga densitas (kepadatan) sampah pada lapisan bawah akan semakin meningkat.

3. Tingkat sosial ekonomi

Wilayah dengan tingkat ekonomi dan sosial lebih tinggi pada umumnya akan menghasilkan jumlah sampah yang lebih tinggi dan juga menghasilkan jenis sampah anorganik yang lebih tinggi pula.

Densitas sampah menyatakan berat sampah per satuan volume. Data kepadatan sampah penting dalam pemilihan jenis peralatan pengumpul maupun pemindah sampah pada TPA. Disamping itu hal ini juga mempengaruhi perencanaan TPA, dimana apabila densitas sampah rendah maka volume dan luas area *landfill* yang dibutuhkan akan semakin meningkat, dan atau apabila densitas semakin meningkat akan menyebabkan penurunan permukaan tanah akibat penimbunan sampah semakin bertambah pula. Pada Kajian pada Kajian Penutupan TPA Supit Urang Kota Malang oleh Widyasari, et al. (2019), dilakukan survei terhadap densitas sampah dengan 2 kondisi. Kedua kondisi itu meliputi sampah pada lokasi penurunan dari truk pengangkut dan sampah pada zona aktif, dimana TPA Supit Urang yang dikaji merupakan TPA dengan sistem *open dumping*. Survey sampah pada zona aktif dilakukan pada kedalaman 1 meter dari atas timbunan. Hasil survei menyatakan bahwa berat jenis sampah pada lokasi penurunan sampah rata-rata sebesar $256,43 \text{ kg/m}^3$ sedangkan pada zona aktif rata-rata sebesar $508,5 \text{ kg/m}^3$.

Pada penelitian Reddy, et al. (2009), dalam pengujian angka permeabilitas limbah padat kota di tempat pembuangan sampah, memberikan penilaian komparatif dari nilai-nilai angka permeabilitas yang diukur dan dilaporkan dalam literatur

berdasarkan studi laboratorium dan lapangan pada limbah padat dan ditimbun di TPA Orchard Hills, Illinois, Amerika Serikat. Penelitian ini menggunakan dua parameter dinding kaku skala kecil dan skala besar dan parameter triaksial limbah TPA yang digali dari lubang bor pada *landfill* TPA yang telah mengalami resirkulasi lindi selama sekitar satu setengah tahun. Tes ini menghasilkan parameter angka permeabilitas yang bervariasi antara $2,8 \times 10^{-3}$ sampai dengan $11,8 \times 10^{-3}$ cm/detik dan berat unit kering berkisar antara 3,9 sampai dengan $5,1 \text{ kN/m}^3$ untuk jenis limbah padat segar. Sedangkan pada sampah padat yang ditimbun menghasilkan angka permeabilitas antara $0,6 \times 10^{-3}$ sampai dengan $3,0 \times 10^{-3}$ cm/detik dan berat jenis kering antara 4,5 sampai dengan $5,5 \text{ kN/m}^3$. Angka permeabilitas yang diperoleh dari uji parameter dengan skala besar menurun dengan meningkatnya tegangan normal pada limbah padat segar TPA. Hasil studi yang telah dilakukan oleh Reddy, et al. (2009) dirangkum dalam Tabel 2.1.

Dalam studi Colomer-Mendoza, et al. (2013), tentang pengaruh desain terhadap stabilitas lereng pada TPA, disajikan beberapa perbandingan dari parameter geoteknik yang dari sampah untuk desain kemiringan dan stabilitas pada TPA berdasarkan beberapa peneliti (Tabel 2.2). Dalam tabel ini disajikan nilai parameter nilai daya lekat antar partikel sampah atau kohesi (c) dan sudut geser partikel sampah (Φ).

Tabel 2.1 Hasil Studi Penelitian Khrisna R. Reddy (2009)

Jurnal	Berat Jenis (kN/m ³)	Angka Permeabilitas (cm/detik)
Korfiatis, et al. (1984), <i>Column test, refuse of six month old collected from a landfill in New Jersey</i>	8,6	$5,0 \times 10^{-3} - 3,0 \times 10^{-3}$
Blieker, et al. (1993), <i>Fixed ring consolidometer, decomposed MSW sampels from Keele Valley landfill in Toronto</i>	5,9 – 11,8	$1,6 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-6}$
Brandi. (1994), <i>Pretreated MSW Collected from an abandoned and newly constructed landfill</i>	9,0 – 17,0	$2,0 \times 10^{-3} - 3,0 \times 10^{-6}$
Beaven and Powrie. (1995), <i>Large scale compression cell, crude as well as processed MSW from the tipping face of a landfill</i>	5,0 – 13,0	$1,0 \times 10^{-2} - 1,0 \times 10^{-5}$
Gabr and Valero. (1995), <i>Constant and falling head test, 15-20 year old samples recovered from auger cuttings</i>	7,4 – 8,2	$1,0 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-5}$
Powrie and Beaven. (1999), <i>Constant head test in Pitsea compression cell, unshredded MSW from tipping face of a landfill</i>	3,8	$1,5 \times 10^{-4} - 3,4 \times 10^{-5}$
	7,1	$2,7 \times 10^{-6} - 3,7 \times 10^{-8}$
Jang, et al. (2002), <i>Constant head test using a modified tempe cell</i>	7,8 – 11,8	$1,1 \times 10^{-3} - 2,9 \times 10^{-4}$
Penmethsa. (2007), <i>Constant head test, laboratory generated MSW samples in four different phases of degradation</i>	6,4 – 9,3	$1,0 \times 10^{-2} - 8,0 \times 10^{-4}$

Tabel 2.2 Ringkasan tabel perbandingan parameter geoteknik dari sampah pada TPA berdasarkan beberapa peneliti oleh Mendoza, et al, (2013)

Jurnal	Kohesi (c) (t/m ²)	Sudut geser (Φ) ($^{\circ}$)
H.L. Jessberger. (1994), <i>Geotechnical aspects of landfill design and construction. Part 2: material parameters and test methods.</i>	0,2 – 2,86	15 – 42
J. B. Fassett, et al. Repetto. (1994), <i>Geotechnical properties of municipal solid wastes and their use in landfill design.</i>	1,02	23
F. Kölsch. (1995), <i>Material values for some mechanical properties of domestic waste.</i>	1,52 – 1,84	15 – 22
O. Del Greco, C. Oggeri. (1993), <i>Geotechnical parameters of sanitary wastes.</i>	1,60 – 2,40	21 – 22
A.O. Landva, J.I. Clark. (1986), <i>Geotechnical testing of waste fill.</i>	1,02 – 2,34	24 – 42
J. M. Sánchez-Alciturri, et al. (1995), <i>Three years of deformation monitoring at Meruelo landfill.</i>	0 - 2	16 – 26
W.N. Houston, et al. (1995), <i>In-situ testing methods for dynamic properties of MSW landfills.</i>	0,41 – 0,51	33 – 36
A. Mazzucato, et al. (1999), <i>Analysis of Block Slide in a MSW Landfill.</i> (recompacted waste)	2,24	17
A. Mazzucato, et al. (1999), <i>Analysis of Block Slide in a MSW Landfill.</i> (simply extracted)	2,45	18
H. T. Eid, et al. (2000), <i>Municipal solid waste slope failure I: waste and foundation soil properties.</i>	2,54	35
E. Kavazanjian. (1999), <i>Seismic design of solid waste containment facilities.</i>	4,38	31
B. Caicedo, eta al. (2002), <i>Geomechanical properties of municipal solid waste in Dona Juana sanitary landfill.</i>	7,95	23

Jurnal	Kohesi (c) (t/m ²)	Sudut geser (Φ) (°)
P.J. Sabatini, et al. (2002), <i>Reliability of state of practice for selection of shear strength parameters for waste containment system stability analyses.</i>	2,15 – 4,32	18,4
K.R. Reddy, et al. (2009), <i>Geotechnical properties of fresh municipal solid waste at Orchard Hills Landfill, USA.</i>	3,16 – 6,53	26 - 30
P. Hyun, et a. (2011), <i>Geotechnical Considerations for End-Use of Old Municipal Solid Waste Landfills.</i>	3,67 – 4,69	36 - 46

2.3. Air Lindi

Air lindi adalah cairan yang timbul sebagai limbah akibat masuknya air eksternal ke dalam urugan atau timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi terlarut, termasuk juga materi organik hasil proses dekomposisi biologis (Permen PU No. 3 Tahun 2013). Penimbunan sampah dari hasil pengolahan sampah organik, anorganik dan mikroorganisme pada *landfill* dapat menghasilkan air lindi. Kandungan dan komposisi air lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis sampah dan curah hujan pada lokasi TPA (Anilkumar, et al., 2015). Air lindi pada umumnya mengandung senyawa organik dan anorganik (logam berat) yang tinggi (Fard et al., 2017). Cairan ini akan larut dalam air hujan yang turun dan meresap kedalam tanah beserta logam berat yang dikandungnya. Jika tidak ditangani dengan benar, air tanah pada daerah sekitar *landfill* dapat tercemar air lindi (Arief, 2016).

Air lindi dapat mengandung zat organik dalam jumlah yang besar, hal ini dapat ukur sebagai *Biochemical Oxygen Demand*

(BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan ammonia. (Permen Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7.2016). Diantara kandungan tersebut, yaitu: Ca, CaCo₃, Mg, K, Na, Fe, Si, Al, Cl, SO₄ dan ammonia. Selain itu, kadar logam berat dalam air lindi yang tinggi dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan sekitar. Oleh karena itu, berbagai metode untuk mencegah pencemaran air lindi pada *landfill* digunakan. Diantara metode tersebut antara lain penggunaan lapisan dasar kedap air baik dari material alami maupun material rekayasa. Adapun digunakan berbagai metode pengolahan air lindi sebelum air lindi dilepas. Diantara dari metode tersebut, yaitu; teknik oksidasi, metode koagulasi-flokulasi, *lagoon* dan *wetland*. Akan tetapi, sebelum dilepas air lindi harus dipastikan terlebih dahulu kadar dan/atau jumlah unsur pencemar tidak melebihi batas yang dijinkan yang kemudian diatur dalam baku mutu lindi. Baku mutu lindi menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7.2016 di tunjukkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Baku mutu lindi

Parameter	Kadar Paling Tinggi
pH	6 - 9
COD	300 mg/L
BOD	150 mg/L
TSS	100 mg/L
Cadmium (Cd)	0,1 mg/L
Merkuri	0,005 mg/L
N total	60 mg/L

Sumber: Permen Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2016)

Studi yang dilakukan Ramadhanti, (2018), pada TPA Gunung Tugel – Banyumas yang telah ditutup selama 2 tahun dengan sistem *open dumping* dengan 3 sampel air rembesan pada permukaan tanah di 3 titik disekitar TPA menunjukkan bahwa pH

sampel air lindi berkisar antara 7 – 8 dan suhu sekitar 27 °C. Hasil analisis kandungan organic pada rembesan air lindi mengandung zat organik berupa Nitrogen (N), Fosfor (P) dan Kalium (K) dengan konsentrasi tertera pada Tabel 2.3. Air lindi juga logam berat seperti Cu, Cd, Cr, Zn, Mn, Pb dan Fe dengan konsentrasi tertera pada Tabel 2.4. Rembesan air lindi pada permukaan tanah disekitar TPA Gunung Tugel mempunyai kadar logam berat dan kandungan organic di bawah baku mutu. Akan tetapi hal ini dinyatakan masih belum aman dan diperlukan studi lebih lanjut terkait kandungan rembesan air lindi dalam tanah.

Tabel 2.4 Kandungan organic pada rembesan air lindi di TPA Gunung Tugel

Parameter	Konsentrasi (mg/l)			Batas max	Baku mutu yang dipakai		
	Sampel						
	L1	L2	L3				
Nitrogen (N)	35,876	35,418	35,251	60	Permen LHK No. 59 Tahun 2016		
Fosfor (P)	0,911	0,8635	0,892	5	PP No. 82 Tahun 2001 Kelas Air IV		
Kalium (K)	33,104	18,544	18,451	200	<i>Indian Standard 10500-2012: Drinking Water</i>		

Tabel 2.5 Kandungan logam berat pada rembesan air lindi di TPA Gunung Tugel

Logam Berat	Konsentrasi (mg/l)			Batas max	Baku mutu yang dipakai		
	Sampel						
	L1	L2	L3				
Cu	0,0145	0,0162	0,0144	0,2	PP No. 82 Tahun 2001 Kelas Air IV		
Cd	0,0205	0,0145	0,0185	0,01	PP No. 82 Tahun 2001 Kelas Air IV		
Cr	0,0023	(-) 0,0006	(-)0,0045	1	PP No. 82 Tahun 2001 Kelas Air IV		
Zn	0,0236	0,0188	0,0229	2	PP No. 82 Tahun 2001 Kelas Air IV		
Mn	0,0576	0,0366	0,0313	0,2	<i>Food and Agriculture Organization: Water Quality for Agriculture</i>		
Pb	0,0690	0,0762	0,0738	1	PP No. 82 Tahun 2001 Kelas Air IV		
Fe	0,1761	0,1162	0,2134	5	<i>Food and Agriculture Organization: Water Quality for Agriculture</i>		

2.4. Lapisan Dasar Sanitary Landfill

Lapisan dasar TPA digunakan apabila persyaratan tentang pemilihan lokasi TPA, yaitu berada pada lahan gambut dan kedap air tidak dapat dipenuhi. Dalam Permen PU No. 3 Tahun 2013 dalam lampiran Persyaratan Teknis Penyediaan, Pengoperasian, Pentupan Atau Rehabilitasi TPA dijelaskan bahwa lapisan dasar TPA harus kedap air sehingga air lindi terhambat dan tidak mencemari air tanah. Beberapa persyaratan lain yang tertera dalam lampiran tersebut mengenai lapisan dasar TPA, yaitu:

- 1) Koefisien permeabilitas lapisan dasar TPA harus lebih kecil dari 10^{-6} cm/detik
- 2) Pelapisan dasar kedap air dapat dilakukan dengan cara melapisi dasar TPA dengan tanah lempung yang dipadatkan

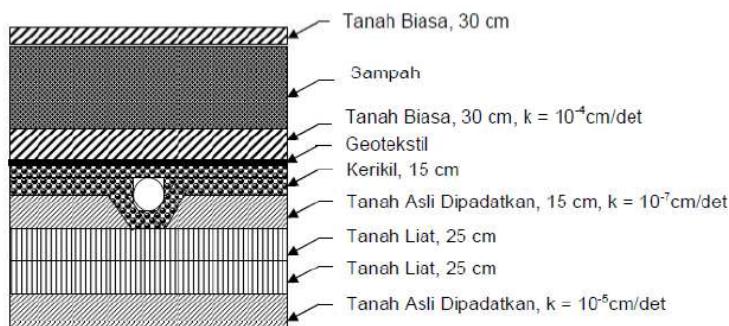
setebal 2x30 cm untuk *controlled landfill* atau 3x30 cm untuk *sanitary landfill* dan/atau geomembran HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan tebal 1,5 sampai dengan 2 mm.

- 3) Lapisan dasar TPA harus dilengkapi dengan saluran pipa pengumpul lindi dan kemiringan minimal 2% kearah saluran pengumpul maupun penampung lindi.
- 4) Pembentukan lapisan dasar TPA harus dilakukan secara bertahap sesuai dengan urutan zona/blok dengan urutan pertama sedekat mungkin ke kolam pengolahan lindi
- 5) Bila menurut desain diperlukan geosintetis seperti geomembran, geotekstil, dan sebagainya, pemasangan bahan hendaknya disesuaikan spesifikasi teknis yang telah direncanakan dan dilaksanakan oleh kontraktor yang berpengalaman dalam bidang ini.

2.4.1 *Compacted Clay Liner*

Liner merupakan komponen terpenting dalam fasilitas tempat pengolahan akhir (TPA) sampah yang berupa lapisan dasar tanah untuk mencegah lindi mencemari air tanah. Material alami yang sering digunakan sebagai liner adalah tanah lempung yang memiliki permeabilitas rendah. Gordon, et al, (1990), dalam *Compacted Clay Liner* (Cawley, 1999) menjelaskan bahwa penggunaan lapisan *clay liner* yang dikombinasikan dengan sistem pengumpulan air lindi merupakan sarana perlindungan air tanah di daerah sekitar TPA. Tujuan utama dari liner ini adalah untuk mengisolasi limbah hasil pengolahan sampah. Sistem liner komposit secara umum dapat terdiri dari lapisan *Compacted Clay Liner* (CCL) dan/atau *Geosynthetic Liner* (GL) dengan lapisan geomembran HDPE (*High Density Polyethylene*) untuk meminimalkan rembesan limbah cair.

CCL pada umumnya terdiri dari beberapa lapisan tanah lempung yang telah dipadatkan dengan ketebalan 0,75 sampai dengan 1 meter. CCL diharuskan memiliki saluran pemungkup lindi dan konduktivitas hidrolik tidak lebih dari 10^{-6} cm/detik (Permen PU No. 3 Tahun 2013). Mitchell & Jaber, (1990), dalam *Compacted Clay Liner* oleh (Cawley, 1999), menjelaskan bahwa nilai kadar air dan kepadatan dari *clay liner* sangat mempengaruhi kemampuan tanah untuk membatasi transmisi aliran dan pada umumnya nilai kadar air dan kepadatan yang optimum akan menghasilkan nilai konduktivitas hidrolik yang paling rendah dari tanah. Nilai kadar air dan kepadatan optimum ini dapat diuji berdasarkan uji pemandatan Proctor Standar. Sehingga, apabila clay liner yang digunakan belum memenuhi persyaratan konduktifitas hidrolik dapat dilakukan pemandatan. Gambar 2.1 menunjukkan desain lapisan dasar tanah pada *landfill* menggunakan *compacted clay liner* yang disarankan dalam Permen PU No. 3 tahun 2013, apabila dalam desain diperlukan geosintetis, seperti geotextile, maka dapat ditambahkan.

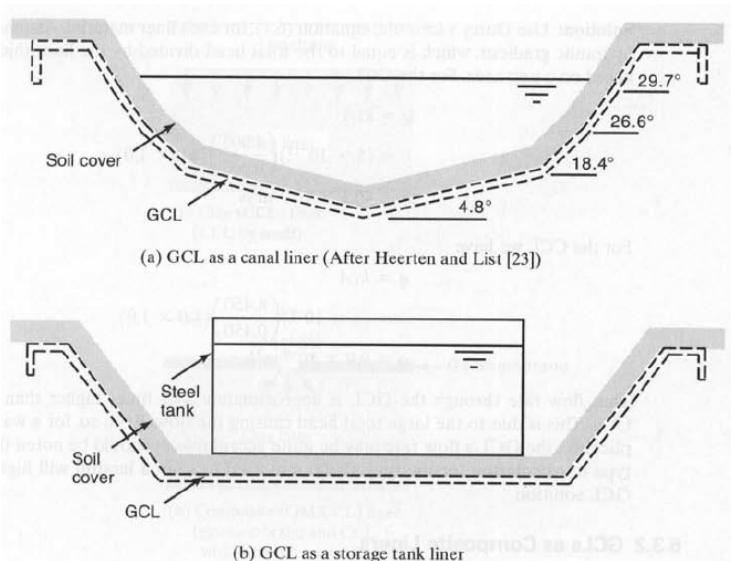


Gambar 2.1 Lapisan dasar TPA (Permen PU No. 3 Tahun 2013)

2.4.2 *Geosynthetic Liner*

Pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 13 Tahun 2013 menjelaskan bahwa desain lapisan dasar pada *landfill* harus memiliki tiga lapisan tanah penghalang setebal 30 cm dengan konduktivitas hidrolik tidak lebih dari 10^{-6} cm/detik. Untuk mendapatkan tanah dengan konduktivitas hidrolik kurang dari 10^{-6} cm/detik merupakan hal yang sulit, dan juga apabila ada jumlahnya cukup terbatas. Untuk mengatasi hal itu, maka tanah dengan konduktifitas lebih dari persyaratan tersebut perlu dipadatkan ulang sehingga nilai konduktifitas hidrolik tanah tersebut memenuhi persyaratan. Akan tetapi, hal itu sangat bergantung pada nilai kadar air dan kepadatan optimum yang dapat dicapai tanah, dan proses pemadatan tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama. Oleh karena hal itu, penggunaan *compacted clay liner* dapat diganti dengan *geosynthetic liner*.

Penggunaan *geosynthetic liner* dalam Permen PU No. 3 Tahun 2013 diharuskan berasal dari material geomembran HDPE setebal 1,5 mm sampai dengan 2 mm. Selain itu, dalam *geosynthetic liner* juga harus terdapat 2 lapisan tanah penghalang berupa tanah lempung setebal 30 cm dan saluran pengumpul lindi. Pada umumnya, konduktivitas hidrolik dari berbagai jenis *geosynthetic* bernilai antara 2×10^{-12} hingga 2×10^{-10} m/detik, bergantung pada tegangan tarik maksimum dari bahan *geosynthetic* (Bouazza, 2002). (Koernoer, 2005) menyarankan desain *geosynthetic liner* pada dasar *landfill* dan instalasi pengolahan air lindi (IPAL) untuk *single geosynthetic liner* (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Desain geosynthetik liner yang disarankan; (a) pada dasar landfill, (b) pada dasar instalasi pengolahan air lindi (IPAL) (Koerner, 1933)

2.5. Tanah

2.5.1 Korelasi Data Tanah

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah yang dilakukan di lapangan, pada tes borlog tidak terdapat pengujian terhadap konsistensi dari tanah, sehingga digunakan korelasi untuk menentukan konsistensi tanah menggunakan harga tahanan conus (q_c) sesuai dengan hasil tes sondir. Korelasi yang digunakan adalah dengan Tabel 2.6 untuk tanah lempung.

Tabel 2.6 Konsistensi tanah untuk tanah dominan lanau dan lempung

Konsistensi Tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained (Cu)		Taksiran harga SPT, harga N	Taksiran harga tahanan conus, q_c (dari sondir)	
	kPa	Ton/m ²		Kg/cm ²	kPa
Sangat lunak (very soft)	0 – 12,5	0 - 1,25	0 – 2,5	0 – 10	0 – 1000
Lunak (soft)	12,5 - 25	1,25 – 2,5	2,5 – 5	10 – 20	1000 – 2000
Menengah (medium)	25 - 50	2,5 – 5,0	5 – 10	20 – 40	2000 – 4000
Kaku (stiff)	50 - 100	5,0 – 10	10 – 20	40 – 75	4000 – 7500
Sangat kaku (very stiff)	100 - 200	10 – 20	20 – 40	75 – 150	7500 – 15000
Keras (hard)	> 200	> 20	> 40	> 150	> 15000

Sumber: Mochtar (2012)

2.5.2 Pemampatan Tanah

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan angka pori suatu lapisan tanah di bawahnya semakin mengecil sehingga air maupun udara keluar dari dalam pori akibatnya tanah mengalami pemampatan. Secara umum, pemampatan (settlement) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi menjadi dua, yaitu penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) dan Penurunan segera (*immediate settlement*). Penurunan konsolidasi merupakan penurunan yang dihasilkan oleh perubahan volume tanah jenuh air akibat dari keluarnya air dari dalam pori-pori tanah. Sedangkan penurunan segera merupakan akibat dari deformasi tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air dalam tanah.

Pada tanah lempung yang mampumampat (*compressible*), adanya penambahan beban menyebabkan penurunan akan terjadi

secara lambat dalam waktu yang lama. Hal ini disebabkan nilai permeabilitas pada tanah lempung yang jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan permeabilitas tanah pasir. Sehingga penurunan yang diakibatkan oleh perubahan angka pori akan terjadi setelah penurunan segera. Pada umumnya pada tanah lempung, penurunan konsolidasi ini akan jauh lebih besar dan lebih lama jika dibandingkan dengan penurunan segera.

Adapun nilai dari penurunan pada tanah yang terkonsolidasi secara normal (terjadi pada tanah *normally consolidated*) dapat dihitung dengan persamaan 2.1.

$$S = \sum \left[\frac{C_c H_i}{1+e_i} \log \left(\frac{\sigma_{(i)} + \Delta\sigma_i}{\sigma_{(i)}} \right) \right] \quad (2.1)$$

Sedangkan nilai dari penurunan pada tanah yang terlalu terkonsolidasi (terjadi pada tanah *overconsolidation*) dapat dihitung dengan persamaan 2.2 atau persamaan 2.3.

Untuk $\sigma_0 + \Delta\sigma < \sigma_c$

$$S = \sum \left[\frac{C_s H_i}{1+e_i} \log \left(\frac{\sigma_{(i)} + \Delta\sigma_i}{\sigma_{(i)}} \right) \right] \quad (2.2)$$

Apabila $\sigma_0 + \Delta\sigma > \sigma_c$

$$S = \sum \left[\frac{C_s H_i}{1+e_i} \log \left(\frac{\sigma_c(i)}{\sigma_{(i)}} \right) + \frac{C_c H_i}{1+e_i} \log \left(\frac{\sigma_{(i)} + \Delta\sigma_i}{\sigma_c(i)} \right) \right] \quad (2.3)$$

Dimana:

S = penurunan tanah atau *settlement* (m)

C_c = indeks pemampatan

C_s = indeks pemuaian

e_i = angka pori pada sub lapisan i

H_i = tebal sub-lapisan i

$\sigma_{(i)}$ = tegangan efektif *overburden* untuk sub-lapisan i

$\Delta\sigma_{(i)}$ = penambahan tegangan vertikal untuk sub-lapisan i

σ_c = teganggam prakonsolidasi

Suatu lapisan tanah dikatakan terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*), dimana tekanan tanah efektif *overburden*

pada saat ini merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami tanah tersebut, apabila nilai overconsolidated ratio (OCR) kurang dari sama dengan satu. Sedangkan lapisan tanah dikatakan terlalu terkonsolidasi (*overconsolidated*), dimana tekanan efektif *overburden* pada saat ini lebih kecil dari pada tekanan efektif yang pernah dialami tanah tersebut sebelumnya. Tekanan efektif *overburden* maksimum yang pernah dialami ini disebut tekanan prakonsolidasi. Hal ini dapat disebabkan oleh proses geologi alamiah maupun proses yang disebabkan oleh makhluk hidup. Overconsolidated ratio (OCR) dapat didefinisikan melalui persamaan berikut:

$$OCR = \frac{\sigma_c}{\sigma} \quad (2.4)$$

Dimana:

σ_c = tegangan prakonsolidasi

σ = tegangan efektif *overburden*

Tegangan efektif merupakan gaya persatuan luas yang dipikul oleh butiran tanah. Gaya ini dapat diakibatkan oleh tekanan tanah maupun beban yang ada di atas lapisan tanah tersebut. Secara umum, tegangan efektif pada lapisan tanah tertentu dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma'_i = p_o + \sum H_i \gamma_{sat(i)} - \sum h_i \gamma_w \quad (2.5)$$

Dimana:

σ' = tegangan efektif tanah pada lapisan i

σ_o = tegangan akibat beban di atas tanah

$\gamma_{sat(i)}$ = berat volume tanah kondisi *saturated* lapisan i

γ_w = berat volume air

H = tebal lapisan tanah diatas titik tinjau

h = tebal lapisan air diatas titik tinjau

Apabila kondisi muka air tanah berada pada permukaan tanah, sehingga tidak ada perbedaan muka air tanah dan muka tanah ($H = h$), maka persamaan 2.5 menjadi:

$$\sigma'_i = \sigma_o + \sum H_i (\gamma_{sat(i)} - \gamma_w) \quad (2.6)$$

$$\sigma'_i = \sigma_o + \sum H_i \gamma'_{(i)} \quad (2.7)$$

Indeks pemampatan yang digunakan untuk menghitung besarnya pemampatan dapat ditentukan dari kurva yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium. Adapun dapat digunakan persamaan empiris untuk menghitung indeks pemampatan seperti yang disarankan oleh Terzaghi dan Peck (1967) dalam persamaan 2.8 dan persamaan 2.9.

untuk lempung yg struktur tanahnya tak terganggu/belum rusak (*undisturbed*)

$$Cc = 0,009(LL - 10) \quad (2.8)$$

untuk lempung yang terbentuk kembali (remolded)

$$Cc = 0,007(LL - 10) \quad (2.9)$$

dimana LL adalah batas cair dari tanah dalam persen.

Sedangkan indeks pemuaian pada umumnya bernilai lebih kecil daripada indeks pemampatan. Nilai ini berkisar antara 0,1 sampai dengan 0,2 dari indeks pemampatan.

2.6. Stabilitas Timbunan

Analisa stabilitas timbunan terhadap longsor dapat dihitung secara manual maupun dengan program bantu. Perhitungan stabilitas timbunan terhadap guling dapat dilakukan secara manual menggunakan metode Bishop maupun metode Fellenius. Akan tetapi, ini akan membutuhkan waktu lama untuk menentukan titik dan garis kelongsoran yang paling kritis dalam perhitungan. Program bantu yang dapat digunakan untuk menghitung kestabilan lereng timbunan terhadap longsor. Dengan metode perhitungan yang sama, program bantu akan secara otomatis menghitung kestabilan lereng dan mencari titik dan garis kelongsoran terkritis dalam dua dimensi. Parameter tanah (*input*) yang dibutuhkan pada program bantu ini antara lain: γ_{sat} , γ_t , c' , ϕ , kedalaman muka air tanah dna koordinat permukaan tanah yang akan ditinjau. Sedangkan keluaran (*output*) yang dihasilkan antara

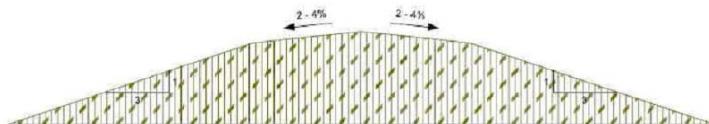
lai: jari-jari kelongsoran, koordinat pusat bidang longsor, nilai stabilitas (angka keamanan) dan momen penahan dari tanah.

Dalam perencanaan timbunan, perhitungan stabilitas tidak hanya berdasarkan stabilitas terhadap guling saja, melainkan juga stabilitas terhadap geser (*sliding*) dan stabilitas terhadap daya dukung tanah dasar (*bearing capacity*) atau stabilitas terhadap puncture. Dalam pelaksanaan timbunan, proses penimbunan tanah tidak boleh dilakukan secara sekaligus. Karena pada timbunan yang tinggi seringkali muncul permasalahan seperti longsor atau *sliding* akibat dari penimbunan yang dilakukan secara sekaligus. Salah satu solusi untuk permasalahan tersebut adalah pelaksanaan penimbunan secara bertahap. Untuk itu tinggi timbunan maksimum perlu dicari agar timbunan aman terhadap sliding.

Adapun dalam Permen PU No. 3 Tahun 2013, dalam perencanaan timbunan sampah serta stabilitas timbunan sampah merekomendasikan:

1. Sampai dengan tumpukan terakhir, kemiringan lereng sekitar 2-4 % agar tidak terjadi genangan dan air dapat mengalir dengan baik, dengan rasio vertikal ke horizontal kurang dari 1:3 (Gambar 2.3).
2. Batasan nilai keamanan (*safety factor*) agar timbunan tidak runtuh minimum senilai 1,3 untuk kemiringan timbunan sementara dan 1,5 untuk kemiringan yang permanen.
3. Tidak adanya prosedur operasional yang tepat di TPA, sering mengakibatkan tumpukan sampah yang tinggi dapat membahayakan. Sehingga diperlukan mengurangi ketinggian tumpukan sampah dalam rangka mengurangi bahaya ketidakstabilan lereng.
4. Kemiringan lereng: semakin kecil sudut kemiringan akan semakin stabil. Kemiringan yang baik bagi timbunan sampah adalah antara 20 - 30°.

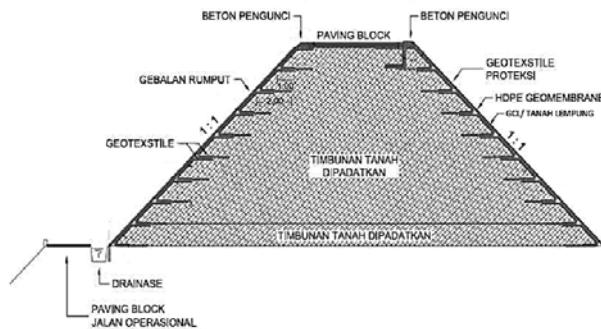
5. Penggunaan terasering pada ketinggian tertentu. Sebaiknya digunakan terasering selebar 5 meter untuk setiap ketinggian 5 meter.



Gambar 2.3 Kemiringan lereng tumpukan sampah yang disarankan

6. Kepadatan sampah: semakin padat sampah, maka akan semakin mampu mendukung timbunan sampah diatasnya. Kepadatan yang baik dengan alat berat dozer akan dicapai bila dilakukan secara lapis-per-lapis.
7. Lereng yang tidak berkонтur dipotong dan dibentuk agar berkонтur. Dari bagian bawah sampah dipotong untuk dibuat terasering selebar 5 m, dan lereng dibentuk dengan kemiringan $20 - 30^\circ$. Demikian dilanjutkan hingga sampai pada bagian atas tumpukan sampah.
8. Dibuat tanggul pengaman untuk mencegah kelongsoran sampah. Tanggul dibuat di sisi-sisi sel sampah. Tanggul dibuat dari timbunan tanah yang dipadatkan. Tanggul pada sisi sel sampah diproteksi dengan GCLs, HDPE Geomembran dan Geotextile Proteksi. Pada bagian luar dari sisi timbunan sampah diproteksi dengan geotextile (Gambar 2.4).

Dalam perencanaan ini dibutuhkan nilai beban lalu lintas sebagai beban diatas timbunan. Menurut Panduan Geoteknik 4 No. Pt T-10-2002-B dalam Perencanaan Geoteknik Bina Marga No. 003/BM/2009, beban lalu lintas harus direncanakan tergantung dari jenis jalan yang akan direncanakan seperti pada Tabel 2.7.



Gambar 2.4 Contoh gambar potongan tanggul sampah yang disarankan

Jika angka keamanan dari stabilitas lereng timbunan tidak memenuhi persyaratan, dapat dipertimbangkan untuk memperlebar timbunan, melandaikan lereng, menambah berm, melakukan konstruksi bertahap, memasang drainase vertikal, memasang perkuatan lereng, atau alternatif lain seperti relokasi alinyemen jalan atau menggunakan jalan layang (Bina Marga, 2009).

Tabel 2.7 Beban lalu lintas untuk analisa stabilitas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m ²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Kolektor	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

Sumber: Panduan Geoteknik 4 No. Pt T-10-2002-B (DPU, 2002b)

2.7. Perkuatan Timbunan Menggunakan *Geotextile*

Geotextile merupakan material rekayasa dalam kelompok geosintesis yang terbuat dari bahan tekstil *polymeric* yang bersifat mudah meloloskan air. *Geotextile* yang digunakan dalam perkuatan timbunan pada umumnya berupa lembaran seperti kain yang berupa bahan rajutan atau anyaman (*woven*) dan nir-anyam (*non-woven*). Perencanaan *geotextile* bertujuan untuk menambah tanahan pada timbunan sehingga tidak mudah runtuh. Perencanaan perkuatan lereng timbunan diatas tanah dengan bahan geosintesis harus ditinjau terhadap kestabilan internal dari timbunan itu sendiri dan kestabilan *overall* terhadap tanah dasar dari timbunan.

Kestabilan internal dalam perencanaan perkuatan timbunan merupakan kestabilan dari bahan geotekstil itu sendiri terhadap gaya penyebab kelongsoran pada lereng timbunan. Kondisi kestabilan internal tercapai apabila tidak terjadi longsor pada bidang lereng timbunan. Perencanaan perkuatan geotekstil terhadap kestabilan internal bertujuan untuk mencari jumlah lapisan dan panjang geotekstil yang kuat untuk menahan gaya penyebab kelongsoran pada timbunan.

Adapun dalam perhitungan kestabilan internal, agar tidak terjadi longsor pada lereng timbunan AC (Gambar 2.5) maka:

$$Pa_1 \leq \frac{(Berat\ efektif\ ABC)tan\delta}{SF} \quad (2.10)$$

Dan nilai kekakuan bahan geotekstil harus lebih besar dari gaya yang ada, atau:

$$Pa_1 \leq S_1 \quad (2.11)$$

Dimana:

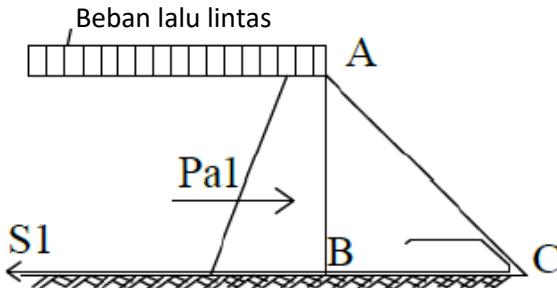
δ = Sudut geser antara tanah timbunan dan material

geotextile $\approx \varphi$

Pa = Gaya tekan tanah horizontal aktif

S_1 = Kuat tarik material geotekstile yang diijinkan (T_{allow})

SF = angka keamanan (1,35 untuk beban sementara atau 2,0 untuk beban permanen)



Gambar 2.5 Kondisi kestabilan internal

Sedangkan untuk perhitungan perencanaan perkuatan geotekstile terhadap kestabilan overall adalah:

1. Menghitung momen pendorong

Momen dorong dihitung berdasarkan momen penahan (Mr) dan nilai angka keamanan (SF) yang didapatkan dari program bantu.

$$M_{dorong} = \frac{M_r}{SF} \quad (2.12)$$

2. Menghitung nilai momen penahan yang dibutuhkan

Total momen penahan yang dibutuhkan (ΣMr) dihitung berdasarkan nilai angka keamanan minimum ($SF_{rencana}$) dengan momen dorong dari hasil perhitungan dengan program bantu. Adapun nilai angka keamanan yang disyaratkan dalam SNI 8460 tahun 2017 untuk konstruksi timbunan yaitu sebesar 1,5.

$$SF_{rencana} = \frac{\Sigma M_r}{M_{dorong}} \quad (2.13)$$

3. Menghitung nilai momen tahanan geotekstile

Nilai momen yang ditahan geotekstile (ΔM_r) dihitung berdasarkan total momen penahan yang dibutuhkan (ΣM_r) dikurangi dengan momen penahan (M_r) dari timbunan yang didapatkan dari program bantu.

$$\Delta M_r = \Sigma M_r - M_r \quad (2.14)$$

4. Menghitung kekuatan geotekstile yang telah tereduksi

Pemasangan geotekstile dilapangan tidak lepas dari berbagai faktor alam maupun faktor dari pemasangan itu sendiri, sehingga kekuatan geoteksile yang dipasang dilapangan akan berkurang. Adapun perhitungan kuat tarik geotekstile yang telah tereduksi oleh berbagai faktor sebagai berikut:

$$T_{allow} = \frac{T}{(FS_{id} \times FS_{cr} \times FS_{cd} \times FS_{bd})} \quad (2.15)$$

Dimana:

T_{allow} = kuat tarik geotekstile yang tersedia

T = kuat tarik ultimate geotekstile

FS_{id} = faktor keamanan akibat kesalahan pemasangan

FS_{cr} = faktor keamanan akibat rangkak

FS_{cd} = faktor keamanan akibat pengaruh kimia

FS_{bd} = faktor kemanan akibat pengaruh biologi

Nilai faktor keamanan untuk perhitungan reduksi kuat tarik geotekstil dibedakan berdasarkan kegunaan geotekstil (Tabel 2.8).

5. Menghitung jumlah kebutuhan geotekstile

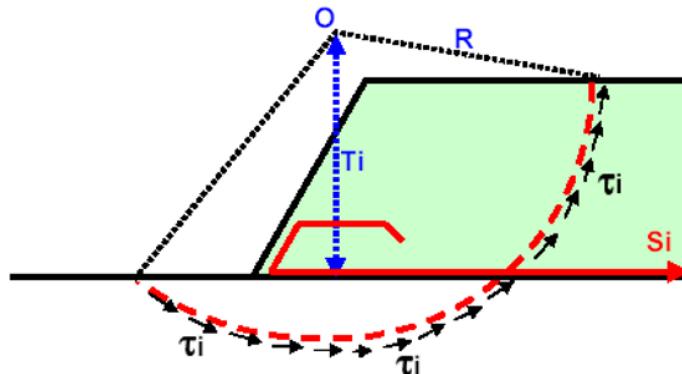
Jumlah kebutuhan lapisan geotekstile dihitung berdasarkan nilai momen yang harus ditahan geotekstile (ΔM_r), momen pada setiap lapisan geotekstile, dan jarak pemasangan tiap lapisan. Adapun secara umum perhitungan jumlah lapisan geotekstile (n) sebagai berikut:

$$\Delta M_r \leq \sum_{i=1}^n T_i \times T_{allow} \quad (2.16)$$

Dimana T_i adalah jarak vertikal dari titik pusat kelongsoran terhadap lapisan geotekstil seperti yang terlihat pada Gambar 2.6.

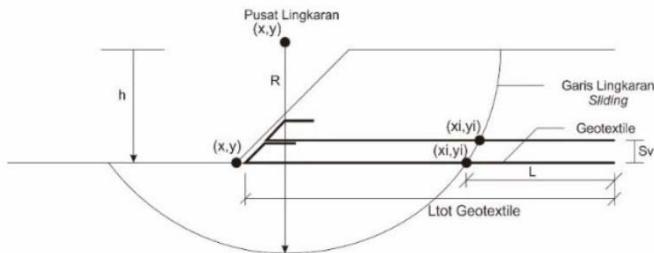
Tabel 2.8 Faktor keamanan akibat pengurangan kekuatan geotekstil

Penggunaan Geotextile	FS _{id}	FS _{cr}	FS _{cd}	FS _{bd}
Separation	1,1 – 2,5	1,0 -1,2	1,0 – 1,5	1,0 – 1,2
Cushioning	1,1 – 2,0	1,0 – 1,5	1,0 – 2,0	1,0 – 1,2
Unpaved Road	1,1 – 2,0	1,0 – 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 Stability	1,1 – 1,5	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Pavement Overlays	1,1 – 1,5	1,0 -1,2	1,0 – 1,5	1,0 – 1,1
Railroads	1,1 – 3,0	1,0 – 1,5	1,5 – 2,0	1,0 – 1,2
Flexible form	1,1 – 1,5	1,5 – 3,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,1
Silt fences	1,1 – 1,5	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5	1,0 – 1,1



Gambar 2.6 Ilustrasi kondisi kestabilan *Overall*

6. Menghitung panjang geotekstile



Gambar 2.7 Ilustrasi Total Panjang Geotekstil

Panjang geotekstile harus direncanakan sampai memotong bidang longsor untuk menahan yang akan terjadi seperti pada Gambar 2.7. Oleh karena itu dilakukan perhitungan panjang geotekstile dibelakang bidang longsor.

$$L_{total} = \sum L_r + \sum L_e \quad (2.17)$$

$$L_e = \frac{T_{all} \cdot SF}{(\tau_1 + \tau_2)E} \quad (2.18)$$

Dimana:

L_{total} = Total kebutuhan geotekstile

L_r = Panjang geotekstile yang berada didepan bidang longsor

L_e = Panjang geotekstile dibelakang bidang longsor

τ_1 = tegangan geser lapisan dibawah geotekstile ($\tau = c + \sigma_v \tan \phi$)

τ_2 = tegangan geser lapisan diatas geotekstile ($\tau = c + \sigma_v \tan \phi$)

E = efisiensi (0.8)

2.8. Perkuatan Tanah di Bawah Timbunan Menggunakan Cerucuk/*Micropile*

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

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

$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{1/5} \quad (2.19)$$

Dimana :

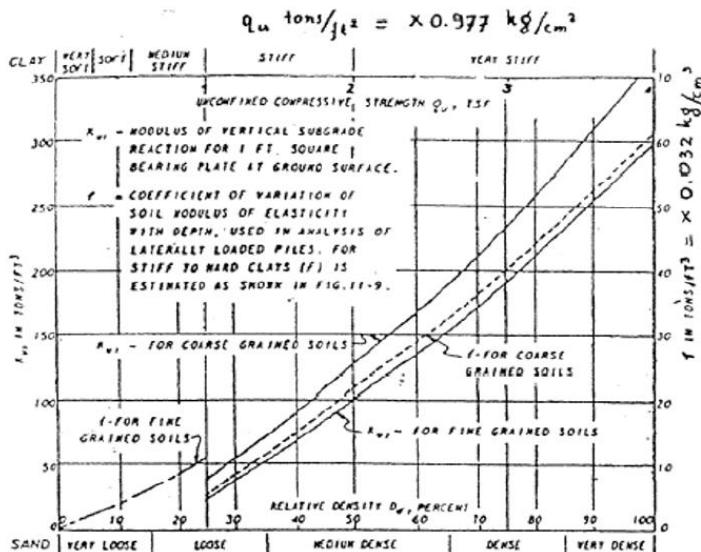
E = modulus elastis tiang/cerucuk (kg/cm^2)

I = momen inersia tiang/cerucuk (cm^4)

f = koefisien dari variasi modulus tanah (kg/cm^3)

T = faktor kekuatan relatif (cm)

Harga *f* didapat dengan bantuan Gambar 2.8 (Design Manual, NAVFAC DM-1971) yang merupakan grafik hubungan antara *f* dengan unconfined compression strength, $q_u = 2 Cu$.



Gambar 2.8 Design Manual, NAVFAC DM-1971

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

$$P = \left(\frac{M_p}{F_m \times T} \right) \quad (2.20)$$

Dimana :

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

F_m = koefisien momen akibat gaya lateral P

P = gaya horizontal yang diterima cerucuk (kg)

T = faktor kekuatan relatif (cm)

Harga F_m ditentukan dengan menggunakan Gambar 2.7 (Design Manual, NAVFAC DM-7 1971) dengan terlebih dahulu merencanakan panjang cerucuk yang tertahan di bawah bidang gelincir (L). Dengan bantuan Gambar 2.9, harga L/T kemudian dipakai untuk menentukan harga F_m pada kedalaman Z.

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

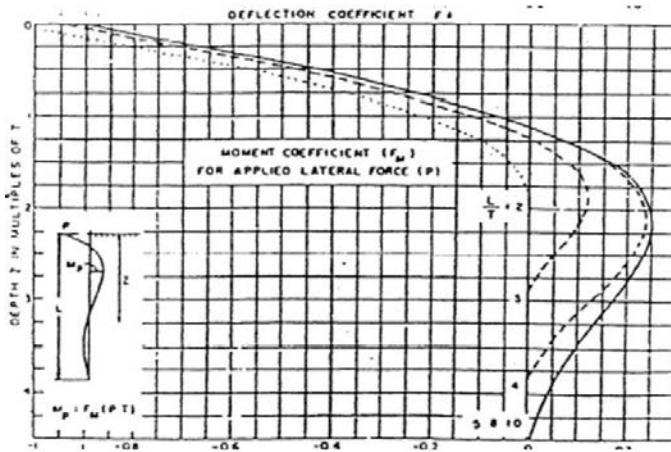
$$M_{p \text{ max 1 cerucuk}} = \frac{\sigma_{\text{max bahan}} I_n}{D/2} \quad (2.21)$$

Dimana :

$\sigma_{\text{max bahan}}$ = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban P (kg-cm)

I_n = momen inersia penampang cerucuk terhadap garis netral penampang.

D = diameter cerucuk



Gambar 2.9 *Design Manual*, NAVFAC DM-7 1971

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

$$P_{\text{max 1 cerucuk}} = \frac{M_{p \text{ max 1 cerucuk}}}{F_m \times T} \quad (2.22)$$

Untuk menghitung banyaknya tiang/cerucuk persatuan panjang, pertama ditentukan gaya horizontal tambahan pada tiang gelincir (P_t) yang diperlukan untuk menambah kekuatan geser tanah. Gaya horizontal P_t tersebut kemudian direncanakan untuk

dipikul oleh cerucuk. Untuk itu, momen dorong (M_D) yang terjadi akibat beban timbunan dan beban lain yang ada perlu dihitung.

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

$$M_D = \frac{M_R}{SF} \quad (2.23)$$

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

$$\Delta M_R = (SF_{rencana} - SF) \times M_D \quad (2.24)$$

Dengan diperolehnya harga ΔM_R , besarnya tambahan gaya yang harus dipikul oleh cerucuk (P_t) dapat ditentukan dengan cara:

$$P_t = \frac{\Delta M_R}{R} \quad (2.25)$$

Dimana R merupakan jari-jari kelongsoran. Sehingga jumlah cerucuk (n) yang harus dipasang setiap satuan meter panjangnya adalah:

$$n = \left(\frac{P_t}{P_{\max 1 \text{ cerucuk}}} \right) = \left[\frac{\Delta M_R}{R \times P_{\max 1 \text{ cerucuk}}} \right] \quad (2.26)$$

2.9. Perencanaan Struktur Kolam IPAL

2.9.1 Jenis Pembebanan

Dalam Perencanaan suatu struktur harus mempertimbangkan beban yang akan bekerja pada struktur. Struktur harus mampu menahan beban-beban yang bekerja baik itu beban internal dari struktur itu sendiri maupun beban eksternal yang bekerja pada struktur. Beban itu dapat berupa beban mati dan beban hidup. Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu struktur yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, dan mesin-mesin yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari

pembangunan struktur. Sedangkan beban hidup adalah beban yang terjadi akibat penggunaan suatu struktur. Pada perencanaan kolam IPAL beban hidup harus dipertimbangkan pada saat kolam IPAL terisi air maupun kolam IPAL masih dalam keadaan kosong.

Dalam perencanaan kolam IPAL harus memperhatikan beberapa beban eksternal seperti beban akibat tekanan lateral yang bekerja pada dinding kolam IPAL dan beban akibat gaya uplift akibat tekanan air yang bekerja pada pelat lantai kolam IPAL. Tekanan lateral pada tanah dibagi menjadi tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif. Tekanan tanah pasif pada tanah dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.27 sedangkan tekanan tanah aktif pada tanah dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.29.

$$\sigma h'_{\text{pasif}} = \sigma v' \times K_p + (2c\sqrt{K_p}) \quad (2.27)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \quad (2.28)$$

$$\sigma h'_{\text{aktif}} = \sigma v' \times K_a - (2c\sqrt{K_a}) \quad (2.29)$$

$$K_a = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2}) \quad (2.30)$$

Dimana:

$\sigma h'_{\text{pasif}}$ = Tekanan tanah pasif

$\sigma h'_{\text{aktif}}$ = Tekanan tanah aktif

$\sigma v'$ = Tegangan efektif vertikal tanah

K_a = Koefisien tekanan tanah aktif

K_p = Koefisien tekanan tanah pasif

Φ = Sudut geser tanah

Adapun gaya uplift merupakan gaya yang diakibatkan dari tekanan air pada tanah. Gaya uplift dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.31.

$$\sigma w = \gamma_w \times H_w \quad (2.31)$$

Dimana:

σw = gaya uplift

γ_w = berat jenis air

H_w = Ketebalan lapisan air

2.9.2 Perencanaan Pelat Lantai

Pelat diklasifikasikan berdasarkan cara pelat tersebut didukung. Dengan sistem pendukung tersebut, pelat akan melendut dalam satu arah atau dua arah. Oleh karena itu pelat diklasifikasikan atas pelat satu arah dan pelat dua arah. Pelat satu arah adalah pelat yang hanya ditumpu pada dua sisi yang saling berhadapan, dimana perbandingan antara sisi panjang (L_y) dan sisi pendek (L_x) lebih besar dari 2. Beban pada pelat satu arah hanya dipikul oleh arah bentang pendek. Sedangkan pelat dua arah adalah pelat yang ditumpu pada keempat sisinya, dimana perbandingan antara sisi panjang (L_y) dan sisi pendek (L_x) kurang dari atau sama dengan 2. Adapun dalam perencanaan ini digunakan pleat satu arah sebagai lantai kolam IPAL.

Berdasarkan SNI 2847 tahun 2019 Pasal 7.3.1.1, tebal minimum pelat beton pada konstruksi pelat satu arah non-prategang harus sesuai Tabel 2.9 dimana 1 merupakan panjang bentang pelat.

Tabel 2.9 Ketebalan minimum pelat satu arah non-prategang

Kondisi Tumpuan	Ketebalan minimum
Tumpuan sederhana	1/20
Satu ujung menerus	1/24
Kedua ujung menerus	1/28
Kantilever	1/10

Penulangan lentur pada pelat satu arah dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.32, dimana A_s adalah luasan tulangan yang diperlukan.

$$A_s = \rho b d \quad (2.32)$$

Dimana:

b = lebar pelat

d = tebal pelat efektif

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n m}{f_y}} \right] \quad (2.33)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} \quad (2.34)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} \quad (2.35)$$

Mn = Momen nominal pelat lantai yang dibutuhkan = Mu/0.8

fy = kuat tarik baja tulangan

f'c = kuat tekan beton

Rasio penulangan yang dipakai tidak boleh kurang dari ρ_{\min} (Persamaan 2.36) dan tidak boleh lebih dari ρ_{\max} (Persamaan 2.37)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.36)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times \frac{0,85 \beta f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.37)$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} \geq 0,65 \quad (2.38)$$

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 7.7.2, jarak antara tulangan tidak boleh lebih dari tiga kali tebal pelat atau tidak boleh melebihi nilai terkecil dari lima kali tebal peat dan 450 mm.

Pelat lantai perlu dikontrol kapasitasnya untuk memastikan pelat aman memikul beban yang ada. Dimana kapasitas lentur pelat harus lebih besar daripada momen yang terjadi ($\varnothing M_n \geq M_u$). Adapun kapasitas penampang dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.39.

$$\varnothing M_n = 0,8 \times A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.39)$$

$$a = \frac{A_s \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} \quad (2.40)$$

2.9.3 Perencanaan Balok

Berdasarkan SNI 2847 tahun 2019 Pasal 9.3.1, tinggi minimum balok beton non-prategang tidak boleh kurang dari ketentuan yang ada pada Tabel 2.10 dimana 1 merupakan panjang

bentang balok. Pada pasal 9.3.1.1 dijelaskan bahwa untuk balok non prategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketinggian keseluruhan balok tidak boleh kurang dari batas minimum pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Ketebalan minimum balok non prategang

Kondisi perletakan	Ketebalan minimum
Perletakan sederhana	1/16
Satu ujung menerus	1/18,5
Kedua ujung menerus	1/21
Kantilever	1/8

Penulangan utama pada balok dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.41, dimana A_s adalah luasan tulangan yang diperlukan.

$$A_s = \rho b d \quad (2.41)$$

Dimana:

b = lebar balok

d = tinggi efektif balok

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n m}{f_y}} \right] \quad (2.42)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} \quad (2.43)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} \quad (2.44)$$

M_n = Momen nominal yang dibutuhkan = $M_u / 0,8$

f_y = kuat tarik baja tulangan

f'_c = kuat tekan beton

Rasio penulangan yang dipakai tidak boleh kurang dari ρ_{min} (Persamaan 2.45) dan tidak boleh lebih dari ρ_{max} (Persamaan 2.46)

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.45)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_{balance} = 0,75 \times \frac{0,85 \beta f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.46)$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} \geq 0,65 \quad (2.47)$$

Jarak antar tulangan utama pada balok tidak boleh kurang dari 25 mm.

Tulangan geser dibutuhkan apabila beban geser pada balok (V_u) melebihi gaya geser yang dapat dipikul beton ($0.5 \times \phi V_c$). Adapun untuk cara perhitungan tulangan geser yang diperlukan dirinci dalam beberapa persamaan sebagai berikut:

$$0.5 \times \phi V_c = 0,5 \times 0,75 \times \frac{1}{6} x \sqrt{f'_c} x b x d \quad (2.48)$$

Sehingga, gaya geser yang dibutuhkan balok:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2.49)$$

Dimana nilai V_s tidak boleh kurang dari

$$V_s \min = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b d \quad (2.50)$$

Sehingga jarak antara tulangan geser

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} \quad (2.51)$$

Dimana A_v adalah luasan penampang tulangan geser dan jarak antara tulangan geser tidak boleh lebih dari:

1. Tinggi efektif balok dibagi dua ($d/2$)
2. 150 mm

2.9.4 Perencanaan Dinding

Berdasarkan SNI 2847 tahun 2019 Pasal 11.3.1, tebal minimum dinding harus sesuai dengan Tabel 2.11.

Penulangan pada dinding kolam dihitung berdasarkan persamaan 2.52, dimana A_s adalah luasan tulangan yang diperlukan.

$$A_s = \rho b d \quad (2.52)$$

Dimana:

b = lebar dinding

d = tebal dinding efektif

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n m}{f_y}} \right] \quad (2.53)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} \quad (2.54)$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'c} \quad (2.55)$$

Mn = Momen nominal yang dibutuhkan = Mu/0.8

f_y = kuat tarik baja tulangan

f'_c = kuat tekan beton

Tabel 2.11 Tebal minimum dinding

Tipe dinding	Ketebalan minimum	
Tumpu	Terbesar dari	100 mm
		1/25 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu
Bukan Tumpu	Terbesar dari	100 mm 1/30 nilai dari panjang dan tinggi tidak tertumpu
Basemen dan fondasi eksterior		190 mm

Rasio penulangan yang dipakai tidak boleh kurang dari ρ_{\min} (Persamaan 2.56) dan tidak boleh lebih dari ρ_{\max} (Persamaan 2.57)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.56)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times \frac{0,85 \beta f'c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.57)$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \frac{f'c - 28}{7} \geq 0,65 \quad (2.58)$$

Tulangan geser dibutuhkan apabila dinding menerima beban geser. Rasio tulangan (ρ) minimum apabila beban geser sebidang $V_u < 0.5 \times \phi V_c$. Apabila beban geser pada balok (V_u) melebihi

gaya geser yang dapat dipikul beton ($0.5 \times \phi V_c$) maka cara perhitungan tulangan geser yang diperlukan dirinci dalam beberapa persamaan sebagai berikut:

$$0.5 \times \phi V_c = 0.5 \times 0.75 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \quad (2.59)$$

Sehingga, gaya geser yang dibutuhkan:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - 0.5 \phi V_c \quad (2.60)$$

Dimana nilai V_s tidak boleh kurang dari

$$V_s \text{ min} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b d \quad (2.61)$$

Sehingga jarak antara tulangan geser

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} \quad (2.62)$$

Dimana A_v adalah luasan penampang tulangan geser dan jarak antara tulangan geser dinding berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 7.7.2 tidak boleh lebih dari nilai terkecil dari tiga kali tebal dinding atau 450 mm. Apabila struktur dinding dirasa masih belum mampu menahan beban lateral maka dapat direncanakan struktur penguat tambahan yang berupa dinding penahan tanah.

2.10. Perencanaan Saluran Pengumpul Lindi

Berdasarkan Permen Pu No. 3 Tahun 2013, saluran pengumpul lindi terdiri dari saluran sekunder dan primer, bak penampung serta ventilasi gas. Dimana saluran sekunder ini memiliki kriteria:

1. Dipasang memanjang ditengah blok/zona penimbun
2. Saluran pengumpul menerima aliran dari dasar lahan dengan kemiringan minimal 2%
3. Saluran pengumpul terdiri dari rangkaian pipa HDPE
4. Dasar saluran dapat dilapisi dengan *liner*

Sedangkan saluran pengumpul primer menggunakan pipa HDPE berlubang (untuk pipa ke bak pengumpul lindi tidak

berlubang), saluran primer dapat dihubungkan dengan hilir saluran sekunder oleh bak kontrol, yang berfungsi pula sebagai ventilasi yang dikombinasikan dengan pengumpul gas vertikal.

Dalam pengaliran air lindi, Permen PU No. 3 Tahun 2013 mengatur pengaliran air berdasarkan aliran oleh gravitasi dengan kecepatan pengaliran 0,6 sampai dengan 3 meter/detik dan dengan rasio air dalam saluran dengan diameter pipa (d/D) maksimal 80%, dimana diameter pipa minimum yaitu 30 mm.

Mengacu berdasarkan peraturan yang sama, perhitungan desain debit lindi adalah menggunakan model atau dengan perhitungan yang didasarkan atas asumsi:

1. Hujan terpusat pada 4 jam sebanyak 90% (*Van Breen*), sehingga faktor puncak = 5,4. Maksimum hujan yang jatuh 20-30% diantaranya menjadi lindi.
2. Dalam 1 bulan, maksimum terjadi 20 hari hujan
3. Data presipitasi diambil berdasarkan data harian atau tahunan maksimum dalam 5 tahun terakhir.

Lindi yang mengalir dari saluran primer pengumpul lindi dapat ditampung pada bak penampung lindi dengan kriteria teknis yaitu bak penampung lindi harus kedap air dan tahan asam dan ukuran bak penampung harus disesuaikan dengan kebutuhan.

Kapasitas saluran pengumpul lindi dihitung berdasarkan persamaan Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.63)$$

Dimana :

Q = debit aliran lindi (m^3/detik)

A = luas penampang basah saluran (m^2)

R = jari-jari hidrolis (m)

S = kemiringan lahan

n = koefisien manning

Untuk saluran pipa berbentuk lingkaran, untuk mempermudah perhitungan debit yang mengalir dapat menggunakan Tabel 2.12 untuk menentukan luas penampang basah dan jari-jari hidrolik.

Sedangkan untuk besarnya debit dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (2.64)$$

Dimana:

Q = debit (m^3/detik)

C = koefisien pengaliran

I = intensitas hujan maksimum (mm/jam)

A = luas daerah aliran (km^2)

Tabel 2.12 Luas basah dan jari-jari hidrolik saluran berbentuk lingkaran

Kedalaman	Luas	Radius Hidroulik		
d/D	a/A	r/R	R/r	$(r/R)^{1/8}$
1	1	1	1	1
0.9	0.949	1.192	0.839	1.03
0.8	0.858	1.217	0.822	1.033
0.7	0.748	1.185	0.843	1.029
0.6	0.626	1.11	0.9	1.018
0.5	0.5	1	1	1
0.4	0.373	0.857	1.17	0.975
0.3	0.252	0.684	1.46	0.939
0.2	0.143	0.482	2.07	0.886
0.1	0.052	0.254	3.94	0.796
0	0	-	-	-

Sumber: Modul 3 Drainase 2006 - Water and Wastewater Engineering, Gordon M. Fair, John Geyer and Daniel A. Okun.

Ventilasi gas berfungsi untuk mengalirkan dan mengurangi akumulasi tekanan gas. Kriteria teknis untuk ventilasi gas menurut Permen PU No. 3 Tahun 2013 sebagai berikut:

1. Pipa ventilasi dipasang dari dasar TPA secara bertahap pada setiap lapisan sampah dan dapat dihubungkan dengan pipa pengumpul lindi.
2. Pipa ventilasi gas berupa pipa HDPE diameter 150 mm (diameter lubang perforasi maksimum 1,5 cm) yang dikelilingi oleh saluran bronjong berdiameter 400 mm dan diisi batu pecah berdiameter 50-100 mm.
3. Ketinggian pipa ventilasi tergantung pada rencana tinggi timbunan (setiap lapisan sampah ditambah 50 cm)
4. Pipa ventialasi pada akhir timbunan harus ditambah dengan pipa besi diameter 150 mm.
5. Gas yang keluar dari ujung pipa besi harus dibakar atau dimanfaatkan sebagai energy alternatif
6. Jarak antara pipa ventilasi gas 50-70 m.
7. Pada sistem lahan urug sanitari (*sanitary landfill*) gas bio harus dialirkkan ke udara terbuka melalui ventilasi sistem penangkap gas, lalu dibakar ada gas flare. Sangat dianjurkan menangkap gas bio tersebut untuk dimanfaatkan.
8. Metode untuk membatasi dan menangkap pergerakan gas adalah:
 - a. Menempatkan materi impermeabel pada atau di luar perbatasan lahan urug untuk menghalangi aliran gas
 - b. Menempatkan materi granular pada atau di luar perbatasan lahan urug (perimeter) untuk penyaluran dan atau pengumpulan gas
 - c. Pembuatan sistem ventilasi penagkap gas di dalam lokasi ex-TPA.

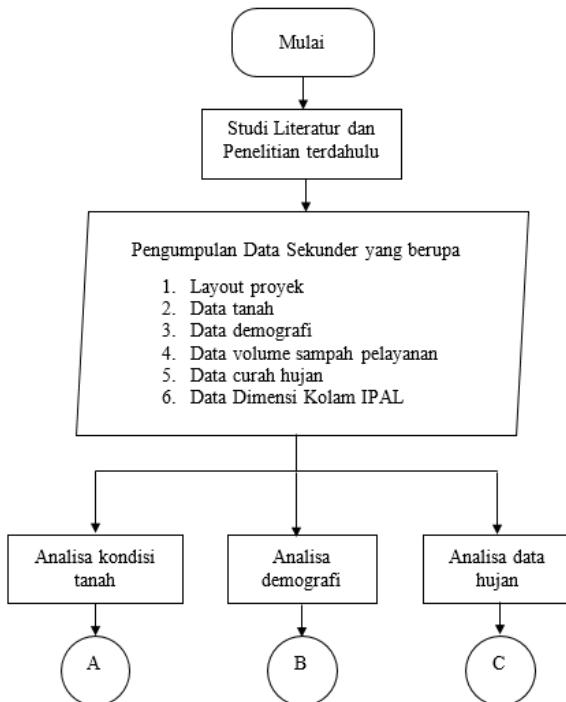
9. Sistem penangkap gas dapat berupa:
 - a. Ventilasi horizontal: yang bertujuan untuk menangkap aliran gas dalam dari satu sel atau lapisan sampah
 - b. Vantilasi vertikal: merupakan ventilasi yang mengarahkan dan mengalirkan gas yang terbentuk ke atas

BAB III

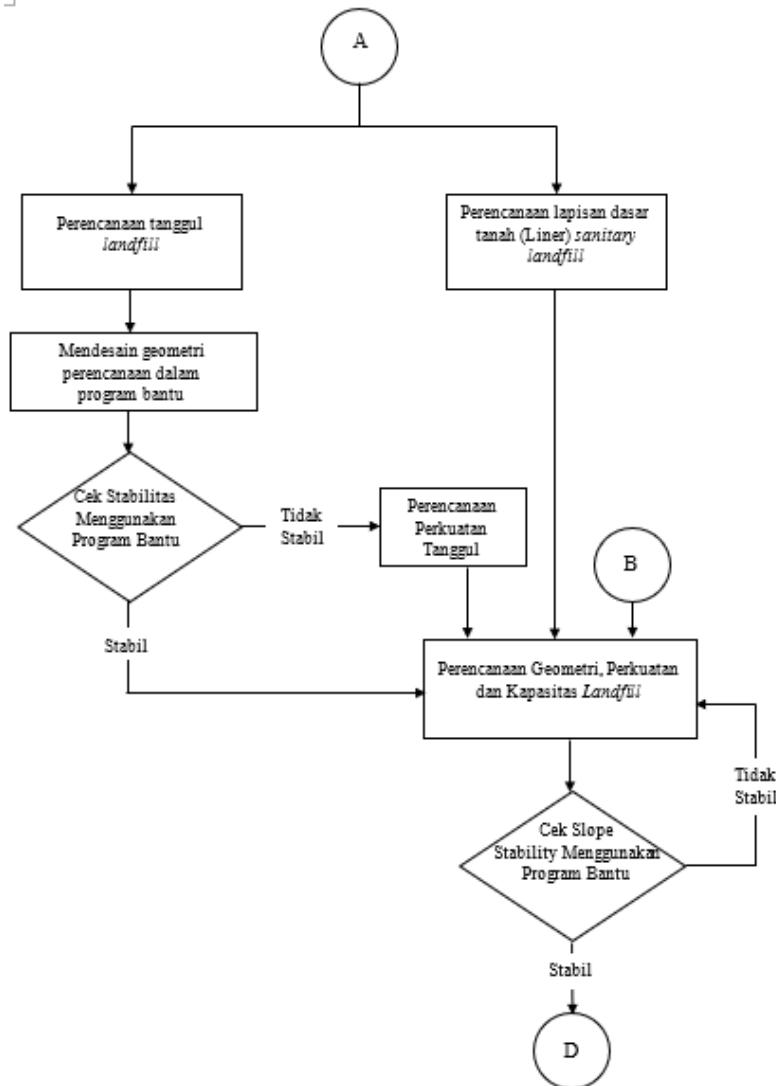
METODOLOGI PERENCANAAN

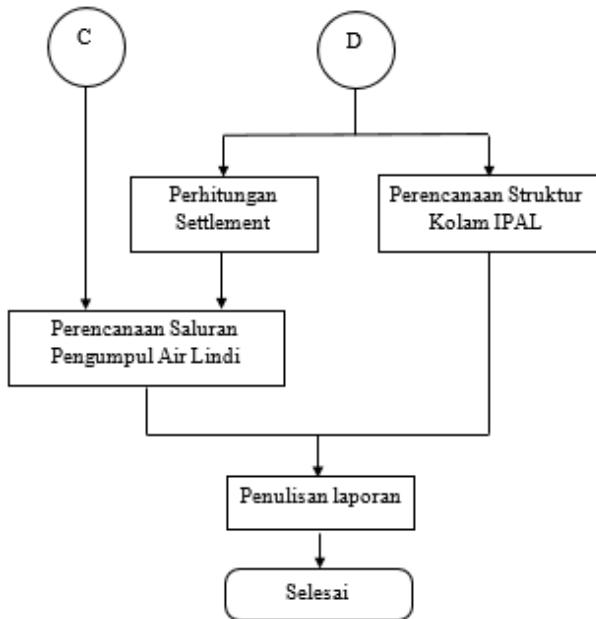
3.1. Metodologi Perencanaan

Perencanaan ini dilakukan terhadap Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sekoto, Kabupaten Kediri berdasarkan lokasi titik pengambilan sampel tanah di lapangan. Secara skematis, metodologi perencanaan yang dilakukan ditunjukkan dalam diagram alir (Gambar 3.1).



J





Gambar 3.1 Diagram Alir Motodologi Perencanaan

3.2. Uraian Tahapan Perencanaan

Dari diagram alir diatas, metodologi yang dipakai dalam perencanaan TPA Sekoto ini secara lengkap dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi literatur dan penelitian terdahulu

Studi literatur dan penelitian terdahulu dapat sebagai acuan dalam perencanaan *sanitary landfill* nantinya. Studi ini mengacu pada buku pustaka, jurnal penelitian serta pustaka lain yang berhubungan dengan perencanaan TPA dengan sistem *sanitary landfill* dan perencanaan lapisan tanah dasar demi menunjang penyelesaian perencanaan ini.

2. Pengumpulan data sekunder

Data sangatlah dibutuhkan dalam proses perencanaan. Terdapat dua jenis data yang dapat digunakan dalam perencanaan TPA dengan sistem *sanitary landfill* dan perencanaan lapisan tanah dasar, yaitu data primer dan data sekunder. Adapun dalam perencanaan ini hanya digunakan data sekunder sebagai pendukung perencanaan TPA *sanitary landfill* dan lapisan tanah dasar. Diantara data sekunder tersebut yaitu:

- a. Data umum proyek berupa layout TPA
- b. Data tanah berupa hasil tes CPT, borlog, sondir, hasil tes laboratorium serta hasil tes permeabilitas tanah.
- c. Data demografi daerah layan TPA Sekoto
- d. Data hidrologi berupa curah hujan Kabupaten Kediri
- e. Data timbunan sampah sebagai hasil volume sampah pada daerah layan

3. Analisa data tanah

Analisa data tanah digunakan untuk mendapatkan berbagai parameter dari tanah di lokasi TPA, seperti konsistensi tanah, sudut geser tanah, dan berat jenis tanah. Dari hasil uji laboratorium dan tes lapangan, data tanah kemudian dikelompokkan berdasarkan jenis tanah dan konsistensinya. Hasil dari analisa ini kemudian digunakan dalam perencanaan lapisan dasar tanah, daya dukung dan stabilitas lereng landfill.

4. Analisa demografi

Data kependudukan daerah layan TPA digunakan untuk memprediksi jumlah sampah yang akan tertimbun dikemudian hari sehingga dalam perencanaan kapasitas *landfill* sesuai dengan kapasitas dan periode layan TPA.

5. Analisa curah hujan

Data curah hujan selama 10 tahun terakhir digunakan untuk memperoleh tinggi hujan rencana yang kemudian digunakan dalam perhitungan intensitas hujan rencana untuk periode ulang 10 tahun.

6. Perencanaan Tanggul

Tanggul direncanakan mengelilingi timbunan sampah. Tanggul ini selain berfungsi sebagai jalan transportasi dan untuk mencegah kelongsoran timbunan sampah, juga berfungsi untuk wadah sementara air lindi agar tidak menyebar kearea sekitar.

7. Perencanaan perkuatan pada tanggul

Perkuatan pada tanggul direncanakan apabila tanggul tidak stabil saat menerima beban. Perkuatan ini dapat menggunakan perkuatan *geotekstile* maupun cerucuk. Perkuatan *geotekstile* digunakan untuk menahan kelongsoran internal dari tanggul itu sendiri, sedangkan cerucuk untuk menahan kelongsoran *overall* beserta dengan tanah dasar.

8. Perencanaan lapisan dasar (*liner*) *sanitary landfill*

Lapisan dasar *sanitary landfill* berfungsi untuk mencegah air lindi merembes kedalam tanah dan mencemari air tanah, sehingga perlu direncanakan. Perencanaan ini bertujuan untuk mengetahui desain sel dari *liner* bedasarkan peraturan yang ada agar air lindi tidak bisa merembes kedalam tanah dasar.

9. Perencanaan geometri, perkuatan serta kapasitas *landfill*

Dari data proyeksi kependudukan kemudian dianalisa beserta data volume sampah pada daerah layan sehingga ditemukan proyeksi volume sampah sesuai periode layan TPA. Setelah itu, dapat direncanakan kapasitas *landfill* yang sesuai dengan proyeksi volume sampah. Dalam perencanaan geometri *landfill*, hasil analisa data tanah digunakan untuk menemukan kemiringan lereng atau geometri yang stabil agar tidak terjadi kelongsoran dan kapasitasnya sesuai dengan periode layan.

Keterbatasan lahan dan kapasitas yang diperlukan yang besar dapat mengakibatkan timbunan sampah semakin tinggi. Hal ini dapat menyebabkan kestabilan overall pada tanah dasar

berkurang saat menerima beban timbunan sampah tersebut, sehingga perlu adanya perkuatan.

10. Perhitungan settlement

Perhitungan settlement dilakukan untuk memperhitungkan peningkatan daya dukung tanah dan perubahan parameter tanah. Dengan adanya peningkatan daya dukung tanah, maka kestabilan timbunan terhadap ambles juga akan meningkat.

11. Perencanaan saluran pengumpul lindi

Berdasarkan data curah hujan yang telah dianalisis, dapat direncanakan debit/produksi air lindi. Dalam perencanaan ini meliputi perencanaan dimensi dan kapasitas aliran pipa air lindi juga jaringan pipa air lindi. Data settlement diberbagai titik diperlukan untuk merencanakan jaringan pipa air lindi karena dalam air lindi mengalir berdasarkan gravitasi.

12. Perencanaan struktur kolam IPAL

Perencanaan struktur kolam IPAL dilakukan untuk memastikan bahwa air lindi aman tertampung dalam kolam penampungan dan kolam tidak mengalami kerusakan akibat beban-beban yang bekerja pada struktur kolam.

13. Penulisan laporan

Menuliskan hasil analisis dan perencanaan menggunakan Bahasa Indonesia yang baik dan benar sehingga mudah dipahami dalam bentuk laporan tugas akhir.

BAB IV

DATA UNTUK PERENCANAAN TPA DAN ANALISISNYA

Data yang dianalisis dalam perencanaan ini berupa data tanah, data curah hujan dan data demografi. Data lain dikumpulkan untuk menunjang perencanaan berupa data *layout landfill*, dan data penunjang diperoleh dari penelitian terdahulu yaitu data parameter sampah dan data lainnya.

4.1. Data Tanah

Data tanah untuk perencanaan TPA Sekoto Baru terletak di lahan samping TPA Sekoto di Kecamatan Badas Kabupaten Kediri. Dimana pada lokasi tersebut dilakukan penyelidikan tanah lapangan berupa tes boring pada 3 titik hingga kedalaman bervariasi antara 4 hingga 6 meter dan tes sondir pada 6 titik hingga kedalaman bervariasi antara 4 hingga 7 meter. Dimana interval pengamatan tes boring dilakukan dengan interval pengamatan setiap 2 meter. Hasil penyelidikan tanah dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 4.1 menampilkan rekapitulasi hasil tes boring pada 3 titik pengeboran. Data dari tiga titik bor kemudian dianalisis menggunakan analisis statistika dengan tingkat kepercayaan 95% menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{x} - z_a \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + z_a \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

dengan:

x = rerata populasi

$Z_{\alpha/2}$ = nilai distribusi normal, untuk tingkat kepercayaan 95%, nilai $Z_{\alpha/2} = 1,96$

n = banyaknya populasi

$$\sigma = \text{standar deviasi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n}}$$

Tabel 4.1 Rekapitulasi hasil tes boring pada 3 titik pengeboran

Depth	γ_t (ton/m ³)			Wc (%)			Sr (%)		
	BH1	BH2	BH3	BH1	BH2	BH3	BH1	BH2	BH3
0 - 2	1.758	1.746	1.628	42.67	50.6	45.42	96.93	100	87.3
2 - 4	1.824	1.828	1.805	46.52	50.61	46.02	100	100	100
4 - 6	1.895	-	-	46.6	-	-	100	-	-
Depth	Gs			C (kg/cm ³)			Φ		
	BH1	BH2	BH3	BH1	BH2	BH3	BH1	BH2	BH3
0 - 2	2.629	2.777	2.674	0.308	0.397	0.399	2.4	5.7	2.9
2 - 4	2.878	2.853	2.827	0.631	0.622	0.779	4	4.4	4.5
4 - 6	2.897	-	-	1.015	-	-	7.5	-	-
Depth	e								
	BH1	BH2	BH3						
0 - 2	1.134	1.134	2.674						
2 - 4	1.312	1.312	2.827						
4 - 6	1.241	1.241	-						

Sebagai contoh, untuk perhitungan γ_t untuk kedalaman 0-2 meter sebagai berikut:

$$x = (1,758 + 1,746 + 1,628) / 3 = 1,710$$

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^3 (\bar{x} - x_i)^2}{n}} \\ &= \sqrt{\frac{(1,710 - 1,758)^2 + (1,710 - 1,746)^2 + (1,710 - 1,628)^2}{3}} \\ \sigma &= 0,0586\end{aligned}$$

$$1,710 - 1,96 \frac{0,0586}{\sqrt{3}} \leq \mu \leq 1,710 + 1,96 \frac{0,0586}{\sqrt{3}}$$

$$1,644 \leq \mu \leq 1,777$$

Sehingga nilai parameter harus pada selang antara 1,644 dan 1,777, maka nilai yang dipakai dalam perhitungan yaitu:

$$X = (1,758 + 1,746 + 1,644) / 3 = 1,716$$

Tabel 4.2 dan Gambar 4.1 menunjukkan rekapitulasi hasil tes sondir pada 6 titik di lokasi perencanaan TPA Sekoto Baru. Dengan cara yang sama, 6 data sondir ini dianalisis menggunakan analisa statistik dengan tingkat kepercayaan 95%. Hasil analisa statistik dari kedua data yang ada kemudian akan dikorelasi berdasarkan Tabel 2.2 sesuai dengan parameter tanah yang akan dibutuhkan dalam perencanaan (Tabel 4.3) dengan cara perhitungan yang sama seperti berikut:

Dengan mengambil sampel tanah kedalaman 0-1 meter, nilai korelasi didapatkan dari:

- Nilai berat jenis kering dan berat jenis saturated didapatkan berdasarkan persamaan dari Buku Mekanika Tanah Braja Das Jilid I secara berturut-turut sebagai berikut:

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} = \frac{2,689 \times 1}{1+1,319} = 1,159 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{sat} = \gamma_d (1 + w_c) = 1,159 (1+0,46013) = 1,6933$$

- Nilai N-Spt dan kuat geser tanah kondisi undrained (Cu) didapatkan dari interpolasi sesuai Tabel 2.6 yang dihitung setiap interval 1 meter berdasarkan nilai hasil analisis statistik tahanan ujung conus (qu).

$$Cu = 0 + \frac{9.86 - 0}{10 - 0} (12,5 - 0) = 12.329 \text{ KPa}$$

- Nilai Cc didapatkan berdasarkan rumusan Moran, et al, (1958), sedangkan nilai Cs didapatkan berdasarkan rumus Terzaghi dan Peck, (1967).

$$Cc = 0,0115 \quad Wc = 0,0115 \times 46,013 = 0,5292$$

$$Cs = 0,1 \quad Cc = 0,1 \times 0,5292 = 0,0529$$

4. Nilai batas cair dan batas padat didapatkan berdasarkan rumus Terzaghi, indeks plastisitas didapatkan berdasarkan rumus Wroth & Wood (1978)

$$Cc = 0,009(LL-10) \leftrightarrow LL = Cc/0,009 + 10$$

$$LL = 0,5292/0,009 + 10 = 68,79$$

$$Cc = 0,5 \times Gs \times IP / 100 \leftrightarrow IP = Cc \times 100 / (0,5 Gs)$$

$$IP = 0,5259 \times 100 / (0,5 \times 2,689) = 39,36$$

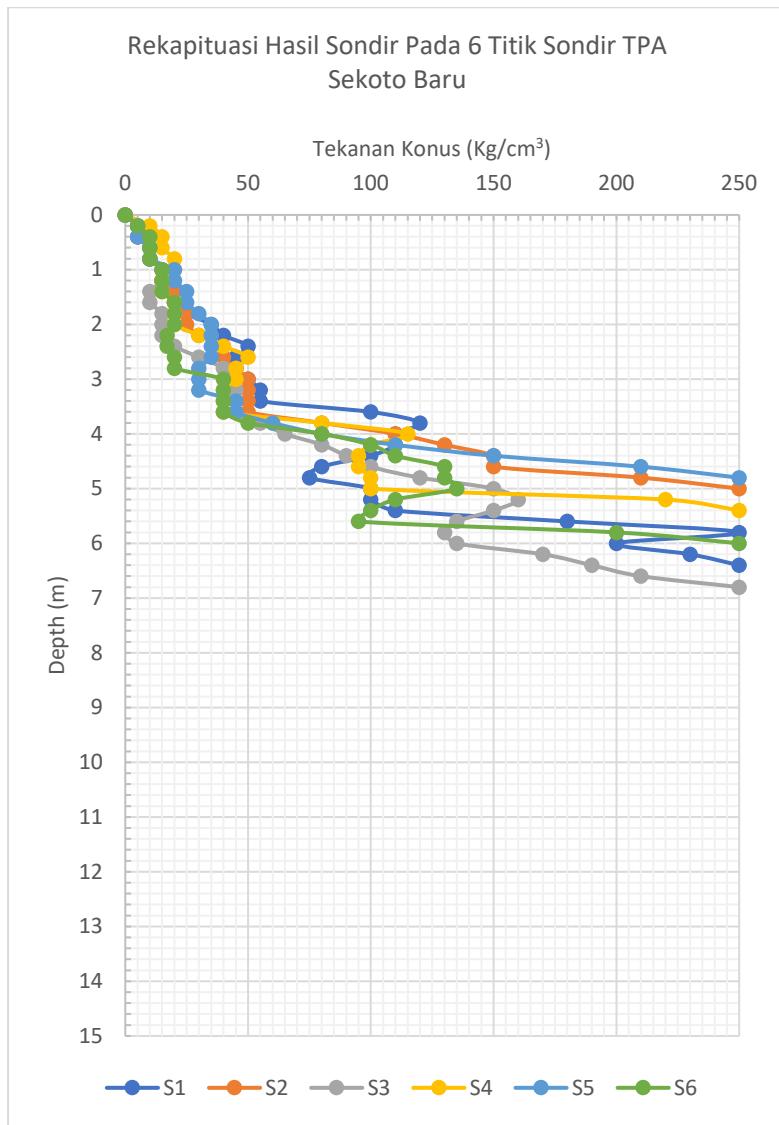
$$PL = LL - IP = 68,79 - 39,36 = 29,44$$

Hasil perhitungan secara lengkap disajikan dalam Tabel 4.3 yang kemudian digunakan sebagai dasar dalam perencanaan. Data ini yang kemudian akan digunakan dalam perencanaan TPA Sekoto Baru.

Tabel 4.2 Rekapitulasi nilai bacaan konus pada 6 titik sondir TPA Sekoto Baru

Depth	Nilai Conus (kg/cm^2)					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
0						
0.2	5	5	5	10	5	5
0.4	5	5	5	15	5	10
0.6	10	10	10	15	10	10
0.8	10	10	10	20	10	10
1	15	15	15	20	20	15
1.2	15	15	15	15	20	15
1.4	20	20	10	15	25	15
1.6	20	20	10	20	25	20
1.8	25	25	15	20	30	20
2	35	25	15	20	35	20
2.2	40	30	15	30	35	17
2.4	50	40	20	40	35	17

Depth	Nilai Conus (kg/cm ²)					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
2.6	45	40	30	50	35	20
2.8	45	45	40	45	30	20
3	50	50	45	45	30	40
3.2	55	50	45	40	30	40
3.4	55	50	40	40	45	40
3.6	100	50	40	40	45	40
3.8	120	80	55	80	60	50
4	110	110	65	115	80	80
4.2	110	130	80	100	110	100
4.4	100	150	90	95	150	110
4.6	80	150	100	95	210	130
4.8	75	210	120	100	250	130
5	100	250	150	100		135
5.2	100		160	220		110
5.4	110		150	250		100
5.6	180		135			95
5.8	250		130			200
6	200		135			250
6.2	230		170			
6.4	250		190			
6.6			210			
6.8			250			



Gambar 4.1 Rekapitulasi hasil sondir TPA Sekoto Baru

Tabel 4.3 Hasil analisis data tanah

Depth	qu kg/cm ²	Nspt	Konsistensi Tanah		Cu		Cc	Cs	Attenberg Unit		
			Kpa	Kg/cm ²	0.123	0.5292			68.79	29.44	39.36
0 - 1	9.86	2	Very Soft	12.329	0.123	0.5292	0.053	68.79	29.44	39.36	
1 - 2	18.81	5	Very Soft	23.512	0.235	0.5292	0.053	68.79	29.44	39.36	
2 - 3	34.52	9	Soft	43.145	0.431	0.5466	0.055	70.73	32.41	38.32	
3 - 4	57.18	15	Medium	74.542	0.745	0.5466	0.055	70.73	32.41	38.32	
4 - 5	118.32	32	Very Stiff	157.759	1.578	0.5359	0.054	69.54	32.55	37.00	
5 - 6	205	40	Hard	200.000	2.000	0.5359	0.054	69.54	32.55	37.00	

Depth	Deskripsi Tanah	Volumetri Gravimetri						Direct/triaxial				
		e	Gs	SR	n	Wc	γ_{sat}	γt	γd	φ	C	Cu
0 - 1	Lempung Berlanau	1.319	2.689	95.18	0.569	46.013	1.693	1.716	1.159	3.54	0.372	0.123
1 - 2	Lempung Berlanau	1.319	2.689	95.18	0.569	46.013	1.693	1.716	1.159	3.54	0.372	0.235
2 - 3	Lempung Berlanau	1.315	2.853	100	0.568	47.528	1.818	1.819	1.232	4.32	0.671	0.431
3 - 4	Lempung Berlanau	1.315	2.853	100	0.568	47.528	1.818	1.819	1.232	4.32	0.671	0.745
4 - 5	Lempung Berlanau	1.241	2.897	100	0.554	46.600	1.895	1.895	1.293	7.5	1.015	1.578
5 - 6	Lempung Berlanau	1.241	2.897	100	0.554	46.600	1.895	1.895	1.293	7.5	1.015	2.003

4.2. Data Curah Hujan

Analisis data hujan digunakan dalam perencanaan dimensi jaringan perpipaan air lindi. Dimana data curah hujan ini akan diolah hingga didapatkan nilai dari intensitas hujan pada *landfill* serta periode musim penghujan dan kemarau pada lokasi *landfill*.

Data hujan dalam perencanaan ini menggunakan data curah hujan pada stasiun hujan Kecamatan Badas Kabupaten Kediri, dimana stasiun hujan ini merupakan stasiun hujan terdekat dengan lokasi TPA. Data curah hujan maksimum mulai tahun 2011-2020 dapat dilihat pada Tabel 4.4. Data curah hujan lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.

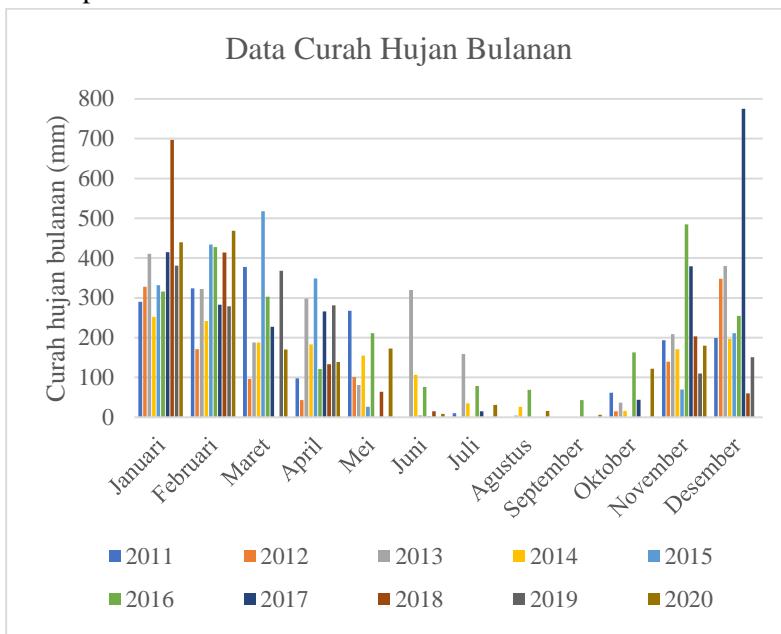
Musim hujan ditandai dengan curah hujan dalam setiap sepuluh hari sebesar 50 mm atau lebih yang diikuti sepuluh hari berikutnya, atau dalam satu bulan jumlah curah hujan yang terjadi lebih dari 150 mm (BMKG). Apabila dalam satu bulan terjadi hujan dengan curah hujan total kurang dari 150 mm atau dalam dua kali sepuluh hari tidak terjadi curah hujan sebesar 50 mm maka kondisi tersebut dapat dianggap musim kemarau.

Tabel 4.4 Data curah hujan maksimum stasiun hujan Badas

Kabupaten Kediri Tahun 2011-2020

Tahun	Curah Hujan Maksimum (mm)
2011	66
2012	65
2013	118
2014	75
2015	85
2016	102
2017	108
2018	75
2019	115
2020	103

Dari data curah hujan kumulatif tiap bulannya pada Stasiun Hujan Badas Tahun 2011-2020 (Gambar 4.2) terlihat bahwa musim hujan relatif terjadi pada bulan November-April dan Musim kemarau relatif terjadi pada bulan Mei-Okttober. Sumber data curah hujan pada TPA Sekoto diwakili oleh satu stasiun hujan. Dari data yang ada, curah hujan harian maksimum pada Stasiun Hujan Badas mencapai 118 mm.



Gambar 4.2 Grafik curah hujan bulanan stasiun hujan

Dari data tersebut dilakukan analisa frekuensi untuk menghitung besarnya curah hujan untuk periode ulang tertentu yang dapat mewakili pola curah hujan di wilayah sekitar TPA Sekoto. Untuk menganalisa frekuensi curah hujan dalam perencanaan ini digunakan metode Gumbel dimana diperoleh curah hujan (R_{24}) sebesar 128,71 mm. Dengan adanya distribusi

curah hujan yang mewakili tersebut maka intensitas hujan dapat dianalisis menggunakan metode Mononobe, didapatkan nilai intensitas hujan sebesar 17,71 mm/jam. Perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4. Nilai intensitas hujan ini kemudian akan digunakan dalam perhitungan debit air lindi pada perencanaan jaringan perpipaan air lindi.

4.3. Data Parameter Sampah

Data parameter berat jenis sampah didapatkan dari data sekunder yang berasal dari kajian Widyasari, et al., (2019) pada Kajian Penutupan TPA Sutip Urang Kota Malang dan hasil studi penelitian Reddy, et al., (2009) (Tabel 2.1). Dalam kajian tersebut dilakukan survei terhadap densitas sampah dengan 2 kondisi. Kedua kondisi itu meliputi sampah pada lokasi penurunan dari truk pengangkut dan sampah pada zona aktif. Survey sampah pada zona aktif dilakukan pada kedalaman 1 meter dari atas timbunan. Hasil survei menyatakan bahwa berat jenis sampah pada lokasi penurunan sampah rata-rata sebesar $256,43 \text{ kg/m}^3$ sedangkan pada zona aktif rata-rata sebesar $508,5 \text{ kg/m}^3$. Sedangkan data parameter berat jenis sampah yang sudah terkompaksi diambil berdasarkan Tabel 2.1, dimana diambil nilai tengah dari *range* yang ada yaitu sebesar $1,18 \text{ ton/m}^3$.

Dalam analisa stabilitas lereng timbunan sampah pada *landfill* diperlukan parameter sudut geser dan konsistensi dari sampah yang ada. Dalam jurnal Colomer-Mendoza, et al., (2013), terkait pengaruh desain terhadap kestabilan lereng pada TPA, dilakukan perbandingan terhadap berbagai parameter konsistensi dan sudut geser dari sampah pada berbagai TPA, dimana data parameter tersebut merupakan data sekunder dari penelitian berbagai orang. Dalam hal ini diambil nilai tengah dari konsistensi dan sudut geser tanah dalam range yang ada. Diambil nilai sudut

geser sebesar 10° dan konsistensi sampah yang terkompaksi sebesar 30 kPa, nilai inilah yang kemudian akan digunakan dalam analisa stabilitas lereng *landfill*.

4.4. Data Material Geosintetik

4.4.1. Data Material Geotektil

Untuk perkuatan tanggul pada perencanaan ini akan digunakan woven geotextile yang diproduksi oleh PT. Masindo Bhakti Persada. Perkuatan yang direncanakan akan menggunakan geotekstile tipe 25 dengan parameter seperti pada Tabel 4.5 sedangkan untuk spesifikasi lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 4.5 Data material geotekstile

Jenis	Tensile Strength		Berat Gr/m ²
	Transverse (kN/m)	Longitudinal (kN/m)	
Woven type 25	55.79	42.84	247.75

4.4.2. Data Material Geosintetik Liner

Pada perencanaan ini akan didirencanakan lapisan geosintetik liner dengan material diantaranya yaitu kerikil, lempung yang dipadatkan, geogrid, dan geomembran. Geomembran yang dipakai dalam perencanaan ini berasal dari distributor yang berada di Sidoarjo yaitu CV. Sekawan. Lapisan ini direncanakan akan menggunakan Geomembran HDPE 2 mm dengan parameter seperti pada Tabel 4.6 sedangkan untuk spesifikasi lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 4.6 Data material Geomembran

Jenis	Tensile Strength		Berat
	Yield (kN/m)	Break (kN/m)	Gr/cm ²
HDPE 2 mm	29	53	≥ 0.94

Geogrid yang dipakai dalam perencanaan lapisan liner berasal dari distributor yang sama, yaitu CV. Sekawan-Sidoarjo. Geogrid yang dipakai yaitu geogrid dengan type Biaxial PP GG4040 dengan parameter seperti pada Tabel 4.7. sedangkan untuk spesifikasi lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 4.7 Data material geogrid

Jenis	Tensile Strength		Berat
	MD (kN/m)	TD (kN/m)	Gr/m ²
Biaxial PP GG4040	40	40	460

Sedangkan parameter material lempung yang dipadatkan dan kerikil yang akan dipakai sesuai dengan Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data material lapisan dasar

Jenis	γ	c	ϕ
	t/m ³	kPa	°
Lempung padat	1.8	30	0
Kerikil	1.4	0	40

4.5. Data Material Micropile

Jenis micropile yang digunakan pada perencanaan ini adalah spun pile dari PT. Wika dengan bahan beton. Spun Pile yang akan digunakan pada perencanaan ini akan menggunakan Spun pile PCP 500 Kelas C dengan spesifikasi seperti pada Tabel 4.9, sedangkan spesifikasi lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 4.9 Data material Micropile

Diameter		Tipe (Kelas)	Ketebalan (mm)	Cross Section Area (cm ²)	Allowable Compression (ton)	Cracking Bending Moment (t.m)	Ultimate Bending Moment (t.m)
Luar (mm)	Dalam (mm)						
500	320	C	90	1159.25	169.00	17.00	34.00

4.6. Data Kependudukan dan Proyeksi Produksi Sampah

Pada perencanaan kapasitas *landfill* pada TPA Sekoto perlu dilakukan proyeksi pertumbuhan penduduk pada zona layan TPA terhadap data produksi sampah (DLH, 2019). Menurut Badan Pusat Statistik Kabupaten Kediri, berdasarkan proyeksi penduduk pada tahun 2018 di Kabupaten Kediri terdapat sebanyak 1.568.113 jiwa yang terdiri atas 787.023 jiwa penduduk laki-laki dan 781.090 jiwa penduduk perempuan, dengan tingkat pertumbuhan penduduk rata-rata sebesar 0,45%, Data lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1. Tingkat pertumbuhan penduduk ini menjadi dasar untuk perhitungan proyeksi penduduk selama 10 tahun hingga Tahun 2031 yang kemudian menjadi dasar proyeksi produksi sampah selama periode layan serta berdasarkan data survey Widyasari, (2019) yang digunakan untuk memperhitungkan volume sampah yang tertimbun pada TPA (Tabel 4.10). Sebagai contoh untuk tahun 2021 perhitungan jumlah sampah yang tertimbun di TPA menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_n = P_0(1 + r)^n$$

Dengan:

P_n : Jumlah penduduk pada tahun ke-n

P₀ : Jumlah penduduk awal tahun proyeksi

r : tingkat pertumbuhan penduduk dalam persen

Untuk perhitungan produksi sampah, produksi sampah pada daerah layan dan sampah yang terangkut ke TPA digunakan persamaan perbandingan sederhana.

Nilai produksi sampah pada daerah layan perlu diperhitungkan karena dalam pelayanannya, TPA Sekoto tidak mengangkut seluruh sampah yang diproduksi di Kabupaten Kediri. Hal yang sama terjadi juga pada setiap daerah layan, tidak semua tempat pembuangan sementara pada daerah layan sampahnya akan diangkut ke TPA Sekoto, sampah yang diangkut hanya berasal dari sektor tertentu saja seperti lingkup perumahan, pabrik dan pertokoan, sehingga jumlah sampah yang terangkut ke TPA akan tereduksi.

$$\begin{aligned} \text{Penduduk 2021} &= 1569113 (1 + 0,45/100)^{(2021-2018)} \\ &= 1590391 \text{ jiwa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{P. sampah 2021} &= \frac{P.\text{sampah } 2018}{Penduduk 2018} \times \text{Penduduk 2021} \\ &= (3982,18/1569113) \times 1590391 \\ &= 4036,18 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{P. layan 2021} &= \frac{P.\text{layan } 2018}{P.\text{Sampah } 2018} \times P.\text{Sampah 2021} \\ &= (1775,23/3982,18) \times 4036,18 \\ &= 1799,31 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S. terangkut 2021} &= \frac{S.\text{terangkut } 2018}{P.\text{layan } 2018} \times S.\text{terangkut 2021} \\ &= (368,40/1775,23) \times 1799,31 \\ &= 373,39 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Pada kajian yang dilakukan oleh Widyasari, (2019), pada TPA Supit Urang Kota Malang dilakukan pengetesan terhadap berat jenis sampah dengan 2 kondisi yaitu sampah pada lokasi penurunan dari truk pengangkut dan sampah pada zona aktif tanpa adanya pemadatan. Hasil tes menyatakan rata-rata berat jenis sampah pada lokasi penurunan dari truk sampah sebesar 256,43 kg/m³ sedangkan rata-rata berat jenis sampah pada zona aktif tanpa pemadatan sebesar 508,5 kg/m³. Perbedaan nilai berat jenis ini akan menyebabkan volume sampah yang tertimbun di TPA

sebelum adanya pemasangan akan tereduksi. Sebagai contoh pada Tahun 2021, perhitungan volume sampah yang tertimbun di TPA sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S. \text{ Tertimbun } 2021 &= (\gamma_{\text{loose}} / \gamma_{\text{timb}}) \times S. \text{ angkut } 2021 \\ &= (256,4 / 508,5) \times 373,39 \\ &= 188,30 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Tabel 4.10 Proyeksi penduduk dan produksi sampah

Tahun	Jumlah Penduduk	Produksi Sampah	Produksi sampah pada daerah layan	Sampah yang terangkut ke TPA	Sampah yang tertimbun di TPA
	jiwa	m ³ /hari	m ³ /hari	m ³ /hari	m ³ /hari
2017	1550392	3934.67	1754.05	364.00	183.56
2018	1569113	3982.18	1775.23	368.40	185.78
2019	1576174	4000.10	1783.22	370.05	186.61
2020	1583267	4018.10	1791.25	371.72	187.45
2021	1590391	4036.18	1799.31	373.39	188.30
2022	1597548	4054.34	1807.40	375.07	189.14
2023	1604737	4072.59	1815.54	376.76	189.99
2024	1611959	4090.91	1823.71	378.45	190.85
2025	1619212	4109.32	1831.91	380.16	191.71
2026	1626499	4127.81	1840.16	381.87	192.57
2027	1633818	4146.39	1848.44	383.59	193.44
2028	1641170	4165.05	1856.76	385.31	194.31
2029	1648555	4183.79	1865.11	387.05	195.18
2030	1655974	4202.62	1873.50	388.79	196.06
2031	1663426	4221.53	1881.93	390.54	196.94

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB V

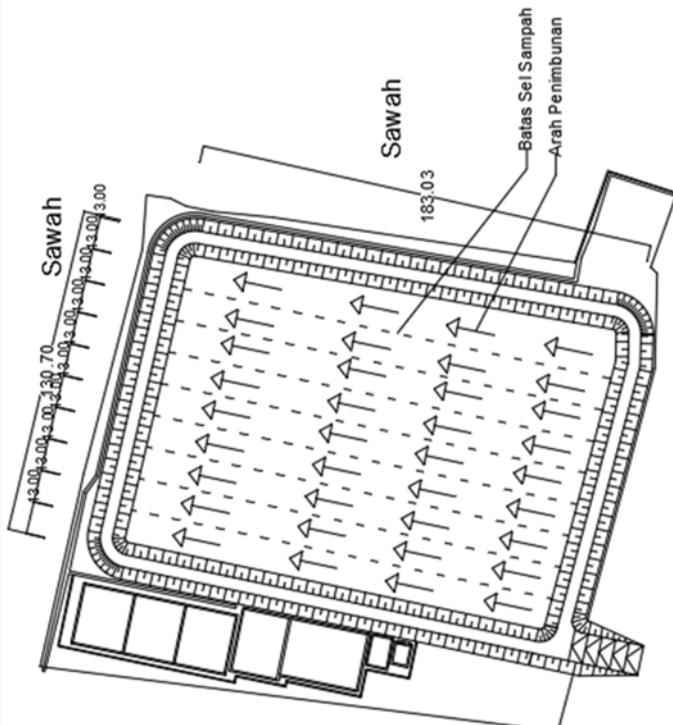
PERENCANAAN TPA SEKOTO

5.1. Sel TPA Sekoto dan Kapasitasnya

5.1.1. Perencanaan Sel TPA dan Kapasitasnya

Dalam Permen PU No. 3 Tahun 2013 tidak diatur secara rinci mengenai ketentuan ukuran lebar minimum sel sampah. Oleh karena itu landfill yang ada kemudian dibagi menjadi 10 baris sel sampah mengikuti lebar landfill 130,7 m untuk mempermudah pelaksanaan penimbunan sampah (Gambar 5.1). Sel sampah direncanakan memiliki ketebalan 1 meter untuk mempermudah pelaksanaan pemanatan ulang sampah pada sel sampah dan berdasarkan Permen PU No. 3 Tahun 2013 Lampiran III Subbab sarana dan prasarana TPA, tanah penutup antar sel direncanakan setebal 0,2 meter. Menurut Permen PU No. 3 Tahun 2013 pada Lampiran III Subbab pembagian area efektif pengurukan, batas antar sel sampah dapat menggunakan patok dan tali. Desain lebar dan tinggi sel sampah ini kemudian digunakan untuk menentukan kebutuhan panjang atau luas sel sampah harian, hingga kebutuhan luas sel sampah tahunan, serta untuk mengetahui total volume sampah yang telah terkompaksi setiap tahunnya.

Berdasarkan Tabel 4.10, sampah yang tertimbun di TPA dipadatkan hingga berat jenisnya mencapai yang direncanakan. Mengacu pada penelitian Khrisna R. Reddy (2009), berat jenis sampah yang sudah dipadatkan direncanakan sebesar $1,18 \text{ ton/m}^3$. Sebagai contoh untuk perhitungan volume landfill yang diperlukan untuk tahun 2022 sebagai berikut:



Gambar 5.1 Rencana sel sampah dan arah penimbunan

Volume sampah masuk	$= 183,56 \text{ m}^3/\text{hari}$
Volume sampah padat	$= \gamma_{\text{timb}} / \gamma_{\text{sampah padat}} \times V_{\text{sampah}}$ $= 508,5/1180 \times 183,56 \text{ m}^3/\text{hari}$ $= 81,33 \text{ m}^3/\text{hari}$
Panjang sel sampah harian	$= V_{\text{sampah padat}} / (1 \times t)_{\text{sel sampah}}$ $= 81,33 / (13 \times 1)$ $= 6,26 \text{ m/hari}$
Kebutuhan sel sampah harian	$= (P \times L)_{\text{sel sampah}}$ $= 6,26 \times 13 = 81,33 \text{ m}^2/\text{hari}$
Kebutuhan sel sampah bulanan	$= 81,33 \times 30 \text{ hari}$ $= 2439,95 \text{ m}^2/\text{bulan}$
Kebutuhan sel sampah 1 tahun	$= 2439,95 \times 12 \text{ bln}$ $= 29279,43 \text{ m}^2$
Vol landfill selama 1 tahun	$= \text{sel 1 tahun} \times (t_{\text{sel}} + t_{\text{penutup}})$ $= 29279,43 \times (1 + 0,2)$ $= 35135,32 \text{ m}^3$

Perhitungan desain sel sampah pada tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 5.1, sedangkan untuk lebih lengkapnya hingga tahun 2031 dapat dilihat dalam Lampiran 2. Kapasitas *landfill* untuk periode rencana 10 tahun didapatkan sebesar 358.554,19 m³ berdasarkan jumlah volume *landfill* yang dibutuhkan setiap tahunnya (Tabel 5.2).

Tabel 5.1 Desain sel sampah tahun 2022

Tahun 2022		
Timbunan sel sampah harian		
Volume Sampah yang masuk TPA	189.14	m ³ /hari
Volume Sampah setelah terpadatkan (43%)	81.33	m ³ /hari
Tinggi timbunan Sel Sampah rencana	1	m
Lebar Timbunan Sel Sampah rencana	13	m
Tebal lapisan penutup	0.2	m
Panjang sel sampah harian	6.26	m
Kebutuhan sel sampah		
Kebutuhan sel sampah harian	81.33	m ² /hari
Kebutuhan sel sampah bulanan (30 hari)	2439.95	m ² /bulan
Kebutuhan sel sampah satu tahun (12 bulan)	29279.43	m ²
Kebutuhan sel sampah satu tahun (12 bulan)	2.93	ha
Volume <i>landfill</i> selama 1 Tahun	35135.32	m ³

Tabel 5.2 Kapasitas *landfill* yang dibutuhkan setiap tahunnya

Tahun	Volume <i>landfill</i> yang diperlukan (m ³)
2022	35135.32
2023	35293.43
2024	35452.25
2025	35611.79
2026	35772.04
2027	35933.01
2028	36094.71
2029	36257.14
2030	36420.29
2031	36584.19
Total	358554.17

5.1.2. Cara Penimbunan Sampah

Mengacu pada Permen PU No. 13 Tahun 2013 pada Lampiran III Subbab pengurukan sampah pada bidang kerja, pengurukan sampah umumnya dilakukan di tepi sel yang akan dioperasikan dan berdekatan dengan jalan raya sehingga truk mudah untuk mencapainya. Oleh sebab itu, proses penimbunan sampah direncanakan dimulai dari sel sampah terdekat dengan jalan masuk ke landfill atau sel terdekat dengan Kolam IPAL menjauh kearah utara (Gambar 5.1). Sampah ditimbun dan dipadatkan hingga mencapai kepadatan 1,18 ton/m³ dan ketinggian 1 meter, kemudian diurug menggunakan tanah pasir setebal 20 cm hingga sel sampah terdekat kolam IPAL penuh. Setelah itu penimbunan sampah dilakukan pada sel sampah sampingnya hingga seluruh sel landfill penuh dan dilanjutkan diatas lapisan sel pertama yang sudah penuh.

Ketentuan tinggi timbunan sampah sebelum dipadatkan akan dihitung dengan persamaan perbandingan berbalik nilai sebagai berikut:

$$\frac{V_{\text{sampah padat}}}{V_{\text{sampah loose}}} = \frac{\gamma_{\text{loose}}}{\gamma_{\text{padat}}}$$

$\frac{P \times L \times t_{\text{padat}}}{P \times L \times t_{\text{loose}}} = \frac{\gamma_{\text{loose}}}{\gamma_{\text{padat}}}$, jika panjang dan lebar sel sampah padat dan loose sama, maka persamaan akan menjadi

$$t_{\text{loose}} = \frac{\gamma_{\text{padat}}}{\gamma_{\text{loose}}} \times t_{\text{padat}}$$

$$t_{\text{loose}} = \frac{1180}{508.5} \times 1$$

$$= 2,345 \text{ m}$$

Jadi diperlukan sampah setinggi 2,345 meter yang kemudian dipadatkan menjadi sampah padat setinggi 1 meter dengan kepadatan 1,18 ton/m³. Mengingat untuk kemudahan proses pemadatan sampah pada sel sampah, maka proses pemadatan setiap lapisan sel dilakukan 4 kali. Sampah yang masuk ke TPA akan ditimbun setebal 0,58 m dan kemudian dipadatkan hingga tebalnya menjadi 0,25 m, kemudian ditimbun dan dipadatkan lagi dengan ketinggian yang sama hingga mencapai ketebalan sampah yang telah terpadatkan 1 meter.

5.2. Perencanaan Tanggul

Lahan yang digunakan untuk pembangunan TPA merupakan lahan bekas persawahan yang datar, sehingga tanggul didesain dengan ketinggian identik setinggi 5 meter dengan kemiringan lereng 1:1 ditimbun mengelilingi *landfill* (Gambar 5.2) bertujuan untuk mencegah genangan air lindi saat hujan meluber ke lahan sekitar juga sebagai pengaman untuk mencegah kelongsoran.

Dalam perencanaan tanggul, material tanggul yang digunakan merupakan tanah pasir dengan parameter:

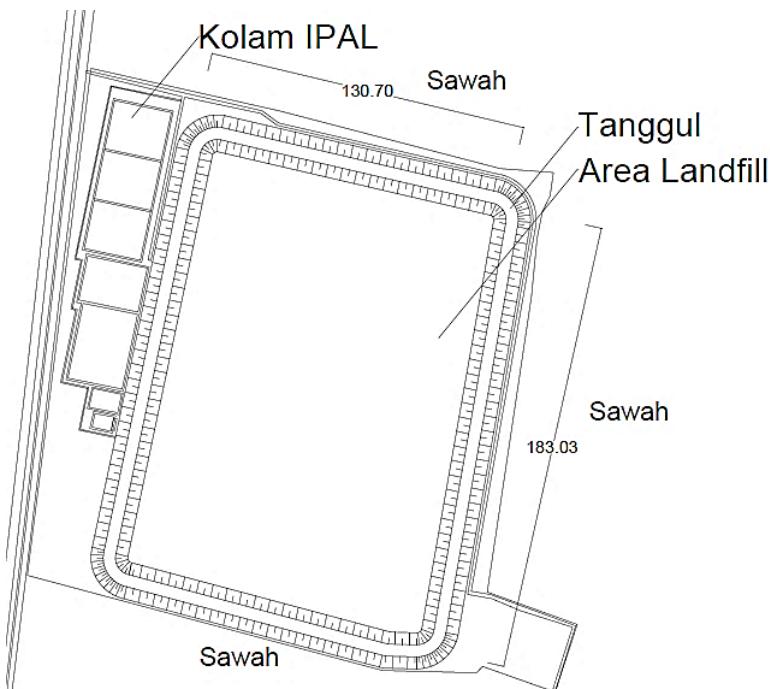
$$\gamma = 1,85 \text{ ton/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,9 \text{ ton/m}^3$$

$$c = 10 \text{ kPa}$$

$$\phi = 30^\circ$$

Settlement akan terjadi selama proses penimbunan tanggul. Oleh karena itu settlement akibat beban timbunan tanggul perlu diperhitungkan agar pada saat proyek selesai tinggi timbunan tanggul tetap sesuai dengan perencanaan.



Gambar 5.2 Tampak atas TPA Sekoto Baru

Dalam perhitungan pemampatan tanah, perlu memerhitungkan tegangan-tegangan yang terjadi pada setiap lapisan tanah terlebih dahulu. Tegangan yang perlu dihitung yaitu; tegangan overburden efektif (σ_0'), tegangan prakonsolidasi (σ_c') dan tegangan akibat beban yang bekerja pada tanah ($\Delta\sigma$). Tegangan overburden yaitu tegangan tanah vertikal efektif, sedangkan tegangan prakonsolidasi yaitu tegangan yang pernah terjadi pada tanah pada masa lampau, dalam hal ini tegangan tersebut diakibatkan oleh fluktuasi air setinggi 1 meter. Pemampatan pada tanah dihitung berdasarkan persamaan 2.1 untuk tanah NC soil (*Normally Consolidated*) dan persamaan 2.2 dan atau persamaan 2.3 untuk tanah OC soil (*Overconsolidated*). Hasil

nilai pemampatan pada setiap lapisan tanah dijumlahkan sehingga didapatkan nilai besar pemampatan total akibat beban tanggul (Tabel 5.3). Sebagai contoh untuk kedalaman 0-1 meter perhitungan pemampatan sebagai berikut:

1. Tegangan efektif tanah (σ_0') = $H/2 (\gamma' - \gamma_w)$
 $= 1/2 (1,69 - 1)$
 $= 0,3467 \text{ tm}$
2. Tegangan overburden (σ_c') = $\sigma_0' + H \text{ air} (\gamma' - (\gamma' - \gamma_w))$
 $= 0,3467 + 1 (1,69 - (1,69 - 1)) =$
 $1,3467 \text{ tm}$
3. Distribusi tegangan ($\Delta\sigma$) = $H \text{ timbunan} \times \gamma \text{ timb} \times I$
Dimana I adalah faktor distribusi tegangan untuk beban trapezium
 $\Delta\sigma = H \text{ timbunan} \times \gamma \text{ timb} \times I$
 $= 5 \times 1,85 \times (2 \times 0,5) = 9,25 \text{ tm}$
4. Settement (S_c) = $\frac{c_s H}{1+e} \log\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_0}\right) + \frac{c_c H}{1+e} \log\left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_c}\right)$
 $= \frac{0,053 \times 1}{1+1,319} \log\left(\frac{1,347}{0,3467}\right) + \frac{0,529 \times 1}{1+1,319} \log\left(\frac{0,3467 + 9,25}{1,347}\right)$
 $= 0,154 \text{ m}$

Tabel 5.3 Hasil perhitungan settlement akibat beban tanggul

depth	Z	e_0	C_c	C_s	γ	σ_0'	σ_c'	$\Delta\sigma$	S_c	ΣS_c
m	m				t/m ³	t.m	t.m	t.m	m	m
0-1	0.5	1.319	0.529	0.053	1.69	0.3467	1.347	9.25	0.154	0.154
1-2	1.5	1.319	0.529	0.053	1.69	1.04	2.04	9.25	0.083	0.237
2-3	2.5	1.315	0.546	0.055	1.82	1.796	2.796	8.695	0.059	0.296
3-4	3.5	1.315	0.546	0.055	1.82	2.614	3.614	8.14	0.044	0.340

Waktu pemampatan dalam hal ini dicari untuk mengetahui periode untuk penimbunan tanah diatas tanggul agar ketinggian tanggul tetap sama setelah mengalami pemampatan. Lamanya pemampatan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$T_v = \frac{C_v t}{H_{dr}^2}$$

Dimana:

- t : lamanya pemampatan
- H_{dr} : Panjang aliran rata-rata
- C_v : Koefisien pemampatan
- T_v : faktor waktu, dimana:

Untuk $U = 0\% - 60\%$

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2$$

Dan untuk $U > 60\%$

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log(100 - U\%)$$

Sebelum menghitung lamanya pemampatan perlu dicari nilai koefisien pemampatan (C_v) gabungan terlebih dahulu, karena pada setiap lapisan tanah memiliki nilai koefisien pemampatan yang berbeda (Tabel 5.4). Nilai C_v pada setiap lapisan tanah didapatkan berdasarkan grafik hubungan antara liquid limit dan koefisien pemampatan oleh U.S. Navy (1971).

Tabel 5.4 Koefisien pemampatan (C_v) gabungan

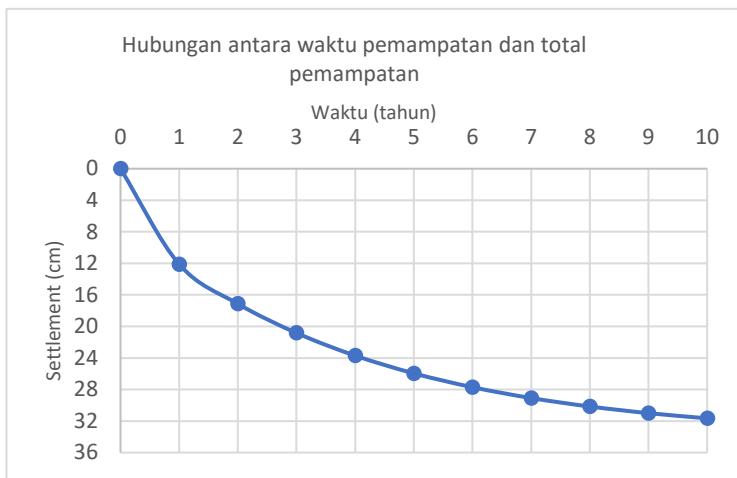
Kedalaman (m)	Tebal (m)	C_v ($m^2/year$)
0 – 1	1	1.5
1 – 2	1	1.5
2 – 3	1	1.65
3 – 4	1	1.75
CV Gabungan		1.595

Dari hasil perhitungan (Tabel 5.5) didapatkan bahwa untuk mencapai pemampatan sebesar 90% diperlukan waktu selama 10 Tahun. Berdasarkan grafik hubungan antara waktu dan besarnya pemampatan (Gambar 5.3) maka setelah pada saat penimbunan ketinggian timbunan tanggul perlu ditambah sebesar 0,1 meter sehingga satu tahun setelahnya dapat dilakukan penimbunan ulang

lagi atau delapan tahun setelah penimbunan tanggul dilakukan penimbunan tanggul setinggi 0,3 meter.

Tabel 5.5 Waktu pemampatan akibat beban tanggul

Waktu (tahun)	Faktor waktu	Uv (%)	Sc (cm)	ΔSc (cm)
1	0.100	35.617	12.115	12.115
2	0.199	50.371	17.133	5.018
3	0.299	61.239	20.830	3.697
4	0.399	69.692	23.705	2.875
5	0.498	76.301	25.953	2.248
6	0.598	81.469	27.711	1.758
7	0.698	85.510	29.086	1.375
8	0.797	88.670	30.161	1.075
9	0.897	91.141	31.001	0.840
10	0.997	93.073	31.658	0.657



Gambar 5.3 Hubungan antara waktu dan total besarnya pemampatan akibat beban tanggul

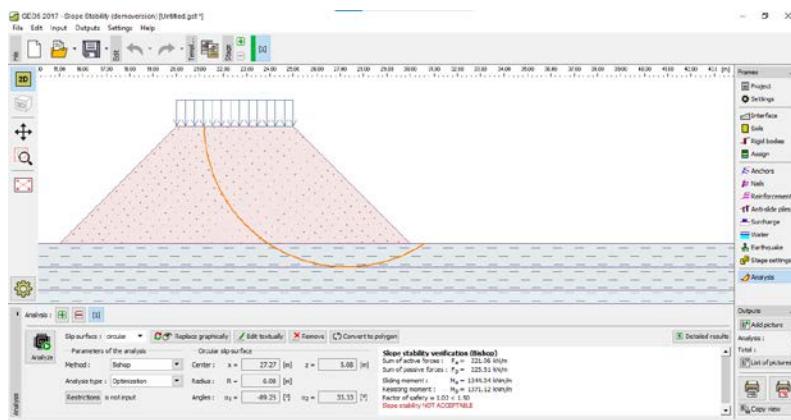
5.3. Stabilitas Tanggul pada TPA Sekoto

Dalam perencanaan timbunan tanggul perlu mempertimbangkan stabilitas timbunan tanggul terhadap kelongsoran secara internal pada timbunan tanggul itu sendiri maupun secara *overall* dengan tanah dasar yang ada. Untuk menghitung stabilitas digunakan program bantu.

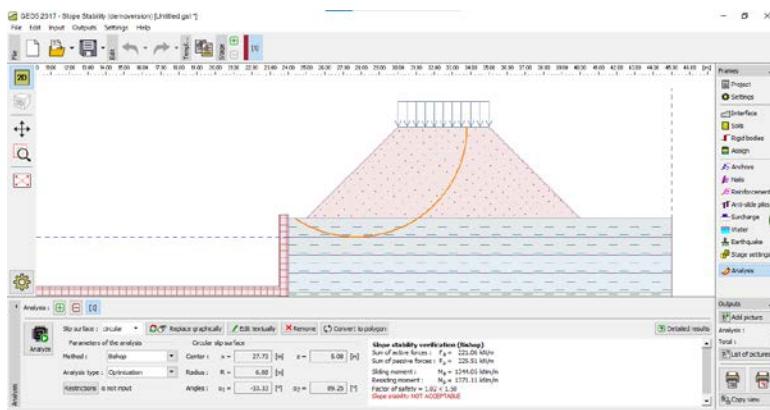
Dari hasil penilaian stabilitas tanggul menggunakan program bantu didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,02 (Gambar 5.4) dan untuk sisi yang menghadap kolam IPAL sebesar 1,02 (Gambar 5.5). Tanggul sangat kritis dalam menahan kelongsoran, maka diperlukan perkuatan pada tanggul.

5.4. Perkuatan Lereng untuk *Internal Stability* Tanggul

Geotextile direncanakan sebagai perkuatan untuk mencegah longsor pada lereng tanggul. Penambahan lapisan geotekstile pada lereng tanggul dimaksudkan untuk menambah kekuatan geser pada tanah yang digunakan untuk timbunan tanggul. Adapun geotekstile direncanakan akan dipasang setiap 0,25 m.



Gambar 5.4 Hasil analisis tanggul sisi menghadap sawah



Gambar 5.5 Hasil analisis tanggul sisi menghadap kolam IPAL

Ditemukan bahwa hasil analisis dari program bantu untuk timbunan tanggul baik yang menghadap kolam IPAL maupun tidak memiliki kesamaan bidang longsor, bidang longsor identik (Gambar 5.4 dan Gambar 5.5). Maka dari itu, akan dipakai perkuatan geotektil dengan perhitungan yang sama pula. Adapun data hasil analisis tersebut sebagai berikut:

$$SF = 1,02$$

$$\text{Jari-jari kelongsoran (r)} = 6,08 \text{ m}$$

$$\text{Momen penahan (M}_R\text{)} = 1371,12 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen dorong (M}_D\text{)} = 1344,04 \text{ kNm}$$

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

Besarnya nilai faktor keamanan yang ada masih kurang dari yang direncanakan, sehingga diperlukan penambahan momen untuk menahan beban yang ada. Besarnya momen tambahan yang dibutuhkan didapatkan dari persamaan:

$$\begin{aligned} \Delta \text{Momen} &= M_D \times SF \text{ rencana} - M_D \\ &= 1344,04 \times 1,5 - 1371,12 \\ &= 645,23 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Dalam pemasangan geotekstile dilapangan seringkali ada berbagai faktor yang mengakibatkan kerusakan pada geotekstile. Maka dari itu, dalam perencanaan nilai kuat tarik geotekstile perlu direduksi dengan berbagai faktor. Adapun dalam perencanaan ini nilai berbagai faktor yang digunakan sesuai dengan Tabel 2.8 untuk penggunaan stabilisasi lereng, yaitu:

Faktor kesalahan pemasangan (FS_{id}) = 1,2

Faktor rangkak (FS_{cr}) = 1,5

Faktor akibat pengaruh kimia (FS_{cd}) = 1,1

Faktor akibat pengaruh biologis (FS_{bd}) = 1,1

Sehingga berdasarkan persamaan 2.15 nilai kuat tarik geotekstile yang telah tereduksi sebesar 25,615 kNm. Nilai ini yang kemudian digunakan dalam perencanaan kebutuhan lapisan geotekstile. Kebutuhan geotekstile dapat dicari menggunakan persamaan 2.16. Dari hasil perhitungan (Tabel 5.6) diperlukan 6 lapisan geotekstile untuk mencapai momen tambahan yang dibutuhkan untuk mencapai SF yang direncanakan.

Tabel 5.6 Kebutuhan perkuatan geotekstil

No. lapisan	Z	Si	Ti	Ti x Si	$\sum Ti \times Si$
1	0	25.6152	5.08	130.1254	130.1254
2	0.25	25.6152	4.83	123.7216	253.8471
3	0.5	25.6152	4.58	117.3178	371.1649
4	0.75	25.6152	4.33	110.9140	482.0789
5	1	25.6152	4.08	104.5102	586.5891
6	1.25	25.6152	3.83	98.1064	684.6955

Selain kebutuhan lapisan geotekstile, perlu juga dicari kebutuhan panjang dari setiap lapisan geotekstile yang akan dipasang. Panjang total dari geotekstile yang dibutuhkan untuk setiap lapisannya dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.17 dan 2.18. Dari hasil perhitungan (Tabel 5.7) didapatkan total panjang

geotekstile yang diperlukan untuk setiap satu meter timbunan tanggul yaitu 94,5 m. Sehingga perkuatan geotekstile yang dibutuhkan dipasang sesuai dengan Gambar 5.7. Sebagai contoh untuk lapisan pertama perhitungan panjang geotekstile sebagai berikut:

$$L_e = \frac{T_{all} \cdot SF}{2(c + \sigma_v \tan \delta)E}$$

$$= \frac{25,615 \times 1,5}{((30,72 + 9,71 \times \tan 45^\circ) + (0 + 9,71 \times \tan 45^\circ))0,8}$$

$$= 1,35 \text{ m}$$

Sedangkan untuk mencari panjang geotekstile didepan bidang longsor digunakan persamaan lingkaran sebagai berikut:

$$(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 = R^2$$

Dengan:

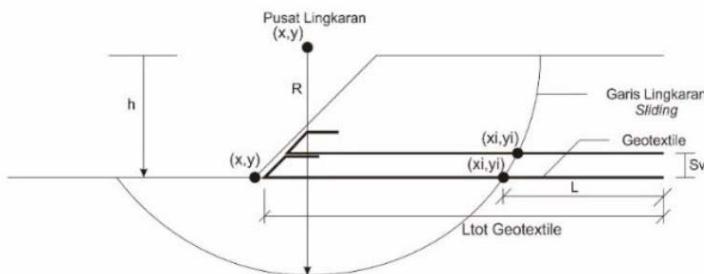
x_i : koordinat x sebuah titik pada lingkaran

y_i : koordinat y sebuah titik pada lingkaran

x : koordinat x titik pusat lingkaran

y : koordinat x titik pusat lingkaran

R : radius lingkaran



Gambar 5.6 Ilustrasi persamaan lingkaran dan kebutuhan panjang geotekstile

Berdasarkan hasil analisis stabilitas tanggul dengan program bantu Geo5, maka akan dicari titik perpotongan antara koordinat x

dengan bidang longsor. Sebagai contoh untuk lapisan pertama dimana:

$$\begin{array}{ll} y_i = 0 & y = 5,08 \\ x_i = 27,27 & R = 6,08 \end{array}$$

Dan titik awal pemasangan geotekstile, $x_1 = 30$ dan $y_1 = 0$, maka panjang geotekstile didepan bidang longsor yaitu:

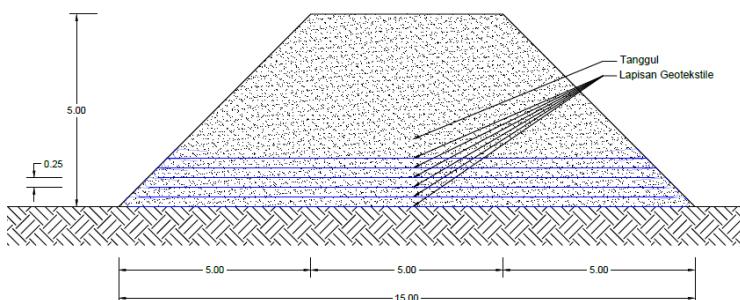
$$(x_i - 27,27)^2 + (0 - 5,08)^2 = 6,08^2$$

$$x_i = 23,929$$

$$L_r = x_1 - x_i = 30 - 23,929 = 6,07$$

Tabel 5.7 Kebutuhan panjang geotekstil

No. Lapisan	c	γ	σ_v	δ	Le (m)	L_0 (m)	L_r (m)	L total (m)	L pakai (m)
1	0	1,85	9.71	27	1.35	1	6.07	9.42	17
2	0	1,85	9.25	27	5.10	1	6.17	13.27	16.5
3	0	1,85	8.79	27	5.36	1	6.23	13.59	16
4	0	1,85	8.33	27	5.66	1	6.25	13.91	15.5
5	0	1,85	7.86	27	5.99	1	6.24	14.23	15
6	0	1,85	7.40	27	6.37	1	6.20	14.57	14.5
Total									94.5



Gambar 5.7 Pemasangan perkuatan geotekstil

5.5. Perencanaan Lapisan Dasar (*Liner*) TPA Sekoto

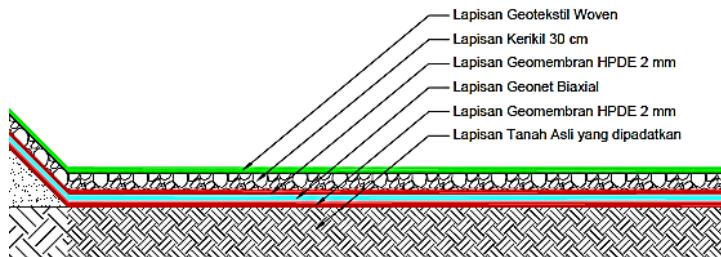
Berdasarkan Permen PU No. 3 Tahun 2013 pada Lampiran III sub bab prasarana dan sarana TPA, dalam perencanaan lapisan dasar TPA harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Lapisan dasar TPA harus kedap air sehingga lindi terhambat meresap kedalam tanah dan tidak mencemari air tanah. Koefisien permeabilitas lapisan dasar TPA harus lebih kecil dari 10^{-6} cm/det.
2. Pelapisan dasar kedap air dapat dilakukan dengan cara melapisi dasar TPA dengan tanah lempung yang dipadatkan (30 cm x 2) atau geomembran setebal 1,5 – 2 mm, terkandung pada kondisi tanah.
3. Dasar TPA harus dilengkapi saluran pipa pengumpul lindi dan kemiringan minimal 2 % kearah saluran pengumpul maupun penampung lindi.
4. Pembentukan dasar TPA harus dilakukan secara bertahap sesuai dengan urutan zona/blok dengan urutan pertama sedekat mungkin ke kolam pengolahan lindi.
5. Bila menurut desain perlu digunakan geosintetis seperti geomembran, geotekstil, non-woven, geonet, dan sebagainya, pemasangan bahan ini hendaknya disesuaikan spesifikasi teknis yang telah direncanakan, dan dilaksanakan oleh kontraktor yang berpengalaman dalam bidang ini.

Hasil tes permeabilitas tanah pada 3 titik dilokasi pembangunan TPA Sekoto Baru menyatakan bahwa nilai koefisien permeabilitas tanah masih lebih besar dari 10^{-6} cm/detik. Nilai permeabilitas tersebut yaitu, $4,546 \times 10^{-5}$ m/detik, $9,659 \times 10^{-5}$ m/detik dan $1,062 \times 10^{-4}$ m/detik. Maka dari itu dalam perencanaan lapisan dasar diperlukan adanya lapisan geosintetis. Adapun rincian lapisan liner yang akan dipakai dalam perencanaan ini

sesuai dengan Gambar 5.8 atau secara urut dari lapisan paling atas yaitu:

1. Lapisan geotekstile non-woven, digunakan sebagai lapisan penyaring air lindi atau memastikan hanya air lindi saja yang akan mengalir.
2. Lapisan kerikil setebal 30 cm dengan pipa pengumpul air lindi pada bagian bawahnya.
3. Lapisan geomembran HDPE 2 mm atas, untuk mencegah air lindi merembes ke tanah dasar.
4. Lapisan geonet, untuk menahan beban settlemet akibat timbunan sampah sehingga lapisan geomembran tidak robek dan juga sebagai sistem drainase air lindi sekunder apabila terjadi robekan pada lapisan geomembran atas.
5. Lapisan geomembran HDPE 2 mm bawah sebagai lapisan penahan air lindi sekunder.
6. Lapisan tanah asli yang dipadatkan.



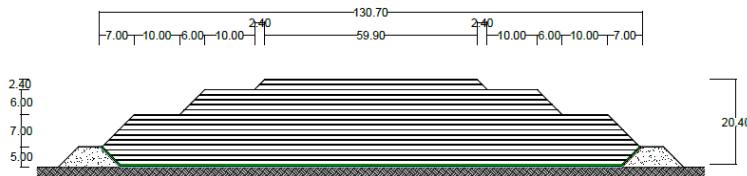
Gambar 5.8 Ilustrasi rencana lapisan liner

5.6. Perencanaan Tinggi Timbunan Sampah

Dalam perencanaan tinggi timbunan sampah perlu mempertimbangkan kapasitas *landfill* yang diperlukan serta

ketersediaan lahan. Keterbatasan lahan dalam perencanaan ini menjadi pertimbangan yang penting dalam perencanaan. Lahan yang ada harus bisa melayani pembuangan sampah sesuai kapasitas minimum atau sesuai periode layan.

Beberapa persyaratan sesuai Pemen PU No. 3 Tahun 2013 menyarankan batasan nilai keamanan minimum (SF) untuk timbunan sampah pada TPA sebesar 1,3 dan kemiringan lereng timbunan sampah harus kurang dari 1:3. Akan tetapi dalam perencanaan ini, persyaratan untuk kemiringan lereng tidak dapat dipenuhi karena mempertimbangkan keterbatasan lahan yang ada, sehingga berdampak pada kapasitas yang tidak mencukupi untuk periode layan yang telah direncanakan. Direncanakan kermiringan lereng landfill sebesar 1:1 dan timbunan akan direncanakan berundak setiap 5 lapis sel sampah dengan lebar 10 meter untuk menambah kestabilan dari timbunan sampah (Gambar 5.9). gambar lebih detail dapat dilihat pada Lampiran 7: Gambar Perencanaan.



Gambar 5.9 Potongan melintang landfill

Volume landfill rencana dihitung dengan bantuan program bantu AutoCAD hingga ketinggian tertentu sampai memenuhi kapasitas yang dibutuhkan sesuai Tabel 4.10. Didapatkan kapasitas landfill yang dibutuhkan selama periode rencana 10 tahun ($358554,17 \text{ m}^3$) akan dicapai pada saat landfill mencapai 17 lapisan sel atau ketinggian 20,4 meter. Volume landfill rencana

berdasarkan ketinggian dan lapisan sel sebagai disajikan dalam Tabel 5.8.

Dalam tahapan pelaksanaan penimbunan sampah, waktu yang diperlukan untuk menimbun satu lapisan sel sampah berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh perbedaan volume satu lapisan sel sampah serta perbedaan volume sampah yang ditimbun setiap bulannya. Oleh sebab itu, kecepatan penimbunan sampah untuk setiap lapisan sel akan berbeda.

Tabel 5.8 Volume landfill rencana dan ketinggian landfill

No. Lapis Sel	Tebal	Tinggi total	Volume	Kumulatif Volume
	m	m	m ³	m ³
1	1,2	1,2	25471,459	25471,459
2	1,2	2,4	26321,578	51793,037
3	1,2	3,6	27171,696	78964,733
4	1,2	4,8	28021,814	106986,547
5	1,2	6,0	28306,887	135293,434
6	1,2	7,2	27460,635	162754,070
7	1,2	8,4	26591,152	189345,222
8	1,2	9,6	25734,388	215079,610
9	1,2	10,8	24890,342	239969,951
10	1,2	12,0	24059,014	264028,966
11	1,2	13,2	16953,334	280982,300
12	1,2	14,4	16258,524	297240,824
13	1,2	15,6	15577,562	312818,386
14	1,2	16,8	14910,448	327728,834
15	1,2	18,0	14257,183	341986,017
16	1,2	19,2	8827,863	350813,880
17	1,2	20,4	8317,697	359131,577

Dalam perhitungan untuk penentuan waktu penimbunan satu sel sampah digunakan kebutuhan volume landfill bulanan yang telah dihitung pada Sub bab 4.2 atau sesuai dengan tabel pada Lampiran 2. Berdasarkan Tabel 5.8 tentang volume landfill

rencana dan ketinggian landfill maka dapat ditentukan lamanya waktu penimbunan satu lapis sel sampah (Tabel 5.9).

Tabel 5.9 Waktu penimbunan tiap lapisan sel sampah

No. Lapis Sel	Volume sel sampah tiap lapis m ³	Tahun	Kebutuhan volume bulanan	Waktu	Total	Kumulatif waktu
			m ³ /bulan	Bulan	Bulan	Bulan
1	25471,459	2022	2439,95	8	8	8
2	26321,578	2022	2439,95	4	9	17
		2023	2450,93	5		
3	27171,696	2023	2450,93	7	9	26
		2024	2461,96	2		
4	28021,814	2024	2461,96	10	10	36
5	28306,887	2025	2473,04	9	9	45
6	27460,635	2025	2473,04	3	10	55
		2026	2484,17	7		
7	26591,152	2026	2484,17	5	9	64
		2027	2495,35	4		
8	25734,388	2027	2495,35	8	8	72
9	24890,342	2028	2506,58	8	8	80
10	24059,014	2028	2506,58	4	8	88
		2029	2517,87	4		
11	16953,334	2029	2517,87	6	6	94
12	16258,524	2029	2517,87	2	6	100
		2030	2529,19	4		
13	15577,562	2030	2529,19	5	5	105
14	14910,448	2030	2529,19	3	5	110
		2031	2540,57	2		
15	14257,183	2031	2540,57	4	4	114
16	8827,863	2031	2540,57	3	3	117
17	8317,697	2031	2540,57	3	3	120

5.7. Settlement Akibat Timbunan Beban Bertahap Sampah

Pelaksanaan penimbunan sampah di lapangan dilakukan secara bertahap dengan kecepatan penimbunan sesuai yang telah dihitung (Tabel 5.9). Oleh sebab itu, perhitungan pemampatan tanah dasar perlu dihitung secara bertahap pula. Untuk menghitung pemampatan pada tanah dasar perlu dihitung tegangan yang diterima oleh tanah dasar akibat timbunan per tahapnya.

Berikut adalah contoh perhitungan tegangan untuk kedalaman 0-1 meter untuk timbunan tahap 1.

Distribusi tegangan ($\Delta\sigma$)

$$\text{Tinggi timbunan} = 1,2 \text{ meter}$$

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

$$\begin{aligned}\Delta\sigma &= I \times ((H-0,2) \times \gamma_{\text{sampah}} + 0,2 \times \gamma_{\text{tanah penutup}}) \\ &= 0,99 \times ((1,2-0,2) \times 1,18 + 0,2 \times 1,85) \\ &= 1,616 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Tegangan overburden (σ_0')

$$\sigma_0' = \gamma' \times z$$

$$= (1,716 - 1) \times 0,5$$

$$= 0,358 \text{ t/m}^2$$

Tegangan Pra-konsolidasi (σ_c)

$$\sigma_c = \sigma_0' + (H_{\text{fluktuasi}} \times \gamma_w)$$

$$= 0,358 + (1 \times 1)$$

$$= 1,358 \text{ t/m}^2$$

Sehingga besarnya pemampatan pada tanah kedalaman 0-1 akibat beban tahap 1 yaitu:

$$\begin{aligned}Sc &= \frac{c_s H_i}{1+e_i} \log \left(\frac{\sigma_{(0)} + \Delta\sigma_i}{\sigma_{(0)}} \right) \\ &= \frac{0,0529 \times 1}{1+1,319} \log \left(\frac{0,358 + 1,616}{0,358} \right) = 0,0169 \text{ m}\end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan tegangan yang sama, maka besarnya pemampatan untuk tahap kedua untuk kedalaman tanah 0-1 meter dihitung berdasarkan persamaan:

$$\begin{aligned} Sc &= \frac{C_s H_i}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{(0)} + \Delta\sigma_{tahap sebelumnya}} \right) + \frac{C_c H_i}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma_{(0)} + \Delta\sigma}{\sigma_c} \right) \\ &= \frac{0,0529 \times 1}{1+1,319} \log \left(\frac{1,358}{0,358 + 1,616} \right) + \frac{0,529 \times 1}{1+1,319} \log \left(\frac{0,358 + 3,098}{1,358} \right) \\ &= 0,0889 \text{ m} \end{aligned}$$

Adapun nilai total pemampatan untuk setiap tahap disajikan dalam Tabel 5.10 sedangkan untuk perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3.

Tabel 5.10 Besarnya pemampatan akibat beban bertahap

No. Tahapan	Sc (m)	Kumulatif Sc (m)
1	0.0373	0.0373
2	0.2552	0.2925
3	0.1204	0.4129
4	0.0921	0.5050
5	0.0747	0.5797
6	0.0626	0.6423
7	0.0541	0.6964
8	0.0475	0.7439
9	0.0422	0.7861
10	0.0379	0.8239
11	0.0309	0.8548
12	0.0298	0.8847
13	0.0267	0.9114
14	0.0239	0.9353
15	0.0211	0.9564
16	0.0179	0.9743
17	0.0112	0.9855

Nilai pemampatan ini tidak terjadi secara seketika saat beban tahapan selesai. Tanah akan memampat terus-menerus sesuai dengan waktu pemampatan. Sesuai dengan perhitungan pada Subbab 5.2, tanah akan memampat sebesar 90% dengan waktu 10 tahun. Perbedaan waktu pada proses penimbunan beban bertahap menyebabkan besarnya pemampatan total juga akan berbeda jika ditinjau pada waktu yang sama. Oleh sebab itu besarnya pemampatan tiap tahapan untuk setiap satuan waktu perlu diperhitungkan.

Dalam perhitungan ini digunakan satuan waktu bulan, dan besarnya pemampatan akibat beban tiap tahapan dihitung berdasarkan derajat konsolidasi. Berikut adalah contoh perhitungan pemampatan untuk waktu 1 tahun:

Tahap 1

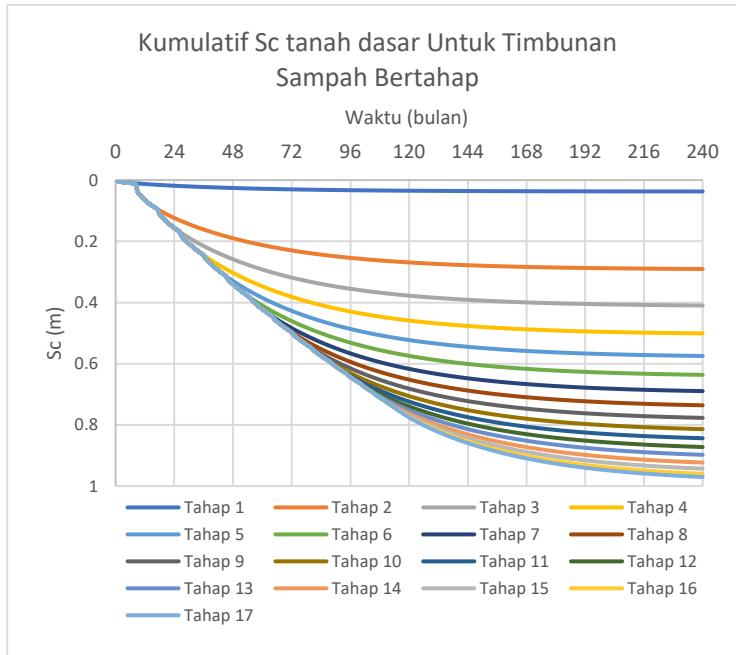
$$\begin{aligned}
 Sc_1 &= 0,0373 \text{ m} \\
 \text{Waktu terlampaui} &= 1 \text{ tahun (12 bulan)} \\
 U_{12 \text{ bulan}} &= 0,356 \\
 Sc_1 \text{ 1 tahun} &= 0,356 \times 0,0373 \\
 &= 0,0113 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tahap 2

$$\begin{aligned}
 Sc_2 &= 0,2551 \text{ m} \\
 \text{Waktu terlampaui} &= 4 \text{ bulan} \\
 U_{4 \text{ bulan}} &= 0,205 \\
 Sc_2 \text{ 4 bulan} &= 0,205 \times 0,2551 \\
 &= 0,0525 \text{ m} \\
 Sc \text{ 1 tahun} &= 0,0113 + 0,0525 \\
 &= 0,0658 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga total pemampatan selama 1 tahun akibat beban bertahap yaitu 0,0658 m. Sedangkan total pemampatan selama periode layan yaitu 10 tahun sebesar 0,7759 m. Hasil perhitungan pemampatan total akibat beban bertahap disajikan dalam grafik

kumulatif pemampatan dengan waktu (Gambar 5.10) sedangkan perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3.

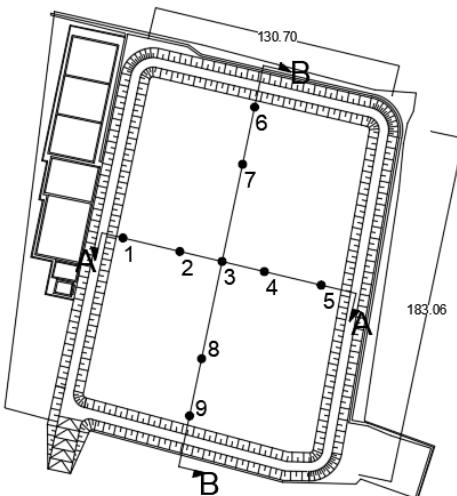


Gambar 5.10 Grafik hubungan besarnya pemampatan akibat beban bertahap dengan waktu

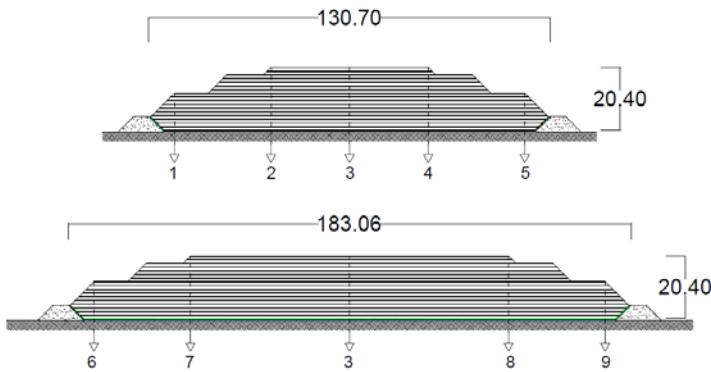
5.8. Perbedaan Besarnya Settlement Akibat Timbunan Berundak

Sebagai akibat dari timbunan berundak sampah, maka terjadi perbedaan besarnya beban sampah pada area tepi landfill dan area tengah landfill. Hal ini dapat mengakibatkan perbedaan nilai dari settlement yang terjadi pada tanah dasar landfill. Untuk membuktikan hal itu dilakukan perhitungan settlement pada

sembilan titik pada landfill seperti pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12.



Gambar 5.11 Ilustrasi titik uji perhitungan pemampatan



Gambar 5.12 Potongan melintang dan memanjang titik uji perhitungan pemampatan

Dalam perhitungan settlement ini digunakan persamaan 2.1, 2.2 dan 2.3 dengan beban sampah dibagi menjadi 4 lapisan.

Sebagai contoh untuk titik nomor 6 dalam perhitungan hanya mempertimbangkan beban akibat lapisan landfill 1 dan 2 dengan perhitungan untuk lapisan tanah dasar kedalaman 0-1 m sebagai berikut:

Distribusi tegangan ($\Delta\sigma$) beban sampah lapisan 1:

$$H_{timbunan} = 5 \text{ meter}$$

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

$$\Delta\sigma = I \times q$$

Dengan

$$I = I_1 \times i_1 + I_2 \times i_2$$

Dimana I_1 dan I_2 merupakan faktor pengaruh distribusi tegangan akibat beban trapezium untuk sisi kiri dan kanan sedangkan i_1 dan i_2 merupakan faktor pengaruh untuk beban terbatas untuk sisi memanjang dan melintang. Nilai faktor pengaruh distribusi tegangan ini didapatkan dari grafik pada Lampiran 6.

$$\begin{aligned} q &= (H_{timb}-h_{penutup}) \times \gamma_{sampah} + h_{penutup} \times \gamma_{tanah penutup} \\ &= (5 - 0,2 \times 6) \times 1,18 + 0,2 \times 6 \times 1,85 \\ &= 10,506 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$I = (0,5 \times 1 + 0,5 \times 1) = 1$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &= I \times q \\ &= 1 \times 10,506 = 10,506 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Distribusi tegangan ($\Delta\sigma$) beban sampah lapisan 2:

$$H_{timbunan} = 7 \text{ meter}$$

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

$$\Delta\sigma = I \times q$$

Dengan

$$I = I_1 \times i_1 + I_2 \times i_2$$

Dimana I_1 dan I_2 merupakan faktor pengaruh distribusi tegangan akibat beban trapezium untuk sisi kiri dan kanan sedangkan i_1 dan i_2 merupakan faktor pengaruh untuk beban

terbatas untuk sisi memanjang dan melintang. Nilai faktor pengaruh distribusi tegangan ini didapatkan dari grafik pada Lampiran 6.

$$\begin{aligned}
 q &= (H_{limb} - h_{penutup})x \gamma_{sampah} + h_{penutup} x \gamma_{tanah penutup} \\
 &= (7 - 0,2 \times 6) \times 1,18 + 0,2 \times 6 \times 1,85 \\
 &= 12,866 \text{ t/m}^2 \\
 I &= (0,267 \times 0,892 + 0,5 \times 1) = 0,738 \\
 \Delta\sigma &= I \times q \\
 &= 0,738 \times 12,866 = 7,755 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Tegangan overburden (σ_0')

$$\begin{aligned}
 \sigma_0' &= \gamma' \times z \\
 &= (1,693 - 1) \times 0,5 \\
 &= 0,3467 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Tegangan Pra-konsolidasi (σ_c)

$$\begin{aligned}
 \sigma_c &= \sigma_0' + (H_{fluktuasi} \times \gamma_w) \\
 &= 0,3467 + (1 \times 1) = 1,3467 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Pemampatan pada tanah kedalaman 0-1 akibat beban lapisan 1:

$$\begin{aligned}
 Sc &= \frac{c_s H_i}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{(0)}} \right) + \frac{c_c H_i}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma_{(0)} + \Delta\sigma}{\sigma_c} \right) \\
 &= \frac{0,0529 \times 1}{1+1,319} \log \left(\frac{1,3467}{0,3467} \right) + \frac{0,529 \times 1}{1+1,319} \log \left(\frac{0,3467 + 10,506}{1,3467} \right) \\
 &= 0,2203 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Pemampatan pada tanah kedalaman 0-1 akibat beban lapisan 2:

$$\begin{aligned}
 Sc &= \frac{c_s H_i}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{(0)} + \Delta\sigma_{tahap sebelumnya}} \right) + \frac{c_c H_i}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma_{(0)} + \Delta\sigma}{\sigma_c} \right) \\
 &= \frac{0,0529 \times 1}{1+1,319} \log \left(\frac{1,3467}{0,3467 + 10,506} \right) + \frac{0,529 \times 1}{1+1,319} \log \left(\frac{0,3467 + 7,755}{1,3467} \right) \\
 &= 0,7096
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan settlement akibat beban sampah lapisan 1 pada titik 6 untuk setiap lapisan tanah dasar dapat dilihat pada Tabel 5.11 sedangkan untuk settlement akibat beban sampah

lapisan 1 pada titik 6 dapat dilihat pada Tabel 5.12. Perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3.

Tabel 5.11 Hasil perhitungan settlement beban lapisan 1 titik 6

depth m	e_0	Cc	Cs	γ t/m^3	Sc m	ΣSc m
0-1	1.319	0.529	0.053	1.69	0.220	0.220
1-2	1.319	0.529	0.053	1.69	0.178	0.399
2-3	1.315	0.546	0.055	1.82	0.156	0.555
3-4	1.315	0.546	0.055	1.82	0.135	0.690

Tabel 5.12 Hasil perhitungan settlement beban lapisan 2 titik 6

depth m	e_0	Cc	Cs	γ t/m^3	Sc m	ΣSc m
0-1	1.319	0.529	0.053	1.69	0.019	0.710
1-2	1.319	0.529	0.053	1.69	0.019	0.729
2-3	1.315	0.546	0.055	1.82	0.020	0.749
3-4	1.315	0.546	0.055	1.82	0.020	0.769

Sehingga didapatkan total besarnya settlement pada titik 6 sebesar 0,769 m atau sekitar 77 cm. Dilakukan perhitungan yang sama untuk delapan titik lain. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.13, sedangkan perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3.

Dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan settlement terbesar yaitu 0,18 m atau 18 cm. Nilai perbedaan settlement ini kemudian akan digunakan sebagai pertimbangan dalam perencanaan jaringan perpipaan air lindi. Dimana air lindi akan dialirkan berdasarkan gravitasi.

Tabel 5.13 Besarnya settlement untuk setiap titik uji

Titik	Settlement
	m
1	0.7686
2	0.9418
3	0.9487
4	0.9418
5	0.7686
6	0.7686
7	0.9424
8	0.9424
9	0.7686

5.9. Stabilitas Timbunan Sampah dan Tanggulnya

Hasil perhitungan volume timbunan sampah dan kapasitas landfill pada tahun 2031 didapatkan 359131,577 m³ dan mempunyai ketinggian 20,4 m. Dari perencanaan geometri yang ada kemudian dianalisa stabilitas lereng timbunan sampah akibat kelongsoran internal untuk mendapatkan nilai faktor keamanan. Permen PU No. 3 Tahun 2013 pada Lampiran III sub bab stabilitas tumpukan sampah mensyaratkan nilai angka keamanan minimal 1,3. Perhitungan stabilitas lereng timbunan sampah menggunakan program bantu.

Adapun dalam pemodelan pada program bantu timbunan sampah digunakan beberapa material dengan parameter sebagai berikut:

1. Tanah penutup antara timbunan sampah

$$\begin{aligned}\gamma &= 1,85 \text{ ton/m}^3 \\ c &= 0 \text{ kPa} \\ \phi &= 32^\circ\end{aligned}$$

2. Sampah

$$\gamma = 1,18 \text{ ton/m}^3$$

$$c = 30 \text{ kPa}$$

$$\phi = 10^\circ$$

3. Lapisan lempung yang dipadatkan (*liner*)

$$\gamma = 1,8 \text{ ton/m}^3$$

$$c = 30 \text{ kPa}$$

$$\phi = 0^\circ$$

4. Lapisan kerikil (liner)

$$\gamma = 1,5 \text{ ton/m}^3$$

$$c = 0 \text{ kPa}$$

$$\phi = 40^\circ$$

5. Lapisan geomembran HDPE 2 mm

$$T_{\text{allow}} = 24,334 \text{ kNm}$$

6. Lapisan geogrid

$$T_{\text{allow}} = 18,365 \text{ kNm}$$

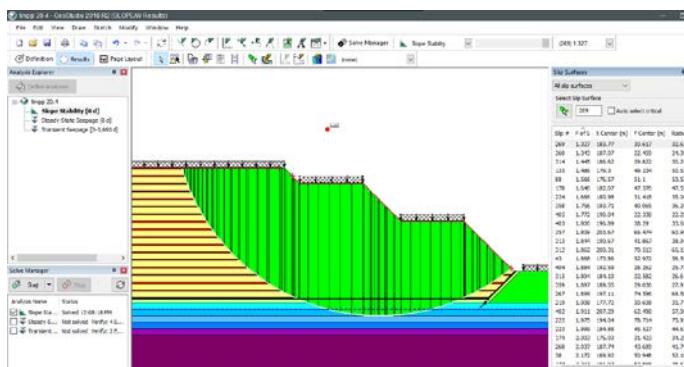
Sedangkan untuk tanah dasar tiap lapisannya parameter yang dimasukkan dalam program bantu sesuai dengan hasil analisis pada Tabel 4.3. Sisi datar pada undakan timbunan selebar 10 meter digunakan sebagai jalan untuk truk pengangkut sampah, serta sisi bagian atas digunakan untuk jalan alat berat berupa dozer untuk pemadatan sampah. Sehingga dalam pemodelan pada Program bantu perlu juga memasukkan beban lalu lintas berupa beban terbagi rata (*surcharge load*) sebesar 10 kN/m^2 (Bina Marga 2009).

Hasil analisa stabilitas internal lereng timbunan sampah untuk beberapa ketinggian timbunan sampah (Tabel 5.14) menunjukkan angka keamanan paling kecil senilai 1,327 (Gambar 5.13). Nilai angka keamanan ini sudah memenuhi persyaratan oleh Permen PU No. 3 Tahun 2013 pada Lampiran III sub bab stabilitas

tumpukan sampah, sehingga tidak perlu adanya perencanaan perkuatan pada lereng timbunan sampah.

Tabel 5.14 Hasil analisa stabilitas internal lereng timbunan untuk beberapa ketinggian timbunan sampah

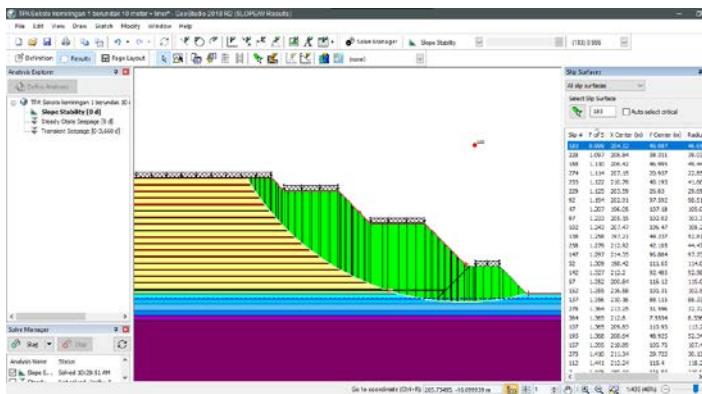
Ketinggian Sampah	Angka Keamanan
6	1,671
12	1,647
18	1,487
20,4	1,327



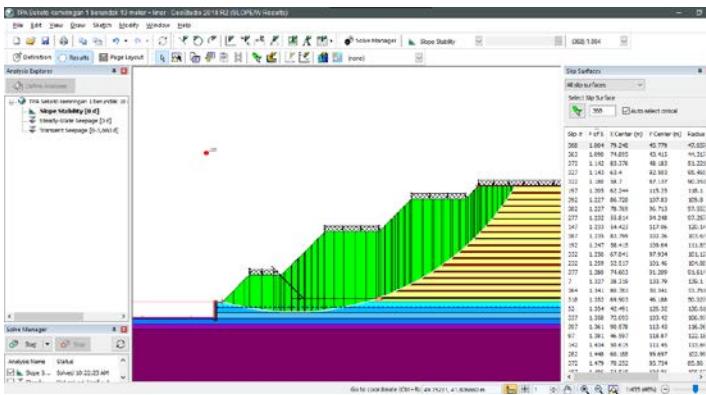
Gambar 5.13 Hasil analisa stabilitas internal lereng timbunan sampah settingi 20,4 m

Selain itu stabilitas timbunan sampah secara *overall* terhadap tanah dasar dibawah timbunan juga harus diperhitungkan, sehingga timbunan tidak longsor ke area diluar *landfill*. Perhitungan stabilitas overall dianalisa dengan program bantu. Hasil analisa menunjukkan bahwa nilai angka keamanan terhadap kelongsoran *overall* untuk timbunan menghadap sawah paling kecil senilai 0,999 (Gambar 5.14) dan untuk timbunan menghadap kolam IPAL paling kecil senilai 1,004 (Gambar 5.15). Nilai angka keamanan ini dinilai masih belum cukup, mengingat persyaratan angka keamanan pada Permen Pu No. 3 tahun 2013 minimum

sebesar 1.3, maka dari itu diperlukan perencanaan perkuatan pada tanah dasar.



Gambar 5.14 Stabilitas overall timbunan sampah menghadap sawah



Gambar 5.15 Stabilitas overall timbunan sampah menghadap Kolam IPAL

Timbunan sampah juga harus stabil terhadap ambles (*bearing capacity*) terhadap tanah dibawah timbunan itu sendiri. Nilai faktor keamanan terhadap bearing capacity untuk tanah berlapis menurut Meyerhof dan Hanna (1978) dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$FS = \frac{Q_{ult}}{Q_{act}}$$

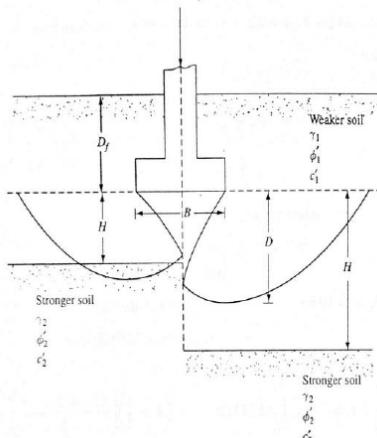
Dimana :

P_{act} = total beban yang bekerja

$$Q_{ult} = q_1 + \sum_{i=1}^n (q_{i+1} - q_i) \left(1 - \frac{H_{i+1}}{D_i}\right)^2$$

$$q = c \times N_c + \gamma \times D_f \times N_q + 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

Dengan N_c , N_q dan N_γ merupakan faktor/koefisien daya dukung oleh Caquot dan Kerisel.



Gambar 5.16 Ilustrasi *bearing capacity* tanah berlapis

Nilai faktor/koefisien daya dukung didapatkan dengan interpolasi, hasil interpolasi ditunjukkan dalam Tabel 5.15

Tabel 5.15 Nilai faktor/koefisien daya dukung

Depth	ϕ	N_c	N_q	N_γ
0 – 2	3.54	6.102	0.071	1.424
2 – 4	4.32	6.315	0.086	1.518
4 – 6	7.5	7.45	0.3	2.05

Untuk $D_f = 0$ meter dan B selebar timbunan, maka daya dukung untuk setiap lapisan tanah sesuai dengan Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Nilai daya dukung tanah tiap lapisan

Depth	γ	c	φ	q ton/m ²
	ton/m ³	ton/m ²		
0 - 1	1.7161	1.2329	3.54	15.4556
1 - 2	1.7161	2.3512	3.54	22.2793
2 - 3	1.8199	4.3145	4.32	37.5167
3 - 4	1.8199	7.4542	4.32	57.3423
4 - 5	1.8950	15.7759	7.50	154.6817
5 - 6	1.8950	20.0346	7.50	186.4090

Berdasarkan hasil analisa stabilitas overall, didapatkan kedalaman bidang longsor sedalam 1,878 meter. Sehingga:

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= 15,4556 + (22,2793 - 15,4556) \left(1 - \frac{2}{1,878}\right)^2 \\ &= 15,484 \end{aligned}$$

Untuk ketinggian timbunan sampah 6 m

$$\begin{aligned} Q_{act} &= \gamma_{timb} Z + q \\ &= (1,18 \times 5) + (1,85 \times 0,2 \times 5) + 1 \\ &= 8,75 \text{ ton/m}^2 \\ FS &= \frac{15,484}{8,75} = 1,7696 \end{aligned}$$

Untuk ketinggian timbunan sampah 12 m

$$\begin{aligned} Q_{act} &= \gamma_{timb} Z + q \\ &= (1,18 \times 10) + (1,85 \times 0,2 \times 10) + 1 \\ &= 16,5 \text{ ton/m}^2 \\ FS &= \frac{15,484}{16,5} = 0,938 \end{aligned}$$

Untuk ketinggian timbunan sampah 18 m

$$\begin{aligned} Q_{act} &= \gamma_{timb} Z + q \\ &= (1,18 \times 15) + (1,85 \times 0,2 \times 15) + 1 \\ &= 24,25 \text{ ton/m}^2 \\ FS &= \frac{15,484}{24,25} = 0,639 \end{aligned}$$

Untuk ketinggian timbunan sampah 20,4 m

$$\begin{aligned} Q_{act} &= \gamma_{timb} Z + q \\ &= (1,18 \times 17) + (1,85 \times 0,2 \times 17) + 1 \\ &= 24,072 \text{ ton/m}^2 \\ FS &= \frac{15,484}{27,35} = 0,566 \end{aligned}$$



Gambar 5.17 Grafik hubungan antara tinggi timbunan dan angka keamanan terhadap daya dukung tanah

Dari hasil perhitungan, faktor keamanan untuk ketinggian sampah 20,4 meter bernilai 0,566. Nilai angka keamanan ini tidak kuat untuk menahan beban timbunan agar tidak ambles, sehingga diperlukan perkuatan tanah dasar untuk kestabilan timbunan sampah.

5.10. Ketinggian Kritis Timbunan Sampah dan Peningkatan Daya Dukung Tanah

Berdasarkan grafik 5.17, maka didapatkan ketinggian kritis (H_{kritis}) sebesar 10,8 meter, dimana angka keamanan terhadap daya

dukung tanah bernilai 1,035. Nilai ketinggian kritis ini kemudian akan digunakan sebagai dasar dalam perhitungan perubahan daya dukung tanah akibat beban bertahap timbunan sampah.

Dengan adanya kenaikan tegangan yang diterima oleh tanah dasar, maka terjadi kenaikan daya dukung (cu). Setelah mendapatkan perubahan tegangan setiap tahapan dapat dihitung kenaikan daya dukung tanah dasar (cu). Perhitungan kenaikan daya dukung menggunakan rumus Ardana dan Mochtar (1999). Dalam perhitungan kenaikan daya dukung ini perubahan tegangan yang diperhitungkan hanya sampai akibat timbunan sampah setinggi $H_{kritis} = 10,8$ meter dengan waktu penimbunan hingga 80 bulan.

Untuk menghitung kenaikan daya dukung tanah dasar perlu dihitung tegangan yang diterima oleh tanah dasar akibat timbunan pertahapnya. Berikut adalah contoh perhitungan tegangan untuk kedalaman 0-1 m untuk timbunan tahap 1.

Umur tahap = 80 Bulan

$$U_{80} = 0,842$$

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

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

$$\begin{aligned} q &= (\gamma_{\text{sampah}} \times n_{\text{tahap}} \times 1 \text{ m} + \gamma_{\text{tanah penutup}} \times n_{\text{tahap}} \times 0,2 \text{ m}) \\ &= 1,18 \times 1 \times 1 + 1,85 \times 1 \times 0,2 \\ &= 1,55 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_0' &= \gamma' \times z \\ &= (1,716-1) \times 0,5 = 0,358 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\Delta\sigma_1 = I \times q = 0,99 \times 1,55 = 1,549 \text{ ton/m}^2$$

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

$$\begin{aligned} \sigma_1' &= \sigma_0' + \Delta\sigma_1 \\ &= 0,358 + 1,549 = 1,91 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

Distribusi tegangan akibat tahap 1 pada kedalaman 0-1 meter untuk umur tahap 80 bulan.

$$\Delta p_1 = \left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_0'} \right)^{U_{80}} \times \sigma_0' - \sigma_0'$$

$$\Delta p_1 = \left(\frac{1,91}{0,358} \right)^{0,842} \times 0,358 - 0,358$$

$$= 1,108 \text{ ton/m}^2 = 0,1108 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan cara yang sama dihitung perubahan tegangan dan distribusi tegangan akibat setiap tahapan penimbunan hingga ketinggian $H_{kritis} = 10,8 \text{ m}$ (tahap 9). Hasil perhitungan perubahan tegangan untuk setiap tahap hingga tahap 9 ditunjukkan pada Lampiran 3.

Berikut adalah contoh perhitungan kenaikan daya dukung tanah pada kedalaman 0-1 m akibat beban 9 tahap.

$$\begin{aligned} Cu_{awal} &= 0,1233 \text{ kg/cm}^2 \\ \Delta p_9 &= 0,8602 \text{ kg/cm}^2 \\ PI &= 39,36 \% \\ Cu_{baru} &= 0,0737 + (0,1889 - 0,0016 PI) \times \sigma' \\ &= 0,0737 + (0,1189 - 0,0016 \times 39,36\%) \times 0,8602 \\ &= 0,2365 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Perubahan nilai Cu akan digunakan dalam analisis stabilitas timbunan sampah. Hasil perhitungan peningkatan nilai Cu ditunjukkan pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Hasil perhitungan peningkatan nilai Cu

depth	PI (%)	Cu lama		Δp ton/m ³	Cu baru	
		kg/cm ²	Ton/m ²		kg/cm ²	Ton/m ²
0 – 1	39.36	0.1233	1.2329	8.602	0.2365	2.3652
1 – 2	39.36	0.2351	2.3512	9.450	0.2525	2.5254
2 – 3	38.32	0.4315	4.3145	10.273	0.2682	2.6816
3 – 4	38.32	0.7454	7.4542	11.126	0.2843	2.8431

5.11. Peningkatan Stabilitas Timbunan Sampah dan Tanggulnya Akibat Perubahan Parameter Tanah Dasar

Dengan adanya timbunan sampah maka akan terjadi pemampatan pada tanah dasar TPA. Pemampatan akibat timbunan sampah setinggi H_{kritis} (10,8 m) akan mengakibatkan angka pori tanah dasar mengecil, berat volume tanah dasar membesar dan penurunan kadar air. Perubahan-peruahan nilai tersebut akan mengakibatkan peningkata daya dukung tanah.

Dalam analisa stabilitas terhadap *bearing capacity* kali ini terdapat perubahan daya dukung tanah dasar. Nilai parameter C_u yang digunakan dalam perhitungan sesuai dengan hasil perhitungan peningkatan daya dukung tanah akibat beban bertahap sampah setinggi H_{kritis} (10,8 m) sesuai dengan Tabel 5.19. Nilai faktor keamanan terhadap bearing capacity untuk tanah berlapis dihitung berdasarkan rumusan Meyerhof dan Hanna (1978) :

$$FS = \frac{Q_{ult}}{Q_{act}}$$

Dimana :

P_{act} = total beban yang bekerja

$$Q_{ult} = q_1 + \sum_{i=1}^n (q_{i+1} - q_i) \left(1 - \frac{H_{i+1}}{D_i}\right)^2$$

$$q = c \times N_c + \gamma \times D_f \times N_q + 0,5 \times \gamma \times B \times N_y$$

Dengan N_c , N_q dan N_y merupakan faktor/koefisien daya dukung oleh Caquot dan Kerisel. Nilai faktor/koefisien daya dukung didapatkan dengan interpolasi, hasil interpolasi ditunjukkan dalam Tabel 5.17. Untuk $D_f = 0$ meter dan B selebar timbunan, maka daya dukung untuk setiap lapisan tanah sesuai dengan Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Nilai daya dukung tanah dengan parameter Cu yang sudah meningkat

Depth	γ	c	φ	q
	ton/m ³	ton/m ²		ton/m ²
0 - 1	1.7161	2.3652	3.54	22.3648
1 - 2	1.7161	2.5254	3.54	23.3426
2 - 3	1.8199	13.94751	4.32	37.5167
3 - 4	1.8199	15.04436	4.32	57.3423
4 - 5	1.8950	15.7759	7.50	154.6817
5 - 6	1.8950	20.0346	7.50	186.4090

Berdasarkan hasil analisa stabilitas overall, didapatkan kedalaman bidang longsor sedalam 1,878 meter. Sehingga:

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= 22,3648 + (23,3426 - 22,3648) \left(1 - \frac{2}{1,878}\right)^2 \\ &= 45,613 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk ketinggian timbunan sampah hingga 20,4 m (17 lapis)

$$\begin{aligned} Q_{act} &= \gamma_{timb} Z + q \\ &= (1,18 \times 17) + (1,85 \times 0,2 \times 17) + 1 \\ &= 27,35 \text{ ton/m}^2 \\ FS &= \frac{45,613}{27,35} = 1,668 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, setelah adanya peningkatan daya dukung tanah akibat beban bertahap hingga ketinggian kritis, faktor keamanan terhadap daya dukung tanah (*bearing capacity*) untuk ketinggian sampah mencapai 20,4 meter meningkat menjadi 1,668. Nilai angka kemanan ini sudah kuat untuk menahan beban timbunan agar tidak ambles.

5.12. Perkuatan Tanah Dasar Untuk Peningkatan *Overall Stability* dari Timbunan Sampah dan Tanggulnya

Perkuatan tanah dasar dibawah timbunan sampah direncanakan untuk menjaga kestabilan terhadap *overall* timbunan

sampah dan tanggul yang ada diatasnya agar tidak terjadi kelongsoran. Perkuatan tanah direncanakan menggunakan cerucuk/*micropile* dengan faktor keamanan yang direncanakan sebesar 1,3. Perkuatan tanah dihitung berdasarkan tinggi timbunan sampah maksimum selama periode layan yaitu setinggi 20,4 meter sebelum adanya peningkatan daya dukung tanah.

Direncanakan *micropile* yang digunakan dalam perencanaan perkuatan tanah dasar yaitu Spun pile produksi PT. Wika Beton dengan ukuran diameter 500 mm kelas C dengan spesifikasi sebagai berikut:

Diameter (d)	= 500 mm
Ketebalan	= 90 mm
Momen Inersia	= 255324,30 cm ⁴
Berat	= 290 kg/m
Bending Moment Crack	= 17 ton.m = 17000 kgm
Panjang	= 6 – 12 m
F'c	= 52 MPa
E	= $4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{52}$ = 33892,18 MPa = 338921,8 kg/cm ²

Berdasarkan hasil analisa stabilitas overall timbunan sampah dengan ketinggian 20,4 m menggunakan program bantu untuk timbunan sampah menghadap sawah didapatkan data bidang longsor sebagai berikut:

SF	= 0,99
Jari-jari kelongsoran	= 46,66
Momen penahanan	= 97995,015 kNm = 9799501,5 kgm
Momen dorong	= 98128,875 kNm = 9812887,5 kgm
Titik pusat	= (204,32; 45,09)

Sehingga momen penahan tambahan yang diperlukan agar angka keamanan 1,3 tercapai:

$$\begin{aligned}\Delta M &= (1,3 \times 9812,875) - 97995,015 \\ &= 29572,52 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Berdasarkan Gambar 2.8, untuk tanah dasar landfill dengan :

$$\begin{aligned}c_u &= 2,351 \text{ t/m}^2 = 0,235 \text{ kg/cm}^2 \\ q_u &= 2 \times 0,235 \times 0,977 \\ &= 0,459 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Didapatkan koefisien modulus tanah sebesar:

$$\begin{aligned}f &= 4 \text{ ton/f}^3 \\ &= 4 \times 0,032 = 0,128 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$

Sehingga besarnya faktor kekakuan relatif (T):

$$\begin{aligned}T &= \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} \\ &= \left(\frac{338921,8 \times 255324,30}{0,128}\right)^{1/5} \\ &= 232,27 \text{ cm} = 2,3227 \text{ m}\end{aligned}$$

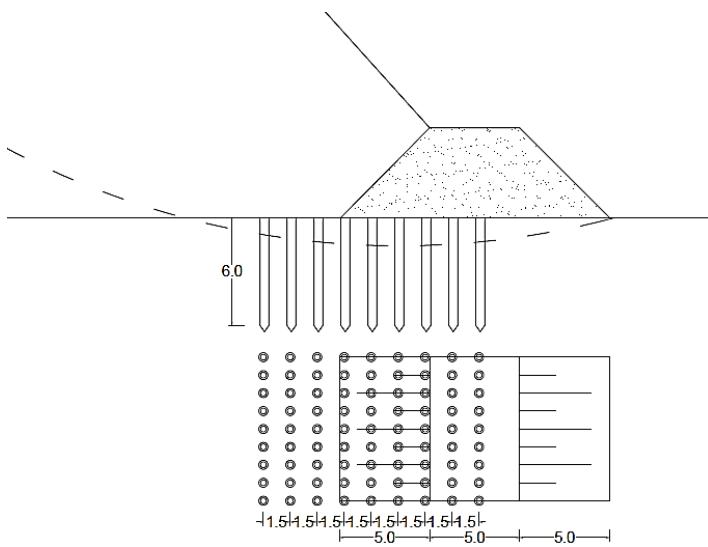
Dengan nilai T = 2,32 m dan z = 0 m, berdasarkan Gambar 2.9, maka nilai koefisien momen lentur (Fm) = 1. Maka, gaya maksimum (P max) yang dapat ditahan oleh 1 cerucuk:

$$\begin{aligned}P_{\max 1 \text{ cerucuk}} &= \frac{M_{p \max 1 \text{ cerucuk}}}{F_m \times T} \\ &= \frac{17000}{1 \times 2,3227} = 7319,014 \text{ kg}\end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan jumlah cerucuk untuk setiap lebar 1 m:

$$\begin{aligned}n &= \frac{(SF_{\text{rencana}} - SF_{\text{existing}})}{P_{\max 1 \text{ cerucuk}} \times R} M_D \\ &= \frac{(1,3 - 0,99)}{7319,024 \times 46,66} \times 9812887,5 = 8,65\end{aligned}$$

Jadi, dibutuhkan 9 cerucuk untuk setiap lebar timbunan 1 meter. Adapun untuk jarak pemasangan cerucuk akan digunakan selebar 1,5 meter seperti pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Perkuatan cerucuk untuk lereng timbunan menghadap sawah

Untuk perkuatan tanah dasar untuk timbunan sampah menghadap kolam IPAL akan digunakan micropile dengan spesifikasi yang sama. Berdasarkan hasil analisa stabilitas overall timbunan sampah dengan ketinggian 20,4 m menggunakan program bantu untuk lereng timbunan menghadap kolam IPAL didapatkan data bidang longsor sebagai berikut:

$$SF = 1,004$$

$$\text{Jari-jari kelongsoran} = 47,66$$

$$\begin{aligned} \text{Momen penahanan} &= 108325,47 \text{ kNm} \\ &= 10832547 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen dorong} &= 107908,73 \text{ kNm} \\ &= 10790873 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\text{Titik pusat} = (79,25; 45,78)$$

Sehingga momen penahan tambahan yang diperlukan agar angka keamanan 1,3 tercapai:

$$\begin{aligned}\Delta M &= (1,3 \times 107908,73) - 108325,47 \\ &= 31955,88 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Berdasarkan Gambar 2.8, untuk tanah dasar landfill dengan :

$$\begin{aligned}c_u &= 2,351 \text{ t/m}^2 = 0,235 \text{ kg/cm}^2 \\ q_u &= 2 \times 0,235 \times 0,977 \\ &= 0,459 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Didapatkan koefisien modulus tanah sebesar:

$$f = 4 \text{ ton/ft}^3 = 4 \times 0,032 = 0,128 \text{ kg/cm}^3$$

Sehingga besarnya faktor kekakuan relatif (T):

$$\begin{aligned}T &= \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} \\ &= \left(\frac{338921,8 \times 255324,30}{0,128}\right)^{1/5} \\ &= 232,27 \text{ cm} = 2,3227 \text{ m}\end{aligned}$$

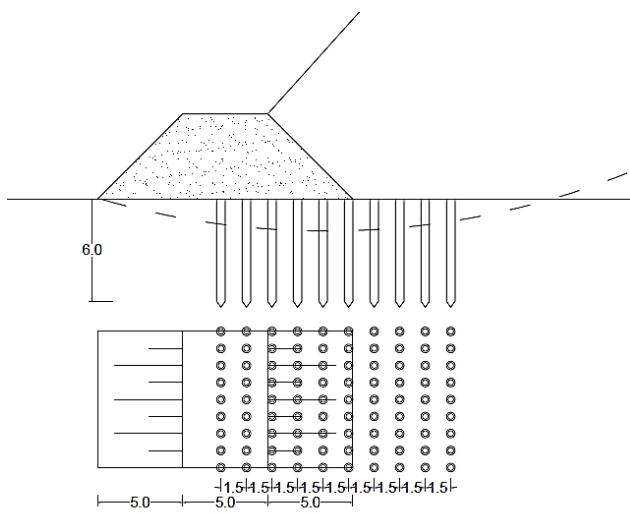
Dengan nilai $T = 2,32 \text{ m}$ dan $z = 0 \text{ m}$, berdasarkan gambar 2.9, maka nilai koefisien momen lentur (F_m) = 1. Maka, gaya maksimum (P_{\max}) yang dapat ditahan oleh 1 cerucuk:

$$\begin{aligned}P_{\max \text{ 1 cerucuk}} &= \frac{M_{p \max \text{ 1 cerucuk}}}{F_m \times T} \\ &= \frac{17000}{1 \times 2,3227} = 7319,014 \text{ kg}\end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan jumlah cerucuk untuk setiap lebar 1 m:

$$\begin{aligned}n &= \frac{(SF_{\text{rencana}} - SF_{\text{existing}})}{P_{\max \text{ 1 cerucuk}} \times R} M_D \\ &= \frac{(1,3 - 0,99)}{7319,024 \times 47,66} \times 10790873 = 9,15\end{aligned}$$

Jadi, didapatkan kebutuhan cerucuk untuk setiap lebar timbunan 1 meter sebanyak 10 buah cerucuk. Adapun untuk jarak pemasangan cerucuk akan digunakan selebar 1,5 meter seperti pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Perkuatan cerucuk untuk lereng timbunan menghadap kolam IPAL

BAB VI

PERENCANAAN JARINGAN DAN DIMENSI PIPA AIR LINDI DI DASAR TPA SEKOTO

6.1. Perencanaan Jaringan Pipa Air Lindi

Berdasarkan perhitungan pada Subbab 5.8 terdapat perbedaan settlement sebesar 0,18 m atau 18 cm antara area tepi landfill dan area tengah landfill akibat dari beban berundak sampah. Area tengah landfill mengalami settlement yang paling besar sehingga aliran air lindi akan menuju dan menggenang ditengah landfill. Dengan mengacu pada Pasal 49 Permen PU No. 3 Tahun 2013 dimana cara pengaliran air lindi didasarkan pada aliran gravitasi, maka perencanaan jaringan perpipaan akan dikumpulkan ke tengah landfill (Gambar 6.1) dimana nantinya air lindi akan disedot menggunakan pompa air.

6.2. Perhitungan Debit Rencana

Dalam perhitungan debit rencana air lindi ini tidak mempertimbangkan koefisien rembesan sampah dan jenis sampah terhadap jumlah produksi lindi dan lamanya proses rembesan air lindi ke dasar landfill. Perhitungan didasarkan pada Permen PU No. 3 Tahun 2013 pada Lampiran III pada Sub bab Sarana Prasarana TPA, dimana perhitungan debit rencana air lindi menggunakan model atau dengan perhitungan yang didasarkan atas asumsi:

1. Hujan terpusat pada 4 jam sebanyak 90% (*Van Breen*), sehingga faktor puncak = 5,4. Maksimum hujan yang jatuh 20-30% diantaranya menjadi lindi.

2. Dalam 1 bulan, maksimum terjadi 20 hari hujan
3. Data presipitasi diambil berdasarkan data harian atau tahunan maksimum dalam 5 tahun terakhir
4. Kecepatan pengaliran air lindi pada pipa sebesar 0,6-3 m/detik dengan rasio air dalam saluran maksimal 80%

Sebagai contoh perhitungan debit rencana air lindi untuk saluran Primer P2 dimana saluran menerima aliran air lindi dari saluran Primer P1 dan satu saluran Sekunder S2 sebagai berikut:

Besarnya debit air dihitung berdasarkan rumus 2.64.

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Dimana:

Q = debit (m^3/detik)

C = koefisien pengaliran

I = intensitas hujan maksimum (mm/jam)

A = luas daerah aliran (km^2)

Untuk saluran Primer P2:

C = 0,2 (pipa HDPE)

I = 17,708 mm/jam

A = 0,023873 km^2

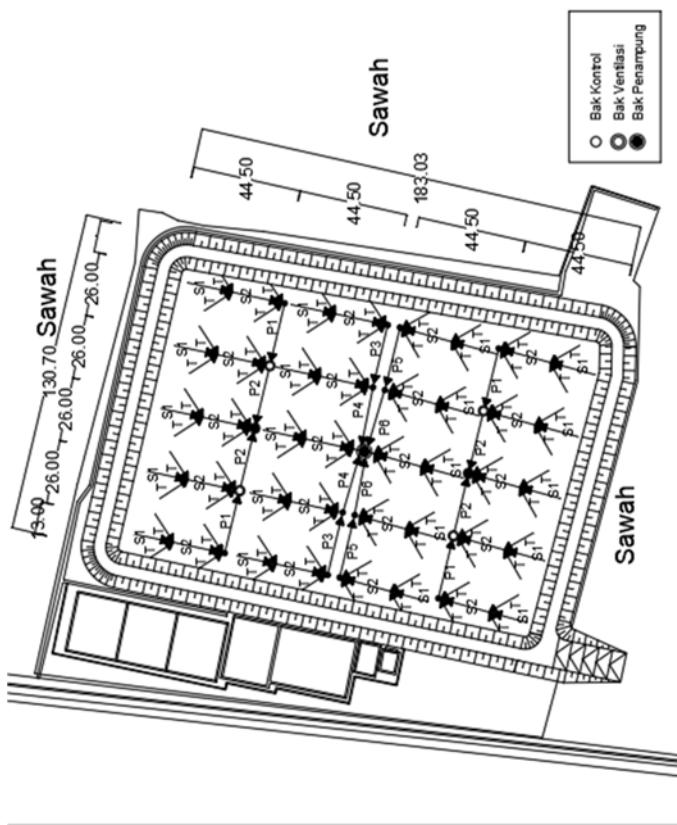
Sehingga besarnya air lindi yang mengalir pada pipa P2:

$$Q_{\text{lindi}} = 30\% \times 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

$$= 0,3 \times 0,278 \times 0,2 \times 17,708 \times 0,023873$$

$$= 0,007051 \text{ m}^3/\text{detik} = 7,051 \text{ liter/detik}$$

Hasil perhitungan debit air lindi untuk pipa lain dapat dilihat pada Tabel 6.1 sedangkan perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.



Gambar 6.1 Perencanaan jaringan pipaan air lindi

Tabel 6.1 Hasil perhitungan debit air lindi

Saluran		Luas DAS Km2	C	Qlindi	
				m ³ /detik	l/detik
Teriser	T	0.00030	0.2	0.000088	0.08815
Sekunder	S1	0.00030	0.2	0.000088	0.08815
	S2	0.00060	0.2	0.000176	0.17629
Primer	P1	0.00119	0.2	0.000353	0.35258
	P2	0.00239	0.2	0.000705	0.70517
	P3	0.00119	0.2	0.000353	0.35258
	P4	0.00239	0.2	0.000705	0.70517
	P5	0.00119	0.2	0.000353	0.35258
	P6	0.00239	0.2	0.000705	0.70517

6.3. Perhitungan Kapasitas Pipa

Kapasitas saluran air lindi dihitung berdasarkan persamaan 2.63.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$$

Dengan :

Q = debit aliran lindi

A = luas penampang basah saluran

R = jari-jari hidrolik

S = kemiringan lahan, dimana kemiringan landfill dihitung berdasarkan perbedaan besarnya settlement

n = koefisien manning, (n = 0,017 untuk pipa HDPE)

Dalam perencanaan kapasitas pipa ini, dilakukan trial nilai jari-jari pipa untuk mendapatkan nilai selisih antara kapasitas pipa dan debit air lindi seminimal mungkin. Trial ini dibantu dengan program bantu Microsoft Excel dengan perintah What-If Analysis Goal Seek.

Untuk saluran Primer P2 direncanakan air mengalir setinggi 80% dari diameter pipa, dan jari-jari pipa = 46,341 mm (Hasil trial menggunakan Microsoft Excel) maka berdasarkan Tabel 2.12:

$$\begin{aligned} R &= 1,217 \text{ r} = 1,217 \times 46,341 \\ &= 56,397 \text{ mm} = 0,564 \text{ dm} \\ A &= 0,858 a = 0,858 \pi r^2 \\ &= 0,858 \pi 46,341^2 = 5790,83 \text{ mm}^2 = 0,579 \text{ dm}^2 \\ \text{dengan kemiringan lahan sebesar} \\ S &= \frac{\text{Perbedaan settlement antara 2 titik}}{\text{Jarak antara 2 titik}} \\ &= \frac{0,18006}{58,35} = 0,003086 \end{aligned}$$

Maka besarnya kapasitas debit pipa:

$$\begin{aligned} Q_{\text{pipa}} &= \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2} \\ &= \frac{1}{0,017} 0,579 \times 0,564^{2/3} \times 0,003086^{1/2} \\ &= 0,70536 \text{ liter/detik} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{pipa}} = 0,70536 \text{ l/detik} > Q_{\text{lindi}} = 0,7051 \text{ l/detik}$$

Hasil trial dan perhitungan kapasitas pipa dapat dilihat pada Tabel 6.2. sedangkan perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4. Maka untuk saluran Primer P2 dapat menggunakan pipa dengan jari-jari minimum 46,341 mm. Adapun dalam pasaran ukuran pipa tidak dapat dipesan sesuai dengan hasil perhitungan. Dimana untuk ukuran jari-jari pipa sebesar 46,341 atau diameter 92,682 mm tidak tersedia. Maka dari itu digunakan pipa dengan ukuran diameter lebih besar yang tersedia dipasaran. Dalam hal ini untuk ukuran pipa yang mendekati 92,682 mm yaitu 114 mm. Maka untuk saluran Primer P2 digunakan pipa dengan diameter 114 mm. Hasil perencanaan ukuran pipa dapat dilihat pada Tabel 6.3.

Tabel 6.2 Hasil perhitungan kapasitas debit pipa

Saluran	d/D	Kemiringan	n	r	R	A	Q
				mm	dm	dm ²	l/detik
T	0.4	0.000309	0.017	2.916	0.0250	0.0010	0.0883
S1	0.4	0.000213	0.017	3.850	0.0330	0.0017	0.0883
S2	0.4	0.000213	0.017	10.871	0.0932	0.0139	0.1765
P1	0.8	0.000309	0.017	16.385	0.1994	0.0724	0.3527
P2	0.8	0.000309	0.017	46.341	0.5640	0.5791	0.7054
P3	0.8	0.000309	0.017	16.385	0.1994	0.0724	0.3527
P4	0.8	0.000309	0.017	46.341	0.5640	0.5791	0.7054
P5	0.8	0.000309	0.017	16.385	0.1994	0.0724	0.3527
P6	0.8	0.000309	0.017	46.341	0.5640	0.5791	0.7054

Tabel 6.3 Hasil perencanaan ukuran pipa air lindi

Saluran		Diameter hasil perhitungan (mm)	Diameter minimum persyaratan (mm)	Diameter pakai (mm)
Tersier	T	5.831	30	32
Sekunder	S1	7.700	30	32
	S2	21.742	30	32
Primer	P1	32.770	30	42
	P2	92.682	30	114
	P3	32.770	30	42
	P4	92.682	30	114
	P5	32.770	30	42
	P6	92.682	30	114

6.4. Fasilitas Penunjang Jaringan Perpipaan Air Lindi

Berdasarkan Permen Pu No. 3 Tahun 2013 pada Lampiran III sub bab sarana dan prasarana TPA, saluran pengumpul lindi

terdiri dari saluran sekunder dan primer, bak penampung serta ventilasi gas. Ventilasi gas berfungsi untuk mengalirkan dan mengurangi akumulasi tekanan gas. Sedangkan bak penampung digunakan untuk menampung air lindi sebelum dialirkan ke kolam IPAL. Lindi yang mengalir dari saluran primer pengumpul lindi dapat ditampung pada bak penampung lindi dengan kriteria:

1. Bak penampung lindi harus kedap air dan tahan asam
2. Ukuran bak penampung disesuaikan dengan kebutuhan.

Sedangkan kriteria teknis untuk ventilasi gas sebagai berikut:

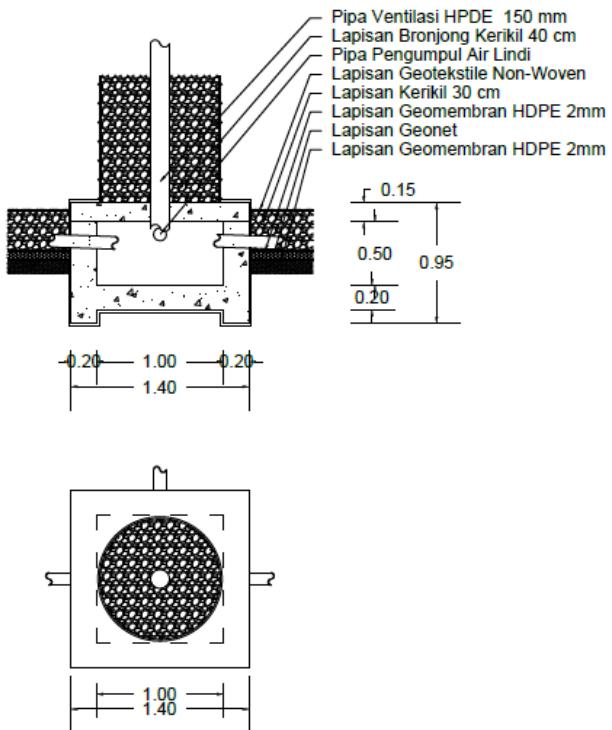
1. Pipa ventilasi dipasang dari dasar TPA secara bertahap pada setiap lapisan sampah dan dapat dihubungkan dengan pipa pengumpul lindi.
2. Pipa ventilasi gas berupa pipa HDPE diameter 150 mm (diameter lubang perforasi maksimum 1,5 cm) yang dikelilingi oleh saluran bronjong berdiameter 400 mm dan diisi batu pecah berdiameter 50-100 mm.
3. Ketinggian pipa ventilasi tergantung pada rencana tinggi timbunan (setiap lapisan sampah ditambah 50 cm)
4. Pipa ventialasi pada akhir timbunan harus ditambah dengan pipa besi diameter 150 mm.
5. Gas yang keluar dari ujung pipa besi harus dibakar atau dimanfaatkan sebagai energy alternatif
6. Jarak antara pipa ventilasi gas 50-70 m.
7. Pada sistem lahan urug sanitari (*sanitary landfill*) gas bio harus dialirkan ke udara terbuka melalui ventilasi sistem penangkap gas, lalu dibakar ada gas flare. Sangat dianjurkan menangkap gas bio tersebut untuk dimanfaatkan.
8. Metode untuk membatasi dan menangkap pergerakan gas adalah:

- a. Menempatkan materi impermeabel pada atau di luar perbatasan lahan urug untuk menghalangi aliran gas
 - b. Menempatkan materi granular pada atau di luar perbatasan lahan urug (perimeter) untuk penyaluran dan atau pengumpulan gas
 - c. Pembuatan sistem ventilasi penangkap gas di dalam lokasi ex-TPA.
9. Sistem penangkap gas dapat berupa:
- a. Ventilasi horizontal: yang bertujuan untuk menangkap aliran gas dalam dari satu sel atau lapisan sampah
 - b. Vantilasi vertikal: merupakan ventilasi yang mengarahkan dan mengalirkan gas yang terbentuk ke atas

Pipa ventilasi direncanakan berdasarkan acuan peraturan tersebut, sedangkan untuk ukuran bak penampung atau bak penampung yang terkombinasi dengan pipa ventilasi digunakan perencanaan yang sudah ada sebelumnya.

Ketinggian pipa ventilasi pada awalnya direncanakan setinggi 2 meter atau 50 cm lebih tinggi dari lapisan sel sampah pertama. Pipa ventilasi perlu disambung hingga ketinggiannya 50 cm melebihi ketinggian lapisan sel kedua apabila lapisan sel pertama sudah penuh dan seterusnya hingga lapisan sel tertinggi. Begitu pula dengan sumur atau bak penampung air lindi, sumur penampung air lindi pada awalnya direncanakan setinggi 2,5 meter atau 1 meter lebih tinggi dari lapisan sel sampah pertama. Sumur perlu dicor lagi hingga ketinggiannya 1 meter melebihi ketinggian lapisan sel kedua apabila lapisan sel pertama sudah penuh dan seterusnya hingga lapisan sel tertinggi.

Detil gambar untuk ukuran bak ventilasi dan pipa ventilasi dapat dilihat pada Gambar 6.2, lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 7.



Gambar 6.3 Detail bak ventilasi

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB VII

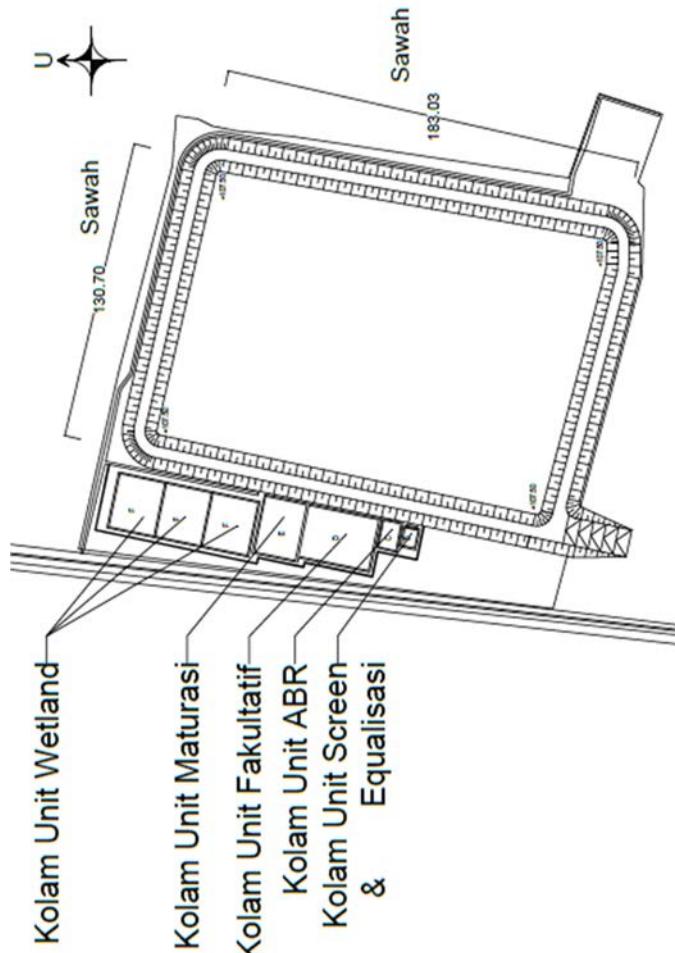
PERENCANAAN STRUKTUR KOLAM IPAL

7.1. Dimensi Kolam IPAL dan Dasar Perencanaan

Kolam IPAL dibuat untuk mengolah air lindi yang dihasilkan sampah pada zona penimbunan sampah/*landfill*. Dalam perencanaan TPA Sekoto Baru ini terdapat tujuh buah kolam yang akan direncanakan, yaitu kolam screen, kolam equalisasi, kolam unit ABR, kolam fakultatif, kolam maturase dan 3 kolam wetland (Gambar 7.1). Adapun dalam perencanaan ini tidak memperhitungkan pengaruh jumlah produksi air lindi terhadap kapasitas dari setiap kolam yang ada. Dimensi kolam lindi mengacu pada perencanaan yang sudah ada sebelumnya. Adapun dimensi kolam yang akan direncanakan tersebut seperti pada Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Dimensi kolam IPAL

Nama Kolam	Panjang (m)	Lebar (m)	Kedalaman (m)
Unit Screen	7,5	1,5	1,5
Unit Equalisasi	9	7,5	3,2
Unit ABR	13,5	9	3,2
Unit Fakultatif	31,2	24	3,9
Unit Maturasi	26	20	2,8
Unit Wetland 1	20	25	1,6
Unit Wetland 2	20	25	1,6
Unit Wetland 3	20	25	1,6



Gambar 7.1 Tampak atas lokasi kolam IPAL

Kolam harus direncanakan mempunyai struktur yang kuat untuk menerima beban yang akan bekerja pada struktur kolam itu sendiri. Pada perencanaan kolam IPAL beban hidup harus dipertimbangkan pada saat kolam IPAL terisi air maupun kolam IPAL masih dalam keadaan kosong. Sedangkan beberapa beban eksternal yang harus dipertimbangkan yaitu beban akibat tekanan lateral yang bekerja pada dinding kolam IPAL dan beban akibat gaya uplift akibat tekanan air yang bekerja pada pelat lantai kolam IPAL.

Adapun dalam perencanaan ini kondisi yang direncanakan yaitu pada saat kolam IPAL dalam keadaan kosong. Kondisi ini merupakan kondisi kritis, dimana tekanan tanah horizontal dan tekanan air tanah yang bekerja pada dinding kolam tidak akan tereduksi atau berkurang akibat tekanan air dalam kolam jika keadaan kolam IPAL sedang kosong. Hal yang sama terjadi pada lantai kolam, saat kolam dalam keadaan kosong, gaya akibat tekanan uplift air tanah juga tidak akan tereduksi atau berkurang.

Selain struktur kolam IPAL harus kuat menahan beban, struktur kola mini juga harus kedap air. Adapun dalam perencanaan ini untuk memenuhi persyaratan kolam harus kedap air, maka bagian luar struktur kolam akan dilapisi dengan lapisan kedap air, geomembrane HDPE 2 mm.

7.2. Perencanaan Struktur Pelat Lantai

Sebelum melakukan perhitungan, dilakukan analisa terlebih dahulu mengenai data yang akan digunakan dalam perencanaan. Selain itu juga dilakukan perencanaan awal/*preliminary design* guna mempermudah perencanaan.

Sebagai contoh untuk perhitungan perencanaan struktur kolam fakultatif, data-data yang digunakan dalam perencanaan ini sebagai berikut:

a. Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam perhitungan sesuai dengan Tabel 4.3.

b. Dimensi Kolam dan ukuran pelat rencana

$$\text{Panjang} = 31,2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 24 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman} = 3,9 \text{ m}$$

Berhubung ukuran kolam cukup luas yaitu $31,2 \times 24 \text{ m}$, maka dalam perencanaan ini kolam akan dibagi menjadi beberapa bagian pelat untuk mengurangi besarnya momen yang akan terjadi pada pelat. Adapun pelat akan dibagi menjadi ukuran (Gambar 6.2) :

$$\text{Panjang (I}_y\text{)} = 8 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (I}_x\text{)} = 5,2 \text{ m}$$

Sehingga

$$\frac{\text{I}_y}{\text{I}_x} = 1,538$$

c. Data Perencanaan

$$\text{Mutu beton (f'}c\text{)} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja (f}_y\text{)} = 390 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan utama (d)} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Luas penampang tulangan (A}_{\text{tul}}\text{)} = 132,785 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tebal pelat minimum} = 1/28 \text{ (SNI 2847-2019 Pasal 7.3.1.1)}$$

$$= 8/28 = 0,286 \text{ m}$$

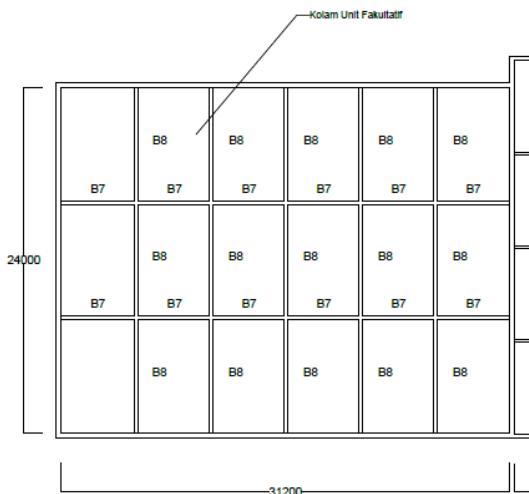
$$= 286 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat pakai} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Decking beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat efektif (t)} = 300 - (40 + 0,5 \times 13)$$

$$= 253,5 \text{ mm}$$



Gambar 7.2 Ilustrasi pembagian pelat kolam fakultatif

Langkah selanjutnya yaitu menghitung beban yang bekerja pada pelat lantai. Adapun beban yang bekerja pada pelat lantai kolam IPAL dalam keadaan kosong hanya berupa gaya *uplift* yang diakibatkan oleh tekanan air tanah. Pelat lantai tidak direncanakan menerima beban geser akibat tekanan tanah horizontal, dimana beban ini akan dipikul oleh dinding kolam. Sehingga pelat lantai tidak direncanakan menggunakan tulangan geser. Mempertimbangkan kondisi tanah yang jenuh pada saat musim penghujan, maka besarnya gaya *uplift* direncanakan sedalam kolam IPAL atau muka air tanah dianggap pada kedalaman 0 meter. Maka besarnya gaya uplift yang bekerja pada pelat lantai kolam fakultatif:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{uplift}} &= \gamma_{\text{air}} \times h \\
 &= 1 \text{ ton/m}^3 \times 3,9 \text{ m} \\
 &= 3,9 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya momen yang bekerja pada pelat lantai kolam fakultatif untuk $I_y/I_x = 1,538$ untuk pelat direncanakan menumpu pada keempat sisi (Lampiran 6 dengan interpolasi nilai I_y/I_x):

$$\begin{aligned}\text{Momen arah } x &= 0,036384 q I_x^2 \\ (M_{Ix}) &= 0,036384 \times 3,9 \times 5,2^2 \\ &= 3,837 \text{ tm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen arah } y &= 0,016615 q I_y^2 \\ (M_{Iy}) &= 0,016615 \times 3,9 \times 8^2 \\ &= 4,147 \text{ tm} \\ &= 4,147 \times 10^7 \text{ N.mm} \quad (\text{Menentukan})\end{aligned}$$

Kebutuhan penulangan lentur pada pelat dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.32, dimana A_s adalah luasan tulangan yang diperlukan dan ρ adalah rasio penulangan. Rasio penulangan yang dipakai tidak boleh kurang dari ρ_{min} (Persamaan 2.36) dan tidak boleh lebih dari ρ_{max} (Persamaan 2.37). Sebagai contoh untuk penulangan lentur pada pelat lantai kolam fakultatif, perhitungan kebutuhan tulangan lentur sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,003589 \\ \beta &= 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} \geq 0,65 \\ &= 0,85 - 0,05 \frac{25-28}{7} \geq 0,65 \\ &= 0,871 \geq 0,65 \\ \rho_{max} &= 0,75 \rho_{balance} = 0,75 \times \frac{0,85 \beta f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,871 \times 25}{390} \times \frac{600}{600 + 390} \\ &= 0,02158 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 25} = 0,0754 \\ Rn &= \frac{M_n}{b d^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4,147 \times 10^7 / 0,8}{1000 \times 253,5^2} \\
 &= 0,8067 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n m}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{0,0754} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,8067 \times 0,0754}{390}} \right] \\
 &= 0,002068 < \rho_{\min} = 0,003589
 \end{aligned}$$

Maka dipakai rasio tulangan minimum, $\rho = 0,003589$. Sehingga kebutuhan tulangan lentur:

$$\begin{aligned}
 As &= \rho b d \\
 &= 0,003589 \times 1000 \times 253,5 \\
 &= 910 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan (n) = As / A tulangan

$$\begin{aligned}
 n &= 910 / 132,785 \\
 &= 6,85 \text{ (dipakai 7 tulangan)}
 \end{aligned}$$

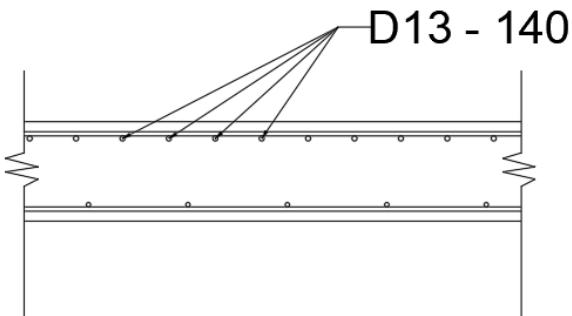
Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 7.7.2, jarak antara tulangan tidak boleh lebih dari tiga kali tebal atau tidak boleh melebihi nilai terkecil dari lima kali tebal pelat dan 450 mm, spasi antar tulangan tidak boleh lebih kecil dari 25 mm.

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 3 \times \text{tebal pelat} = 900 \text{ mm} \\
 S_{\max} &= 450 \text{ mm} \\
 S_{\min} &= 25 \text{ mm} \\
 S &= (b - 2 \times t_{\text{decking}} - n \times d_{\text{tulangan}})/(n-1) \\
 &= (1000 - 2 \times 40 - 7 \times 13)/(7-1) = 138,167 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$25 \text{ mm} < S = 138,167 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Sehingga dipakai tulangan D13 dengan jarak spasi antar tulangan 140 mm.

Pelat lantai perlu dikontrol kapasitasnya untuk memastikan pelat aman memikul beban yang ada. Dimana kapasitas lentur pelat harus lebih besar daripada momen yang terjadi ($\text{ØM}_n \geq \text{M}_u$).



Gambar 7.3 Penulangan lentur pada pelat lantai kolam fakultatif

Adapun kapasitas penampang dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.39.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \text{ pasang} \times fy}{0,85 \times f'c \times b} \\
 &= \frac{(7 \times 132,785) \times 390}{0,85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 17,059 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varnothing M_n &= 0,8 \times As \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 0,8 \times 132,785 \times 390 \times \left(253,5 - \frac{17,059}{2}\right) \\
 &= 7,104 \times 10^7 \text{ Nmm} > M_u = 4,147 \times 10^7 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sehingga tulangan D13 - 140 dapat dipakai.

Dengan cara yang sama, dihitung setiap kebutuhan penulangan dan tebal pelat lantai rencana untuk setiap jenis kolam. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7.2 sedangkan perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam Lampiran 5.

Tabel 7.2 Hasil perhitungan perencanaan pelat lantai kolam IPAL

Nama Kolam	Mutu Beton F'c	Mutu baja F'y	Ukuran pelat		Tebal pelat	Deck beton	Tulangan Utama
			P	L			
	MPa	MPa	m	m	mm	mm	
Unit Screen	25	390	3,75	1.5	150	30	D13 - 250
Unit Equalisasi	25	390	4,5	3.75	250	30	D13 – 160
Unit ABR	25	390	4,5	2.7	250	30	D13 – 160
Unit Fakultatif	25	390	8	5.2	300	30	D13 – 140
Unit Maturasi	25	390	6,5	5	250	30	D13 – 140
Unit Wetland 1, 2 & 3	25	390	6,25	5	250	30	D13 – 140

7.3. Perencanaan Struktur Balok Sloof

Seperti halnya pada perencanaan pelat lantai kolam, sebelum merencanakan struktur balok kolam ipal dilakukan analisa terlebih dahulu mengenai data yang akan digunakan dalam perencanaan dan dilakukan perencanaan awal/ *preliminary design* guna mempermudah perencanaan.

Sebagai contoh untuk perhitungan perencanaan struktur kolam fakultatif, data-data yang digunakan dalam perencanaan ini sebagai berikut:

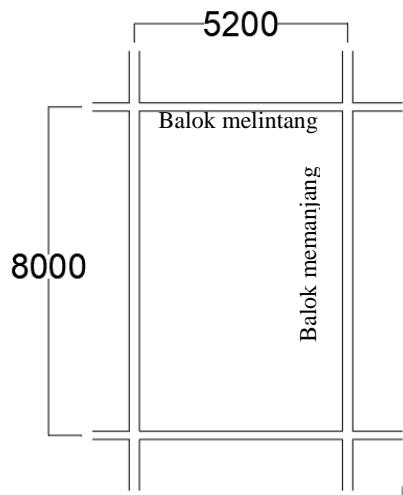
a. Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam perhitungan sesuai dengan Tabel 4.3.

b. Panjang balok

Berdasarkan pembagian ukuran pelat pada perencanaan sebelumnya, maka Panjang balok sloof menjadi:

Balok memanjang	= 8 m = 8000 mm
Balok melintang	= 5,2 m = 5200 mm
c. Data Perencanaan	
Mutu beton ($f'c$)	= 25 MPa
Mutu baja (fy)	= 390 MPa
Diameter tulangan utama (d)	= 16 mm
Luas penampang tulangan (A_{tul})	= 201,14 mm ²
Decking beton	= 40 mm



Gambar 7.4 Ilustrasi balok melintang dan memanjang kolam fakultatif

Untuk perencanaan balok melintang dengan panjang 8 meter sebagai berikut:

1. Preliminary ukuran balok

Berdasarkan SNI 2847 tahun 2019 Pasal 9.3.1 tinggi balok minimum tidak boleh kurang dari:

$$h_{\min} = 1/21 = 8000/21 = 380,95 \text{ mm}$$

Dipakai tinggi balok (h) = 400 mm, sehingga tinggi efektif balok:

$$t_{\text{efektif}} (d) = 400 - 30 - 0,5 \times 13 = 363,5 \text{ mm}$$

$$b = 2/3 h = 266,67 \text{ mm}$$

dipakai tebal balok (b) = 250 mm

2. Menghitung beban pada balok

Beban yang bekerja pada balok sloof kolam IPAL dalam keadaan kosong hanya berupa gaya *uplift* yang diakibatkan oleh tekanan air tanah. Balok tidak direncanakan menerima beban geser akibat tekanan tanah horizontal, dimana beban ini akan dipikul oleh dinding kolam. Akan tetapi balok akan direncanakan menggunakan tulangan geser minimum. Mempertimbangkan kondisi tanah yang jenuh pada saat musim penghujan, maka besarnya gaya *uplift* direncanakan sedalam kolam IPAL atau muka air tanah dianggap pada kedalaman 0 meter. Maka besarnya gaya *uplift* yang bekerja pada balok memanjang kolam fakultatif:

$$\begin{aligned} P_{\text{uplift}} &= \gamma_{\text{air}} \times h \\ &= 1 \text{ ton/m}^3 \times 3,9 \text{ m} \\ &= 3,9 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya momen maksimum yang diterima balok memanjang:

$$\begin{aligned} M_u &= 1/8 \times q \times L^2 \\ &= 1/8 \times 3,9 \times 8^2 \\ &= 31,2 \text{ tm} = 312000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

3. Menghitung rasio tulangan

Kebutuhan penulangan lentur pada pelat dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.32, dimana A_s adalah luasan tulangan yang diperlukan dan ρ adalah rasio penulangan. Rasio penulangan yang dipakai tidak boleh kurang dari ρ_{\min} (Persamaan 2.36) dan tidak boleh lebih dari ρ_{\max} (Persamaan 2.37). Sebagai contoh untuk penulangan lentur pada pelat

lantai kolam fakultatif, perhitungan kebutuhan tulangan lentur sebagai berikut:

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

$$\beta = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} \geq 0,65$$

$$= 0,85 - 0,05 \frac{25 - 28}{7} \geq 0,65$$

$$= 0,871 \geq 0,65$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times \frac{0,85 \beta f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,871 \times 25}{390} \times \frac{600}{600 + 390}$$

$$= 0,02158$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 25} = 0,0754$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2}$$

$$= \frac{312000 / 0,8}{1000 \times 363,5^2} = 0,0118 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n m}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{0,0754} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,0118 \times 0,0754}{390}} \right]$$

$$= 0,000302 < \rho_{\min} = 0,003589$$

Maka dipakai rasio tulangan minimum, $\rho = 0,003589$.

4. Menghitung kebutuhan tulangan lentur

$$As = \rho b d$$

$$= 0,003589 \times 250 \times 363,5$$

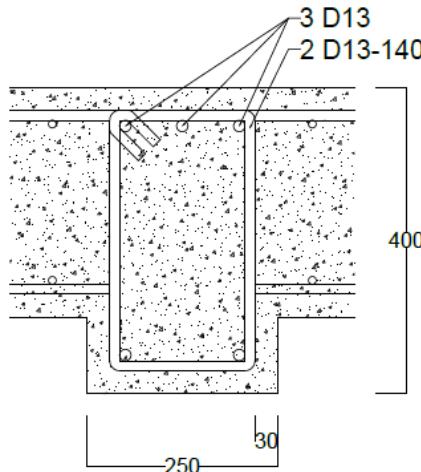
$$= 324,871 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan (n) = As / A tulangan

$$n = 324,871 / 132,785$$

$$= 2,45$$

Sehingga dipakai tulangan lentur 3 D13 seperti pada Gambar 7.5.



Gambar 7.5 Penulangan lentur pada balok sloof kolam fakultatif

5. Kontrol jarak antar tulangan lentur

Jarak antar tulangan utama pada balok tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$\begin{aligned}
 S &= (b - 2x t_{\text{deck}} - 2x d_{\text{Sengkang}} - n x d_{\text{tulangan}})/(n-1) \\
 &= (250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 13)/(3-1) \\
 &= 65,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Maka tulangan 3 D13 dapat dipakai.

6. Tulangan geser minimum

Gaya geser minimum yang direncanakan dihitung berdasarkan rumus 2.50.

$$\begin{aligned}
 V_{s \min} &= \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b d \\
 &= \frac{1}{3} \sqrt{25} \times 250 \times 363,5 \\
 &= 151458,33 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sehingga jarak antar tulangan geser jika dipakai tulangan Sengkang D10 2 kaki ($A_v = 157,14 \text{ mm}^2$):

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{157,14 \times 390 \times 363,3}{151458,33}$$

$$= 147,08 \text{ mm}$$

Jarak antar tulangan geser tidak boleh lebih dari:

$$S_{\max} = d/2 = 363,5/2 = 181,75 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 150 \text{ mm}$$

Maka dipakai jarak antar tulangan geser = 140 mm

Dengan cara yang sama, dihitung setiap kebutuhan penulangan dan dimensi balok sloof untuk setiap panjang balok melintang maupun memanjang untuk setiap kolam. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7.3 untuk balok memanjang dan Tabel 7.4 untuk balok melintang sedangkan perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam Lampiran 5.

Tabel 7.3 Hasil perhitungan balok memanjang kolam IPAL

Nama Kolam	Ukuran balok		Panjang balok	Deck beton	Tulangan Utama	Tulangan geser
	h	b				
	mm	mm	m	mm		
Unit Screen	250	150	3.75	30	2 D13	2 D10 - 100
Unit Equalisasi	250	150	4.5	30	2 D13	2 D10 - 100
Unit ABR	250	150	4.5	30	2 D13	2 D10 - 100
Unit Fakultatif	400	250	8	30	3 D13	2 D10 - 140
Unit Maturasi	350	250	6.5	30	3 D13	2 D10 - 140
Unit Wetland 1, 2 & 3	350	250	6.25	30	3 D13	2 D10 - 140

Tabel 7.4 Hasil perhitungan balok melintang kolam IPAL

Nama Kolam	Ukuran balok		Panjang balok	Deck beton	Tulangan Utama	Tulangan geser
	b	h				
	mm	mm	M	Mm		
Unit Screen	150	250	1.5	30	2 D13	2 D10 – 100
Unit Equalisasi	150	250	3.75	30	2 D13	2 D10 - 100
Unit ABR	150	250	2.7	30	2 D13	2 D10 - 100
Unit Fakultatif	200	300	5.2	30	2 D13	2 D10 - 130
Unit Maturasi	150	250	5	30	2 D13	2 D10 - 100
Unit Wetland 1, 2 & 3	200	300	5	30	2 D13	2 D10 - 130

7.4. Perencanaan Struktur Dinding Kolam

Sebelum merencanakan struktur dinding kolam IPAL dilakukan analisa terlebih dahulu mengenai data yang akan digunakan dalam perencanaan dan dilakukan perencanaan awal/*preliminary design* guna mempermudah perencanaan.

Sebagai contoh untuk perhitungan perencanaan struktur kolam fakultatif, data-data yang digunakan dalam perencanaan ini sebagai berikut:

a. Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam perhitungan sesuai dengan Tabel 4.3.

b. Data Perencanaan

$$\text{Mutu beton (f'c)} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja (fy)} = 390 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan utama (d)} = 19 \text{ mm}$$

Luas penampang tulangan (A_{tul}) = 283,64 mm²

Diameter tulangan geser = 13 mm

Decking beton = 40 mm

Untuk perencanaan dinding kolam fakultatif dengan kedalaman 3,9 meter sebagai berikut:

1. Preliminary ketebalan dinding

Berdasarkan SNI 2847 tahun 2019 Pasal 11.3.1 ketebalan dinding minimum untuk jenis struktur basemen dan pondasi eksterior tidak boleh kurang dari 190 mm.

Dalam perencanaan ini irencanakan ketebalan dinding kolam fakultatif setebal 350 mm.

Sehingga tebal efektif dinding:

$$t = 350 - 40 - 0,5 \times 19 = 300,5 \text{ mm}$$

2. Menghitung beban pada dinding kolam

Beban yang bekerja pada dinding kolam IPAL dalam keadaan kosong berupa gaya yang diakibatkan oleh tekanan aktif tanah horizontal dan tekanan air tanah. Mempertimbangkan kondisi tanah yang jenuh pada saat musim penghujan, maka besarnya gaya akibat tekanan air direncanakan sedalam kolam IPAL atau muka air tanah dianggap pada kedalaman 0 meter. Dalam perhitungan beban yang bekerja pada dinding kolam ipal perlu mempertimbangkan pengaruh gaya gempa yang terjadi.

Dalam perhitungan gaya tekanan aktif yang diakibatkan oleh tekanan tanah dan air tanah digunakan rumus:

$$P_{AE} = \frac{1}{2} \gamma h^2 (1 - k_v) K_{AE}$$

Dengan :

P_{AE} = gaya aktif dengan pengaruh gempa

K_{AE} = Koefisien tekanan aktif dengan pengaruh gempa

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

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1-k_v} \right)$$

K_v = koefisien spektrum gempa

Berdasarkan Gambar 17 SNI 1726 2019 (Lampiran 6), gempa maksimum yang dipertimbangkan (PGA) rata-rata untuk wilayah Kabupaten Kediri sebesar 0,4 – 0,5 g, dan untuk kelas situs tanah sedang (SD) berdasarkan Tabel 1 SNI 1726 2019 faktor amplifikasi tanah (SPGA) sebesar 1,6. Sehingga:

$$\begin{aligned} PGAM &= PGA \times SPGA \\ &= 0,5 \text{ g} \times 1,6 = 0,8 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_h &= 0,5 \times PGAM \\ &= 0,5 \times 0,8 / 9,81 \\ &= 0,040775 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_v &= 0,5 \times K_h \\ &= 0,020387 \end{aligned}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0,040775}{1-0,020387} \right) = 2,383$$

Untuk tanah lapisan 1 (kedalaman 0-2 m) dengan $\phi = 3,5^\circ$, maka nilai K_{AE} =

$$\begin{aligned} K_{AE} &= \frac{\cos^2(3,5 - 2,383 - 0)}{\cos 2,383 \cos^2 0 \cos(0 + 0 + 2,383) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(0+3,5) \sin(3,5-2,383-0)}{\cos(0+0+3,5) \cos(0-0)}} \right)} \\ &= 0,934 \end{aligned}$$

Untuk tanah lapisan 2 (kedalaman 2-4 m) dengan $\phi = 4,3^\circ$, maka nilai K_{AE} =

$$\begin{aligned} K_{AE} &= \frac{\cos^2(4,3 - 2,383 - 0)}{\cos 2,383 \cos^2 0 \cos(0 + 0 + 2,383) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(0+4,3) \sin(4,3-2,383-0)}{\cos(0+0+4,3) \cos(0-0)}} \right)} \\ &= 0,907 \end{aligned}$$

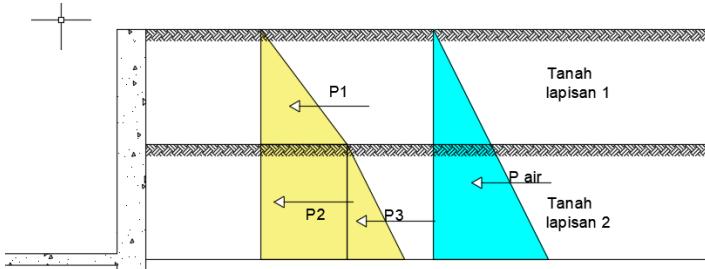
Sehingga besarnya tekanan tanah aktif tanah:

$$\begin{aligned} \sigma_{h1} &= \gamma' h K_{AE} + 2c\sqrt{K_{AE}} \\ &= (1,693 - 1) \times 2 \times 0,934 + 2 \times 0,371\sqrt{0,934} \\ &= 2,015 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h2} &= \sigma_{h1} + \gamma' h K_{AE} + 2c\sqrt{K_{AE}} \\ &= 2,015 + (1,818 - 1) \times 1,9 \times 0,907 + 2 \times 0,67\sqrt{0,907} \\ &= 4,701 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

Dan gaya akibat tekanan air tanah:

$$\begin{aligned}\sigma_{air} &= \gamma_w \times h \\ &= 1 \times 3,9 = 3,9 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$



Gambar 7.6 Ilustrasi gaya tekan aktif terhadap kolam fakultatif
Sehingga besarnya gaya aktif dan momen aktif terhadap dinding kolam fakultatif akibat gaya P1:

$$\begin{aligned}P_{AE\ 1} &= \frac{1}{2} \sigma_h (1 - k_v) h = \frac{1}{2} \times 2,015 (1 - 0,0203) \times 2 \\ &= 1,974 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_1 &= P_{AE\ 1} \times \text{lengan momen} \\ &= 1,974 \times 2,567 = 5,066 \text{ tm}\end{aligned}$$

Sedangkan perhitungan secara lengkap untuk setiap gaya aktif dan momen aktif disajikan dalam Tabel 7.5.

Tabel 7.5 Perhitungan gaya aktif pada dinding kolam fakultatif

Gaya	Bentuk	σ_h	h	Lengan	Pae	Momen
P1	Segitiga	2.015	2	2.567	1.974	5.066
P2	Persegi	2.015	1.9	0.950	3.750	3.562
P3	Segitiga	2.687	1.9	0.633	2.500	1.584
Pair	Segitiga	3.9	3.9	1.3	7.450	9.685
Total					15,647	19,896

Sehingga didapatkan gaya total yang bekerja pada dinding kolam sebesar:

$$P_u = 15,647 \text{ ton} = 156470 \text{ N}$$

$$M_u = 19,896 \text{ tm} = 19,896 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

3. Menghitung rasio tulangan

Kebutuhan penulangan lentur pada dinding dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.52, dimana A_s adalah luasan tulangan yang diperlukan dan ρ adalah rasio penulangan. Rasio penulangan yang dipakai tidak boleh kurang dari ρ_{min} (Persamaan 2.56) dan tidak boleh lebih dari ρ_{max} (Persamaan 2.57). Sebagai contoh untuk penulangan lentur pada pelat lantai kolam fakultatif, perhitungan kebutuhan tulangan lentur sebagai berikut:

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

$$\begin{aligned}\beta &= 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} \geq 0,65 \\ &= 0,85 - 0,05 \frac{25 - 28}{7} \geq 0,65 \\ &= 0,871 \geq 0,65\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,75 \rho_{balance} = 0,75 \times \frac{0,85 \beta f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,871 \times 25}{390} \times \frac{600}{600 + 390} \\ &= 0,02158\end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 25} = 0,0754$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b d^2} \\ &= \frac{19,896 \times 10^7 / 0,8}{1000 \times 300,5^2} \\ &= 2,754 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n m}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{0,0754} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,754 \times 0,0754}{390}} \right] \\ = 0,00706$$

$$\rho_{\min} = 0,003589 < \rho = 0,00706 < \rho_{\max} = 0,02158$$

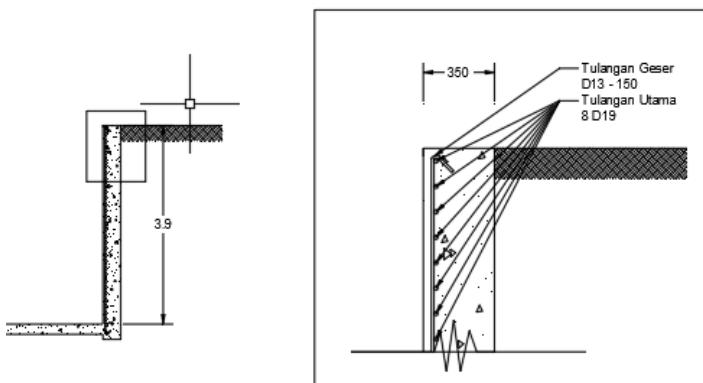
Maka dipakai rasio tulangan, $\rho = 0,00706$.

4. Menghitung kebutuhan tulangan lentur

$$\text{As} = \rho b d \\ = 0,00706 \times 1000 \times 300,5 \\ = 2122,718 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan (n) = As / A tulangan

$$n = 2122,718 / 283,64 \\ = 7,48 \text{ (dipakai 8 tulangan D19)}$$



Gambar 7.7 Penulangan lentur pada dinding kolam fakultatif

5. Kontrol jarak antar tulangan lentur

Jarak antar tulangan utama pada dinding tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S = (b - 2x t_{deck} - 2x d_{Sengkang} - n \times d_{tulangan}) / (n-1) \\ = (1000 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 8 \times 19) / (8-1) \\ = 106 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai tulangan D19 dengan spasi 100 mm.

6. Tulangan geser

Tulangan geser dibutuhkan apabila dinding menerima beban geser. Rasio tulangan (ρ) minimum apabila beban geser sebidang $V_u < 0,5 \times \phi V_c$ dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.12. Apabila beban geser pada balok (V_u) melebihi gaya geser yang dapat dipikul beton ($0,5 \times \phi V_c$) maka cara perhitungan tulangan geser dapat dihitung menggunakan rumus 2.59 dan 2.60.

$$V_u = 156470 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \phi V_c &= 0,5 \times 0,75 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,5 \times 0,75 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 1000 \times 300,5 \\ &= 93906,25 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 156470 \text{ N} > 0,5 \phi V_c = 93906,25 \text{ N}$$

Sehingga kebutuhan tulangan geser:

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - 0,5 \phi V_c \\ &= \frac{156470}{0,8} - 93906,25 \\ &= 102015,25 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \min} &= \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b d \\ &= \frac{1}{3} \sqrt{25} 1000 \times 300,5 \\ &= 100166,67 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga jarak antar tulangan geser jika dipakai tulangan Sengkang D13 1 kaki ($A_v = 132,78 \text{ mm}^2$):

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{132,78 \times 390 \times 300,5}{102015,25} = 152,54 \text{ mm}$$

Jarak antar tulangan geser tidak boleh lebih dari:

$$S_{\max} = 3 \times \text{tebal dinding} = 3 \times 350 = 1050 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

Maka dipakai jarak antar tulangan geser = 150 mm

Dengan cara yang sama, dihitung setiap kebutuhan penulangan dan dimensi dinding kolam untuk setiap jenis kolam. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7.6 sedangkan perhitungan secara rinci dapat dilihat dalam Lampiran 5.

Tabel 7.6 Hasil perhitungan perencanaan dinding kolam IPAL

Nama Kolam	Mutu Beton	Mutu baja	Dinding kolam			
			Tebal dinding	decking beton	Tulangan utama	Tulangan geser
	f _c (Mpa)	f _y (MPa)	mm	mm		
Unit Screen	25	390	150	30	D13 - 300	D10 - 90
Unit Equalisasi	25	390	300	40	D16 -140	D10 -125
Unit ABR	25	390	300	40	D16 – 140	D10 - 140
Unit Fakultatif	25	390	350	40	D19 – 100	D13 - 150
Unit Maturasi	25	390	250	40	D13 – 100	D10 - 160
Unit Wetland 1, 2 & 3	25	390	200	30	D13 - 200	D10 - 90

BAB VIII

PENUTUP

8.1. Kesimpulan

Dari Tugas Akhir ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan periode layan selama 10 tahun, TPA Sekoto Baru membutuhkan kapasitas landfill sebesar $358554,17 \text{ m}^3$. Dengan desain landfill berundak dengan kemiringan lereng 1:1 dan jarak undakan selebar 10 meter dan lahan yang ada, volume sampah sebesar ini dicapai dengan ketinggian 20,4 m (17 lapis sel sampah). Sel sampah didesain memiliki ketebalan 1,2 meter, dimana sampah ditimbun dan dipadatkan hingga kepadatan yang direncanakan hingga setebal 1 meter, kemudian ditutup tanah pasir dengan ketebalan 20 cm. timbunan sampah ini memiliki kestabilan internal sebesar 1,327 dan kestabilan overall sebesar 0,999.
2. Tanggul setinggi 5 meter dengan kemiringan 1:1 direncanakan mengelilingi area landfill. Tanggul ini memiliki kestabilan overall sebesar 1,02 sehingga direncanakan tanggul menggunakan perkuatan geotekstile. Didapatkan jumlah geotekstile yang diperlukan sebanyak 6 lapis dengan jarak pemasangan 0,25 m untuk mencapai kestabilan rencana sebesar 1,5.
3. Dengan desain dan ketinggian timbunan sampah yang telah direncanakan, hingga tahun kesepuluh tanah dasar akan mengalami settlement sebesar 0,7759 m dan besarnya pemampatan hingga waktu tak terbatas sebesar 0,9855 m.
4. Mengacu pada persyaratan Permen PU No. 3 Tahun 2013, lapisan liner landfill direncanakan secara urut dari lapisan

terbawah yaitu tanah asli yang dipadatkan, lapisan geomembrane HDPE 2 mm, lapisan goonet, Lapisan geomembrane HDPE 2 mm, lapisan kerikil setebal 30 cm dengan pipa pengumpul air lindi pada bagian bawahnya dan lapisan geotekstil non-woven.

5. Perkuatan tanah dasar dan peningkatan stabilitas timbunan sampah direncanakan menggunakan micropile produksi wika dengan tipe Spun pile dengan ukuran 500 mm. didapatkan kebutuhan micropile untuk sisi timbunan menghadap sawah sebanyak 9 buah cerucuk dengan jarak pemasangan selebar 1,5 m. digunakan micropile yang sama untuk perkuatan tanah dasar untuk timbunan sampah menghadap kolam IPAL, didapatkan kebutuhan micropile sebanyak 10 buah dengan jarak pemasangan selebar 1,5 m.
6. Dengan curah hujan yang ada selama 10 tahun terakhir didapatkan intensitas hujan sebesar 17,708 mm/jam. Untuk luas area landfill sebesar 2,3 hektar didapatkan total debit air lindi sebesar 7,051 liter/detik. Direncanakan jaringan pipa air lindi dipasang pada lapisan kerikil pada liner. Pipa pengumpul (pipa sekunder) dipasang setiap jarak 26 m dan disalurkan menjadi satu menggunakan pipa penyalur (pipa primer) serta air lindi dikumpulkan pada 3 titik penyedotan. Didapatkan dimensi pipa sekunder sebesar 32 mm dan pipa primer sebesar 42 mm dan 114 mm.
7. Dengan ukuran dan kedalaman kolam yang terbesar, 31.2 m x 24 m x 3.9 m, kolam fakultatif direncanakan memiliki ketebalan pelat 300 mm dengan tulangan D13-140, memiliki Panjang balok sloof memanjang 8 meter dengan ukuran 400 mm x 250 mm dengan tulangan utama 3 D13 dan tulangan geser 2 D10-140, dan memiliki panjang balok sloof melintang 5.2 m dengan ukuran 300 mm x 200 mm dengan tulangan

utama 2 D13 dan tulangan geser 2 D10-130 serta memiliki dinding kolam setebal 350 mm dengan tulangan utama D19-100 dan tulangan geser D13-150. Adapun hasil perencanaan secara rinci untuk setiap jenis kolam dapat dilihat dalam bab VII atau Lampiran 5.

8.2. Saran

Dalam Tugas Akhir ini penulis menyadari ada beberapa kekurangan. Beberapa kekurangan itu berupa perlu perencanaan lebih lanjut mengenai operasional pembuangan sampah pada TPA Sekoto Baru. Hal yang perlu direncanakan lebih lanjut mengenai operasional pembuangan sampah berupa rute truk pembuangan sampah, lokasi dumping truk, jalan keluar masuk truk pembuang sampah serta perencanaan pelat beton jalan keluar masuk truk pembuang sampah apabila timbunan sampah mulai meninggi.

Dari Tugas Akhir ini diharapkan untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat bekerja sama dengan sarjana Teknik Lingkungan untuk mengetahui lebih lanjut tentang produksi lindi pada *landfill*, rembesan pada sampah dan dekomposisi sampah.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Munawar, 2011. *Monograf : Rembesan Air Lindi (Leachate). Dampak pada Tanaman Pangan dan Kesehatan.* Surabaya : UPN Press
- Anilkumar, A., D. Sukamaran, dan S. G. T. Vincent, 2015. *Effect of Municipal Solid Waste Leachate on Ground Water Quality of Thiruvananthapuram District, Kerala, India.* Applied Ecology and Environmental Sciences. 3(5), pp. 151-157.
- Arief, Muhammad, 2016. *Pengelolaan Limbah Industri.* Yogyakarta: ANDI
- Badan Pusat Statistik, 2019. *Kabupaten Kediri dalam Angka 2019.* Kediri : Badan Pusat Statistik Kabupaten Kediri
- Badan Standarisasi Nasional, 2017. *SNI 2847 2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.* Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2017. *SNI 8460 2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik.* Jakarta: BSN.
- Bina Marga. 2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik No. 003/BM/2009,* Jakarta Selatan: Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Bouazza, A., 2002. *Review Article: Geosynthetic Clay Liner.* Melbourne: Elsevier Science Ltd.
- Cawley, Mattew R., 1999. *Compacted Clay Liner : A Viable Solution for Landfill Leachate Containment.* Brigham Young University.
- Colomer-Mendoza, Francisco J., Esteban-Altabella, Joan, García-Darás, Ferran, dan Gallardo-Izquierdo, Antonio. 2013.

- Influence of the design on slope stability in solid waste landfills.* Earth Science 2(2) pp. 31-39
- Das, B. M., 1988. Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis), Jilid 1. Terjemahan oleh Noor Endah Mochtar dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta, Indonesia: Erlangga.
- Davidovits, J., 1994. *Properties of Geopolymer Cements*. First International Conference on Alkaline Cements and Concretes Scientific Research Institute on Binders and Materials , Kiev State Technical University, Kiev, Ukraine, pp. 131-149.
- Dinas Lingkungan Hidup, 2019. *Laporan Kinerja Instansi Pemerintah (LKjIP) Tahun 2019*. Kediri : Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Kediri
- EPA, 2016. *Landfill Manuals, Landfill Site Design*. Pacific Highway: Environmental Protection Agency.
- Fard, M. P, A. H. Mahvi, A. Asgari, dan M. Moradnia, 2017. *Heavy Metal Monitoring in Leachate from Landfill Site of Qazvin, Iran*. Archives Hygiene Sciences 6(1), pp. 44-48
- Gutierrez, Angel. 2006. *Experimental Evaluation of the Performance of Geomembrane Liners Subject to Downdrag and Seismic Loading*. Dissertation of Degree of Doctor Philosophy, Arizona State University.
- Koerneroer, Robert M., 2005. *Design with Geosynthetics: fifth edition*. USA: Pearson Education.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI, 2016, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7.2016 tentang Baku Mutu Lindi*, Jakarta: Departemen Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Menteri Pekerjaan Umum, R.I., 2013. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/Prt/M/2013 tentang *Penyelenggaraan Prasarana Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga*. Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia

Noor Endah, Mochtar (2012), *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*, Jurusan Teknik Sipil ITS, Surabaya.

Nugroho, Adi, 2020. *Sehari 73 Ton Sampah, TPA Sekoto Overload*. Kediri : Radar Kediri.
[http://radarkediri.jawapos.com/read/2020/02/23/180578/sehari-73-ton-sampah\(tpa-sekoto-overload\).](http://radarkediri.jawapos.com/read/2020/02/23/180578/sehari-73-ton-sampah(tpa-sekoto-overload).) (Diakses pada 26 Oktober 2020)

Pemerintah Republik Indonesia. 2008. *Undang-undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah*. Jakarta.

Ramadhanti, S. A. 2018. *Analisis Kandungan Zat Pencemar dalam Air Lindi serta Potensi Penyebarannya di TPA Gunung Tugel, Banyumas*, Yogyakarta: UII.

Reddy, K. R., Hettiarachchi, H., Parakalla, N., Gangathulasi, J., Bogner, J., & Lagier, T. 2009. *Hydraulic Conductivity of MSW in Landfills*. Journal of Environmental Engineering, 135(8), 677–683.

Widyasari, Yustika A., Warmadewanti, I.D.A.A., Sari, Putu Tantri K., 2019. *Land Stability at the Final Closing of Waste Final Disposal Supit Urang in Malang City*. Jurnal Teknik ITS, 8(2) pp. 35-40

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BIODATA PENULIS



A Winardi, Lahir di Kediri 26 Februari 2000, merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh Pendidikan formal di SDN Mojoayu, lulus pada tahun 2012; SMPN 1 Kunjang, lulus pada tahun 2015, dan MAN Purwoasri (sekarang MAN 2 Kediri) lulus pada tahun 2017 melalui program akselerasi. Pada Tahun 2017, Penulis mengikuti Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian dengan NRP 03111740000101.

Di jurusan Teknik Sipil, penulis mengambil bidang peminatan geoteknik. Penulis sempat aktif pada organisasi Himpunan Mahasiswa Sipil ITS pada Departemen Media Data dan Informasi selama 2 periode dan pada organisasi Bidikmisi ITS (BIMITS) sebagai Ketua BSO Kidung Gandhara yang berkegiatan kesenian musik angklung pada tahun 2019-2020. Penulis dapat dihubungi melalui email achmadwinardhiy02@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

Lampiran 1 : Data Perencanaaan

1. Data Tanah pada TPA Sekoto Baru
2. Data Curah Hujan Stasiun Badas Kabupaten Kediri
3. Data Kependudukan dan Produksi Sampah Kabupaten Kediri
4. Gambar Layout Perencanaaan TPA Sekoto Baru (eksisting)
5. Gambar Potongan Kolam IPAL (eksisting)
6. Brosur Geotekstil dan Spunpile

SOIL DESCRIPTION

Projek : Penyusunan Teknis Dan Manajemen Persampahan (PTMP) & DED TPA Sampah Kab. Kediri
 Lokasi : TPA Satello Kabupaten Kediri
 WAT : Diemukam pada kedalaman ± 4.0 m dari muak tanah setetap (air rembesan)

DEPTH (m)	BOR LOG	DESKRIPSI TANAH/BATUAN	Physical Properties						Atterberg Limit			Oedometer Test			Strength Test		
			γ_t Ton/m ³	W_c %	S_r %	ϵ	G_s	LL %	PL %	IP %	C_e %	Sp	SwP	Testing Type	C kg/cm ²	ϕ	q_u kg/cm ²
0		Lempung Berjelau, Warna Cokelat	1.758	42.67	93.93	1.134	2.629	*	*	*	*	*	*	Triaxial UU	0.308	2.40	*
1.0		Lempung Berjelau, Warna Cokelat	1.824	46.52	100.00	1.312	2.878	*	*	*	*	*	*	Triaxial UU	0.631	4.00	*
2.0		Lemong Berjelau, Berpasir Halus Warna Cokelat	1.895	46.60	100.00	1.241	2.897	*	*	*	*	*	*	Triaxial UU	1.015	7.50	*
3.0		Lemong Berjelau, Berpasir Halus Warna Cokelat															
4.0		Lemong Berjelau, Berpasir Halus Warna Cokelat															
5.0		Lemong Berjelau, Berpasir Halus Warna Cokelat															

REMARKS :

$\gamma_t' = \text{Void Ratio}$
 $\epsilon = \text{Void Ratio}$
 $W_c = \text{Water content}$
 $W_s = \text{Non Plastic}$
 $W_s' = \text{No Sample}$
 $LL = \text{Degree of Saturation}$
 $IP = \text{Specific Gravity}$
 $Pl = \text{Degree of Saturation}$
 $Sp = \text{Swelling Potential}$
 $SwP = \text{Swelling Pressure}$
 $DS = \text{Direct Shear}$

LEGENDA :



$LL = \text{Liquid limit}$
 $Pl = \text{Plastic limit}$
 $IP = \text{Plasticity Index}$

SOIL DESCRIPTION

Proyek : Penyusunan Teknis Dan Manajemen Persampahan (PTMP) & DED TFA Sampah Kab. Kediri BH
 Lokasi : TPA Sekoto Kecamatan Kadiri
 MAT : Ditemukan pada kedalamann ± 1.0 m dari muka tanah selembar (air rembesan)

DEPTH (m)	BORING	DESCRIPTION OF SOIL SAMPLES	DESKRIPSI TANAH/BATUAN	Physical Properties						Atterberg Limit			Oedometer Test			Strength Test		
				γ_f Tcn/m ³	W_c %	S_r %	ϵ	G_s	LL %	PL %	IP %	Cc %	Cv %	Testing Type	C kg/cm ²	ϕ	σ_u kg/cm ²	
0																		
1.0			Lempung Berlauw Warna Cokelat		1.746	50.60	100.00	1.396	2.777	*	*	*	*	*	Triaxial UU	0.397	5.70	
2.2			Lempung Berlauw Warna Cokelat															
3.1			Lempung Berlauw Warna Cokelat															
4.0			Lempung Berlauw Warna Cokelat		1.828	50.61	100.00	1.350	2.853	*	*	*	*	*	Triaxial UU	0.622	4.40	
5.0			End Of Boring															

LEGENDA :

Lempung		Pisir		Batuhan
Lauw		Kerikil		MAT

REMARKS :

γ_f = No Test	ϵ = Void Ratio	LL = Liquid limit
NP = Non Plastics	G_s = Specific Gravity	P_L = Plastic limit
NS = No Sample	S_r = Degree of Saturation	IP = Plasticity Index
UU = Undrained Undrained	Sp = Swelling Potential	
DS = Direct Shear	Swp = Swelling Pressure	

γ_f = Unit weight
 NP = Non Plastics
 NS = No Sample
 UU = Undrained Undrained

G_s = Specific Gravity
 S_r = Degree of Saturation
 Sp = Swelling Potential
 Swp = Swelling Pressure

ϵ = Void Ratio
 P_L = Plastic limit
 IP = Plasticity Index

SOIL DESCRIPTION

Projek : Penyusunan Teknis Dan Manajemen Persampahan (PTMP) & DED TPA Sampah Kab. Kediri BH
 Lokasi : TPA Sekoto Kabupaten Kediri
 MAT : Ditemukan pada kedalaman ± 3.0 m dari muka tanah setempat (air rembesan)

DEPTH (m)	GWL (m)	BOR LOG	DESKRIPSI TANAH/BATUAN	Physical Properties						Atterberg Limit			Odometer Test			Strength Test			
				γ_f Ton/m ³	W_s %	S_r %	θ	G_s	LL %	PL %	IP %	C_c %	Sp	SwP	Testing Type	C kg/cm ²	ϕ	q_u kg/cm ²	
0	0		Lempung Berianau Warna Cokelat	1.626	45.42	87.30	1.391	2.674	*	*	*	*	*	*	Triaxial UU	0.399	2.90	*	
1.0																			
2.0			Lempung Berianau Warna Cokelat																
3.0			Lempung Berianau Warna Cokelat																
4.0			End OI Boiring													Triaxial UU	0.779	4.50	*
5.0																			

LEGENDA :

	Lempung		Pasir		Batuhan
	Larau		Kerikil		MAT

REMARKS :

* = No Test
 NP = Non Plastic
 NS = No Sample
 UT = Unconsolidated Undrained
 DS = Direct Shear
 LL = Liquid limit
 PL = Plastic limit
 IP = Plasticity index
 Sp = Specific Gravity
 Sr = Degree of Saturation
 SwP = Swelling Potential
 Swf = Swelling Pressure



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN GEOTEKNIK

Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

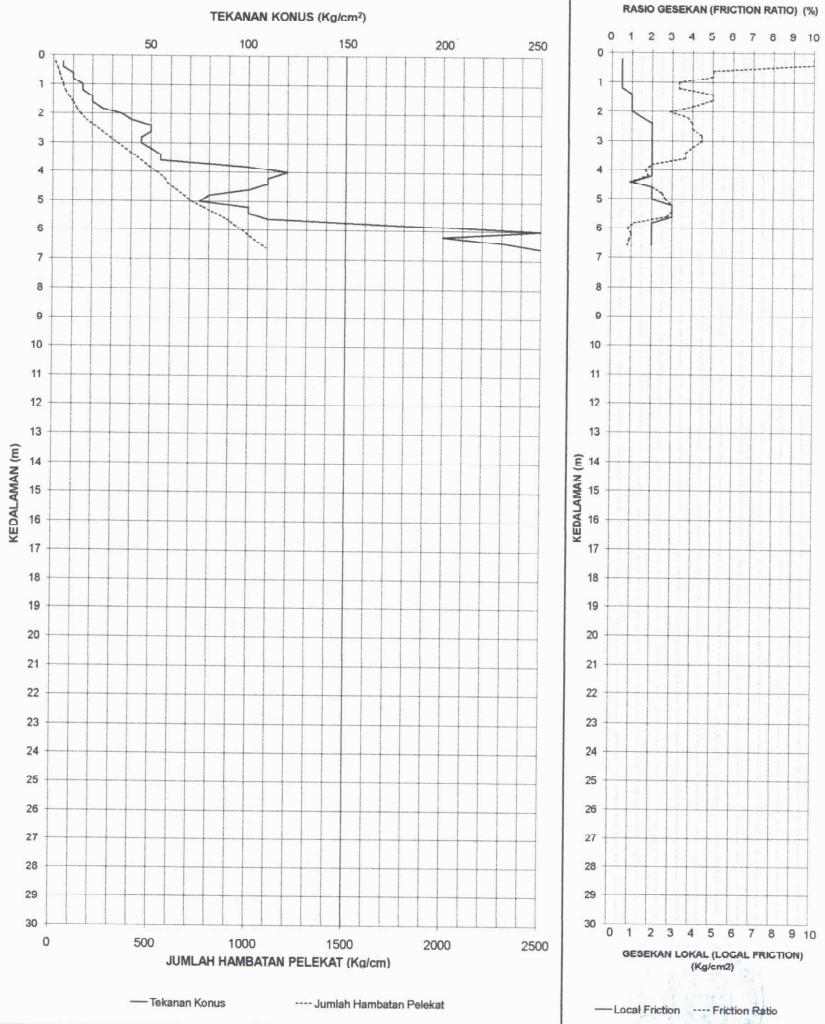
Telp : 031 5981006, 5947637 , Fax : 031 5981006

Email : labtransgeo.its@gmail.com

GRAFIK SONDIR

(DUCTH CONE PENETROMETER TEST)

TITIK	:	S 1	MASTER SONDIR	:	Ari Kuswanto
LOKASI	:	TPA Sekoto Kabupaten Kediri	TANGGAL	:	13-Apr-18
ELEVASI	:	± 0.00 m (muka tanah setempat)			





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN GEOTEKNIK

Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp : 031 5981006, 5947637 , Fax : 031 5981006

Email : labtransgeo.its@gmail.com

Nama Lokasi : TPA Sekoto Kabupaten Kediri

Titik . S 1

Luas Konus = 10 cm²

Master Sondir : Ari Kuswanto

Luas Piston = 10 cm²

Tanggal : 13-Apr-18

Luas Martel (Selimut) = 100 cm²

Elevasi : ± 0.00 m (muka tanah setempat) Interval Data Sondir = 20 cm

KEDALAMAN (m)	BACAAN		NILAI KONUS	LEKATAN		JHP		FRICTION RATIO (%)
	I Kg/cm ²	II Kg/cm ²		Local Kg/cm ²	HP Kg/cm	JHP Kg/cm		
0								
0.2	5	10	5	0.50	10	10	10	10.0
0.4	5	10	5	0.50	10	20	20	10.0
0.6	10	15	10	0.50	10	30	30	5.0
0.8	10	15	10	0.50	10	40	40	5.0
1	15	20	15	0.50	10	50	50	3.3
1.2	15	20	15	0.50	10	60	60	3.3
1.4	20	30	20	1.00	20	80	80	5.0
1.6	20	30	20	1.00	20	100	100	5.0
1.8	25	35	25	1.00	20	120	120	4.0
2	35	45	35	1.00	20	140	140	2.9
2.2	40	55	40	1.50	30	170	170	3.8
2.4	50	70	50	2.00	40	210	210	4.0
2.6	50	70	50	2.00	40	250	250	4.0
2.8	45	65	45	2.00	40	290	290	4.4
3	45	65	45	2.00	40	330	330	4.4
3.2	50	70	50	2.00	40	370	370	4.0
3.4	55	75	55	2.00	40	410	410	3.6
3.6	55	75	55	2.00	40	450	450	3.6
3.8	100	120	100	2.00	40	490	490	2.0
4	120	140	120	2.00	40	530	530	1.7
4.2	110	130	110	2.00	40	570	570	1.8
4.4	110	120	110	1.00	20	590	590	0.9
4.6	100	120	100	2.00	40	630	630	2.0
4.8	80	100	80	2.00	40	670	670	2.5
5	75	95	75	2.00	40	710	710	2.7
5.2	100	130	100	3.00	60	770	770	3.0
5.4	100	130	100	3.00	60	830	830	3.0
5.6	110	140	110	3.00	60	890	890	2.7
5.8	180	200	180	2.00	40	930	930	1.1
6	250	270	250	2.00	40	970	970	0.8
6.2	200	220	200	2.00	40	1,010	1,010	1.0
6.4	230	250	230	2.00	40	1,050	1,050	0.9
6.6	250	270	250	2.00	40	1,090	1,090	0.8





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN GEOTEKNIK

Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

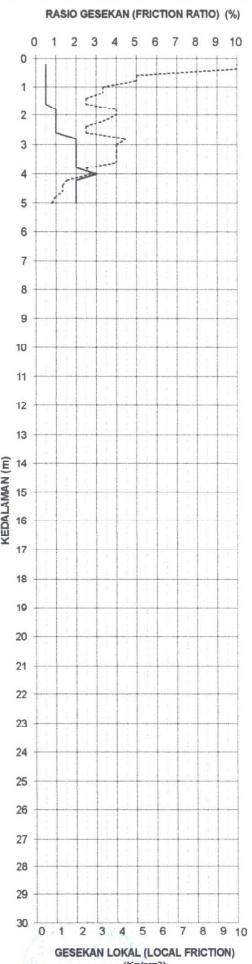
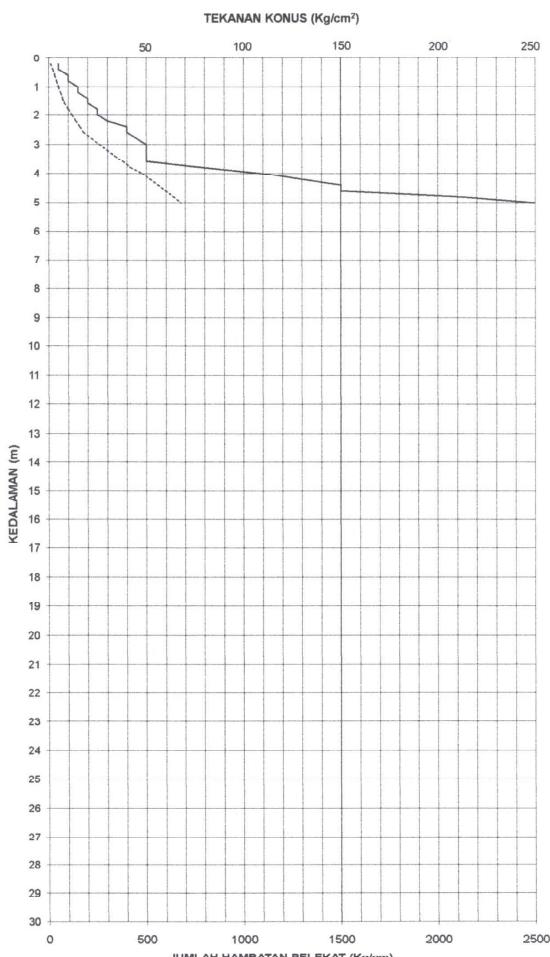
Telp : 031 5981006, 5947637, Fax : 031 5981006

Email : labtransgeo.its@gmail.com

GRAFIK SONDIR
(DUCTH CONE PENETROMETER TEST)

TITIK : S 2
LOKASI : TPA Sekoto Kabupaten Kediri
ELEVASI : ± 0.00 m (muka tanah setempat)

MASTER SONDIR : Ari Kuswanto
TANGGAL : 13-Apr-18





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN GEOTEKNIK

Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp : 031 5981006, 5947637 , Fax : 031 5981006

Email : labtransgeo.its@gmail.com

Nama Lokasi : TPA Sekoto Kabupaten Kediri

Titik : S 2

Luas Konus = 10 cm²

Master Sondir : Ari Kuswanto

Luas Piston = 10 cm²

Tanggal : 13-Apr-18

Luas Mantel (Selimut) = 100 cm²

Elevasi : ± 0.00 m (muka tanah setempat) Interval Data Sondir = 20 cm

KEDA-LAMAN (m)	Bacaan I Kg/cm ²	Bacaan II Kg/cm ²	Nilai Konus Kg/cm ²	Lekatan Local Kg/cm ²	HP Kg/cm	JHP Kg/cm	FRICTION RATIO (%)	
0	0.2	5	10	5	0.50	10	10	10.0
	0.4	5	10	5	0.50	10	20	10.0
	0.6	10	15	10	0.50	10	30	5.0
	0.8	10	15	10	0.50	10	40	5.0
	1	15	20	15	0.50	10	50	3.3
	1.2	15	20	15	0.50	10	60	3.3
	1.4	20	25	20	0.50	10	70	2.5
	1.6	20	25	20	0.50	10	80	2.5
	1.8	25	35	25	1.00	20	100	4.0
	2	25	35	25	1.00	20	120	4.0
	2.2	30	40	30	1.00	20	140	3.3
	2.4	40	50	40	1.00	20	160	2.5
	2.6	40	50	40	1.00	20	180	2.5
	2.8	45	65	45	2.00	40	220	4.4
	3	50	70	50	2.00	40	260	4.0
	3.2	50	70	50	2.00	40	300	4.0
	3.4	50	70	50	2.00	40	340	4.0
	3.6	50	70	50	2.00	40	380	4.0
	3.8	60	100	60	2.00	40	420	2.5
	4	110	140	110	3.00	60	480	2.7
	4.2	130	150	130	2.00	40	520	1.5
	4.4	150	170	150	2.00	40	560	1.3
	4.6	150	170	150	2.00	40	600	1.3
	4.8	210	230	210	2.00	40	640	1.0
	5	250	270	250	2.00	40	680	0.8





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN GEOTEKNIK

Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

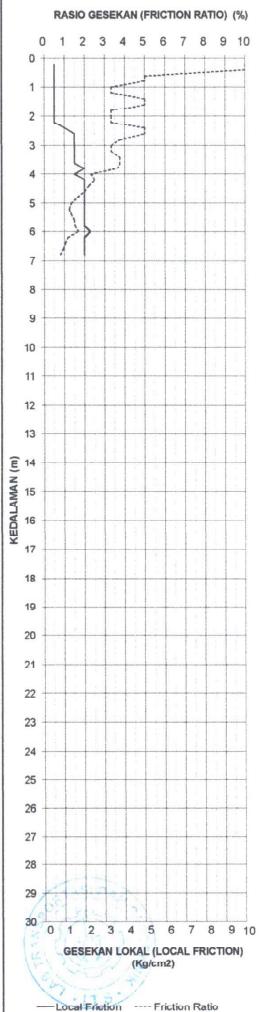
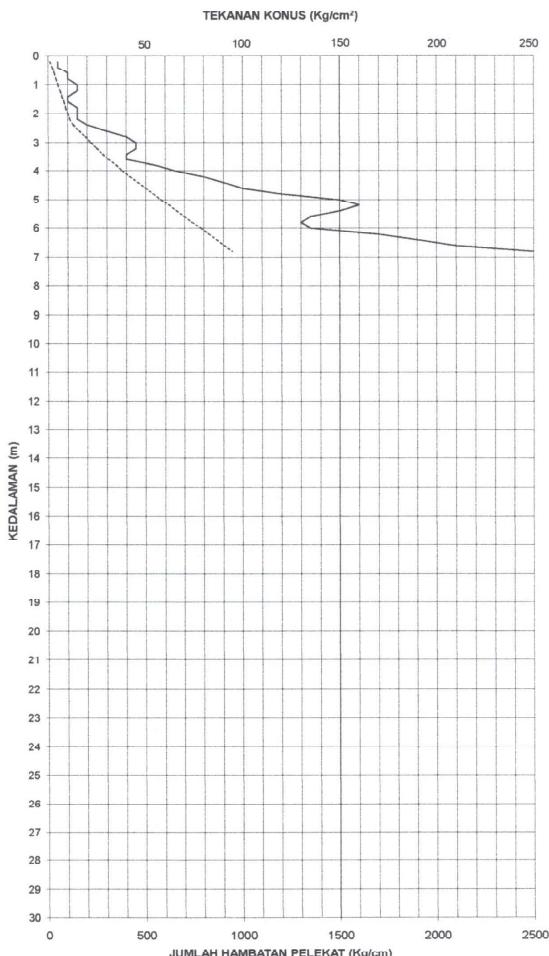
Telp : 031 5981006, 5947637 , Fax : 031 5981006

Email : labtransgeo.its@gmail.com

GRAFIK SONDIR
(DUCTH CONE PENETROMETER TEST)

TITIK : S 3
LOKASI : TPA Sekoto Kabupaten Kediri
ELEVASI : ± 0.00 m (muka tanah setempat)

MASTER SONDIR : Ari Kuswanto
TANGGAL : 13-Apr-18





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN GEOTEKNIK

Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp : 031 5981006, 5947637 , Fax : 031 5981006

Email : labtransgeo.its@gmail.com

Nama Lokasi : TPA Sekoto Kabupaten Kediri

Titik : S 3

Luas Konus = 10 cm²

Master Sondir : Ari Kuswanto

Luas Piston = 10 cm²

Tanggal : 13-Apr-18

Luas Mantel (Selimut) = 100 cm²

Elevasi : ± 0.00 m (muka tanah setempat) Interval Data Sondir = 20 cm

KEDA LAMAN (m)	Bacaan		Nilai Konus	Lekatan Local	HP Kg/cm ²	JHP Kg/cm	FRICTION RATIO (%)
	I Kg/cm ²	II Kg/cm ²					
0	5	10	5	0.50	10	10	10.0
0.2	5	10	5	0.50	10	20	10.0
0.4	10	15	10	0.50	10	30	5.0
0.6	10	15	10	0.50	10	30	5.0
0.8	10	15	10	0.50	10	40	5.0
1	15	20	15	0.50	10	50	3.3
1.2	15	20	15	0.50	10	60	3.3
1.4	10	15	10	0.50	10	70	5.0
1.6	10	15	10	0.50	10	80	5.0
1.8	15	20	15	0.50	10	90	3.3
2	15	20	15	0.50	10	100	3.3
2.2	15	20	15	0.50	10	110	3.3
2.4	20	30	20	1.00	20	130	5.0
2.6	30	45	30	1.50	30	160	5.0
2.8	40	55	40	1.50	30	190	3.8
3	45	60	45	1.50	30	220	3.3
3.2	45	60	45	1.50	30	250	3.3
3.4	40	55	40	1.50	30	280	3.8
3.6	40	55	40	1.50	30	310	3.8
3.8	55	75	55	2.00	40	350	3.6
4	65	80	65	1.50	30	380	2.3
4.2	80	100	80	2.00	40	420	2.5
4.4	90	110	90	2.00	40	460	2.2
4.6	100	120	100	2.00	40	500	2.0
4.8	120	140	120	2.00	40	540	1.7
5	150	170	150	2.00	40	580	1.3
5.2	160	180	160	2.00	40	620	1.3
5.4	150	170	150	2.00	40	660	1.3
5.6	135	155	135	2.00	40	700	1.5
5.8	130	150	130	2.00	40	740	1.5
6	135	158	135	2.30	46	786	1.7
6.2	170	190	170	2.00	40	826	1.2
6.4	190	210	190	2.00	40	866	1.1
6.6	210	230	210	2.00	40	906	1.0
6.8	250	270	250	2.00	40	946	0.8



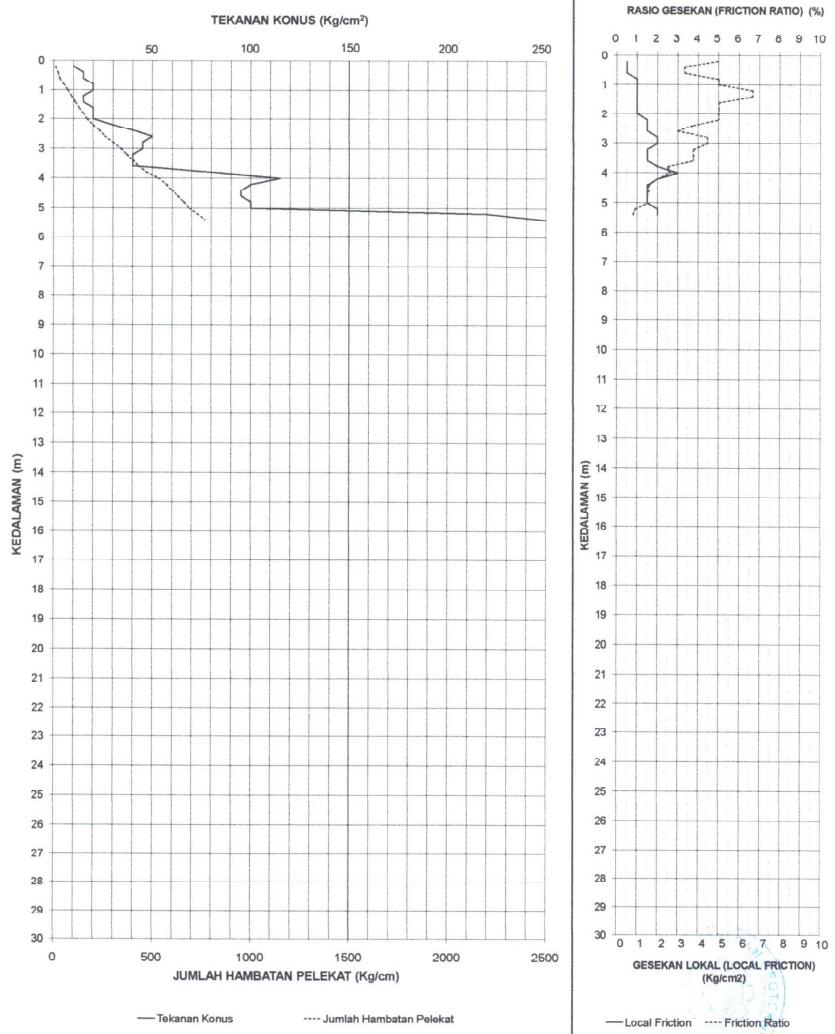


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN GEOTEKNIK

Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp : 031 5981006, 5947637 , Fax : 031 5981006
Email : labtransgeo.its@gmail.com

GRAFIK SONDIR
(DUCTH CONE PENETROMETER TEST)

TITIK	:	S 4	MASTER SONDIR	:	Ari Kuswanto
LOKASI	:	TPA Sekoto Kabupaten Kediri	TANGGAL	:	13-Apr-16
ELEVASI	:	± 0.00 m (muka tanah setempat)			





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN GEOTEKNIK
Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp : 031 5981006, 5947637 , Fax : 031 5981006
Email : labtransgeo.its@gmail.com

Nama Lokasi : TPA Sekoto Kabupaten Kediri

Titik : S 4
Master Sondir : Ari Kuswanto
Tanggal : 13-Apr-18
Elevasi : ± 0.00 m (muka tanah setempat)

Luas Konus = 10 cm²
Luas Piston = 10 cm²
Luas Mantel (Selimut) = 100 cm²
Interval Data Sondir = 20 cm

KEDA-LAMAN (m)	Bacaan I		Bacaan II		Nilai Konus	Lekatan Local		HP	JHP	FRICTION RATIO
	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²		Kg/cm	Kg/cm			
0										
0.2	10	15	10	10	0.50	10	10	10	110	5.0
0.4	15	20	15	15	0.50	10	20	20	130	3.3
0.6	15	20	15	15	0.50	10	30	30	150	3.3
0.8	20	30	20	20	1.00	20	50	50	200	5.0
1	20	30	20	20	1.00	20	70	70	220	5.0
1.2	15	25	15	15	1.00	20	90	90	230	6.7
1.4	15	25	15	15	1.00	20	110	110	260	8.7
1.6	20	30	20	20	1.00	20	130	130	300	5.0
1.8	20	30	20	20	1.00	20	150	150	340	5.0
2	20	30	20	20	1.00	20	170	170	370	5.0
2.2	30	45	30	30	1.50	30	200	200	400	5.0
2.4	40	55	40	40	1.50	30	220	220	430	3.8
2.6	50	65	50	50	1.50	30	260	260	470	3.0
2.8	45	65	45	45	2.00	40	300	300	530	4.4
3	45	65	45	45	2.00	40	340	340	570	4.4
3.2	40	55	40	40	1.50	30	370	370	600	3.8
3.4	40	55	40	40	1.50	30	400	400	630	3.8
3.6	40	55	40	40	1.50	30	430	430	660	3.8
3.8	80	100	80	80	2.00	40	470	470	690	2.5
4	115	145	115	115	3.00	60	530	530	730	2.6
4.2	100	120	100	100	2.00	40	570	570	770	2.0
4.4	95	110	95	95	1.50	30	600	600	800	1.6
4.6	95	110	95	95	1.50	30	630	630	830	1.6
4.8	100	115	100	100	1.50	30	660	660	860	1.5
5	100	115	100	100	1.50	30	690	690	900	1.5
5.2	220	240	220	220	2.00	40	730	730	930	0.9
5.4	250	270	250	250	2.00	40	770	770	970	0.8



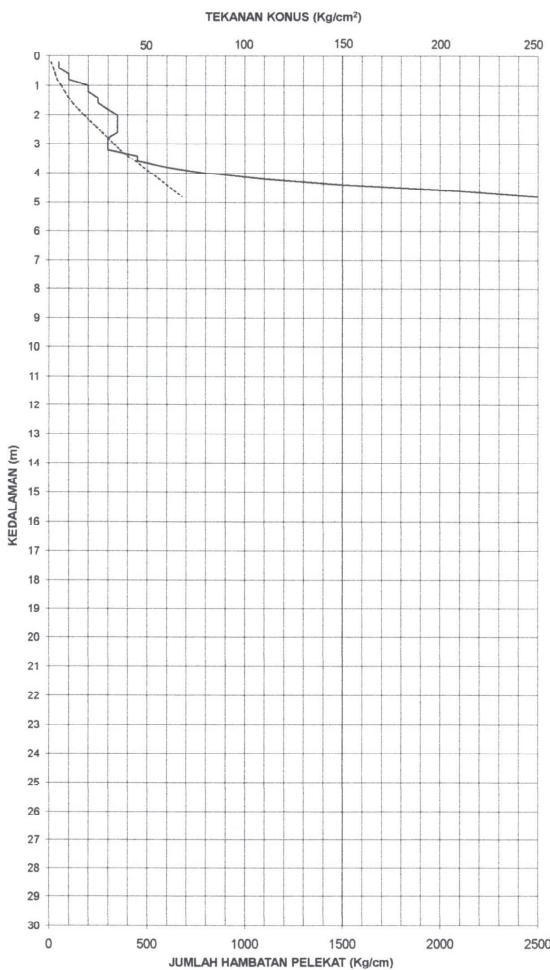


GRAFIK SONDIR

(DUCTH CONE PENETROMETER TEST)

TITIK : S 5
LOKASI : TPA Sekoto Kabupaten Kediri
ELEVASI : ± 0.00 m (muka tanah setempat)

MASTER SONDIR : Ari Kuswanto
TANGGAL : 13-Apr-18



— Tekanan Konus ---- Jumlah Hambatan Pelekatan — Local Friction ---- Friction Ratio





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN GEOTEKNIK

Kampus ITS Mulyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp : 031 5981006, 5947637 , Fax : 031 5981006

Email : labtransgeo.its@gmail.com

Nama Lokasi : TPA Sekoto Kabupaten Kediri

Titik : S 5

Luas Konus = 10 cm²

Master Sondir : Ari Kuswanto

Luas Piston = 10 cm²

Tanggal : 13-Apr-18

Luas Mantel (Selimut) = 100 cm²

Elevasi : ± 0.00 m (muka tanah setempat) Interval Data Sondir = 20 cm

KEDA-LAMAN (m)	Bacaan I Kg/cm ²	Bacaan II Kg/cm ²	Nilai Konus Kg/cm ²	Lekatan Local Kg/cm ²	HP Kg/cm	JHP Kg/cm	FRICTION RATIO (%)
0							
0.2	5	10	5	0.50	10	10	10.0
0.4	5	10	5	0.50	10	20	10.0
0.6	10	15	10	0.50	10	30	5.0
0.8	10	15	10	0.50	10	40	5.0
1	20	30	20	1.00	20	60	5.0
1.2	20	30	20	1.00	20	80	5.0
1.4	25	35	25	1.00	20	100	4.0
1.6	25	35	25	1.00	20	120	4.0
1.8	30	45	30	1.50	30	150	5.0
2	35	50	35	1.50	30	180	4.3
2.2	35	50	35	1.50	30	210	4.3
2.4	35	50	35	1.50	30	240	4.3
2.6	35	50	35	1.50	30	270	4.3
2.8	30	45	30	1.50	30	300	5.0
3	30	45	30	1.50	30	330	5.0
3.2	30	45	30	1.50	30	360	5.0
3.4	45	65	45	2.00	40	400	4.4
3.6	45	65	45	2.00	40	440	4.4
3.8	60	80	60	2.00	40	480	3.3
4	80	100	80	2.00	40	520	2.5
4.2	110	130	110	2.00	40	560	1.8
4.4	150	170	150	2.00	40	600	1.3
4.6	210	230	210	2.00	40	640	1.0
4.8	250	270	250	2.00	40	680	0.8





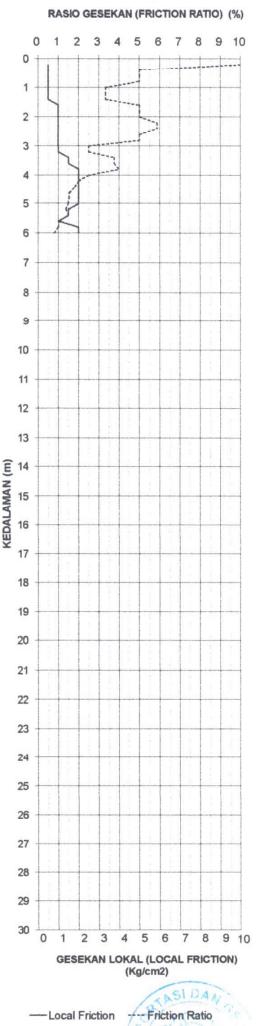
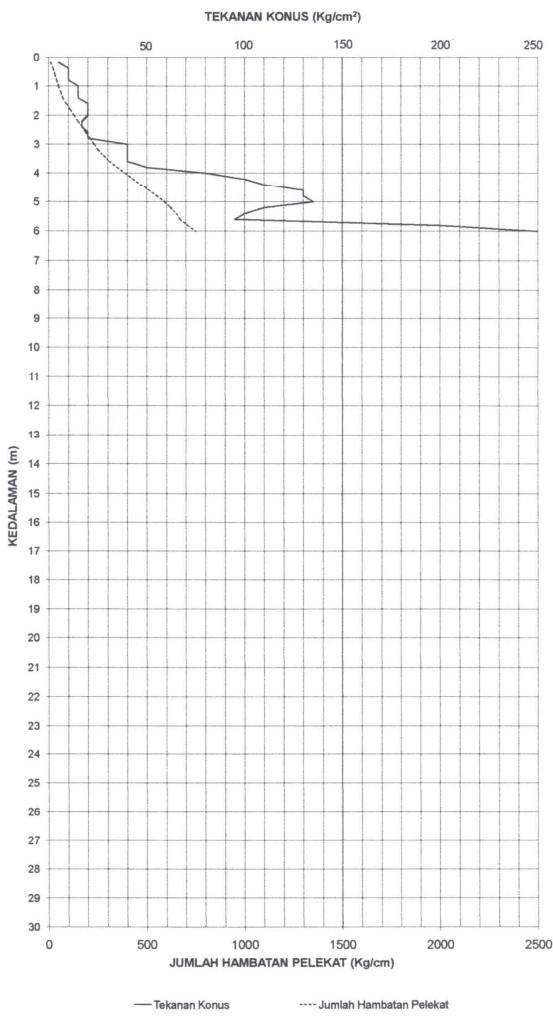
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN GEOTEKNIK

Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp : 031 5981006, 5947637 , Fax : 031 5981006
Email : labtransgeo.its@gmail.com

GRAFIK SONDIR
(DUCTH CONE PENETROMETER TEST)

TITIK : S 6
LOKASI : TPA Sekoto Kabupaten Kediri
ELEVASI : ± 0.00 m (muka tanah setempat)

MASTER SONDIR : Ari Kuswanto
TANGGAL : 13-Apr-18





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN GEOTEKNIK

Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp : 031 5981006, 5947637 , Fax : 031 5981006

Email : labtransgeo.its@gmail.com

Nama Lokasi : TPA Sekoto Kabupaten Kediri

Titik : S 6

Luas Konus = 10 cm²

Master Sondir : Ari Kuswanto

Luas Piston = 10 cm²

Tanggal : 13-Apr-18

Luas Mantel (Selimut) = 100 cm²

Elevasi : + 0.00 m (muka tanah setempat) Interval Data Sondir = 20 cm

KEDA-LAMAN (m)	Bacaan I Kg/cm ²	Bacaan II Kg/cm ²	Nilai Konus Kg/cm ²	Lekatan Local Kg/cm ²	HP Kg/cm	JHP Kg/cm	FRICITION RATIO (%)
0							
0.2	5	10	5	0.50	10	10	10.0
0.4	10	15	10	0.50	10	20	5.0
0.6	10	15	10	0.50	10	30	5.0
0.8	10	15	10	0.50	10	40	5.0
1	15	20	15	0.50	10	50	3.3
1.2	15	20	15	0.50	10	60	3.3
1.4	15	20	15	0.50	10	70	3.3
1.6	20	30	20	1.00	20	90	5.0
1.8	20	30	20	1.00	20	110	5.0
2	20	30	20	1.00	20	130	5.0
2.2	17	27	17	1.00	20	150	5.9
2.4	17	27	17	1.00	20	170	5.9
2.6	20	30	20	1.00	20	190	5.0
2.8	20	30	20	1.00	20	210	5.0
3	40	50	40	1.00	20	230	2.5
3.2	40	50	40	1.00	20	250	2.5
3.4	40	55	40	1.50	30	280	3.8
3.6	40	55	40	1.50	30	310	3.8
3.8	50	70	50	2.00	40	350	4.0
4	80	100	80	2.00	40	390	2.5
4.2	100	120	100	2.00	40	430	2.0
4.4	110	130	110	2.00	40	470	1.8
4.6	130	150	130	2.00	40	510	1.5
4.8	130	150	130	2.00	40	550	1.5
5	135	155	135	2.00	40	590	1.5
5.2	110	125	110	1.50	30	620	1.4
5.4	100	115	100	1.50	30	650	1.5
5.6	95	105	95	1.00	20	670	1.1
5.8	200	220	200	2.00	40	710	1.0
6	250	270	250	2.00	40	750	0.8



FIELD COEFFICIENT OF PERMEABILITY
THE AUGER HOLE METHOD

Project : Penyusunan Perencanaan Teknis dan Manajemen Persampahan (PTMP)
 dan DED TPA Sampah Kabupaten Kediri
 Location : TPA Sekoto Kabupaten Kediri
 Hole : 1 (satu)
 Date of Teste : 14-Apr-18
 Tested by : Adi S

for a test hole with

Depth of the hole, H : 5 m
 Diameter, D : 8 cm

$$\text{Coefficient of Permeability, } K = \frac{(D/2) \times \ln(h_1/h_2)}{2(t_2 - t_1)}$$

Time, minutes	0	30	60	90	120	150
Distance P, cm	0	4	6	8	9.5	11
Successive h ₁ values, m	6	4.96	4.94	4.92	4.905	4.89
Successive h ₂ values,	4.96	4.94	4.92	4.91	4.89	...
Ratio (h ₁ + h ₂)	1.20968	1.00405	1.00407	1.00306	1.00307	...
ln (h ₁ + h ₂)	0.19035	0.00404	0.00406	0.00305	0.00306	...
A = (D/2) × ln (h ₂ :h ₁)	0.7614149	0.01616	0.0162272	0.0122137	0.0122512	...
t ₁ , seconds	0	1800	3600	5400	7200	9000
t ₂ , seconds	1800	3600	5400	7200	9000	...
(t ₂ - t ₁), seconds	1800	1800	1800	1800	1800	...
B = 2 (t ₂ - t ₁), seconds	3600	3600	3600	3600	3600	...
K, m/s = A ÷ B	2.115E-04	4.489E-06	4.508E-06	3.393E-06	3.403E-06	...
Average, K (m/s)				4.546E-05		

FIELD COEFFICIENT OF PERMEABILITY

THE AUGER HOLE METHOD

Project : Penyusunan Perencanaan Teknis dan Manajemen Persampahan (PTMP)
 dan DED TPA Sampah Kabupaten Kediri
 Location : TPA Sekoto Kabupaten Kediri
 Hole : 2 (dua)
 Date of Teste : 14-Apr-18
 Tested by : Adi S.

for a test hole with

Depth of the hole, H : 4 m

Diameter, D : 8 cm

$$K = \frac{(D/2) \times \ln(h_1/h_2)}{2(t_2 - t_1)}$$

Coefficient of Permeability,

<i>Time, minutes</i>	0	30	60	90	120	150
<i>Distance P, cm</i>	0	3	5	7	9.5	12
Successive h ₁ values, m	6	3.97	3.95	3.93	3.905	3.885
Successive h ₂ values,	3.97	3.95	3.93	3.91	3.89	...
Ratio (h ₁ + h ₂)	1.51134	1.00506	1.00509	1.00640	1.00515	...
ln (h ₁ + h ₂)	0.41299	0.00505	0.00508	0.00638	0.00513	...
A = (D/2) x ln (h ₁ /h ₂)	1.6519735	0.0202	0.0203046	0.0255266	0.0205392	...
t ₁ , seconds	0	1800	3600	5400	7200	9000
t ₂ , seconds	1800	3600	5400	7200	9000	...
(t ₂ - t ₁), seconds	1800	1800	1800	1800	1800	...
B = 2 (t ₂ - t ₁), seconds	3600	3600	3600	3600	3600	...
K, m/s = A ÷ B	4.589E-04	5.612E-06	5.640E-06	7.091E-06	5.705E-06	...
Average, K (m/s)				9.659E-05		

FIELD COEFFICIENT OF PERMEABILITY

THE AUGER HOLE METHOD

Project : Penyusunan Perencanaan Teknis dan Manajemen Persampahan (PTMP)
 dan DED TPA Sampah Kabupaten Kediri
 Location : TPA Sekolo Kabupaten Kediri
 Hole : 3 (tiga)
 Date of Teste : 14-Apr-18
 Tested by : Adi S.

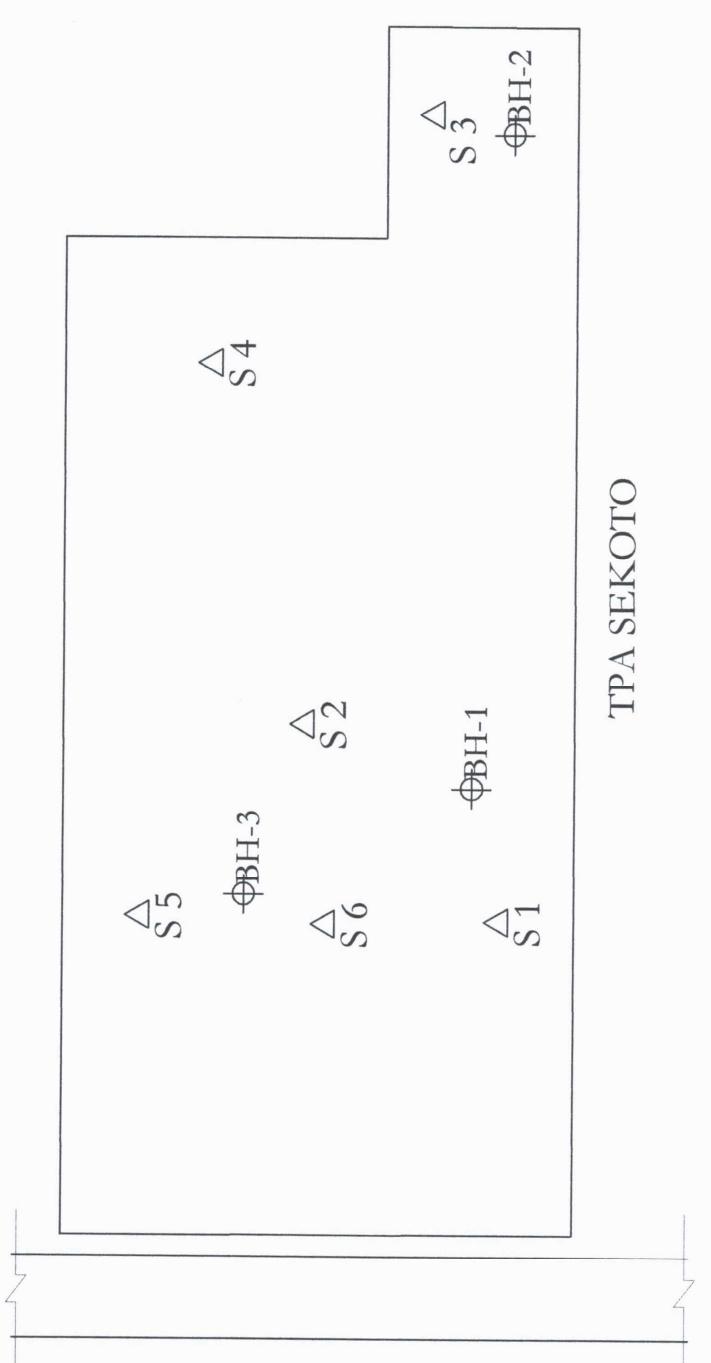
for a test hole with

Depth of the hole, H : 4 m
 Diameter, D : 8 cm

$$K = \frac{(D/2) \times \ln(h_1/h_2)}{2(t_2 - t_1)}$$

Coefficient of Permeability,

<i>Time, minutes</i>	0	30	60	90	120	150
<i>Distance P, cm</i>	0	12	18	23	27	28
Successive h ₁ values, m	6	3.88	3.82	3.77	3.73	3.72
Successive h ₂ values,	3.88	3.82	3.77	3.73	3.72	...
Ratio (h ₁ + h ₂)	1.54639	1.01571	1.01326	1.01072	1.00269	...
ln (h ₁ + h ₂)	0.43592	0.01558	0.01318	0.01067	0.00268	...
A = (D/2) x ln (h ₁ /h ₂)	1.7436973	0.06234	0.0527017	0.0426671	0.0107383	...
t ₁ , seconds	0	1800	3600	5400	7200	9000
t ₂ , seconds	1800	3600	5400	7200	9000	...
(t ₂ - t ₁), seconds	1800	1800	1800	1800	1800	...
B = 2 (t ₂ - t ₁), seconds	3600	3600	3600	3600	3600	...
K, m/s = A - B	4.844E-04	1.732E-05	1.464E-05	1.185E-05	2.983E-06	...
Average, K (m/s)				1.062E-04		



Sket Lokasi Titik Sondir & Boring
Proyek : Penyusunan Teknis Dan Manajemen Persampahan
(PTMP) Dan DED TPA Sampah Kabupaten Kediri
Lokasi : TPA Sekoto Kabupaten Kediri



Gambar Tidak Diskala

Data Curah Hujan Harian

Tahun 2011

Nama Stasiun Kode Stasiun Lintang Selatan Bujur Timur Elevasi	Badas 85	Bulan (mm)											
		Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	-	5	35	0	5	-	-	-	-	-	-	-	-
2	15	17	15	15	60	-	-	-	-	-	-	5	-
3	5	45	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	5
4	14	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	23
5	-	45	8	-	5	-	-	-	-	-	-	30	-
6	-	-	55	0	10	-	-	-	-	-	-	20	-
7	-	7	5	-	17	-	-	-	-	-	-	18	1
8	-	-	10	9	-	-	-	-	-	-	-	10	-
9	45	-	1	0	5	-	-	-	-	-	-	15	-
10	-	27	27	25	-	-	-	-	-	-	-	-	13
11	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	1	37	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	23	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	2	53	-	-	-	-	-	-	-	3
15	15	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	3
16	10	18	-	12	48	-	-	-	-	-	-	-	8
17	5	5	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	5
18	-	-	25	5	2	-	-	-	-	-	-	-	30
19	5	17	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-
20	27	-	-	0	0	-	10	-	-	-	-	-	-
21	24	12	7	-	-	-	-	-	-	-	23	-	56
22	50	25	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
23	4	7	4	2	-	-	-	-	-	-	-	5	-
24	25	5	-	-	-	-	-	-	-	-	12	8	-
25	4	37	7	-	-	-	-	-	-	-	-	49	-
26	10	18	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16
27	2	-	3	-	-	-	-	-	-	-	7	-	52
28	28	10	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
30	-	-	-	18	3	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	20	-	-
Bulanan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	#N/A

Curah Hujan Maksimal

66

Keterangan

Hujan diatas 100 mm cetak tebal

X : Stasiun hujan rusak

0 : Terjadi hujan tapi tidak terukur

Data Curah Hujan Harian

Tahun 2012

Nama Stasiun Kode Stasiun Lintang Selatan Bujur Timur Elevasi	Badas 85	Curah Hujan (mm)											
		Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Okttober	November	Desember
1	10	5	-	-	60	-	-	-	-	-	-	-	-
2	5	-	3	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
3	10	20	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	10
4	40	15	-	5	-	-	-	-	-	-	5	15	1
5	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	5	10	35
6	20	10	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35
7	5	-	13	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	10	-	-	5	13	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	5	4	-
10	25	16	27	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-
11	5	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
12	5	4	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
13	-	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35
14	20	-	9	-	15	-	-	-	-	-	-	-	6
15	50	1	10	-	10	-	-	-	-	-	-	-	1
16	10	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
17	10	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	7	4	-	-	-	-	-	-	-	34	57
19	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	20
20	2	20	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	5	21	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	20	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	-
24	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	5
25	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5
26	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	17
30	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bulanan	328	171	96	43	101	0	0	0	0	0	15	140	348
Curah Hujan Maksimal													65

Keterangan

Hujan diatas 100 mm cetak tebal

X : Stasiun hujan rusak

0 : Terjadi hujan tapi tidak terukur

Data Curah Hujan Harian
Tahun 2013

Nama Stasiun Kode Stasiun Lintang Selatan Bujur Timur Elevasi	Badas 85	Bulan (mm)											
		Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	27	15	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-
2	5	3	5	-	-	5	-	-	-	-	-	-	12
3	27	25	27	-	-	52	-	-	-	-	-	-	-
4	-	6	3	13	-	-	35	-	-	-	-	-	16
5	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	24
6	7	-	11	10	-	30	-	-	-	-	-	6	-
7	65	-	-	-	-	10	-	5	-	-	-	-	42
8	-	3	-	45	-	7	-	-	-	-	-	-	39
9	10	-	31	-	-	-	5	-	-	-	-	10	48
10	-	5	-	45	-	5	-	-	-	-	-	6	23
11	-	10	-	-	2	-	23	-	-	-	-	-	-
12	-	-	10	-	12	15	-	-	-	-	-	-	25
13	-	5	7	10	-	5	17	-	-	-	-	70	-
14	-	-	5	-	5	8	-	-	-	-	-	2	6
15	44	40	-	21	2	-	7	-	-	-	-	1	23
16	35	15	-	34	-	25	-	-	-	-	-	20	3
17	7	25	5	21	-	118	-	-	-	-	-	22	-
18	-	4	8	-	7	-	-	-	-	-	-	11	12
19	-	10	6	78	-	5	-	-	-	-	-	-	49
20	27	65	-	4	-	15	-	-	-	-	-	46	25
21	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	5
22	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	4	21	-	-	-	-	42	-	-	18	-	-	16
24	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-
25	40	17	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	12
27	-	53	13	-	33	-	-	-	-	-	5	10	-
28	23	-	-	-	15	-	15	-	-	-	-	-	-
29	36	-	45	-	5	-	10	-	-	-	-	-	-
30	4	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-
Bulanan	411	322	188	298	81	320	159	5	0	37	209	380	118

Curah Hujan Maksimal

Keterangan

Hujan diatas 100 mm cetak tebal

X : Stasiun hujan rusak

O : Terjadi hujan tapi tidak terukur

Data Curah Hujan Harian
Tahun 2014

Nama Stasiun Kode Stasiun Lintang Selatan Bujur Timur Elevasi	Badas 85												
	Bulan (mm)												
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember	
1	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
2	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	15	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	5
5	15	-	-	10	-	2	-	6	-	-	-	-	28
6	40	10	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
7	-	8	-	36	-	-	-	-	-	-	-	-	3
8	1	45	60	-	-	-	-	-	-	-	-	5	17
9	35	13	-	15	-	-	-	-	-	-	-	7	-
10	23	45	-	5	6	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	13	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
13	-	-	37	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	8	15	-	-	-	13	-	-	-	-	-	4
15	-	15	-	-	67	-	-	-	-	-	-	-	18
16	-	-	-	-	-	36	-	-	-	-	-	-	-
17	-	18	-	18	-	47	-	-	-	-	-	52	5
18	-	7	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	30
19	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	4	8
20	1	10	10	37	-	5	-	-	-	-	-	12	1
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	20
22	-	10	5	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-
23	48	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
24	1	-	-	-	-	-	-	15	-	5	-	-	-
25	2	-	-	-	-	-	6	-	-	-	5	-	15
26	-	2	-	2	1	17	3	-	-	-	25	-	15
27	-	-	-	-	51	-	-	-	-	-	-	-	-
28	75	-	-	7	5	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-
30	-	-	5	-	-	-	-	5	-	-	12	-	5
31	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bulanan	252	242	188	183	155	107	35	26	0	16	171	197	75

Curah Hujan Maksimal

Keterangan

Hujan diatas 100 mm cetak tebal

X : Stasiun hujan rusak

O : Terjadi hujan tapi tidak terukur

Data Curah Hujan Harian

Tahun 2015

Nama Stasiun Kode Stasiun Lintang Selatan Bujur Timur Elevasi	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	-	28	26	-	-	-	-	-	-	-	-	12
2	3	80	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	5	10	49	-	15	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	22	20	-	5	-	-	-	-	-	30
5	1	42	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	2	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	15	6	14	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	3	9	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	1	22	-	-	-	-	-	-	-	-	10
10	-	26	-	26	-	-	-	-	-	-	-	11
11	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	3
12	1	18	27	25	-	-	-	-	-	-	-	5
13	37	35	10	13	-	-	-	-	-	-	-	-
14	46	5	-	20	-	-	-	-	-	-	-	2
15	-	65	5	6	-	-	-	-	-	-	-	22
16	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
18	19	24	10	-	-	-	-	-	-	-	-	54
19	6	-	5	15	-	-	-	-	-	-	-	-
20	78	40	15	5	-	-	-	-	-	-	-	5
21	-	-	5	57	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	3	-	34	6	-	-	-	-	-	-	-	-
24	15	21	36	85	-	-	-	-	-	-	-	26
25	-	-	24	3	-	-	-	-	-	-	-	10
26	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38
27	-	-	30	4	-	-	-	-	-	-	-	-
28	9	5	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	38	4	8	-	-	-	-	-	-	3
30	51	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	55	-	31	-	3	-	-	-	-	-	-	38
Bulanan	332	434	518	349	26	5	0	0	0	0	70	211

Curah Hujan Maksimal

85

Keterangan

Hujan diatas 100 mm cetak tebal

X : Stasiun hujan rusak

0 : Terjadi hujan tapi tidak terukur

Data Curah Hujan Harian
Tahun 2016

Nama Stasiun Kode Stasiun Lintang Selatan Bujur Timur Elevasi	Badas 85	Bulan (mm)											
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember	
1	102	1	14	6	-	-	-	-	-	-	-	16	
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	10	
3	25	16	5	-	-	-	-	-	-	12	-	-	
4	3	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	
5	-	5	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	
6	6	10	1	-	-	-	-	-	-	-	5	40	
7	-	5	51	-	-	-	-	2	-	-	-	7	
8	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	2	35	-	-	6	2	-	-	-	-	4	59	
10	55	15	8	13	-	-	-	-	-	70	86	-	
11	-	55	18	-	-	-	-	-	-	7	-	-	
12	-	57	25	11	2	-	-	-	-	-	6	-	
13	-	10	-	-	5	-	-	18	-	-	-	-	
14	-	-	18	8	-	-	-	46	-	-	90	10	
15	-	-	7	-	-	-	-	3	-	-	2	-	
16	-	13	-	-	15	-	-	-	-	-	19	-	
17	-	19	-	-	38	1	-	-	-	-	49	31	
18	42	2	-	28	-	-	-	-	-	-	-	38	
19	-	-	5	27	-	15	14	-	-	-	-	-	
20	19	-	-	18	-	29	12	-	-	-	-	20	
21	4	3	21	-	-	-	-	-	-	31	-	25	
22	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	
23	-	93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	
24	7	2	65	-	-	7	15	-	-	-	-	8	
25	-	3	-	-	-	-	-	-	11	35	76	-	
26	26	59	50	3	-	-	-	-	-	-	16	-	
27	-	3	7	-	-	0	14	-	3	-	-	7	
28	8	2	2	-	38	4	16	-	18	-	-	12	
29	-	18	5	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
30	-	-	3	-	5	18	8	-	-	-	85	-	
31	2	-	5	-	102	-	-	-	-	-	-	-	
Bulanan	316	428	303	121	211	76	79	69	43	163	485	255	
Curah Hujan Maksimal													
												102	

Keterangan

Hujan diatas 100 mm cetak tebal
X : Stasiun hujan rusak
O : Terjadi hujan tapi tidak terukur

Data Curah Hujan Harian
Tahun 2017

Nama Stasiun Kode Stasiun Lintang Selatan Bujur Timur Elevasi	Badas 85												
	Curah Hujan (mm)												
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember	
1	16	8	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
3	-	13	17	10	-	-	-	-	-	5	-	-	-
4	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	11
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	40	-	21	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	23	14	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	59	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	17	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
14	-	35	8	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-
15	-	30	4	75	-	-	-	-	-	-	-	-	22
16	25	28	33	-	-	-	-	-	-	-	-	35	20
17	2	3	-	-	-	-	-	-	-	15	52	50	-
18	28	-	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	25
19	35	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	22
20	28	4	-	47	-	-	-	-	-	-	44	70	-
21	-	29	2	-	-	-	-	-	-	-	35	25	-
22	12	-	28	23	-	2	-	-	-	-	85	63	-
23	6	2	-	-	-	-	-	-	-	2	3	37	-
24	3	6	16	30	-	-	-	-	-	20	-	30	-
25	8	10	-	4	-	-	-	-	-	-	-	53	-
26	28	39	-	-	-	-	-	-	-	-	60	-	-
27	12	-	24	-	-	-	-	-	-	2	45	85	-
28	21	12	-	10	-	-	15	-	-	-	2	108	-
29	20	-	-	9	-	-	-	-	-	-	15	47	-
30	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-
31	12	-	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59
Bulanan	415	283	227	266	0	2	15	0	0	44	379	775	108

Keterangan

Hujan diatas 100 mm cetak tebal

X : Stasiun hujan rusak

O : Terjadi hujan tapi tidak terukur

Data Curah Hujan Harian
Tahun 2018

Nama Stasiun Kode Stasiun Lintang Selatan Bujur Timur Elevasi	Badas 85	Curah Hujan Maksimal											
		Bulan (mm)											
Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember	
1	5	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	6
2	75	5	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	63	-	-	2	-	-	-	-	-	-	2	2	
4	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	25	3	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
6	8	75	-	-	-	-	-	-	-	-	13	2	
7	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	65	23	-	-	64	-	-	-	-	-	65	3	
9	15	38	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	
10	25	20	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	
11	2	18	-	-	-	-	-	-	-	-	3	6	
12	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13	1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	
15	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	15	
16	2	24	-	60	-	-	-	-	-	-	-	10	
17	2	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	3	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19	9	45	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	8	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	5	
22	-	59	-	8	-	-	-	-	-	-	-	3	
23	35	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	5	9	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	
25	29	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	
26	50	3	-	-	-	5	-	-	-	-	5	-	
27	35	2	-	-	-	-	-	-	-	-	20	2	
28	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	-	
29	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bulanan	697	414	0	133	64	15	0	0	0	0	0	203	60
												75	

Keterangan

Hujan diatas 100 mm cetak tebal

X : Stasiun hujan rusak

O : Terjadi hujan tapi tidak terukur

Data Curah Hujan Harian
Tahun 2019

Nama Stasiun Kode Stasiun Lintang Selatan Bujur Timur Elevasi	Badas 85	Bulan (mm)											
		Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Okttober	November	Desember
1	2	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	16	40	5	-	-	-	-	-	-	-	-	18	-
3	-	-	3	6	-	-	-	-	-	-	-	-	2
4	-	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	10	11	23	-	-	-	-	-	-	-	-	11
6	3	-	55	30	-	-	-	-	-	-	-	-	69
7	3	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
8	60	4	15	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	2	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	8
10	-	1	25	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	2	25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	-
13	25	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	1
14	50	1	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	1
15	1	4	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
17	45	20	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
18	20	1	7	4	-	-	-	-	-	-	-	-	1
19	1	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	5	-	115	25	-	-	-	-	-	-	-	-	14
21	35	2	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
22	-	110	5	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-
23	1	-	25	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	2	16	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	75	14	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	5	3	16	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	3	2	-	33	-	-	-	-	-	-	-	38	5
29	-	-	3	60	-	-	-	-	-	-	-	-	1
30	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
31	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Bulanan	381	279	368	281	0	0	0	0	0	0	0	110	151
Curah Hujan Maksimal													115

Keterangan

Hujan diatas 100 mm cetak tebal

X : Stasiun hujan rusak

O : Terjadi hujan tapi tidak terukur

Data Curah Hujan Harian
Tahun 2020

Nama Stasiun	Badas											
Kode Stasiun	85											
Lintang Selatan												
Bujur Timur												
Elevasi												
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	72	8	6	-	-	-	-	-	-	-	80	-
2	21	12	16	-	-	-	-	-	-	-	20	-
3	4	65	9	3	-	-	-	-	-	-	3	-
4	-	5	1	16	-	-	-	-	6	-	-	-
5	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	78	2	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-
7	25	-	2	9	-	1	28	-	-	-	-	-
8	30	3	1	31	-	-	-	-	-	-	-	-
9	2	-	16	1	-	-	-	-	-	-	-	-
10	9	-	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-
11	4	2	-	2	-	-	-	-	-	37	-	-
12	-	23	-	11	7	-	-	16	-	-	2	-
13	-	13	-	-	-	-	-	-	-	22	-	-
14	-	5	2	3	-	-	-	-	-	-	3	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	8	9	27	-	-	4	3	-	-	-	-	-
17	-	24	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	23	11	-	9	4	-	-	-	-	14	-
19	-	-	-	5	9	-	-	-	-	-	-	-
20	-	10	16	-	31	-	-	-	-	-	-	-
21	3	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
22	-	60	-	7	-	-	-	-	-	-	29	-
23	13	6	3	-	-	-	-	-	-	6	7	-
24	-	39	3-	1	-	-	-	-	-	36	-	-
25	36	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	2	26	7	3	2	-	-	-	-	-	-	-
27	26	31	-	-	9	-	-	-	-	16	-	-
28	-	90	20	-	103	-	-	-	-	-	-	-
29	47	2	8	18	-	-	-	-	-	-	9	-
30	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-
Bulanan	440	469	170	139	173	9	31	16	6	122	180	-
Curah Hujan Maksimal												103

Keterangan

Hujan diatas 100 mm cetak tebal

X : Stasiun hujan rusak

O : Terjadi hujan tapi tidak terukur

Penanganan Sampah Untuk Wilayah Kabupaten Kediri Tahun 2017

Nama Kecamatan	Jumlah Penduduk (jiwa)	Sampah Tidak Terproses		Sampah Dikelola Mandiri		Sampah Tereduksi di TP3R/TPST /Bank Sampah		Sampah Terangkut ke TPA		Total	
		(m3/hari)	(%)	(m3/hari)	(%)	(m3/hari)	(%)	(m3/hari)	(%)	(m3/hari)	(%)
Mojo	13728	169.494	4.308	-	-	-	-	2	0.051	171.494	4.359
Semen	43605	118.309	3.007	-	-	-	-	6	0.152	124.309	3.159
Ngadiluwih	27422	170.769	4.340	0.51	0.013	0.4	0.010	40	1.017	211.679	5.380
Kras	18972	132.155	3.359	-	-	9	0.229	2	0.051	143.155	3.638
Ringinrejo	21522	137.94	3.506	-	-	-	-	-	-	137.94	3.506
Kandat	20900	156.226	3.971	-	-	-	-	-	-	156.226	3.971
Wates	20889	181.624	4.616	-	-	8	0.203	8	0.203	197.624	5.023
Ngancar	23421	96.096	2.442	-	-	-	-	-	-	96.096	2.442
Plosoklaten	12522	180.356	4.584	-	-	-	-	-	-	180.356	4.584
Gurah	26305	169.938	4.319	-	-	18	0.457	18	0.457	205.938	5.234
Puncu	15024	133.038	3.381	-	-	-	-	-	-	133.038	3.381
Kepung	33016	188.329	4.786	-	-	-	-	-	-	188.329	4.786
Kandangan	18691	128.814	3.274	-	-	-	-	-	-	128.814	3.274
Pare	101861	21.7625	0.553	0.83	0.021	62.1	1.578	148	3.761	232.693	5.914
Badas	44724	156.327	3.973	0.56	0.014	-	-	-	-	156.887	3.987
Kunjang	10076	84.5792	2.150	-	-	-	-	9	0.229	93.5792	2.378
Plemahan	13895	147.432	3.747	-	-	2.25	0.057	9	0.229	158.682	4.033
Purwoasri	17906	168.784	4.290	-	-	-	-	-	-	168.784	4.290
Papar	21510	100.944	2.566	-	-	2.25	0.057	32	0.813	135.194	3.436
Pagu	19458	89.3312	2.270	-	-	-	-	9	0.229	98.3312	2.499
Kayenkidul	7353	112.473	2.859	-	-	-	-	-	-	112.473	2.859
Gampengrejo	22204	87.1692	2.215	-	-	20.25	0.515	9	0.229	116.419	2.959
Ngasem	77568	68.5084	1.741	-	-	20.25	-	72	1.830	160.758	4.086
Banyakan	23257	155.355	3.948	-	-	-	-	-	-	155.355	3.948
Grogol	23093	116.638	2.964	-	-	2.25	0.057	-	-	118.888	3.022
Tarokan	40177	151.624	3.854	-	-	-	-	-	-	151.624	3.854
Jumlah	719099	3424.02	87.022	1.9	0.04829	144.75	3.164	364	9.251	3934.67	100

Sumber Data : Instrumen SKK (2017)

Data Pengolahan Sampah Kabupaten Kediri

Uraian	2017	2018	2019
	m3	m3	m3
Volume Sampah Kabupaten Kediri	1141683,50	1147925,00	1154166,50
Volume Sampah di daerah Layan	450410,00	452965,00	455155,00
Volume Sampah yang ditangani DLH	161330,00	165710,00	169360,00
Volume Sampah tereduksi di TPS3R	2190,00	3285,00	6570,00

Sumber : DLH Kabupaten Kediri (2019)

Proyeksi Kependudukan Kabupaten Kediri

Nama Kecamatan	Tahun					
	2017			2018		
	Laki-laki	Perempuan	Total	Laki-laki	Perempuan	Total
Mojo	38581	37183	75764	38696	37289	75985
Semen	26917	26577	53494	27119	26771	53890
Ngadiluwih	38720	38831	77551	39957	39063	79020
Kras	29450	29901	59351	29613	30062	59675
Ringinrejo	26531	25756	52287	26664	25880	52544
Kandat	29580	29518	59098	29754	29688	59442
Wates	43744	43369	87113	43938	43555	87493
Ngancar	23781	23397	47178	23906	23516	47422
Plosoklaten	35254	34683	69937	35388	34809	70197
Gurah	41370	39864	81234	41615	40094	81709
Puncu	30768	30212	60980	30919	30355	61274
Kepung	42253	39588	81841	42282	39608	81890
Kandangan	23887	24417	48304	23943	24469	48412
Pare	50796	51065	101861	50961	51224	102185
Badas	31261	30820	62081	31555	30980	62535
Kunjang	17054	17243	34297	16938	17250	34188
Plemahan	29149	29572	58721	29315	29735	59050
Purwoasri	27108	28451	55559	27151	28491	55642
Papar	24725	25281	50006	24791	25346	50137
Pagu	19263	19372	38635	19373	19480	38853
Kayenkidul	22071	22458	44529	22120	22504	44624
Gampengrejo	17226	16828	34054	17358	16954	34312
Ngasem	22522	33788	56310	33972	34134	68106
Banyakan	27374	27474	54848	27277	27474	54751
Grogol	23354	23031	46385	23461	23134	46595
Tarokan	29850	29124	58974	29957	29225	59182
Total	772589	777803	1550392	788023	781090	1569113

Sumber : BPS Kabupaten Kediri berdasarkan Proyeksi Penduduk Indonesia 2010–2035 (2017 dan 2018)

SUMBER DANA :

APBN.2018

NAMA PAKET :

JTM. K-1

NAMA PEKERJAAN :

**PENYUSUNAN PERENCANAAN
 TEKnis DAN MANAJEMEN PERSAMPahan
 KABUPATEN KEDIRI DAN DED TPA SAMPAH**

JUDUL	SKALA
LAYOUT PLAN TPA SEKOTO - KEDIRI	1 : 1600

KETERANGAN :

- A = Unit Screen & Equalisasi
- B = Unit ABR
- C = Unit Fakultatif
- D = Unit Maturasi
- E = Unit Wetland
- F = Bangunan Jembatan Timbang

DIRENCANAKAN

KONSULTAN PERENCANA

Muhammad Soleh, ST
 Team Leader

DIGAMBAR

DRAFTER

Rio Irawan, AMD

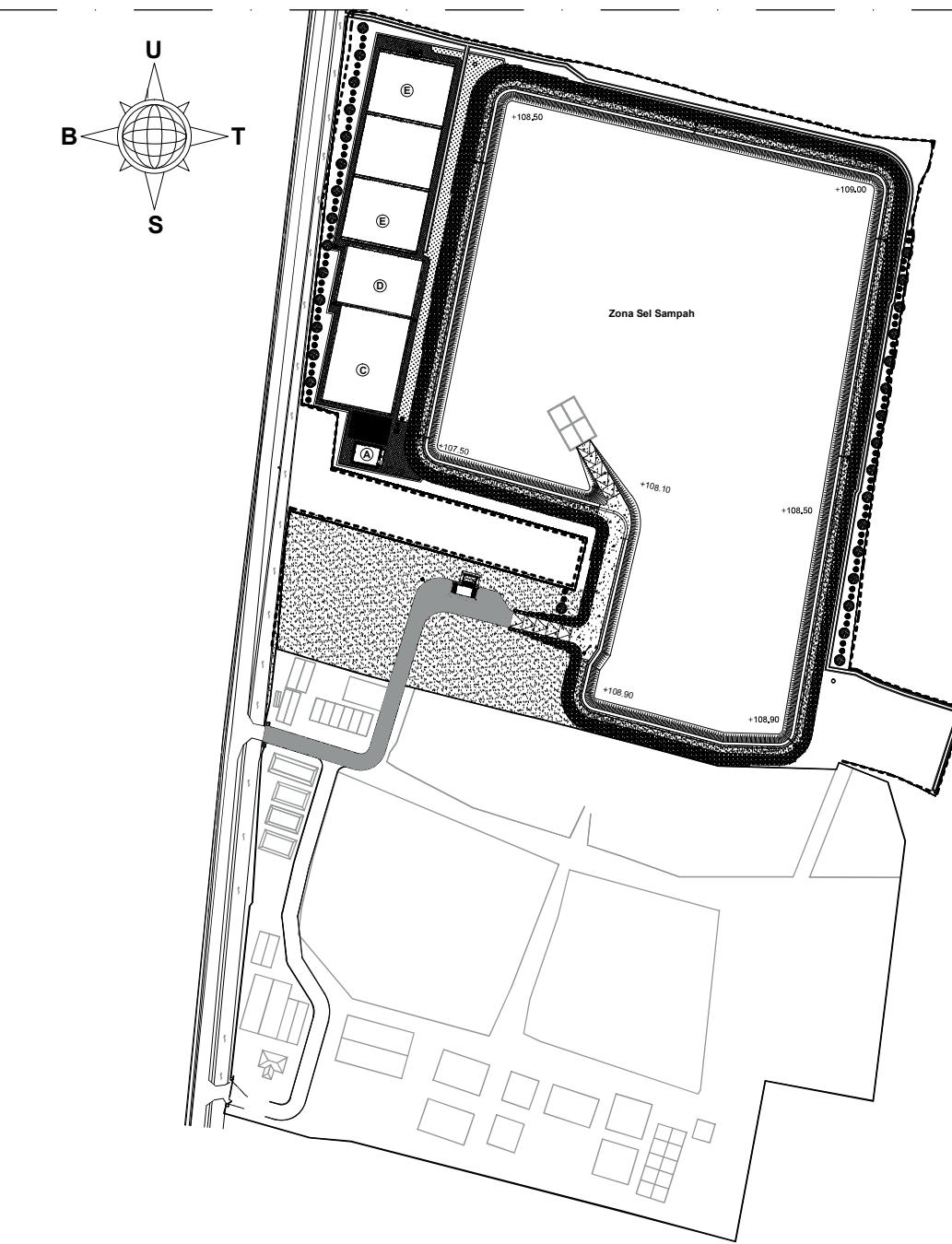
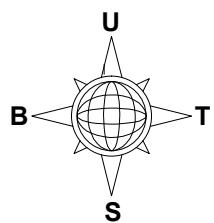
MENYETUJUI

DIREKTUR
 PT. MITRA HIJAU INDONESIA

Achmad Sidiq, S.I.

mitra hijau Indonesia
 Environmental Consultants

KODE GAMBAR	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
ARS	23	135



LAYOUT PLAN TPA SEKOTO - KEDIRI
 SKALA 1 : 1600

SUMBER DANA :

APBN.2018

NAMA PAKET :

JTM. K-1

NAMA PEKERJAAN :

**PENYUSUNAN PERENCANAAN
 TEKnis DAN MANAJEMEN PERSAMPAHAN
 KABUPATEN KEDIRI DAN DED TPA SAMPAH**

JUDUL	SKALA
KEYPLAN POTONGAN HIDROLIS PROFIL HIDROLIS DARI UNIT EQUALISASI SAMPAI KE UNIT MATURASI	NTS 1 : 100

KETERANGAN :

DIRENCANAKAN

KONSULTAN PERENCANA

Muhammad Soleh, ST
Team Leader

DIGAMBAR

DRAFTER

Rio Irawan, AMD

MENYETUJI

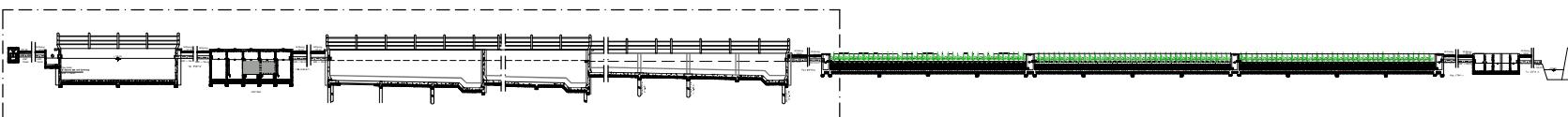
DIREKTUR

PT. MITRA HIJAU INDONESIA

Achmad Sutedi, SI

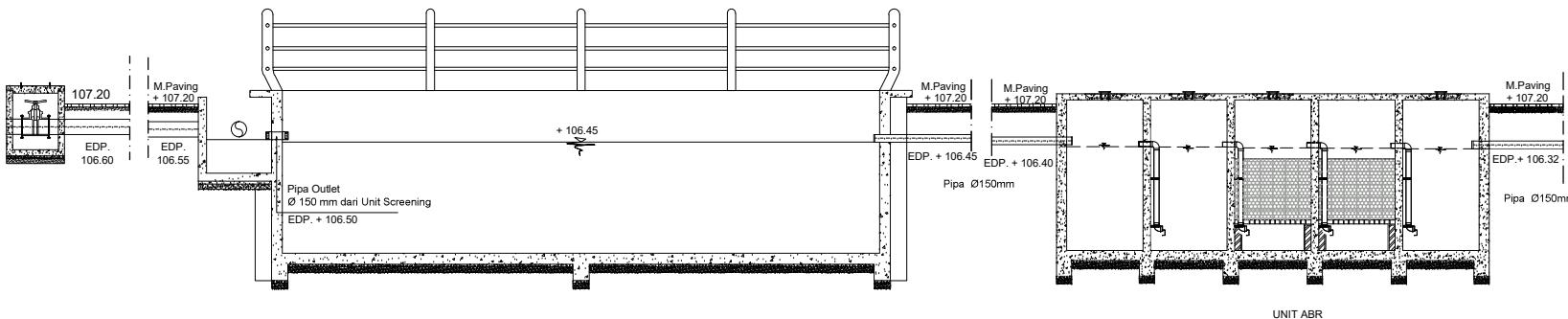
mitra hijau Indonesia
Environmental Consultants

KODE GAMBAR	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	76	135



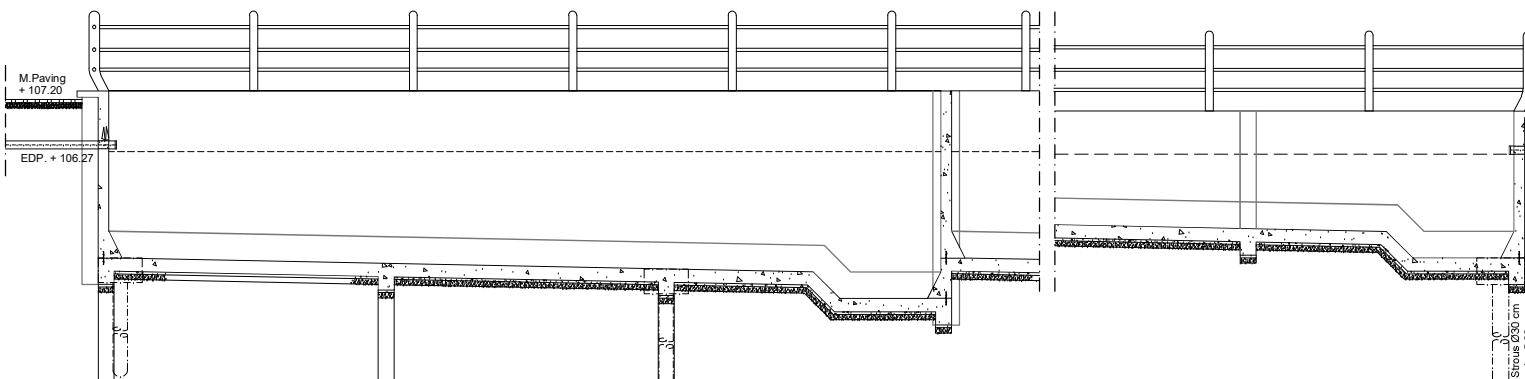
KEYPLAN POTONGAN HIDROLIS

SKALA NTS



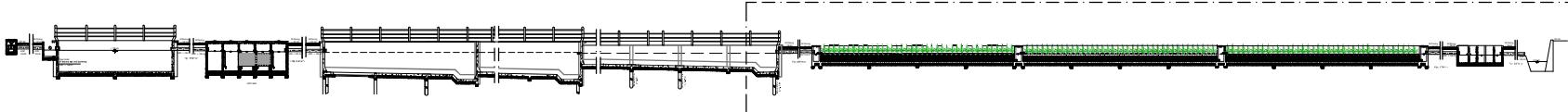
PROFIL HIDROLIS

SKALA 1 : 100



PROFIL HIDROLIS

SKALA 1 : 100



KEYPLAN POTONGAN HIDROLIS

SKALA NTS

SUMBER DANA :

APBN.2018

NAMA PAKET :

JTM. K-1

NAMA PEKERJAAN :

PENYUSUNAN PERENCANAAN
 TEKnis DAN MANAJEMEN PERSAMPAHAN
 KABUPATEN KEDIRI DAN DED TPA SAMPAH

JUDUL	SKALA
KEYPLAN POTONGAN HIDROLIS PROFIL HIDROLIS DARI UNIT Maturasi SAMPAI KE SUNGAI	NTS 1 : 100

KETERANGAN :

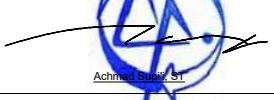
DIRENCANAKAN
 KONSULTAN PERENCANA

 Muhammad Soleh, ST
 Team Leader

DIGAMBAR
 DRAFTER


 Rio Irawan, AMD

MENYETUJI
 DIREKTUR
 PT. MITRA HIJAU INDONESIA


 Achmad Sudir, S.I.


 mitra hijau Indonesia
 Environmental Consultants

KODE GAMBAR	NO. GAMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	77	135

PROFIL HIDROLIS

SKALA 1 : 100

STR 77 135

Geotextile Woven.

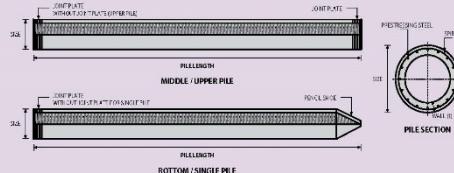
Geotextile woven merupakan material berbentuk lembaran yang terbuat dari serat atau benang polymer yang berbahan dasar polypropylene atau polyester yang dianyam menggunakan mesin modern yang bertehnologi tinggi dengan standar quality control yang tinggi. Geotextile woven bersifat permeable dan memiliki Tensile Strength (TS) /kuat tarik yang tinggi. Geotextile woven mempunyai tensile strength lebih tinggi jika dibandingkan dengan geotextile jenis non woven.

Fungsi dari material ini sendiri yaitu diaplikasikan sebagai material stabilisasi (stabilizator) untuk tanah dasar, khususnya pada tanah lunak. Selain itu dapat juga diaplikasikan pada jalur rel kereta api, pada lahan yang akan ditimbun/ reklamasi, pada pembuatan/ konstruksi jalan, dan lain sebagainya.

Data Sheet Geotextile Woven

PROPERTIES	TEST METHOD	TYPE 15	TYPE 20	TYPE 25	UNIT
Mass (Berat)	D 5261 - 10	149,18	182,57	247,75	Gr/m ²
Thickness (ketebalan)	D 5199 - 12	0,57 - 0,63	0,66 - 0,75	0,88 - 0,97	mm
Ukuran Pori (Aperture opening size / AOS)	D 4751 - 16	180 ≤ AOS ≤ 210	125 ≤ AOS ≤ 150	75 ≤ AOS ≤ 90	μm
Ketahanan Tusuk (CBR Puncture Resistance)	D 6241 - 14	3091,79	3299,43	5798,08	N
Color (Warna)		Black	Black	Black	
Kuat Tarik (Tensile Strength)					
* Arah Panjang	D 4595 - 05	24,71	27,73	55,79	kN/m
* Arah Lebar		20,58	25,70	42,84	kN/m
Renggang Putus (Elongation at Break)					
* Arah Panjang	D 4565 - 05	16,67	18,33	21,00	%
* Arah Lebar		18,33	19,67	23,33	%
Kuat Tarik Pegang (Grab Tensile Strength)					
* Arah Panjang	D 4632 - 13	860,01	971,19	1769,07	N
* Arah Lebar		768,45	868,51	1680,78	
Renggang Putus Pegang (Grab Elongation at Break)					
* Arah Panjang	D 4632 - 13	23,00	24,00	26,00	%
* Arah Lebar		23,00	27,00	38,33	%
Permeabilitas air filter (Water/filter Permeability) dengan water presure head 50 mm :					
* Permeabilitas (Permeability)	D 4491 - 14	0,274	0,242	0,322	1/s
* Permeabilitas (Permeability)		0,164	0,169	0,298	mm/s
* Laju Aliran (Flow Rate)		14,735	12,993	17,306	l/m ² s
Ukuran Roll (Roll Dimension)					
* Panjang (Long)		100	100	150	m
* Lebar (Wide)		4	4	4	m
* Luas (Large)		800	800	600	m ²

PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE PRETENSION SPUN PILES



PRESTRESSED CONCRETE PRETENSION SPUN PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength (f_c) = 52 MPa (Cube 60x60x60 mm)

Size (mm)	Thickness (mm)	Wall (t) mm	Cross Section (cm ²)	Section Inertia (cm ⁴)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment	Allowable Compression (ton/m)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)	
							Crack * (ton/mm)	Break (ton/m)			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6-12	
						A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6-13
						B	3.50	6.30	67.50	41.96	6-14
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6-13	
						A3	4.20	6.90	99.50	37.50	6-14
						B	5.00	8.60	86.40	49.25	6-15
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	C	6.00	12.00	85.00	60.87	6-16
						A3	5.50	9.25	121.10	58.62	6-14
						B	6.50	9.75	117.60	45.51	6-15
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	C	9.00	18.00	111.50	80.94	6-17
						A2	7.50	11.25	149.50	39.28	6-14
						A3	8.50	12.75	145.80	53.39	6-15
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	B	10.00	15.00	143.80	66.57	6-16
						C	11.00	19.80	139.10	78.84	6-17
						A2	12.50	25.00	134.90	100.45	6-18
550	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6-15
						A2	12.00	18.00	181.00	68.49	6-16
						A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6-17
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	B	15.00	22.00	174.80	94.13	6-18
						C	17.00	34.00	169.00	122.04	6-19
						A2	17.00	25.50	252.70	70.52	6-16
650	110	1,943.00	680,800.00	496	A1	A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6-17
						A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6-18
						B	25.00	45.00	238.30	131.10	6-19
700	120	2,563.54	1,527,809.60	641	A1	C	29.00	58.00	229.50	163.67	6-20
						A2	40.00	60.00	415.00	119.34	6-20
						A3	46.00	69.00	406.10	151.02	6-21
750	130	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	B	51.00	76.50	399.17	171.18	6-22
						C	55.00	99.00	388.61	215.80	6-23
						A2	65.00	131.00	388.17	230.82	6-24
800	140	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	A1	75.00	110.00	613.52	169.81	6-22
						A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6-23
						A3	95.00	139.50	589.66	259.19	6-24
850	150	6,212.00	10,600,000.00	1,440	A1	B	105.00	189.00	575.33	311.26	6-24
						C	120.00	240.00	555.23	385.70	6-24
						A2	200.00	400.00	721.50	522.20	6-24

Unit Conversion : 1 ton = 9,8060 MN

Note : *). Crack Moment Based on JIS A 3335-1987 (Prestressed Spun Concrete Piles)

**). Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position

***). Type of Shoe for Bottom Pile is Mama Shoe



Geoprotec®

HDPE / LLDPE GEOMEMBRANE

Geomembrane yang dibuat dengan kualitas terbaik mengikuti standart internasional GRI (Geosynthetic Research Institute) dari GSI (Geosynthetic Institute).

PRODUCT DATA SHEET Geoprotec HDPE Smooth Geomembrane

PROPERTIES	TEST METHOD	UNIT	0.75 mm	1.00 mm	1.50 mm	2.00 mm	2.50 mm	3.00 mm
SPECIFICATIONS								
Thickness (min.ave.)	ASTM D 5199	mm	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
Thickness (min.)	%	10	10	10	10	10	10	10
Sheet Density (min.)	ASTM D1505	g/cm ²	≥ 0.940	≥ 0.940	≥ 0.940	≥ 0.940	≥ 0.940	≥ 0.940
Tensile Properties (min.ave.)	ASTM D6693	Type IV						
• Yield Strength	50 mm/min	kN/m	11	25	22	29	37	44
• Break Strength	50 mm/min	kN/m	20	27	40	53	67	80
• Yield Elongation	Io = 33 mm	%	12	12	12	12	12	12
• Break Elongation	Io = 50 mm	%	700	700	700	700	700	700
Tear Resistance (min.ave.)	ASTM D1004	N	92	125	249	311	331	374
Puncture Resistance (min.ave.)	ASTM D4883	N	240	320	480	640	800	960
Stress Crack Resistance (min.)	ASTM D5397	hr.	500	500	500	500	500	500
Carbon Black Content	ASTM D4118	%	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3
Carbon Black Dispersion	ASTM D5596		9 in categories 1/2 1 in category 3					
Standard Oxidative Induction Time (min.ave.)	ASTM D3895	min	100	100	100	100	100	100
ROLL DIMENSIONS								
Roll Dimension - Width	m	m	2	7	7	7	7	2
Roll Dimension - Length	m	m	280	230	140	105	84	70
Area (Surface/Roll)	m ²		1960	1470	980	735	588	490

PRODUCT DATA SHEET Singa KTG HDPE Smooth Geomembrane



PROPERTIES	TEST METHOD	UNIT	0.30 mm	0.50 mm
SPECIFICATIONS				
Thickness (min.ave.)	ASTM D 5199	mm	0.30	0.50
Thickness (min.)	%	10	10	10
Sheet Density (min.)	ASTM D1505	g/cm ²	≥ 0.940	≥ 0.940
Tensile Properties (min.ave.)	ASTM D6693	Type IV		
• Yield Strength	50 mm/min	kN/m	5	8
• Break Strength	50 mm/min	kN/m	8	14
• Yield Elongation	Io = 33 mm	%	2	12
• Break Elongation	Io = 50 mm	%	700	700
Tear Resistance (min.ave.)	ASTM D1004	N	38	63
Puncture Resistance (min.ave.)	ASTM D4883	N	65	130
Standard Oxidative Induction Time (min.ave.)	KTG Method	%	2 - 3	2 - 3
ROLL DIMENSIONS				
Roll Dimension - Width	m	m	6	8
Roll Dimension - Length	m	m	100	100
Area (Surface/Roll)	m ²		600	800

HOPE GEOMEMBRANE



Geosynthetic & Building Materials Supplier

www.hdpegeomembrane.id

Office : Kahuripan Terrace IX/37 - Sidoarjo, Jawa Timur
Workshop : Puri Sejahtera 2 Blok L4/L6 - Sidoarjo, Jawa Timur
Telp : 031 - 8071665 Fax : 031 - 8071665 Ⓢ 0813 5700 6394





www.hdpegeomembrane.com

Office : Kahuripan Terrace IX/37 - Sidoarjo, Jawa Timur
 Workshop : Puri Sejahtera 2 Blok L4/L6 - Sidoarjo, Jawa Timur
 Telp : 031 - 8071665 Fax : 031 - 8071665 ⓐ 0813 5700 6394



A. Spesifikasi Geogrid Biaxial PP

Specification	Unit	Test Method	GG2020	GG2525	GG3030	GG4040
Polymer	-	-				
Minimum Carbon Black Content	%	ASTM D 4218				
Weight (Tolerance: 10%)	g/m ²	-	230	270	330	460
Roll Size	Width	m	3.95	3.95	3.95	3.95
	Length	m	-	50	50	50
Tensile Strength (MD,TD)	MD	kN/m	ASTM D 6637	20	25	30
	TD	kN/m	ASTM D 6637	20	25	30
Peak Strain	MD	%	ASTM D 6637	13	13	13
	TD	%	ASTM D 6637	13	13	13
Load at 2% Strain	MD	kN/m	ASTM D 6637	7	9	10.5
	TD	kN/m	ASTM D 6637	7	9	10.5
Load at 5% Strain	MD	kN/m	ASTM D 6637	14	17	21
	TD	kN/m	ASTM D 6637	14	17	21
Junction Efficiency	%	GRI GG2	95	95	95	95
Flexural Rigidity	mg·cm	ASTM D 7748	1,090,000	-	3,930,000	11,480,000
Aperture Stability	m-N/deg	COE Method	0,70	-	1,43	2,10

B. Spesifikasi Geogrid Uniaxial PP

Property	Test Method	TGDG 35	TGDG 50	TGDG 80	TGDG 100	TGDG 110	TGDG 120
Ultimate Tensile Strength	kN/m	35	50	80	100	110	120
Ultimate Tensile Strength	%			10			
Tensile Strength at 2 % elongation	kN/m	ASTM D 6637	9	10	23	29	30
Tensile Strength at 5 % elongation	kN/m		18	25	44	55	58
Creep Limit Strength	kN/m		15	21	30	39	40
Minimum Carbon Block	%	ASTM D4218			2		

Property	Test Method	TGDG 150	TGDG 170	TGDG 200	TGDG 220	TGDG 240	TGDG 300
Ultimate Tensile Strength	kN/m	150	170	200	220	240	300
Ultimate Tensile Strength	%			10			
Tensile Strength at 2 % elongation	kN/m	ASTM D 6637	39	45	55	59	65
Tensile Strength at 5 % elongation	kN/m		77	90	110	120	132
Creep Limit Strength	kN/m		49	57	64	71,5	79
Minimum Carbon Block	%	ASTM D4218			2		

C. Spesifikasi Geogrid Uniaxial HDPE

Property	Test Method	TGDG 50	TGDG 60	TGDG 80	TGDG 100	TGDG 120	TGDG 160
Ultimate Tensile Strength	kN/m	50	60	80	100	120	160
Ultimate Tensile Strength	%			10			
Tensile Strength at 2 % elongation	kN/m	ASTM D 6637	14	16	23	29	35
Tensile Strength at 5 % elongation	kN/m		27	31	44	55	65
Creep Limit Strength	kN/m		21	24	31	39	46
Minimum Carbon Block	%	ASTM D4218			2		

Lampiran 2 : Perencanaan Kapasitas Landfill

Tabel 1 : Rekapitulasi kebutuhan landfill Tahun 2022 sampai dengan Tahun 2031

Tabel 2 : Rekapitulasi kapasitas landfill berdasarkan ketinggian timbunan

Tabel 3 : Rekapitulasi penimbunan sampah bulanan dan tinggi landfill kumulatif bulanan

Tabel 1 : Rekapitulasi kebutuhan landfill Tahun 2022 sampai dengan Tahun 2031

Tahun 2022		
Timbunan Sel Sampah Harian		
Volume Sampah yang masuk TPA	189.144	m ³ /hari
Volume Sampah setelah terpadatkan (43%)	81.332	m ³ /hari
Tinggi timbunan Sel Sampah rencana	1	m
Lebar Timbunan Sel Sampah rencana	13	m
Tebal Lapisan Penutup	0.2	m
Panjang Sel Sampah Harian	6.256	m
Kebutuhan Sel Sampah		
Kebutuhan Sel Sampah Harian	81.332	m ² /hari
Kebutuhan Sel Sampah Bulanan (30 Hari)	2439.953	m ² /bulan
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	29279.434	m ²
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	2.928	Ha
Volume Landfill yang dibutuhkan selama 1 Tahun	35135.321	m ³
Tahun 2023		
Timbunan Sel Sampah Harian		
Volume Sampah yang masuk TPA	189.995	m ³ /hari
Volume Sampah setelah terpadatkan (43%)	81.698	m ³ /hari
Tinggi timbunan Sel Sampah rencana	1	m
Lebar Timbunan Sel Sampah rencana	13	m
Tebal Lapisan Penutup	0.2	m
Panjang Sel Sampah Harian	6.284	m

Kebutuhan Sel Sampah		
Kebutuhan Sel Sampah Harian	81.698	m ² /hari
Kebutuhan Sel Sampah Bulanan (30 Hari)	2450.933	m ² /bulan
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	29411.192	m ²
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	2.941	ha
Volume Landfill yang dibutuhkan selama 1 Tahun	35293.430	m ³
Tahun 2024		
Timbunan Sel Sampah Harian		
Volume Sampah yang masuk TPA	190.850	m ³ /hari
Volume Sampah setelah terpadatkan (43%)	82.065	m ³ /hari
Tinggi timbunan Sel Sampah rencana	1	m
Lebar Timbunan Sel Sampah rencana	13	m
Tebal Lapisan Penutup	0.2	m
Panjang Sel Sampah Harian	6.313	m
Kebutuhan Sel Sampah		
Kebutuhan Sel Sampah Harian	82.065	m ² /hari
Kebutuhan Sel Sampah Bulanan (30 Hari)	2461.962	m ² /bulan
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	29543.542	m ²
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	2.954	ha
Volume Landfill yang dibutuhkan selama 1 Tahun	35452.251	m ³

Tahun 2025		
Timbunan Sel Sampah Harian		
Volume Sampah yang masuk TPA	191.709	m ³ /hari
Volume Sampah setelah terpadatkan (43%)	82.435	m ³ /hari
Tinggi timbunan Sel Sampah rencana	1	m
Lebar Timbunan Sel Sampah rencana	13	m
Tebal Lapisan Penutup	0.2	m
Panjang Sel Sampah Harian	6.341	m
Kebutuhan Sel Sampah		
Kebutuhan Sel Sampah Harian	82.435	m ² /hari
Kebutuhan Sel Sampah Bulanan (30 Hari)	2473.041	m ² /bulan
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	29676.488	m ²
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	2.968	ha
Volume Landfill yang dibutuhkan selama 1 Tahun	35611.786	m ³
Tahun 2026		
Timbunan Sel Sampah Harian		
Volume Sampah yang masuk TPA	192.571	m ³ /hari
Volume Sampah setelah terpadatkan (43%)	82.806	m ³ /hari
Tinggi timbunan Sel Sampah rencana	1	m
Lebar Timbunan Sel Sampah rencana	13	m
Tebal Lapisan Penutup	0.2	m
Panjang Sel Sampah Harian	6.370	m

Kebutuhan Sel Sampah		
Kebutuhan Sel Sampah Harian	82.806	m ² /hari
Kebutuhan Sel Sampah Bulanan (30 Hari)	2484.169	m ² /bulan
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	29810.032	m ²
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	2.981	ha
Volume Landfill yang dibutuhkan selama 1 Tahun	35772.039	m ³
Tahun 2027		
Timbunan Sel Sampah Harian		
Volume Sampah yang masuk TPA	193.438	m ³ /hari
Volume Sampah setelah terpadatkan (43%)	83.178	m ³ /hari
Tinggi timbunan Sel Sampah rencana	1	m
Lebar Timbunan Sel Sampah rencana	13	m
Tebal Lapisan Penutup	0.2	m
Panjang Sel Sampah Harian	6.398	m
Kebutuhan Sel Sampah		
Kebutuhan Sel Sampah Harian	83.178	m ² /hari
Kebutuhan Sel Sampah Bulanan (30 Hari)	2495.348	m ² /bulan
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	29944.177	m ²
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	2.994	ha
Volume Landfill yang dibutuhkan selama 1 Tahun	35933.013	m ³

Tahun 2028		
Timbunan Sel Sampah Harian		
Volume Sampah yang masuk TPA	194.308	m ³ /hari
Volume Sampah setelah terpadatkan (43%)	83.553	m ³ /hari
Tinggi timbunan Sel Sampah rencana	1	m
Lebar Timbunan Sel Sampah rencana	13	m
Tebal Lapisan Penutup	0.2	m
Panjang Sel Sampah Harian	6.427	m
Kebutuhan Sel Sampah		
Kebutuhan Sel Sampah Harian	83.553	m ² /hari
Kebutuhan Sel Sampah Bulanan (30 Hari)	2506.577	m ² /bulan
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	30078.926	m ²
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	3.008	ha
Volume Landfill yang dibutuhkan selama 1 Tahun	36094.711	m ³
Tahun 2029		
Timbunan Sel Sampah Harian		
Volume Sampah yang masuk TPA	195.183	m ³ /hari
Volume Sampah setelah terpadatkan (43%)	83.929	m ³ /hari
Tinggi timbunan Sel Sampah rencana	1	m
Lebar Timbunan Sel Sampah rencana	13	m
Tebal Lapisan Penutup	0.2	m
Panjang Sel Sampah Harian	6.456	m

Kebutuhan Sel Sampah		
Kebutuhan Sel Sampah Harian	83.929	m ² /hari
Kebutuhan Sel Sampah Bulanan (30 Hari)	2517.857	m ² /bulan
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	30214.281	m ²
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	3.021	ha
Volume Landfill yang dibutuhkan selama 1 Tahun	36257.138	m ³
Tahun 2030		
Timbunan Sel Sampah Harian		
Volume Sampah yang masuk TPA	196.061	m ³ /hari
Volume Sampah setelah terpadatkan (43%)	84.306	m ³ /hari
Tinggi timbunan Sel Sampah rencana	1	m
Lebar Timbunan Sel Sampah rencana	13	m
Tebal Lapisan Penutup	0.2	m
Panjang Sel Sampah Harian	6.485	m
Kebutuhan Sel Sampah		
Kebutuhan Sel Sampah Harian	84.306	m ² /hari
Kebutuhan Sel Sampah Bulanan (30 Hari)	2529.187	m ² /bulan
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	30350.246	m ²
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	3.035	ha
Volume Landfill yang dibutuhkan selama 1 Tahun	36420.295	m ³

Tahun 2031		
Timbunan Sel Sampah Harian		
Volume Sampah yang masuk TPA	196.943	m ³ /hari
Volume Sampah setelah terpadatkan (43%)	84.686	m ³ /hari
Tinggi timbunan Sel Sampah rencana	1	m
Lebar Timbunan Sel Sampah rencana	13	m
Tebal Lapisan Penutup	0.2	m
Panjang Sel Sampah Harian	6.514	m
Kebutuhan Sel Sampah		
Kebutuhan Sel Sampah Harian	84.686	m ² /hari
Kebutuhan Sel Sampah Bulanan (30 Hari)	2540.568	m ² /bulan
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	30486.822	m ²
Kebutuhan Sel Sampah Satu Tahun (12 Bulan)	3.049	ha
Volume Landfill yang dibutuhkan selama 1 Tahun	36584.186	m ³

Tabel 2 : Rekapitulasi kapasitas landfill berdasarkan ketinggian timbunan

No. Lapis Sel	Tebal	Tinggi total	Volume	Kumulatif Volume
				m ³
1	1,2	1,2	25471,459	25471,459
2	1,2	2,4	26321,578	51793,037
3	1,2	3,6	27171,696	78964,733
4	1,2	4,8	28021,814	106986,547
5	1,2	6,0	28306,887	135293,434
6	1,2	7,2	27460,635	162754,070
7	1,2	8,4	26591,152	189345,222
8	1,2	9,6	25734,388	215079,610
9	1,2	10,8	24890,342	239969,951
10	1,2	12,0	24059,014	264028,966
11	1,2	13,2	16953,334	280982,300
12	1,2	14,4	16258,524	297240,824
13	1,2	15,6	15577,562	312818,386
14	1,2	16,8	14910,448	327728,834
15	1,2	18,0	14257,183	341986,017
16	1,2	19,2	8827,863	350813,880
17	1,2	20,4	8317,697	359131,577

Tabel 3 : Rekapitulasi penimbunan sampah bulanan dan tinggi landfill kumulatif bulanan

Bulan	Kebutuhan Sel Bulanan	Kumulatif Sel Sampah	Kumulatif Volume Landfill Bulanan	Tinggi Landfill Kumulatif
Tahun 2022				
Jan	2439.953	2439.953	2927.943	1.2
Feb	2439.953	4879.906	5855.887	1.2
Mar	2439.953	7319.859	8783.830	1.2
Apr	2439.953	9759.811	11711.774	1.2
Mei	2439.953	12199.764	14639.717	1.2
Jun	2439.953	14639.717	17567.661	1.2
Jul	2439.953	17079.670	20495.604	1.2
Agt	2439.953	19519.623	23423.547	1.2
Sept	2439.953	21959.576	26351.491	2.4
Okt	2439.953	24399.529	29279.434	2.4
Nov	2439.953	26839.481	32207.378	2.4
Des	2439.953	29279.434	35135.321	2.4
Tahun 2023				
Jan	2450.933	31730.367	38076.440	2.4
Feb	2450.933	34181.300	41017.559	2.4
Mar	2450.933	36632.232	43958.679	2.4
Apr	2450.933	39083.165	46899.798	2.4
Mei	2450.933	41534.097	49840.917	2.4
Jun	2450.933	43985.030	52782.036	3.6
Jul	2450.933	46435.963	55723.155	3.6
Agt	2450.933	48886.895	58664.275	3.6
Sept	2450.933	51337.828	61605.394	3.6
Okt	2450.933	53788.761	64546.513	3.6
Nov	2450.933	56239.693	67487.632	3.6
Des	2450.933	58690.626	70428.751	3.6

Bulan	Kebutuhan Sel Bulanan	Kumulatif Sel Sampah	Kumulatif Volume Landfill Bulanan	Tinggi Landfill Kumulatif
Tahun 2024				
Jan	2461.962	61152.588	73383.105	3.6
Feb	2461.962	63614.550	76337.460	3.6
Mar	2461.962	66076.512	79291.814	4.8
Apr	2461.962	68538.473	82246.168	4.8
Mei	2461.962	71000.435	85200.522	4.8
Jun	2461.962	73462.397	88154.876	4.8
Jul	2461.962	75924.359	91109.231	4.8
Agt	2461.962	78386.321	94063.585	4.8
Sept	2461.962	80848.283	97017.939	4.8
Okt	2461.962	83310.244	99972.293	4.8
Nov	2461.962	85772.206	102926.648	4.8
Des	2461.962	88234.168	105881.002	4.8
Tahun 2025				
Jan	2473.041	90707.209	108848.651	6
Feb	2473.041	93180.249	111816.299	6
Mar	2473.041	95653.290	114783.948	6
Apr	2473.041	98126.331	117751.597	6
Mei	2473.041	100599.371	120719.246	6
Jun	2473.041	103072.412	123686.895	6
Jul	2473.041	105545.453	126654.543	6
Agt	2473.041	108018.493	129622.192	6
Sept	2473.041	110491.534	132589.841	6
Okt	2473.041	112964.575	135557.490	7.2
Nov	2473.041	115437.615	138525.139	7.2
Des	2473.041	117910.656	141492.787	7.2

Bulan	Kebutuhan Sel Bulanan	Kumulatif Sel Sampah	Kumulatif Volume Landfill Bulanan	Tinggi Landfill Kumulatif
Tahun 2026				
Jan	2484.169	120394.825	144473.791	7.2
Feb	2484.169	122878.995	147454.794	7.2
Mar	2484.169	125363.164	150435.797	7.2
Apr	2484.169	127847.334	153416.800	7.2
Mei	2484.169	130331.503	156397.803	7.2
Jun	2484.169	132815.672	159378.807	7.2
Jul	2484.169	135299.842	162359.810	7.2
Agt	2484.169	137784.011	165340.813	8.4
Sept	2484.169	140268.180	168321.816	8.4
Okt	2484.169	142752.350	171302.820	8.4
Nov	2484.169	145236.519	174283.823	8.4
Des	2484.169	147720.688	177264.826	8.4
Tahun 2027				
Jan	2495.348	150216.036	180259.244	8.4
Feb	2495.348	152711.385	183253.661	8.4
Mar	2495.348	155206.733	186248.079	8.4
Apr	2495.348	157702.081	189242.497	8.4
Mei	2495.348	160197.429	192236.915	9.6
Jun	2495.348	162692.777	195231.332	9.6
Jul	2495.348	165188.125	198225.750	9.6
Agt	2495.348	167683.473	201220.168	9.6
Sept	2495.348	170178.821	204214.586	9.6
Okt	2495.348	172674.169	207209.003	9.6
Nov	2495.348	175169.518	210203.421	9.6
Des	2495.348	177664.866	213197.839	9.6

Bulan	Kebutuhan Sel Bulanan	Kumulatif Sel Sampah	Kumulatif Volume Landfill Bulanan	Tinggi Landfill Kumulatif
Tahun 2028				
Jan	2506.577	180171.443	216205.731	10.8
Feb	2506.577	182678.020	219213.624	10.8
Mar	2506.577	185184.597	222221.517	10.8
Apr	2506.577	187691.174	225229.409	10.8
Mei	2506.577	190197.752	228237.302	10.8
Jun	2506.577	192704.329	231245.195	10.8
Jul	2506.577	195210.906	234253.087	10.8
Agt	2506.577	197717.483	237260.980	10.8
Sept	2506.577	200224.060	240268.872	12
Okt	2506.577	202730.638	243276.765	12
Nov	2506.577	205237.215	246284.658	12
Des	2506.577	207743.792	249292.550	12
Tahun 2029				
Jan	2517.857	210261.649	252313.978	12
Feb	2517.857	212779.505	255335.407	12
Mar	2517.857	215297.362	258356.835	12
Apr	2517.857	217815.219	261378.263	12
Mei	2517.857	220333.076	264399.691	13.2
Jun	2517.857	222850.933	267421.119	13.2
Jul	2517.857	225368.789	270442.547	13.2
Agt	2517.857	227886.646	273463.975	13.2
Sept	2517.857	230404.503	276485.403	13.2
Okt	2517.857	232922.360	279506.832	13.2
Nov	2517.857	235440.216	282528.260	14.4
Des	2517.857	237958.073	285549.688	14.4

Bulan	Kebutuhan Sel Bulanan	Kumulatif Sel Sampah	Kumulatif Volume Landfill Bulanan	Tinggi Landfill Kumulatif
Tahun 2030				
Jan	2529.187	240487.260	288584.712	14.4
Feb	2529.187	243016.447	291619.737	14.4
Mar	2529.187	245545.635	294654.762	14.4
Apr	2529.187	248074.822	297689.786	14.4
Mei	2529.187	250604.009	300724.811	15.6
Jun	2529.187	253133.196	303759.835	15.6
Jul	2529.187	255662.383	306794.860	15.6
Agt	2529.187	258191.570	309829.884	15.6
Sept	2529.187	260720.757	312864.909	15.6
Okt	2529.187	263249.945	315899.933	16.8
Nov	2529.187	265779.132	318934.958	16.8
Des	2529.187	268308.319	321969.983	16.8
Tahun 2031				
Jan	2540.568	270848.887	325018.665	16.8
Feb	2540.568	273389.456	328067.347	16.8
Mar	2540.568	275930.024	331116.029	18
Apr	2540.568	278470.593	334164.711	18
Mei	2540.568	281011.161	337213.393	18
Jun	2540.568	283551.730	340262.076	18
Jul	2540.568	286092.298	343310.758	19.2
Agt	2540.568	288632.867	346359.440	19.2
Sept	2540.568	291173.435	349408.122	19.2
Okt	2540.568	293714.004	352456.804	20.4
Nov	2540.568	296254.572	355505.486	20.4
Des	2540.568	298795.141	358554.169	20.4

Lampiran 3 : Timbunan Beban Bertahap Sampah

Tabel 1 : Perhitungan Settlement akibat timbunan bertahap sampah (17 lapis atau 17 tahap) hingga waktu tak hingga

Tabel 2 : Rekapitulasi nilai derajat konsolidasi bulanan hingga 10 tahun (120 Bulan)

Tabel 3 : Rekapitulasi settlement akibat timbunan bertahap sampah (17 lapis atau 17 tahap) hingga waktu 10 tahun

Tabel 4 : Rekapitulasi kumulatif settlement akibat timbunan bertahap sampah (17 lapis atau 17 tahap) hingga waktu 10 tahun

Tabel 5 : Perhitungan peningkatan daya dukung tanah akibat beban bertahap timbunan sampah hingga $H_{kritis} = 10.8$ m (9 tahap)

Tabel 6 : Perhitungan perbedaan settlement akibat timbunan berundak

Tabel 1 : Perhitungan Settlement akibat timbunan bertahap sampah (17 lapis atau 17 tahap) hingga waktu tak hingga

No. Tahapan Timbunan	=	1	a	=	1.200	m
Tebal Lapisan Timbunan tahap	=	1.2 m	b	=	74.150	m
Tebal Lapisan Timbunan total	=	1.2 m				

No	H (m)	Z	ϵ_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ' sat (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma$ total (t/m ²)	$\Delta\sigma + \sigma'0$ (t/m ²)	Sc (m)	ΣSc
1	1	0.5	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	1	1.550	1.908	0.0166	0.0166
2	1	1.5	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1	1.550	2.624	0.089	0.0254
3	1	2.5	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1	1.550	3.392	0.0063	0.0317
4	1	3.5	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	1	1.549	4.211	0.0047	0.0364

No. Tahapan Timbunan
 Tebal Lapisan Timbunan tahap
 Tebal Lapisan Timbunan total

= 2
 = 1.2 m
 = 2.4 m

a = 1.200 m
 b = 72.950 m

No	H (m)	Z	e_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	penutup (t/m ³)	γ' γ_{sat} (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_o (t/m ²)	2I (n-1) (t/m ²)	$\Delta\sigma$ total (t/m ²)	$\Delta\sigma + \sigma_0$ (t/m ²)	S_c (m)	ΣS_c		
1	1	1.7	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	1	1.550	3.099	3.457	0.0892	0.0892
2	1	2.7	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	1	1.550	3.099	4.173	0.0670	0.1562
3	1	3.7	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	1	1.550	3.099	4.941	0.0549	0.2111
4	1	4.7	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.999	1.549	3.098	5.760	0.0450	0.2561

No. Tahapan Timbunan = 3
 Tebal Lapisan Timbunan tahap = 1.2 m
 Tebal Lapisan Timbunan total = 3.6 m
 a = 1.200 m
 b = 71.750 m

No	H (m)	Z	ϵ_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ' sat (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma_{(n-1)}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma_{total}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma + \sigma_0$ (t/m ²)	Sc (m)	ΣSc	
1	1	2.9	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	1	3.099	4.648	5.006	0.0367	0.0367
2	1	3.9	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	1	3.099	4.648	5.722	0.0313	0.0680
3	1	4.9	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.999	3.099	4.648	6.490	0.0280	0.0960
4	1	5.9	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.999	3.098	4.647	7.309	0.0244	0.1204

No. Tahapan Timbunan = 4
 Tebal Lapisan Timbunan tahap = 1.2 m
 Tebal Lapisan Timbunan total = 4.8 m
 a = 1.200 m
 b = 70.550 m

No	H (m)	Z	ϵ_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ' sat (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma_{total}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma_{(n-1)}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma + \sigma_0$ (t/m ²)	Sc (m)	ΣSc	
1	1	4.1	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	1	4.648	6.197	6.555	0.0267	0.0267
2	1	5.1	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	0.999	4.648	6.197	7.271	0.0237	0.0505
3	1	6.1	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.999	4.648	6.196	8.038	0.0219	0.0724
4	1	7.1	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.999	4.647	6.195	8.857	0.0197	0.0921

No. Tahapan Timbunan	=	5	a =	1.200	m
Tebal Lapisan Timbunan tahap	=	1.2 m	b =	69.35	m
Tebal Lapisan Timbunan total	=	6 m			

No	H (m)	Z	e_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	γ' (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma_{total}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma_{\text{tot}0}$ (t/m ²)	S_C (m)	ΣS_C	
1	1	5.3	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.999	6.197	7.745	8.104	0.0210	0.0210	
2	1	6.3	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	0.999	6.197	7.745	8.819	0.0191	0.0402
3	1	7.3	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.999	6.196	7.743	9.585	0.0181	0.0582
4	1	8.3	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.999	6.195	7.741	10.403	0.0165	0.0747

No.	Tahapan Timbunan	=	6	a	=	1.200	m
	Tebal Lapisan Timbunan tahap	=	1.2	m	b	=	53.150
	Tebal Lapisan Timbunan total	=	7.2	m			

No	H (m)	Z	e_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	γ' (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma_{total}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma_{total} + \sigma_0$ (t/m ²)	S _c (m)	ΣS_c	
1	1	6.5	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	0.999	7.745	9.289	9.647	0.0173	0.0173
2	1	7.5	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	0.998	7.745	9.286	10.360	0.0160	0.0333
3	1	8.5	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.998	7.743	9.281	11.123	0.0153	0.0485
4	1	9.5	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.997	7.741	9.275	11.937	0.0141	0.0626

No. Tahapan Timbunan	=	7	a	=	1.200	m
Tebal Lapisan Timbunan tahap	=	1.2	m	b	=	51.950
Tebal Lapisan Timbunan total	=	8.4	m			

No	H (m)	Z	e_0	Cc	Cs	γ_{Sampah} (t/m ³)	γ_{penutup} (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	γ' (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma_{\text{total}}$ (t/m ²)	$\Delta\sigma_{\text{top}}$ (t/m ²)	Sc (m)	ΣSc	
1	1	7.7	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	0.998	9.289	10.832	11.190	0.0147	0.0147
2	1	8.7	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	0.998	9.286	10.825	11.900	0.0137	0.0284
3	1	9.7	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.997	9.281	10.818	12.660	0.0133	0.0417
4	1	10.7	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.996	9.275	10.809	13.471	0.0124	0.0541

No. Tahapan Timbunan	=	8	a	=	1.200	m
Tebal Lapisan Timbunan tahap	=	1.2 m	b	=	50.750	m
Tebal Lapisan Timbunan total	=	9.6 m				

No	H (m)	Z	e_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ^{sat} (t/m ³)	γ' (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	21	$\Delta\sigma$ (n- 1) (t/m ²)	$\Delta\sigma$ total (t/m ²)	$\Delta\sigma + \sigma_0$ (t/m ²)	Sc (m)	ΣSc
1	1	0.5	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	0.997	10.832	12.369	12.727	0.0128	0.0128
2	1	1.5	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	0.997	10.825	12.359	13.433	0.0120	0.0248
3	1	2.5	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.996	10.818	12.347	14.189	0.0117	0.0365
4	1	3.5	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.995	10.809	12.334	14.996	0.0110	0.0475

No. Tahapan Timbunan = 9
 Tebal Lapisan Timbunan tahap = 1.2 m
 Tebal Lapisan Timbunan total = 10.8 m

No	H (m)	Z	e_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ' sat (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma$ (n-1) (t/m ²)	$\Delta\sigma$ total (t/m ²)	$\Delta\sigma + \sigma_0$ (t/m ²)	Sc (m)	ΣSc	
1	1	10.1	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	0.996	12.369	13.898	14.256	0.0113	0.0113
2	1	11.1	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	0.995	12.359	13.884	14.958	0.0107	0.0219
3	1	12.1	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.994	12.347	13.867	15.709	0.0104	0.0323
4	1	13.1	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.993	12.334	13.847	16.509	0.0099	0.0422

No. Tahapan Timbunan = 10
 Tebal Lapisan Timbunan tahap = 1.2 m
 Tebal Lapisan Timbunan total = 12 m

a = 1.200 m
 b = 48.350 m

No	H (m)	Z	e_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ' sat (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma$ (n-1) (t/m ²)	$\Delta\sigma$ total (t/m ²)	$\Delta\sigma + \sigma_0$ (t/m ²)	Sc (m)	ΣSc	
1	1	11.3	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	0.995	13.898	15.418	15.776	0.0100	0.0100
2	1	12.3	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	0.993	13.884	15.397	16.471	0.0096	0.0196
3	1	13.3	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.992	13.867	15.373	17.215	0.0094	0.0290
4	1	14.3	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.990	13.847	15.345	18.007	0.0089	0.0379

No. Tahapan Timbunan	=	11	a =	1.200	m
Tebal Lapisan Timbunan tahap	=	1.2 m	b =	37.150	m
Tebal Lapisan Timbunan total	=	13.2 m			

No. Tahapan Timbunan = 12
 Tebal Lapisan Timbunan tahap = 1.2 m
 Tebal Lapisan Timbunan total = 14.4 m

No	H (m)	Z	e_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ' sat (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma$ (n-1) (t/m ²)	$\Delta\sigma$ total (t/m ²)	$\Delta\sigma + \sigma_0$ (t/m ²)	Sc (m)	ΣSc	
1	1	13.7	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	0.981	16.811	18.238	18.596	0.0079	0.0079
2	1	14.7	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	0.977	16.757	18.164	19.238	0.0075	0.0154
3	1	15.7	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.972	16.696	18.082	19.925	0.0074	0.0228
4	1	16.7	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.967	16.628	17.994	20.656	0.0070	0.0298

No. Tahapan Timbunan = 13
 Tebal Lapisan Timbunan tahap = 1.2 m
 Tebal Lapisan Timbunan total = 15.6 m

No	H (m)	Z	e_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ' sat (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma$ (n-1) (t/m ²)	$\Delta\sigma$ total (t/m ²)	$\Delta\sigma + \sigma_0$ (t/m ²)	Sc (m)	ΣSc	
1	1	14.9	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	0.974	18.238	19.616	19.974	0.0071	0.0071
2	1	15.9	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	0.969	18.164	19.519	20.593	0.0067	0.0138
3	1	16.9	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.963	18.082	19.413	21.255	0.0066	0.0205
4	1	17.9	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.958	17.994	19.299	21.961	0.0063	0.0267

No. Tahapan Timbunan = 14
 Tebal Lapisan Timbunan tahap = 1.2 m
 Tebal Lapisan Timbunan total = 1 m
 a = 1.200 m
 b = 33.550 m

No	H (m)	Z	e_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ' sat (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma$ (n-1) (t/m ²)	$\Delta\sigma$ total (t/m ²)	$\Delta\sigma + \sigma_0$ (t/m ²)	Sc (m)	ΣSc	
1	1	16.1	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	0.965	19.616	20.934	21.292	0.0063	0.0063
2	1	17.1	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	0.959	19.519	20.809	21.883	0.0060	0.0124
3	1	18.1	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.953	19.413	20.675	22.517	0.0059	0.0183
4	1	19.1	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.946	19.299	20.532	23.194	0.0056	0.0239

No. Tahapan Timbunan = 15
 Tebal Lapisan Timbunan tahap = 1.2 m
 Tebal Lapisan Timbunan total = 18 m

a = 1.200 m
 b = 32.350 m

No	H (m)	Z	e_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ' sat (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma$ (n-1) (t/m ²)	$\Delta\sigma$ total (t/m ²)	$\Delta\sigma + \sigma_0$ (t/m ²)	Sc (m)	ΣSc	
1	1	17.3	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	0.954	20.934	22.176	22.534	0.0056	0.0056
2	1	18.3	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	0.947	20.809	22.019	23.094	0.0053	0.0110
3	1	19.3	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.940	20.675	21.853	23.695	0.0052	0.0162
4	1	20.3	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.932	20.532	21.678	24.340	0.0049	0.0211

No. Tahapan Timbunan = 16
 Tebal Lapisan Timbunan tahap = 1.2 m
 Tebal Lapisan Timbunan total = 19.2 m

No	H (m)	Z	e_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ' sat (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma$ (n-1) (t/m ²)	$\Delta\sigma$ total (t/m ²)	$\Delta\sigma + \sigma_0$ (t/m ²)	Sc (m)	ΣSc	
1	1	18.5	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	0.865	22.176	21.453	21.811	0.0032	0.0032
2	1	19.5	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	0.851	22.019	21.097	22.171	0.0040	0.0073
3	1	20.5	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.836	21.853	20.737	22.579	0.0049	0.0122
4	1	21.5	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.822	21.678	20.375	23.037	0.0056	0.0179

No. Tahapan Timbunan = 17 a = 1.200 m
 Tebal Lapisan Timbunan tahap = 1.2 m b = 19.950 m
 Tebal Lapisan Timbunan total = 20.4 m

No	H (m)	Z	e_0	Cc	Cs	γ Sampah (t/m ³)	γ penutup (t/m ³)	γ' sat (t/m ³)	σ_c (t/m ²)	σ_0 (t/m ²)	2I	$\Delta\sigma$ (n-1) (t/m ²)	$\Delta\sigma$ total (t/m ²)	$\Delta\sigma + \sigma_0$ (t/m ²)	Sc (m)	ΣSc	
1	1	19.7	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	1.358	0.358	0.831	22.176	21.898	22.256	0.0012	0.0012
2	1	20.7	1.319	0.529	0.053	1.180	1.850	1.716	0.716	2.074	1.074	0.816	22.019	21.490	22.564	0.0023	0.0035
3	1	21.7	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	2.842	1.842	0.800	21.853	21.083	22.925	0.0034	0.0069
4	1	22.7	1.315	0.547	0.055	1.180	1.850	1.820	0.820	3.662	2.662	0.785	21.678	20.677	23.339	0.0043	0.0112

Tabel 2 : Rekapitulasi nilai derajat konsolidasi bulanan hingga 10 tahun (120 Bulan)

Bulan	Tv	UV	Bulan	Tv	UV
1	0.0083	0.1028	21	0.1744	0.4712
2	0.0166	0.1454	22	0.1827	0.4823
3	0.0249	0.1781	23	0.1910	0.4931
4	0.0332	0.2056	24	0.1994	0.5037
5	0.0415	0.2299	25	0.2077	0.5141
6	0.0498	0.2519	26	0.2160	0.5243
7	0.0581	0.2720	27	0.2243	0.5339
8	0.0665	0.2908	28	0.2326	0.5433
9	0.0748	0.3085	29	0.2409	0.5526
10	0.0831	0.3251	30	0.2492	0.5617
11	0.0914	0.3410	31	0.2575	0.5706
12	0.0997	0.3562	32	0.2658	0.5793
13	0.1080	0.3707	33	0.2741	0.5878
14	0.1163	0.3847	34	0.2824	0.5962
15	0.1246	0.3982	35	0.2907	0.6044
16	0.1329	0.4113	36	0.2990	0.6124
17	0.1412	0.4239	37	0.3073	0.6203
18	0.1495	0.4362	38	0.3156	0.6280
19	0.1578	0.4482	39	0.3239	0.6355
20	0.1661	0.4598	40	0.3323	0.6429
			41	0.3406	0.6501
			42	0.3489	0.6572
			43	0.3572	0.6642
			44	0.3655	0.6710
			45	0.3738	0.6777
			46	0.3821	0.6842
			47	0.3904	0.6906
			48	0.3987	0.6969
			49	0.4070	0.7031
			50	0.4153	0.7091
			51	0.4236	0.7150
			52	0.4319	0.7208
			53	0.4485	0.7320
			54	0.4568	0.7374
			55	0.4652	0.7428
			56	0.4735	0.7480
			57	0.4818	0.7531
			58	0.4901	0.7581
			59	0.4984	0.7630
			60	0.4402	0.7264

Bulan	Tv	UV	Bulan	Tv	UV	Bulan	Tv	UV
61	0.5067	0.7678	81	0.6728	0.8459	101	0.8389	0.8977
62	0.5150	0.7725	82	0.6811	0.8490	102	0.8472	0.8998
63	0.5233	0.7771	83	0.6894	0.8521	103	0.8555	0.9018
64	0.5316	0.7817	84	0.6977	0.8551	104	0.8722	0.9058
65	0.5399	0.7861	85	0.7083	0.7060	105	0.8805	0.9077
66	0.5482	0.7904	86	0.7167	0.7143	106	0.8888	0.9096
67	0.5565	0.7947	87	0.7250	0.7226	107	0.8971	0.9114
68	0.5648	0.7989	88	0.7333	0.7310	108	0.8722	0.9058
69	0.5731	0.8029	89	0.7416	0.7393	109	0.9054	0.9132
70	0.5814	0.8069	90	0.7500	0.7476	110	0.9137	0.9150
71	0.5897	0.8109	91	0.7583	0.7559	111	0.9220	0.9167
72	0.5981	0.8147	92	0.7666	0.7642	112	0.9303	0.9184
73	0.6064	0.8185	93	0.7750	0.7725	113	0.9386	0.9200
74	0.6147	0.8221	94	0.7833	0.7808	114	0.9469	0.9217
75	0.6230	0.8257	95	0.7916	0.7891	115	0.9552	0.9233
76	0.6313	0.8293	96	0.8000	0.7974	116	0.9635	0.9248
77	0.6396	0.8327	97	0.8057	0.8890	117	0.9718	0.9263
78	0.6479	0.8361	98	0.8140	0.8913	118	0.9801	0.9278
79	0.6562	0.8395	99	0.8223	0.8935	119	0.9884	0.9293
80	0.6645	0.8427	100	0.8306	0.8956	120	0.9968	0.9307

Bulan	Tv	UV	Bulan	Tv	UV	Bulan	Tv	UV
61	0.5067	0.7678	81	0.6728	0.8459	101	0.8389	0.8977
62	0.5150	0.7725	82	0.6811	0.8490	102	0.8472	0.8998
63	0.5233	0.7771	83	0.6894	0.8521	103	0.8555	0.9018
64	0.5316	0.7817	84	0.6977	0.8551	104	0.8722	0.9058
65	0.5399	0.7861	85	0.7083	0.7060	105	0.8805	0.9077
66	0.5482	0.7904	86	0.7167	0.7143	106	0.8888	0.9096
67	0.5565	0.7947	87	0.7250	0.7226	107	0.8971	0.9114
68	0.5648	0.7989	88	0.7333	0.7310	108	0.8722	0.9058
69	0.5731	0.8029	89	0.7416	0.7393	109	0.9054	0.9132
70	0.5814	0.8069	90	0.7500	0.7476	110	0.9137	0.9150
71	0.5897	0.8109	91	0.7583	0.7559	111	0.9220	0.9167
72	0.5981	0.8147	92	0.7666	0.7642	112	0.9303	0.9184
73	0.6064	0.8185	93	0.7750	0.7725	113	0.9386	0.9200
74	0.6147	0.8221	94	0.7833	0.7808	114	0.9469	0.9217
75	0.6230	0.8257	95	0.7916	0.7891	115	0.9552	0.9233
76	0.6313	0.8293	96	0.8000	0.7974	116	0.9635	0.9248
77	0.6396	0.8327	97	0.8057	0.8890	117	0.9718	0.9263
78	0.6479	0.8361	98	0.8140	0.8913	118	0.9801	0.9278
79	0.6562	0.8395	99	0.8223	0.8935	119	0.9884	0.9293
80	0.6645	0.8427	100	0.8306	0.8956	120	0.9968	0.9307

Bulan	Tv	UV	Bulan	Tv	UV	Bulan	Tv	UV
61	0.5067	0.7678	81	0.6728	0.8459	101	0.8389	0.8977
62	0.5150	0.7725	82	0.6811	0.8490	102	0.8472	0.8998
63	0.5233	0.7771	83	0.6894	0.8521	103	0.8555	0.9018
64	0.5316	0.7817	84	0.6977	0.8551	104	0.8722	0.9058
65	0.5399	0.7861	85	0.7083	0.7060	105	0.8805	0.9077
66	0.5482	0.7904	86	0.7167	0.7143	106	0.8888	0.9096
67	0.5565	0.7947	87	0.7250	0.7226	107	0.8971	0.9114
68	0.5648	0.7989	88	0.7333	0.7310	108	0.8722	0.9058
69	0.5731	0.8029	89	0.7416	0.7393	109	0.9054	0.9132
70	0.5814	0.8069	90	0.7500	0.7476	110	0.9137	0.9150
71	0.5897	0.8109	91	0.7583	0.7559	111	0.9220	0.9167
72	0.5981	0.8147	92	0.7666	0.7642	112	0.9303	0.9184
73	0.6064	0.8185	93	0.7750	0.7725	113	0.9386	0.9200
74	0.6147	0.8221	94	0.7833	0.7808	114	0.9469	0.9217
75	0.6230	0.8257	95	0.7916	0.7891	115	0.9552	0.9233
76	0.6313	0.8293	96	0.8000	0.7974	116	0.9635	0.9248
77	0.6396	0.8327	97	0.8057	0.8890	117	0.9718	0.9263
78	0.6479	0.8361	98	0.8140	0.8913	118	0.9801	0.9278
79	0.6562	0.8395	99	0.8223	0.8935	119	0.9884	0.9293
80	0.6645	0.8427	100	0.8306	0.8956	120	0.9968	0.9307

Tabel 3 : Rekapitulasi settlement akibat timbunan bertahap sampah (17 lapis atau 17 tahap) hingga waktu 10 tahun

Tahap	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Sc _∞	0.0364	0.2561	0.1204	0.0921	0.0747	0.0626	0.0541	0.0475	0.0422	0.0379	0.0309	0.0298	0.0267	0.0239	0.0211	0.0179	0.0112
Bulan																	
81	0.0308	0.2096	0.0941	0.0679	0.0506	0.0383	0.0284	0.0201	0.0130	0.0039							
82	0.0309	0.2106	0.0946	0.0684	0.0511	0.0388	0.0289	0.0207	0.0137	0.0055							
83	0.0310	0.2115	0.0952	0.0689	0.0516	0.0393	0.0294	0.0213	0.0144	0.0067							
84	0.0311	0.2124	0.0957	0.0694	0.0521	0.0398	0.0299	0.0218	0.0150	0.0078							
85	0.0312	0.2133	0.0962	0.0698	0.0525	0.0403	0.0304	0.0224	0.0156	0.0087							
86	0.0313	0.2141	0.0967	0.0703	0.0530	0.0407	0.0309	0.0229	0.0162	0.0095							
87	0.0314	0.2150	0.0971	0.0707	0.0534	0.0412	0.0313	0.0234	0.0168	0.0103							
88	0.0315	0.2158	0.0976	0.0712	0.0538	0.0416	0.0318	0.0239	0.0174	0.0110							
89	0.0316	0.2166	0.0981	0.0716	0.0543	0.0420	0.0322	0.0244	0.0179	0.0117	0.0032						
90	0.0317	0.2174	0.0985	0.0720	0.0547	0.0424	0.0327	0.0249	0.0184	0.0123	0.0045						
91	0.0318	0.2182	0.0990	0.0724	0.0551	0.0428	0.0331	0.0253	0.0189	0.0129	0.0055						
92	0.0319	0.2190	0.0994	0.0728	0.0555	0.0432	0.0336	0.0258	0.0194	0.0135	0.0064						
93	0.0320	0.2197	0.0998	0.0732	0.0559	0.0436	0.0340	0.0262	0.0199	0.0140	0.0071						
94	0.0321	0.2205	0.1002	0.0736	0.0563	0.0440	0.0344	0.0267	0.0204	0.0146	0.0078						
95	0.0322	0.2212	0.1007	0.0740	0.0566	0.0444	0.0348	0.0271	0.0208	0.0151	0.0084	0.0031					
96	0.0323	0.2219	0.1011	0.0743	0.0570	0.0448	0.0352	0.0275	0.0213	0.0156	0.0090	0.0043					
97	0.0324	0.2226	0.1014	0.0747	0.0574	0.0451	0.0356	0.0279	0.0217	0.0161	0.0095	0.0053					
98	0.0324	0.2233	0.1018	0.0750	0.0577	0.0455	0.0359	0.0283	0.0221	0.0165	0.0100	0.0061					
99	0.0325	0.2240	0.1022	0.0754	0.0581	0.0458	0.0363	0.0287	0.0225	0.0170	0.0105	0.0069					
100	0.0326	0.2246	0.1026	0.0757	0.0584	0.0462	0.0367	0.0291	0.0229	0.0174	0.0110	0.0075					

Tahap	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Sc _∞	0.0364	0.2561	0.1204	0.0921	0.0747	0.0626	0.0541	0.0475	0.0422	0.0379	0.0309	0.0298	0.0267	0.0239	0.0211	0.0179	0.0112
Bulan																	
101	0.0327	0.2252	0.1029	0.0761	0.0587	0.0465	0.0370	0.0294	0.0233	0.0178	0.0115	0.0081	0.0028				
102	0.0328	0.2259	0.1033	0.0764	0.0591	0.0468	0.0374	0.0298	0.0237	0.0183	0.0119	0.0087	0.0039				
103	0.0328	0.2265	0.1036	0.0767	0.0594	0.0472	0.0377	0.0302	0.0241	0.0187	0.0123	0.0092	0.0048				
104	0.0329	0.2271	0.1040	0.0770	0.0597	0.0475	0.0380	0.0305	0.0244	0.0191	0.0127	0.0097	0.0055				
105	0.0330	0.2277	0.1043	0.0773	0.0600	0.0478	0.0384	0.0309	0.0248	0.0195	0.0131	0.0102	0.0061				
106	0.0330	0.2283	0.1046	0.0776	0.0603	0.0481	0.0387	0.0312	0.0252	0.0199	0.0135	0.0106	0.0067	0.0028			
107	0.0331	0.2288	0.1050	0.0779	0.0606	0.0484	0.0390	0.0315	0.0255	0.0202	0.0139	0.0111	0.0073	0.0039			
108	0.0332	0.2294	0.1053	0.0782	0.0609	0.0487	0.0393	0.0318	0.0258	0.0206	0.0142	0.0115	0.0078	0.0048			
109	0.0332	0.2299	0.1056	0.0785	0.0611	0.0489	0.0396	0.0322	0.0262	0.0209	0.0146	0.0119	0.0083	0.0055			
110	0.0333	0.2304	0.1059	0.0788	0.0614	0.0492	0.0399	0.0325	0.0265	0.0213	0.0149	0.0123	0.0087	0.0061			
111	0.0334	0.2310	0.1062	0.0790	0.0617	0.0495	0.0402	0.0328	0.0268	0.0216	0.0152	0.0127	0.0091	0.0067	0.0022		
112	0.0334	0.2315	0.1065	0.0793	0.0620	0.0498	0.0405	0.0331	0.0271	0.0219	0.0156	0.0130	0.0095	0.0073	0.0031		
113	0.0335	0.2320	0.1067	0.0796	0.0622	0.0500	0.0407	0.0334	0.0274	0.0223	0.0159	0.0134	0.0099	0.0078	0.0038		
114	0.0335	0.2325	0.1070	0.0798	0.0625	0.0503	0.0410	0.0337	0.0277	0.0226	0.0162	0.0137	0.0103	0.0083	0.0043		
115	0.0336	0.2329	0.1073	0.0801	0.0627	0.0505	0.0413	0.0339	0.0280	0.0229	0.0165	0.0141	0.0107	0.0087	0.0049	0.0018	
116	0.0337	0.2334	0.1076	0.0803	0.0630	0.0508	0.0415	0.0342	0.0283	0.0232	0.0168	0.0144	0.0110	0.0091	0.0053	0.0026	
117	0.0337	0.2339	0.1078	0.0805	0.0632	0.0510	0.0418	0.0345	0.0286	0.0235	0.0171	0.0147	0.0113	0.0095	0.0057	0.0032	
118	0.0338	0.2343	0.1081	0.0808	0.0634	0.0512	0.0420	0.0347	0.0289	0.0238	0.0174	0.0150	0.0117	0.0099	0.0061	0.0037	0.0012
119	0.0338	0.2348	0.1083	0.0810	0.0637	0.0515	0.0423	0.0350	0.0291	0.0241	0.0176	0.0153	0.0120	0.0103	0.0065	0.0041	0.0016
120	0.0339	0.2352	0.1086	0.0812	0.0639	0.0517	0.0425	0.0353	0.0294	0.0244	0.0179	0.0156	0.0123	0.0107	0.0069	0.0045	0.0020

Tabel 4 : Rekapitulasi kumulatif settlement akibat timbunan bertahap (17 lapis atau 17 tahap) hingga waktu 10 tahun

Tahap	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Sc _∞	0.0364	0.2561	0.1204	0.0921	0.0747	0.0626	0.0541	0.0475	0.0422	0.0379	0.0309	0.0298	0.0267	0.0239	0.0211	0.0179	0.0112
Bulan																	
101	0.0327	0.2579	0.3609	0.4369	0.4956	0.5421	0.5792	0.6086	0.6319	0.6498	0.6612	0.6693	0.6721	0.6721	0.6721	0.6721	0.6721
102	0.0328	0.2586	0.3619	0.4383	0.4973	0.5442	0.5815	0.6113	0.6350	0.6533	0.6652	0.6739	0.6778	0.6778	0.6778	0.6778	0.6778
103	0.0328	0.2593	0.3629	0.4396	0.4990	0.5462	0.5839	0.6140	0.6381	0.6568	0.6691	0.6783	0.6831	0.6831	0.6831	0.6831	0.6831
104	0.0329	0.2600	0.3640	0.4410	0.5006	0.5481	0.5861	0.6167	0.6411	0.6602	0.6729	0.6826	0.6881	0.6881	0.6881	0.6881	0.6881
105	0.0330	0.2606	0.3650	0.4423	0.5023	0.5500	0.5884	0.6192	0.6440	0.6635	0.6766	0.6868	0.6930	0.6930	0.6930	0.6930	0.6930
106	0.0330	0.2613	0.3659	0.4435	0.5038	0.5519	0.5906	0.6218	0.6469	0.6668	0.6803	0.6909	0.6976	0.7004	0.7004	0.7004	0.7004
107	0.0331	0.2619	0.3669	0.4448	0.5054	0.5537	0.5927	0.6242	0.6498	0.6700	0.6838	0.6949	0.7022	0.7061	0.7061	0.7061	0.7061
108	0.0332	0.2625	0.3678	0.4460	0.5069	0.5555	0.5948	0.6267	0.6525	0.6731	0.6873	0.6988	0.7066	0.7113	0.7113	0.7113	0.7113
109	0.0332	0.2632	0.3687	0.4472	0.5083	0.5573	0.5969	0.6291	0.6552	0.6762	0.6907	0.7026	0.7109	0.7164	0.7164	0.7164	0.7164
110	0.0333	0.2637	0.3696	0.4484	0.5098	0.5590	0.5989	0.6314	0.6579	0.6792	0.6941	0.7063	0.7150	0.7212	0.7212	0.7212	0.7212
111	0.0334	0.2643	0.3705	0.4495	0.5112	0.5607	0.6009	0.6337	0.6605	0.6821	0.6973	0.7100	0.7191	0.7258	0.7280	0.7280	0.7280
112	0.0334	0.2649	0.3714	0.4506	0.5126	0.5624	0.6028	0.6359	0.6630	0.6850	0.7005	0.7136	0.7231	0.7304	0.7334	0.7334	0.7334
113	0.0335	0.2655	0.3722	0.4518	0.5140	0.5640	0.6047	0.6381	0.6655	0.6878	0.7037	0.7171	0.7270	0.7348	0.7385	0.7385	0.7385
114	0.0335	0.2660	0.3730	0.4528	0.5153	0.5656	0.6066	0.6402	0.6680	0.6906	0.7068	0.7205	0.7308	0.7434	0.7434	0.7434	0.7434
115	0.0336	0.2665	0.3738	0.4539	0.5166	0.5671	0.6084	0.6423	0.6704	0.6933	0.7098	0.7238	0.7345	0.7432	0.7480	0.7480	0.7499
116	0.0337	0.2671	0.3746	0.4549	0.5179	0.5687	0.6102	0.6444	0.6727	0.6959	0.7127	0.7211	0.7381	0.7472	0.7525	0.7551	0.7551
117	0.0337	0.2676	0.3754	0.4559	0.5191	0.5701	0.6119	0.6464	0.6750	0.6985	0.7156	0.7303	0.7416	0.7512	0.7569	0.7601	0.7601
118	0.0338	0.2681	0.3762	0.4569	0.5204	0.5716	0.6136	0.6484	0.6773	0.7011	0.7184	0.7334	0.7451	0.7550	0.7612	0.7649	0.7660
119	0.0338	0.2686	0.3769	0.4579	0.5216	0.5730	0.6153	0.6503	0.6795	0.7036	0.7212	0.7365	0.7485	0.7588	0.7653	0.7694	0.7711
120	0.0339	0.2691	0.3776	0.4589	0.5227	0.5745	0.6170	0.6522	0.6816	0.7060	0.7239	0.7395	0.7518	0.7625	0.7694	0.7739	0.7759

Tabel 5 : Perhitungan peningkatan daya dukung tanah akibat beban bertahap timbunan sampah hingga $H_{kritis} = 10.8$ m (9 tahap)

	Tahap	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Perubahan Tegangan	σ_0	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	σ_7	σ_8	σ_9	
H	0	1.2	2.4	3.6	4.8	6	7.2	8.4	9.6	10.8	
depth											
0 - 1	0.358	1.91	3.46	5.01	6.56	8.10	9.65	11.19	12.73	14.26	
1 - 2	1.074	2.62	4.17	5.72	7.27	8.82	10.36	11.90	13.43	14.96	
2 - 3	1.842	3.39	4.94	6.49	8.04	9.59	11.12	12.66	14.19	15.71	
3 - 4	2.662	4.21	5.76	7.31	8.86	10.40	11.94	13.47	15.00	16.51	

	Tahap	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Perubahan Tegangan	$\Delta\sigma_0$	$\Delta\sigma_1$	$\Delta\sigma_2$	$\Delta\sigma_3$	$\Delta\sigma_4$	$\Delta\sigma_5$	$\Delta\sigma_6$	$\Delta\sigma_7$	$\Delta\sigma_8$	$\Delta\sigma_9$	
H	0	1.2	2.4	3.6	4.8	6	7.2	8.4	9.6	10.8	
Umur Timbunan (Bulan)											
UV	-	80	72	63	54	44	35	25	16	8	$\Sigma\Delta\sigma$
depth											
0 - 1	0.36	1.11	1.19	1.15	1.09	1.00	0.90	0.76	0.61	0.43	8.60
1 - 2	1.07	1.21	1.21	1.16	1.10	1.01	0.90	0.76	0.61	0.43	9.45
2 - 3	1.84	1.24	1.22	1.17	1.10	1.01	0.90	0.77	0.61	0.43	10.27
3 - 4	2.66	1.26	1.22	1.17	1.10	1.01	0.90	0.77	0.61	0.43	11.13

Titik : 1

Tabel 6 : Perhitungan perbedaan settlement akibat timbunan berundak

Settlement akibat beban undakan lapisan pertama, $q = 10,506 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	ϵ_0	Cc	C_s	γ_{sat} ton/m ³	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	Sc	ΣSc
	m	m		0.1 cc											m	m
1	1	0.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.500	0.500	1	1	10,506	10,853	0.220	0.220
2	1	1.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.500	0.500	1	1	10,506	11,546	0.178	0.399
3	1	2.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.500	0.500	1	1	10,506	12,302	0.156	0.555
4	1	3.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.492	0.500	1	1	10,422	13,036	0.135	0.690

Settlement akibat beban undakan lapisan kedua, $q = 12,866 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	ϵ_0	Cc	C_s	γ_{sat} ton/m ³	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	Abetan ₁	Sc	ΣSc
	m	m		0.1 cc											m	m	
1	1	5.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.267	0.500	0.892	1	7.755	8.102	10,506	0.019	0.710
2	1	6.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.260	0.500	0.832	1	7.526	8.566	10,506	0.019	0.729
3	1	7.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.240	0.500	0.800	1	7.270	9.066	10,506	0.020	0.749
4	1	8.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.220	0.500	0.740	1	6.963	9.577	10,422	0.020	0.769

Titik : 2

Settlement akibat beban undakan lapisan pertama, $q = 10,506 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I_1	I_2	i1	i2	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma+\sigma_0$	Sc	ΣSc
	m	m			0.1 cc	ton/m ³									m	m
1	1	0.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.5	0.5	1	1	10.506	10.853	0.220	0.220
2	1	1.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.5	0.5	1	1	10.506	11.546	0.178	0.399
3	1	2.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.5	0.5	1	1	10.506	12.302	0.156	0.555
4	1	3.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.5	0.5	1	1	10.506	13.120	0.136	0.691

Settlement akibat beban undakan lapisan kedua, $q = 12,866 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I_1	I_2	i1	i2	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma+\sigma_0$	$\Delta\sigma_{\text{bahan}} - \Delta\sigma_0$	Sc	ΣSc
	m	m			0.1 cc	ton/m ³										m	m
1	1	5.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.5	0.5	0.996	0.996	10.464	10.811	10.506	0.022	0.713
2	1	6.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.5	0.5	0.992	0.996	10.443	11.483	10.506	0.022	0.735
3	1	7.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.5	0.5	0.992	0.996	10.443	12.239	10.506	0.022	0.757
4	1	8.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.5	0.5	0.992	0.996	10.443	13.057	10.506	0.022	0.778

Settlement akibat beban undakan lapisan ketiga, $q = 11,686 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	ϵ_0	Cc	Cs	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	Δbebhan_1	Sc	ΣSc
	m	m		0.1 cc	ton/m ³											m	m
1	1	12.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.435	0.500	0.924	0.988	9.413	9.759	10.464	0.021	0.799
2	1	13.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.432	0.500	0.892	0.988	9.238	10.278	10.443	0.021	0.820
3	1	14.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.415	0.500	0.872	0.988	8.992	10.788	10.443	0.021	0.841
4	1	15.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.408	0.500	0.872	0.980	8.886	11.500	10.443	0.021	0.862

Settlement akibat beban undakan lapisan keempat, $q = 5,1 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	ϵ_0	Cc	Cs	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	Δbebhan_1	Sc	ΣSc
	m	m		0.1 cc	ton/m ³											m	m
1	1	18.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.270	0.500	0.128	0.968	5.448	5.795	9.413	0.018	0.881
2	1	19.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.263	0.500	0.124	0.968	5.428	6.468	9.238	0.019	0.900
3	1	20.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.260	0.491	0.124	0.960	5.291	7.087	8.992	0.021	0.921
4	1	21.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.256	0.490	0.124	0.960	5.276	7.889	8.886	0.021	0.942

Titik : 3

Settlement akibat beban undakan lapisan pertama, $q = 10,506 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I_1	I_2	i1	i2	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma+\sigma_0$	Sc	ΣSc
	m	m			0.1 cc	ton/m ³									m	m
1	1	0.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.5	0.5	1	1	10,506	10,853	0.220	0.220
2	1	1.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2,040	1,040	0.5	0.5	1	1	10,506	11,546	0.178	0.399
3	1	2.5	1.315	0.547	0.055	1,818	2,796	1,796	0.5	0.5	1	1	10,506	12,302	0.156	0.555
4	1	3.5	1.315	0.547	0.055	1,818	3,614	2,614	0.5	0.5	1	1	10,506	13,120	0.136	0.691

Settlement akibat beban undakan lapisan kedua, $q = 12,866 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I_1	I_2	i1	i2	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma+\sigma_0$	$\Delta beban$	Sc	ΣSc
	m	m			0.1 cc	ton/m ³									m	m	
1	1	5.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.5	0.5	1	1	10,506	10,853	10,506	0.022	0.713
2	1	6.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2,040	1,040	0.5	0.5	1	1	10,506	11,546	10,506	0.022	0.735
3	1	7.5	1.315	0.547	0.055	1,818	2,796	1,796	0.5	0.5	1	1	10,506	12,302	10,506	0.022	0.757
4	1	8.5	1.315	0.547	0.055	1,818	3,614	2,614	0.5	0.5	1	1	10,506	13,120	10,506	0.022	0.778

Settlement akibat beban undakan lapisan ketiga, $q = 11,686 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	Cs	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	$\Delta\text{bebán}_1$	Sc	ΣSc
	m	m		0.1 cc		ton/m ³										m	m
1	1	1.25	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.492	0.492	0.992	0.992	10.255	10.602	10.506	0.022	0.800
2	1	1.35	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.490	0.490	0.992	0.992	10.214	11.254	10.506	0.022	0.822
3	1	14.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.487	0.487	0.988	0.988	10.110	11.906	10.506	0.022	0.843
4	1	15.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.483	0.483	0.988	0.988	10.027	12.641	10.506	0.021	0.865

Settlement akibat beban undakan lapisan keempat, $q = 5,1 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	Cs	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	$\Delta\text{bebán}_1$	Sc	ΣSc
	m	m		0.1 cc		ton/m ³										m	m
1	1	18.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.449	0.449	0.920	0.920	8.680	9.026	10.255	0.021	0.886
2	1	19.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.447	0.447	0.904	0.904	8.491	9.531	10.214	0.021	0.906
3	1	20.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.442	0.442	0.892	0.892	8.284	10.080	10.110	0.021	0.928
4	1	21.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.435	0.435	0.876	0.876	8.007	10.621	10.027	0.021	0.949

Titik : 4

Settlement akibat beban undakan lapisan pertama, $q = 10,506 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I_1	I_2	i1	i2	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	Sc	ΣSc
	m	m			0.1 cc	ton/m ³									m	m
1	1	0.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.5	0.5	1	1	10.506	10.853	0.220	0.220
2	1	1.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.5	0.5	1	1	10.506	11.546	0.178	0.399
3	1	2.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.5	0.5	1	1	10.506	12.302	0.156	0.555
4	1	3.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.5	0.5	1	1	10.506	13.120	0.136	0.691

Settlement akibat beban undakan lapisan kedua, $q = 12,866 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I_1	I_2	i1	i2	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	$\Delta\sigma_{\text{bahan}}$	Sc	ΣSc
	m	m			0.1 cc	ton/m ³									m	m	
1	1	5.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.5	0.5	0.996	0.996	10.464	10.811	10.506	0.022	0.713
2	1	6.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.5	0.5	0.992	0.996	10.443	11.483	10.506	0.022	0.735
3	1	7.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.5	0.5	0.992	0.996	10.443	12.239	10.506	0.022	0.757
4	1	8.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.5	0.5	0.992	0.996	10.443	13.057	10.506	0.022	0.778

Settlement akibat beban undakan lapisan ketiga, $q = 11,686 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	ϵ_0	Cc	Cs	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	Δbebhan_1	Sc	ΣSc
	m	m		0.1 cc	ton/m ³											m	m
1	1	12.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.435	0.500	0.924	0.988	9.413	9.759	10.464	0.021	0.799
2	1	13.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.432	0.500	0.892	0.988	9.238	10.278	10.443	0.021	0.820
3	1	14.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.415	0.500	0.872	0.988	8.992	10.788	10.443	0.021	0.841
4	1	15.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.408	0.500	0.872	0.980	8.886	11.500	10.443	0.021	0.862

Settlement akibat beban undakan lapisan keempat, $q = 5,1 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	ϵ_0	Cc	Cs	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	Δbebhan_1	Sc	ΣSc
	m	m		0.1 cc	ton/m ³											m	m
1	1	18.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.270	0.500	0.128	0.968	5.448	5.795	9.413	0.018	0.881
2	1	19.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.263	0.500	0.124	0.968	5.428	6.468	9.238	0.019	0.900
3	1	20.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.260	0.491	0.124	0.960	5.291	7.087	8.992	0.021	0.921
4	1	21.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.256	0.490	0.124	0.960	5.276	7.889	8.886	0.021	0.942

Titik : 5

Settlement akibat beban undakan lapisan pertama, $q = 10,506 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	S _c	ΣS_c	
	m	m			0.1 cc	ton/m ³										m	m
1	1	0.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.500	0.500	1	1	10.506	10.853	0.220	0.220	
2	1	1.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.500	0.500	1	1	10.506	11.546	0.178	0.399	
3	1	2.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.500	0.500	1	1	10.506	12.302	0.156	0.555	
4	1	3.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.492	0.500	1	1	10.422	13.036	0.135	0.690	

Settlement akibat beban undakan lapisan kedua, $q = 12,866 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	ΔS_{ban}	S _c	ΣS_c
	m	m			0.1 cc	ton/m ³										m	m
1	1	5.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.267	0.500	0.892	1	7.755	8.102	10.506	0.019	0.710
2	1	6.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.260	0.500	0.832	1	7.526	8.566	10.506	0.019	0.729
3	1	7.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.240	0.500	0.800	1	7.270	9.066	10.506	0.020	0.749
4	1	8.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.220	0.500	0.740	1	6.963	9.577	10.422	0.020	0.769

Titik : 6

Settlement akibat beban undakan lapisan pertama, $q = 10,506 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	S _c	ΣS_c	
	m	m			0.1 cc	ton/m ³										m	m
1	1	0.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.500	0.500	1	1	10.506	10.853	0.220	0.220	
2	1	1.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.500	0.500	1	1	10.506	11.546	0.178	0.399	
3	1	2.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.500	0.500	1	1	10.506	12.302	0.156	0.555	
4	1	3.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.492	0.500	1	1	10.422	13.036	0.135	0.690	

Settlement akibat beban undakan lapisan kedua, $q = 12,866 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	ΔS_{ban}	S _c	ΣS_c
	m	m			0.1 cc	ton/m ³										m	m
1	1	5.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.267	0.500	0.892	1	7.755	8.102	10.506	0.019	0.710
2	1	6.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.260	0.500	0.832	1	7.526	8.566	10.506	0.019	0.729
3	1	7.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.240	0.500	0.800	1	7.270	9.066	10.506	0.020	0.749
4	1	8.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.220	0.500	0.740	1	6.963	9.577	10.422	0.020	0.769

Titik : 7

Settlement akibat beban undakan lapisan pertama, $q = 10,506 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I_1	I_2	i1	i2	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma+\sigma_0$	Sc	ΣSc
	m	m			0.1 cc	ton/m ³									m	m
1	1	0.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.5	0.5	1	1	10.506	10.853	0.220	0.220
2	1	1.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.5	0.5	1	1	10.506	11.546	0.178	0.399
3	1	2.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.5	0.5	1	1	10.506	12.302	0.156	0.555
4	1	3.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.5	0.5	1	1	10.506	13.120	0.136	0.691

Settlement akibat beban undakan lapisan kedua, $q = 12,866 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I_1	I_2	i1	i2	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma+\sigma_0$	$\Delta\sigma_{\text{bahan}} - \Delta\sigma_0$	Sc	ΣSc
	m	m			0.1 cc	ton/m ³										m	m
1	1	5.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.5	0.5	0.996	0.996	10.464	10.811	10.506	0.022	0.713
2	1	6.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.5	0.5	0.992	0.996	10.443	11.483	10.506	0.022	0.735
3	1	7.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.5	0.5	0.992	0.996	10.443	12.239	10.506	0.022	0.757
4	1	8.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.5	0.5	0.992	0.996	10.443	13.057	10.506	0.022	0.778

Settlement akibat beban undakan lapisan ketiga, $q = 11,686 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	ϵ_0	Cc	Cs	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	Δbebhan_1	Sc	ΣSc
	m	m		0.1 cc	ton/m ³											m	m
1	1	12.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.440	0.500	0.912	0.996	9.448	9.795	10.485	0.021	0.799
2	1	13.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.439	0.500	0.896	0.996	9.364	10.404	10.485	0.021	0.820
3	1	14.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.415	0.500	0.892	0.996	9.121	10.917	10.485	0.021	0.842
4	1	15.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.408	0.500	0.872	0.996	8.970	11.584	10.485	0.021	0.862

Settlement akibat beban undakan lapisan keempat, $q = 5,1 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	ϵ_0	Cc	Cs	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	Δbebhan_1	Sc	ΣSc
	m	m		0.1 cc	ton/m ³											m	m
1	1	18.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.270	0.500	0.156	0.996	5.675	6.021	9.448	0.019	0.881
2	1	19.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.263	0.500	0.144	0.996	5.630	6.670	9.364	0.019	0.900
3	1	20.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.260	0.500	0.132	0.996	5.593	7.388	9.121	0.021	0.921
4	1	21.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.256	0.500	0.124	0.996	5.565	8.179	8.970	0.021	0.942

Titik : 8

Settlement akibat beban undakan lapisan pertama, $q = 10,506 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I_1	I_2	i1	i2	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma+\sigma_0$	Sc	ΣSc
	m	m			0.1 cc	ton/m ³									m	m
1	1	0.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.5	0.5	1	1	10.506	10.853	0.220	0.220
2	1	1.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.5	0.5	1	1	10.506	11.546	0.178	0.399
3	1	2.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.5	0.5	1	1	10.506	12.302	0.156	0.555
4	1	3.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.5	0.5	1	1	10.506	13.120	0.136	0.691

Settlement akibat beban undakan lapisan kedua, $q = 12,866 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I_1	I_2	i1	i2	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma+\sigma_0$	$\Delta\sigma_{\text{bahan}}$	Sc	ΣSc
	m	m			0.1 cc	ton/m ³									m	m	
1	1	5.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.5	0.5	0.996	0.996	10.464	10.811	10.506	0.022	0.713
2	1	6.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.5	0.5	0.992	0.996	10.443	11.483	10.506	0.022	0.735
3	1	7.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.5	0.5	0.992	0.996	10.443	12.239	10.506	0.022	0.757
4	1	8.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.5	0.5	0.992	0.996	10.443	13.057	10.506	0.022	0.778

Settlement akibat beban undakan lapisan ketiga, $q = 11,686 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	ϵ_0	Cc	Cs	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	Δbebhan_1	Sc	ΣSc
	m	m		0.1 cc	ton/m ³											m	m
1	1	12.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.440	0.500	0.912	0.996	9.448	9.795	10.485	0.021	0.799
2	1	13.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.439	0.500	0.896	0.996	9.364	10.404	10.485	0.021	0.820
3	1	14.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.415	0.500	0.892	0.996	9.121	10.917	10.485	0.021	0.842
4	1	15.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.408	0.500	0.872	0.996	8.970	11.584	10.485	0.021	0.862

Settlement akibat beban undakan lapisan keempat, $q = 5,1 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	ϵ_0	Cc	Cs	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	Δbebhan_1	Sc	ΣSc
	m	m		0.1 cc	ton/m ³											m	m
1	1	18.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.270	0.500	0.156	0.996	5.675	6.021	9.448	0.019	0.881
2	1	19.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.263	0.500	0.144	0.996	5.630	6.670	9.364	0.019	0.900
3	1	20.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.260	0.500	0.132	0.996	5.593	7.388	9.121	0.021	0.921
4	1	21.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.256	0.500	0.124	0.996	5.565	8.179	8.970	0.021	0.942

Titik : 9

Settlement akibat beban undakan lapisan pertama, $q = 10,506 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	S _c	ΣS_c	
	m	m			0.1 cc	ton/m ³										m	m
1	1	0.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.500	0.500	1	1	10.506	10.853	0.220	0.220	
2	1	1.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.500	0.500	1	1	10.506	11.546	0.178	0.399	
3	1	2.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.500	0.500	1	1	10.506	12.302	0.156	0.555	
4	1	3.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.492	0.500	1	1	10.422	13.036	0.135	0.690	

Settlement akibat beban undakan lapisan kedua, $q = 12,866 \text{ ton/m}^2$

No	Tebal	Z	e_0	Cc	C_s	γ_{sat}	σ_c	σ_0	I ₁	I ₂	i ₁	i ₂	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma + \sigma_0$	ΔS_{ban_1}	S _c	ΣS_c
	m	m			0.1 cc	ton/m ³										m	m
1	1	5.5	1.319	0.529	0.053	1.693	1.347	0.347	0.267	0.500	0.892	1	7.755	8.102	10.506	0.019	0.710
2	1	6.5	1.319	0.529	0.053	1.693	2.040	1.040	0.260	0.500	0.832	1	7.526	8.566	10.506	0.019	0.729
3	1	7.5	1.315	0.547	0.055	1.818	2.796	1.796	0.240	0.500	0.800	1	7.270	9.066	10.506	0.020	0.749
4	1	8.5	1.315	0.547	0.055	1.818	3.614	2.614	0.220	0.500	0.740	1	6.963	9.577	10.422	0.020	0.769

Lampiran 4 : Perhitungan struktur kolam IPAL

Tabel 1 : Perhitungan struktur pelat lantai

Tabel 2 : Perhitungan struktur balok sloof memanjang

Tabel 3 : Perhitungan struktur balok sloff melintang

Tabel 4 : Perhitungan struktur dinding kolam

Tabel 1 : Perhitungan struktur pelat lantai

Nama Kolam	Ukuran			Rencana ukuran pelat			Mutu beton	Mutu baja	Tulangan Utama		Decking beton
	P m	L m	depth m	p m	l m	h mm	F'c MPa	Fy MPa	Diameter mm	Luas Mm ²	
Unit Screen	7.5	1.5	1.5	3.75	1.5	150	25	390	13	132,785	30
Unit Equalisasi	9	7.5	3.2	4.5	3.75	250	25	390	13	132,785	30
Unit ABR	13.5	9	3.2	4.5	2.7	250	25	390	13	132,785	30
Unit Fakultatif	31.2	24	3.9	8	5.2	300	25	390	13	132,785	30
Unit Maturasi	26	20	2.8	6.5	5	250	25	390	13	132,785	30
Unit Wetland	20	25	1.6	6.25	5	250	25	390	13	132,785	30

Nama Kolam	P uplift t/m ²	Momen (Mu)	Rn N/mm ²	P N/mm ²	P pakaai	As	n tul.	ØMn	s	Tul. pakai
	Nmm	N/mm ²			Mm ²		Nmm		mm	
Unit Screen	1.5	0.2109 x 10 ⁷	0.2047	0.0005248	0.003589	407,435	3,06	1.8 x 10 ⁷	250	D13 - 250
Unit Equalisasi	3.2	1.296 x 10 ⁷	0.3912	0.0010031	0.003589	730,512	5,5	4,876 x 10 ⁷	160	D13 - 160
Unit ABR	3.2	0.879 x 10 ⁷	0.2650	0.0006801	0.003589	730,512	5,5	4,876 x 10 ⁷	160	D13 - 160
Unit Fakultatif	3.9	4.147 x 10 ⁷	0.8067	0.0020686	0.003589	910	6,85	7,104 x 10 ⁷	140	D13 - 140
Unit Maturasi	2.8	2.348 x 10 ⁷	0.6785	0.0035897	0.003589	730,512	5,5	4,876 x 10 ⁷	140	D13 - 140
Unit Wetland	1.6	1.218 x 10 ⁷	0.3679	0.0009433	0.003589	730,512	5,5	4,876 x 10 ⁷	140	D13 - 140

Tabel 2 : Perhitungan struktur balok stoof memanjang

Nama Kolam	Mutu beton	Mutu baja	Ukuran Balok Memanjang			Tulangan Utama		Tulangan Geser		Decking beton
	F'c MPa	Fy MPa	P m	h m	b m	Diameter mm	Luas mm ²	Diameter mm	Luas mm ²	
Unit Screen	25	390	3.75	250	150	13	132.785	10	78.57	30
Unit Equalisasi	25	390	4.5	250	150	13	132.785	10	78.57	30
Unit ABR	25	390	4.5	250	150	13	132.785	10	78.57	30
Unit Fakultatif	25	390	8	400	250	13	132.785	10	78.57	30
Unit Maturasi	25	390	6.5	350	250	13	132.785	10	78.57	30
Unit Wetland	25	390	6.25	350	250	13	132.785	10	78.57	30

Nama Kolam	Momen (Mu)	Rn	P	ρ_{pakai}	As	n	Tulangan utama pakai	V_s	Jarak antar tulangan geser	Tulangan geser pakai
	N/mm	N/mm ²			mm ²		N			
Unit Screen	0.2109 $\times 10^7$	0.2047	1.077x10 ⁵	0.003589	407.435	0.865	2 D13	53375	250	2 D10 - 250
Unit Equalisasi	1.296 x 10^7	0.3912	3.797x10 ⁵	0.003589	730.512	0.865	2 D13	53375	160	2 D10 - 160
Unit ABR	0.879 x 10^7	0.2650	3.797x10 ⁵	0.003589	730.512	0.865	2 D13	53375	160	2 D10 - 160
Unit Fakultatif	4.147 x 10^7	0.8067	3.027x10 ⁵	0.003589	910	2.45	3 D13	151458.33	140	2 D10 - 140
Unit Maturasi	2.348 x 10^7	0.6785	1.929x10 ⁵	0.003589	730.512	2.11	3 D13	130625	140	2 D10 - 140
Unit Wetland	1.218 x 10^7	0.3679	1.019x10 ⁵	0.003589	730.512	2.11	3 D13	130625	140	2 D10 - 140

Tabel 3 : Perhitungan struktur balok stoof melintang

Nama Kotam	Mutu beton	Mutu baja	Ukuran Balok Melintang			Tulangan Utama		Tulangan Geser		Decking beton
	F'c MPa	Fy MPa	P m	h m	b m	Diameter mm	Luas Mm ²	Diameter mm	Luas Mm ²	mm
Unit Screen	25	390	1.5	150	100	13	132.785	10	78.57	30
Unit Equalisasi	25	390	3.75	250	150	13	132.785	10	78.57	30
Unit ABR	25	390	2.7	250	150	13	132.785	10	78.57	30
Unit Fakultatif	25	390	5.2	300	200	13	132.785	10	78.57	30
Unit Maturasi	25	390	5	250	150	13	132.785	10	78.57	30
Unit Wetland	25	390	5	300	200	13	132.785	10	78.57	30

Nama Kotam	Momen (Mu)	Rn	ρ	ρ_{pakai}	As	n	Tulangan utama pakai	Vs	Jarak antar tulangan geser	Tulangan geser pakai
	Nmm	N/mm ²			Mm ²		N			
Unit Screen	4218.75	0.00409	1.05x10 ⁵	0.003589	40.7435	0.307	2 D13	18916.67	50	2 D10 - 100
Unit Equalisasi	56250	0.01029	2.64x10 ⁵	0.003589	114.962	0.866	2 D13	53375	100	2 D10 - 100
Unit ABR	29160	0.00533	1.37x10 ⁵	0.003589	114.962	0.866	2 D13	53375	100	2 D10 - 100
Unit Fakultatif	131820	0.01187	3.04x10 ⁵	0.003589	189.180	1.42	2 D13	87833.33	130	2 D10 - 130
Unit Maturasi	87500	0.01600	4.1x10 ⁵	0.003589	114.962	0.866	2 D13	53375	100	2 D10 - 100
Unit Wetland	50000	0.00450	1.15x10 ⁵	0.003589	189.180	1.42	2 D13	87833.33	130	2 D10 - 130

Tabel 4 : Pehitungan struktur dinding kolam

Nama Kolam	Mutu beton F'c MPa	Mutu baja Fy MPa	Ukuran dinding depth m	Tulangan Utama Diameter mm	Tulangan Geser Luas Mm ²	Diameter mm	Luas Mm ²	Decking beton mm
Unit Screen	25	390	1.5	150	D13	132.785	10	78.57
Unit Equalisasi	25	390	3.2	300	D16	201.143	10	78.57
Unit ABR	25	390	3.2	300	D16	201.143	10	78.57
Unit Fakultatif	25	390	3.9	350	D19	283.643	13	132.785
Unit Maturasi	25	390	2.8	250	D13	132.785	10	78.57
Unit Wetland	25	390	1.6	200	D13	132.785	10	78.57
								30

Nama Kolam	Momen (Mu) Nmm	Rn N/mm ²	ρ	ρ_{paku}	As	n	S Tul. lentur	Tulangan lentur pakai
					Mm ²			
Unit Screen	1.17×10^7	1.137	0.00291	0.003589	407.436	3.06	300	D13 - 300
Unit Equalisasi	10.96×10^7	2.158	0.00554	0.00554	1.394.858	6.93	140	D16 - 140
Unit ABR	10.298×10^7	2.027	0.00519	0.00519	1.310.044	6.51	140	D16 - 140
Unit Fakultatif	19.896×10^7	2.754	0.00706	0.00706	2.122.717	7.48	130	D19 - 100
Unit Maturasi	7.305×10^7	2.205	0.00565	0.00565	1.150.901	8.66	100	D13 - 100
Unit Wetland	2.87×10^7	1.342	0.00344	0.00344	586.923	4.42.42	130	D13 - 200

Nama Kolam	V _u N	V _s min	S	S pakai	Tulangan geser pakai
Unit Screen	23443.13	37833.33	91.92	50	D10 - 90
Unit Equalisasi	106314.81	54143.51	142.620	140	D10 - 140
Unit ABR	106314.81	54143.51	142.620	140	D10 - 140
Unit Fakultatif	156737.20	102015.25	152.54	150	D13 - 150
Unit Maturasi	81255.91	37976.14	164.203	160	D10 - 160
Unit Wetland	26297.36	54500	91.929	90	D10 - 90

Lampiran 5 : Perhitungan Jaringan Perpipaan Air Lindi

Tabel 1 : Analisis curah hujan

Tabel 2 : Perhitungan debit rencana

Tabel 3 : Perhitungan kapasitas pipa

Tabel 1 : Analisis Curah Hujan

Analisis Frekuensi Metode Gumbel

No	Tahun	X_i	$(X-x_i)^2$	p	Y_i	$(Y-y_i)^2$
a	b	c	d = $(X-c)^2$	e = $a/(10+1)$	f = - LogN ($1/e$)	g = $(Y-f)^2$
1	2012	65	686.44	0.090909	-0.87459	1.876346
2	2011	66	635.04	0.181818	-0.53342	1.058067
3	2014	75	262.44	0.272727	-0.26181	0.573078
4	2018	75	262.44	0.363636	-0.01153	0.256786
5	2015	85	38.44	0.454545	0.237677	0.066321
6	2016	102	116.64	0.545455	0.500651	2.964E-05
7	2020	103	139.24	0.636364	0.794106	0.089341
8	2017	108	282.24	0.727273	1.144278	0.421294
9	2019	115	566.44	0.818182	1.60609	1.234062
10	2013	118	718.24	0.909091	2.350619	3.442554
Total (ΣX)	912	3707.6	Total (ΣY)	4.952066	9.01788	
Rerata (X)	91.2	370.76	Rerata (y)	0.495207	0.901788	

$$\text{Standar Deviasi } (\sigma) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\bar{x}-x_i)^2}{n}} = \sqrt{\frac{3707,6}{10}} = 20,29669$$

$$\text{Rerata reduced variasi } (Y_n) = \frac{\Sigma Y_i}{n} = 0,495207$$

$$\begin{aligned}\text{Standar deviasi reduced variasi } (S_n) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\bar{Y}-y_i)^2}{n}} \\ &= \sqrt{\frac{9,01788}{10}} \\ &= 0,949625\end{aligned}$$

Untuk periode ulang (T) rencana 10 tahun,

$$Y_t = -\text{LogN}(\text{LogN}(10/(10-1))) = 2,250367$$

Maka,

$$\begin{aligned}K &= (Y_t - Y_n) / S_n = (2,250367 - 0,495207) / 0,949625 \\ &= 1,848267\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_{24} &= X_t = \bar{x} + \sigma \cdot K = 91,2 + 20,29669 \times 1,848267 \\ &= 128,7137 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sehingga, untuk t = 4 jam,

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{128,7137}{24} \left(\frac{24}{4} \right)^{\frac{2}{3}} = 17,70847 \text{ mm/jam}$$

Tabel 2 : Perhitungan debit rencana

Saluran		Luas Km ²	C	I	Q	Q _{lindi}	
				mm/jam	M ³ /detik	m ³ /detik	l/detik
Teriser	T	0.00030	0.2	17.7085	0.00029	0.000088	0.08815
Sekunder	S1	0.00030	0.2	17.7085	0.00029	0.000088	0.08815
	S2	0.00060	0.2	17.7085	0.00059	0.000176	0.17629
Primer	P1	0.00119	0.2	17.7085	0.00118	0.000353	0.35258
	P2	0.00239	0.2	17.7085	0.00235	0.000705	0.70517
	P3	0.00119	0.2	17.7085	0.00118	0.000353	0.35258
	P4	0.00239	0.2	17.7085	0.00235	0.000705	0.70517
	P5	0.00119	0.2	17.7085	0.00118	0.000353	0.35258
	P6	0.00239	0.2	17.7085	0.00235	0.000705	0.70517

Tabel 3 : Perhitungan Kapasitas Pipa

Saluran		d/D	s	n	r	R	A	Q	Diameter hasil perhitungan mm
					mm	dm	Dm ²	V/detik	
Teriser	T	0.4	0.000399	0.017	2.916	0.0250	0.0010	0.0883	5.831
	S1	0.4	0.000213	0.017	3.850	0.0330	0.0017	0.0883	7.700
Sekunder	S2	0.4	0.000213	0.017	10.871	0.0932	0.0139	0.1765	21.742
	P1	0.8	0.000399	0.017	16.385	0.1994	0.0724	0.3527	32.770
Primer	P2	0.8	0.000399	0.017	46.341	0.5640	0.5791	0.7054	92.682
	P3	0.8	0.000399	0.017	16.385	0.1994	0.0724	0.3527	32.770
	P4	0.8	0.000399	0.017	46.341	0.5640	0.5791	0.7054	92.682
	P5	0.8	0.000399	0.017	16.385	0.1994	0.0724	0.3527	32.770
	P6	0.8	0.000399	0.017	46.341	0.5640	0.5791	0.7054	92.682

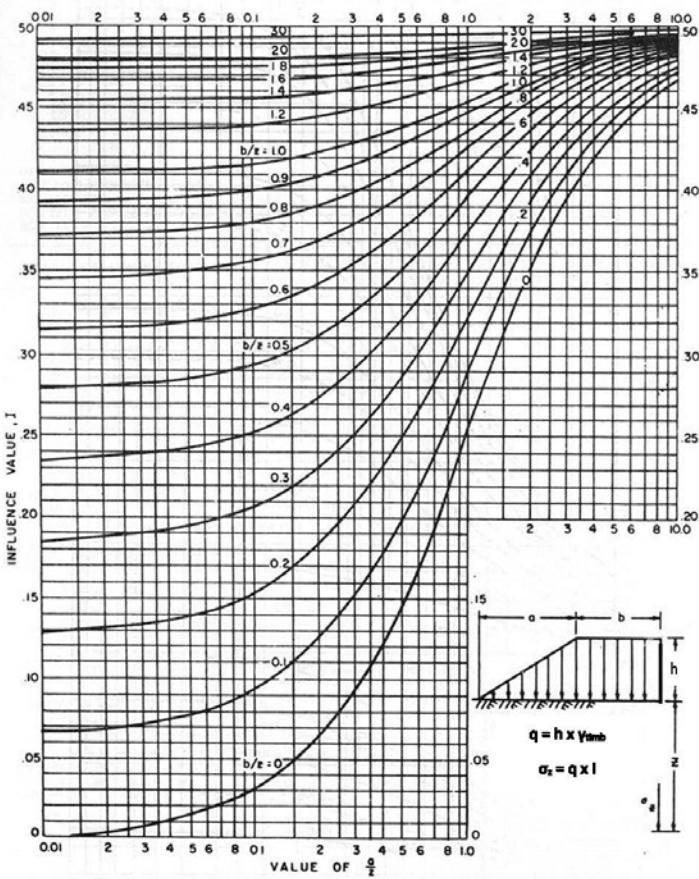
Lampiran 6 : Gambar/Grafik Penunjang

Gambar 1 : Faktor distribusi beban trapezium

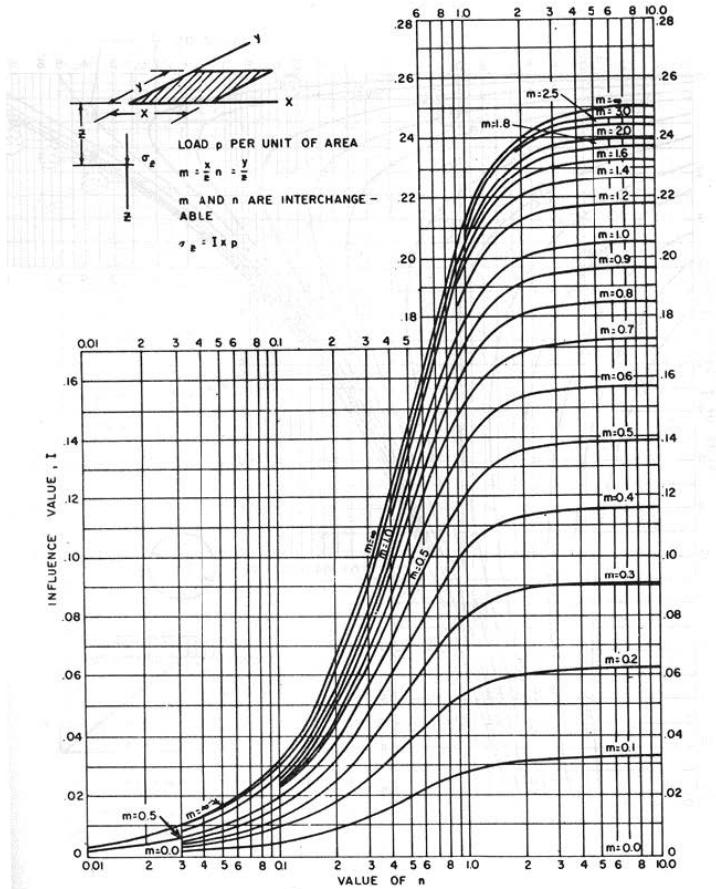
Gambar 2 : Faktor distibusi beban luasan persegi

Gambar 3 : Respon spektrum gempa

Gambar 4 : Momen pelat beton

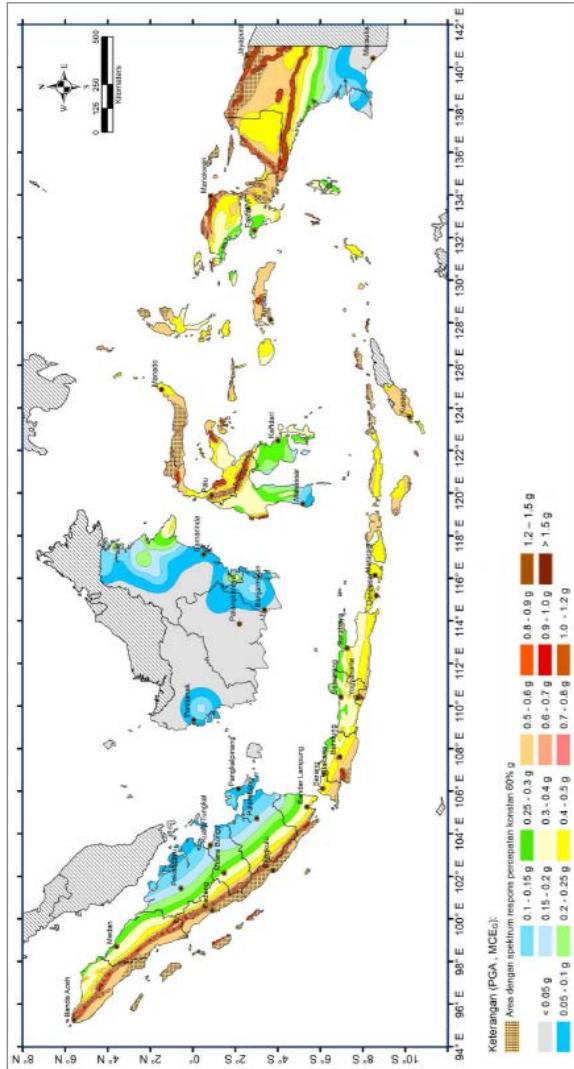


Beban bentuk trapesium



Beban terbagi rata dengan luasan bentuk persegi

SNI 1726:2019



Gambar 17 – PGA. Gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCEg) wilayah Indonesia

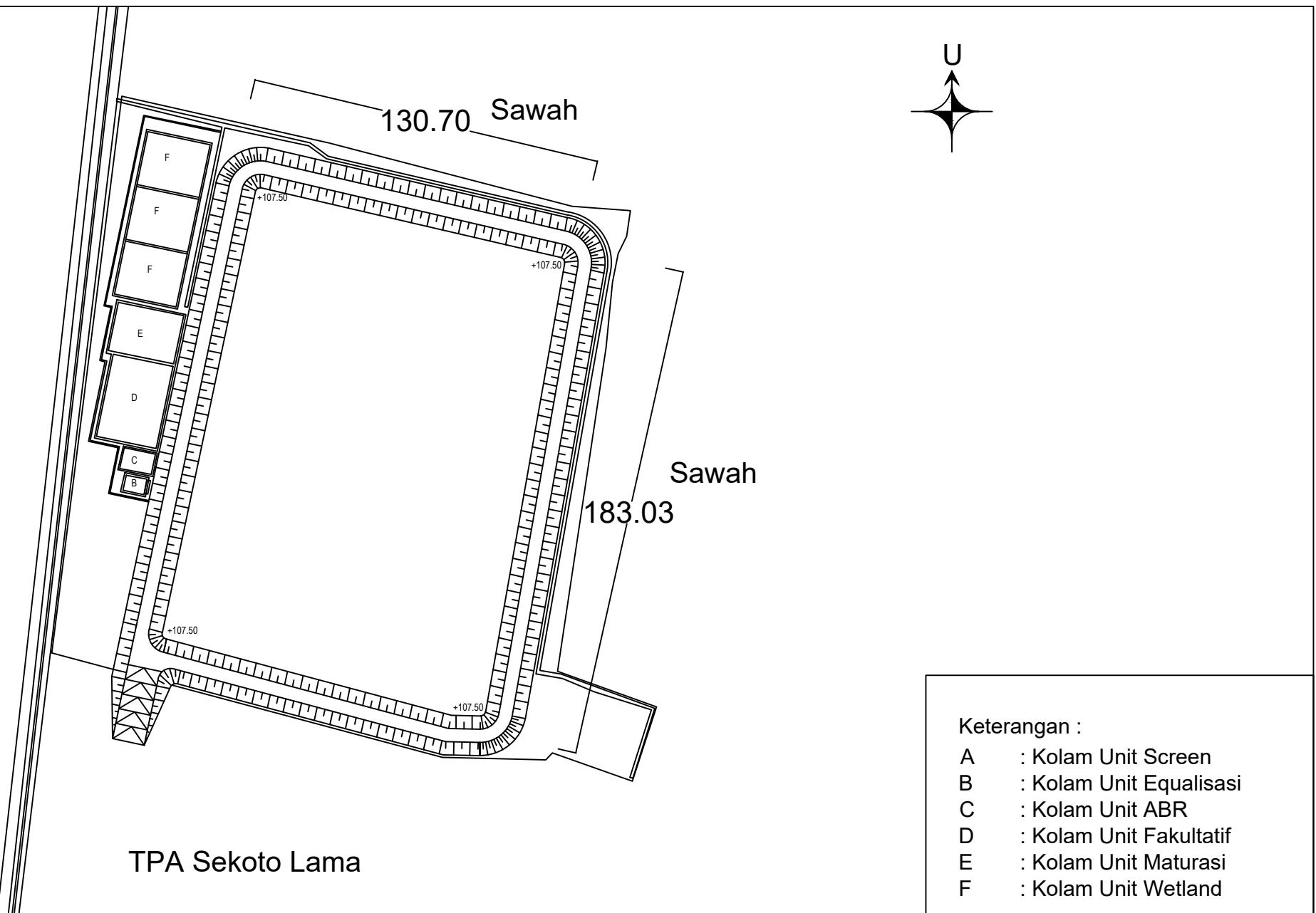
Gambar 4 : Momen pada pelat beton

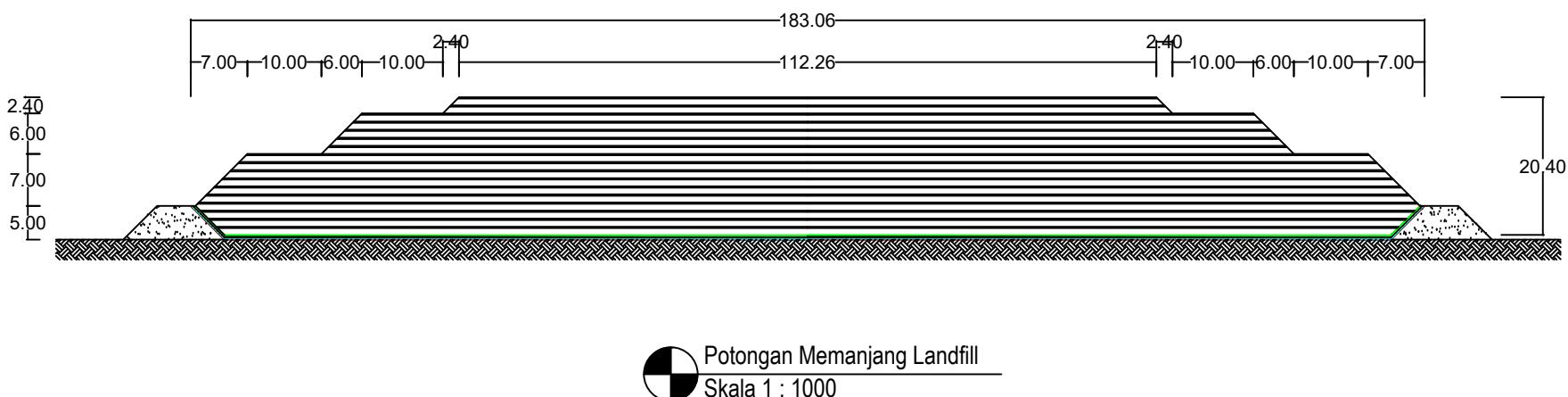
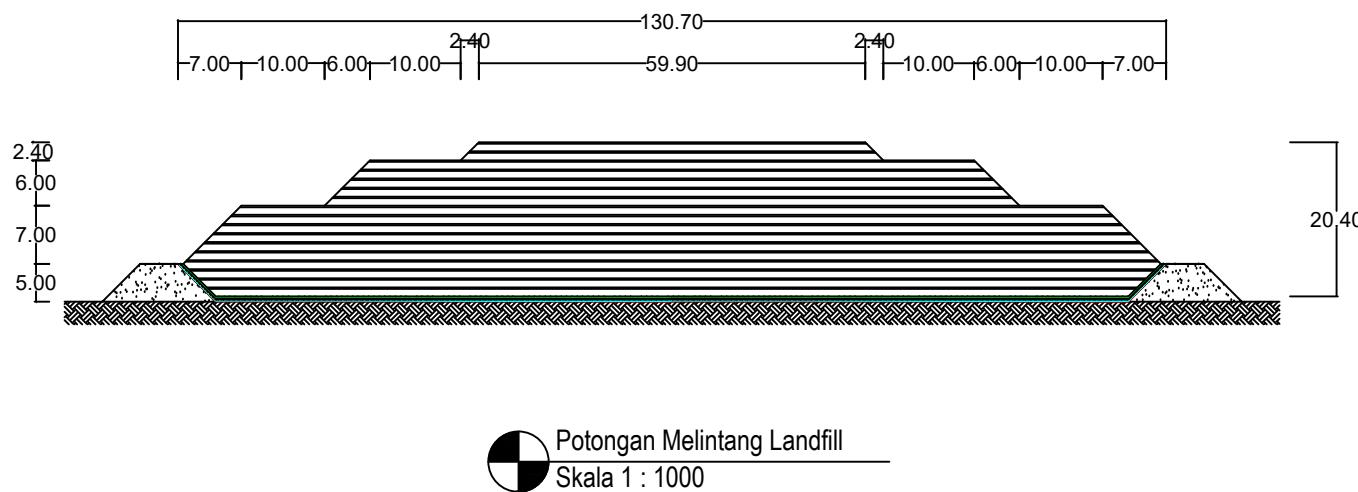
Tip Pelat	Momen	IV / kx																	
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5		
I		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	44	32	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125
		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25
II		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	21	25	28	31	34	36	37	38	40	41	41	41	42	42	42	42	42
		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	21	21	21	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	10	8
III		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83
		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
IV A		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63
		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	28	38	42	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	79	79	79
IV B		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125
		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	68	72	74	76	77	77	78	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79
V A		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125
		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	22	32	35	37	39	40	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25
V B		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	125
		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	70	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	83	83	83	83
VI A		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	31	38	45	53	60	66	72	76	83	86	92	96	99	102	105	108	125
		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	31	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25
VI B		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	123	123	124	124	125	125
		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	84	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	123	123	124	125
VIA		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	56	57	58	59	60	63	63
		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	19	19	18	18	13
VIB		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	55	63	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125
		$M_b = +0.001 q_4 l^2 \cdot X$	60	65	69	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	78	79	79

Keterangan :  = Terdiri bebas
 = Terdiri pemukul

Lampiran 7 : Gambar Perencanaan

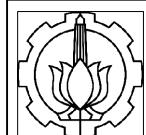
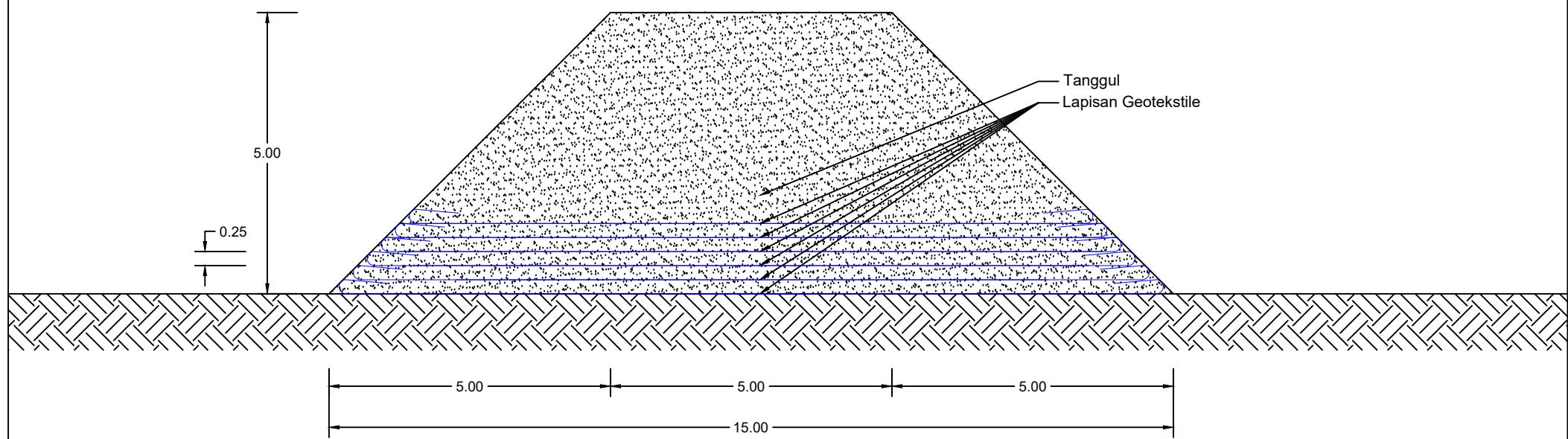
- Gambar 1 : Tampak atas landfill
- Gambar 2 : Potongan landfill
- Gambar 3 : Potongan melintang tanggul
- Gambar 4 : Perencanaan micropile timbunan menghadap sawah
- Gambar 5 : Perencanaan micropile timbunan menghadap IPAL
- Gambar 6 : Detail Lapisan Liner
- Gambar 7 : Tampak atas landfill (IPAL)
- Gambar 8 : Denah pembalokan kolam unit screen dan equalisasi
- Gambar 9 : Denah pembalokan kolam unit ABR
- Gambar 10 : Denah pembalokan kolam unit fakultatif dan maturasi
- Gambar 11 : Denah pembalokan kolam unit wetland 1, 2 dan 3
- Gambar 12 : Detail pelat unit screen dan equalisasi
- Gambar 13 : Detail pelat unit ABR
- Gambar 14 : Detail pelat unit fakultatif dan maturasi
- Gambar 15 : Detail pelat unit wetland
- Gambar 16 : Detail balok sloof kolam IPAL
- Gambar 17 : Detail dinding kolam IPAL
- Gambar 18 : Jaringan perpipaan lindi
- Gambar 19 : Potongan jaringan perpipaan air lindi
- Gambar 20 : Detail bak air lindi





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Judul Gambar	Skala	Halaman	Dosen Pembimbing	Nama/NRP Mahasiswa
Potongan Landfill	1 : 1000		Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D. Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.	A Winardi 03111740000101



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Judul Gambar

Skala

Halaman

Dosen Pembimbing

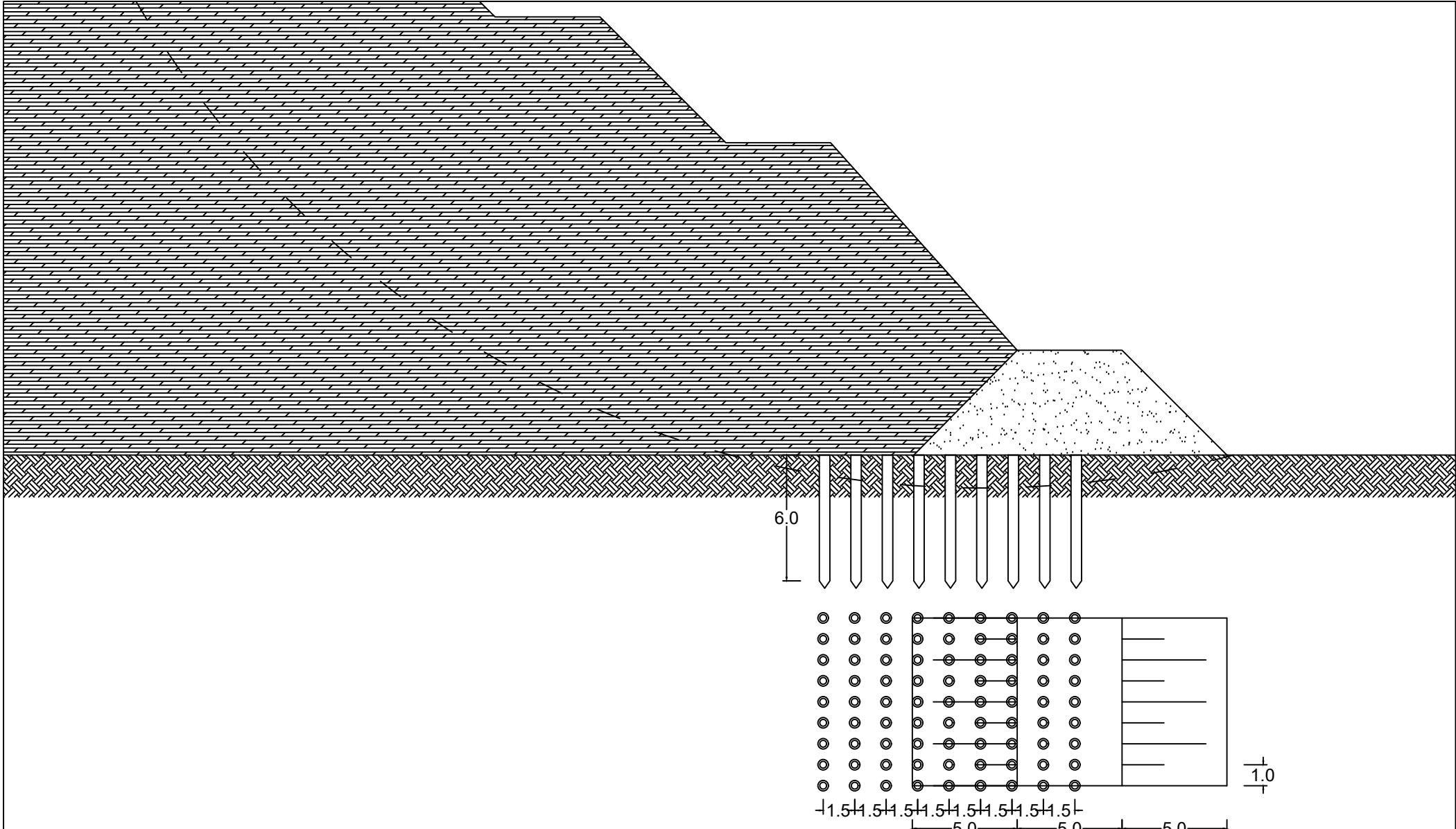
Nama/NRP Mahasiswa

Potongan Melintang Tanggul

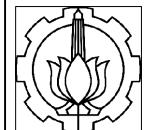
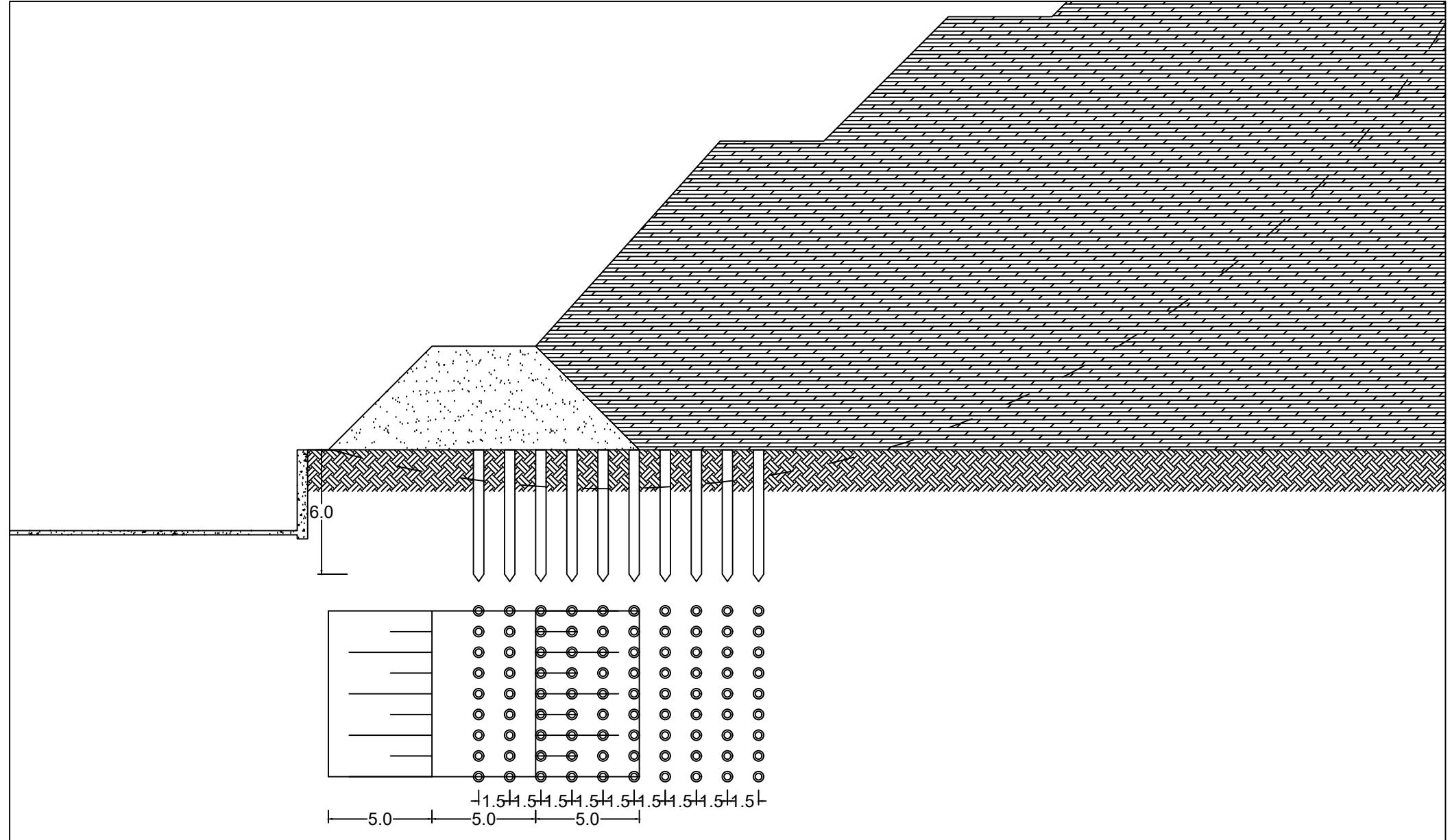
1 : 100

Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D.
Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.

A Winardi
03111740000101



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	Judul Gambar	Skala	Halaman	Dosen Pembimbing	Nama/NRP Mahasiswa
	Perencanaan Micropile Timbunan Menghadap Sawah	1 : 250		Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D. Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.	A Winardi 03111740000101



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Judul Gambar

Skala

Halaman

Dosen Pembimbing

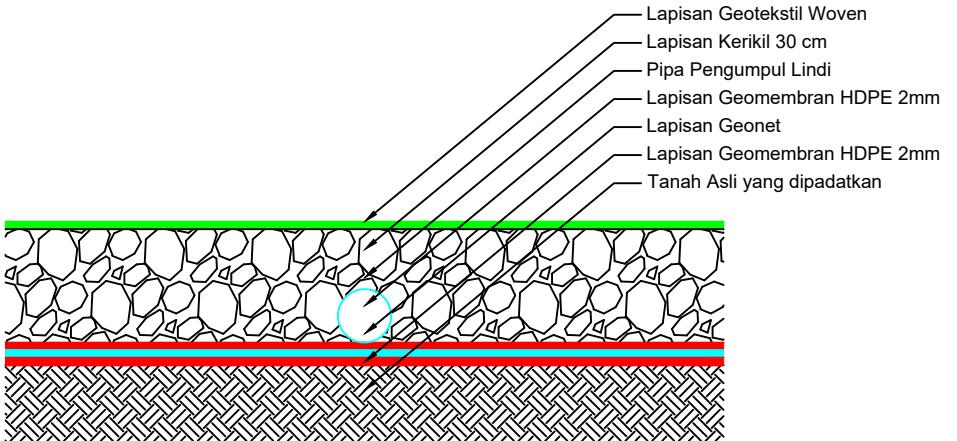
Nama/NRP Mahasiswa

Perencanaan Micropile
Timbunan Menghadap IPAL

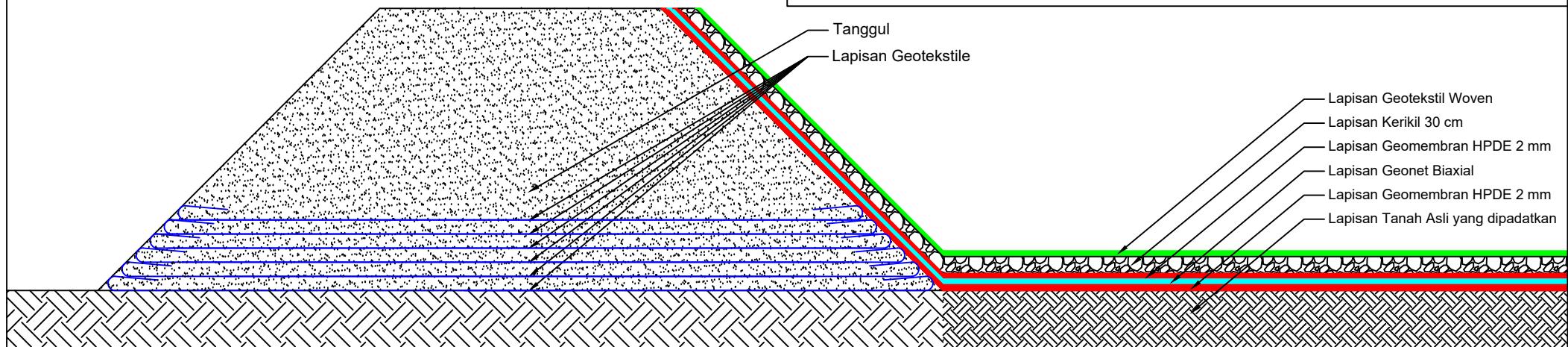
1 : 250

Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D.
Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.

A Winardi
03111740000101



Detail Lapisan Liner
 Skala 1 : 20



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	Judul Gambar	Skala	Halaman	Dosen Pembimbing	Nama/NRP Mahasiswa
	Detail Lapisan Liner	1 : 100		Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D. Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.	A Winardi 03111740000101

Kolam Unit Wetland

Kolam Unit Maturasi

Kolam Unit Fakultatif

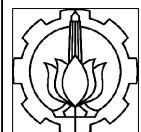
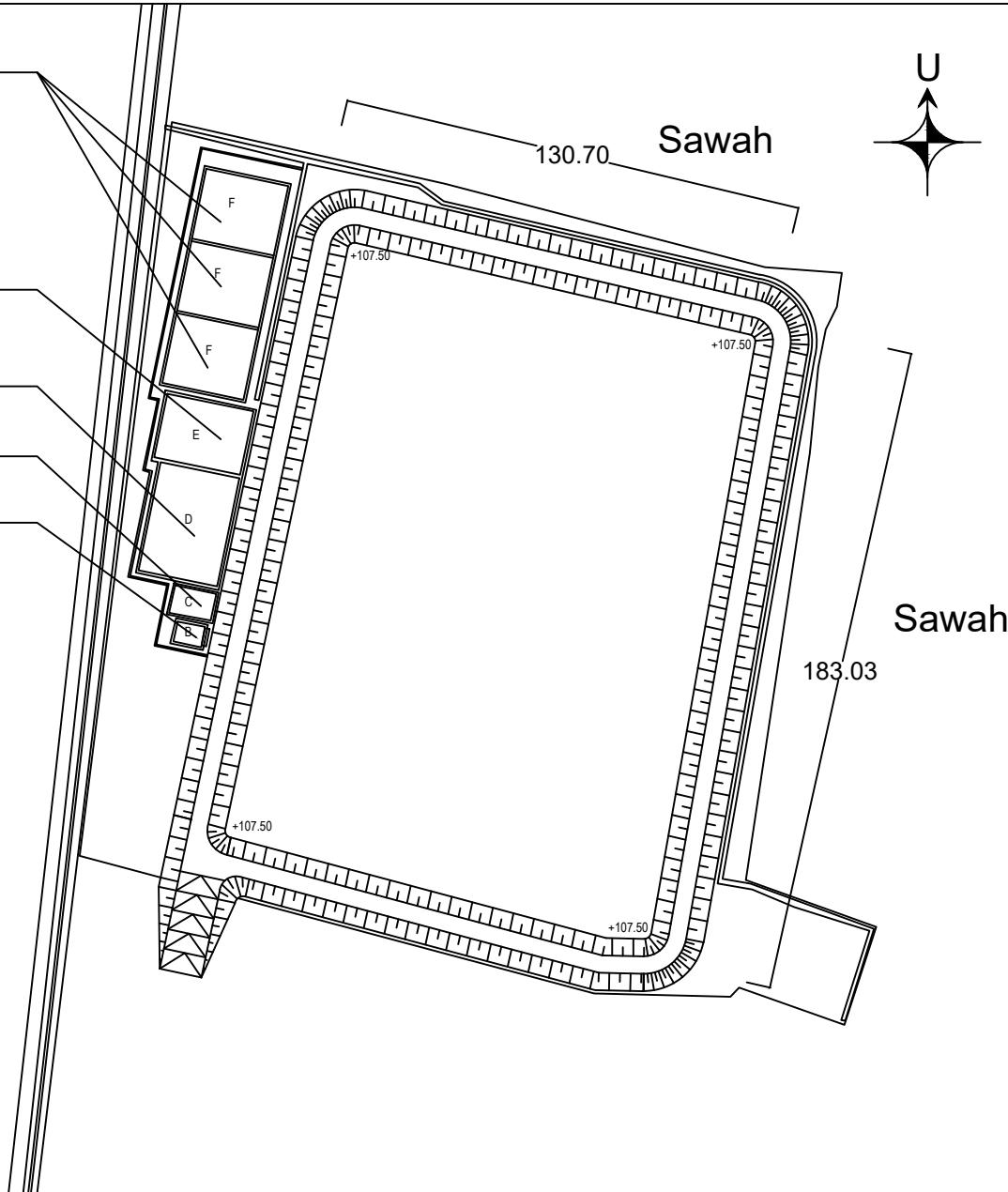
Kolam Unit ABR

Kolam Unit Screen

& Equalisasi

Keterangan :

- A : Kolam Unit Screen
- B : Kolam Unit Equalisasi
- C : Kolam Unit ABR
- D : Kolam Unit Fakultatif
- E : Kolam Unit Maturasi
- F : Kolam Unit Wetland



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Judul Gambar

Skala

Halaman

Dosen Pembimbing

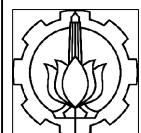
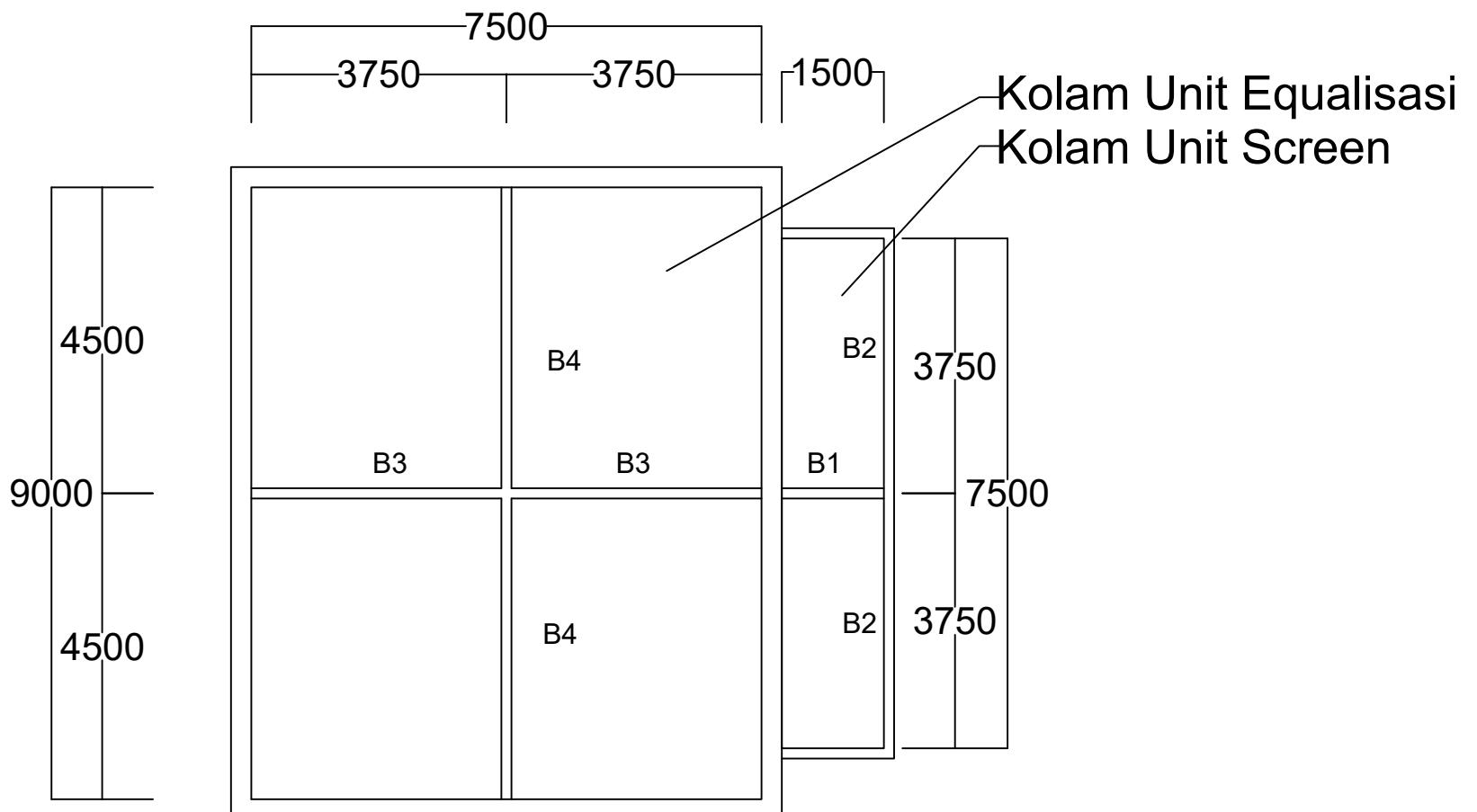
Nama/NRP Mahasiswa

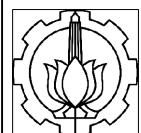
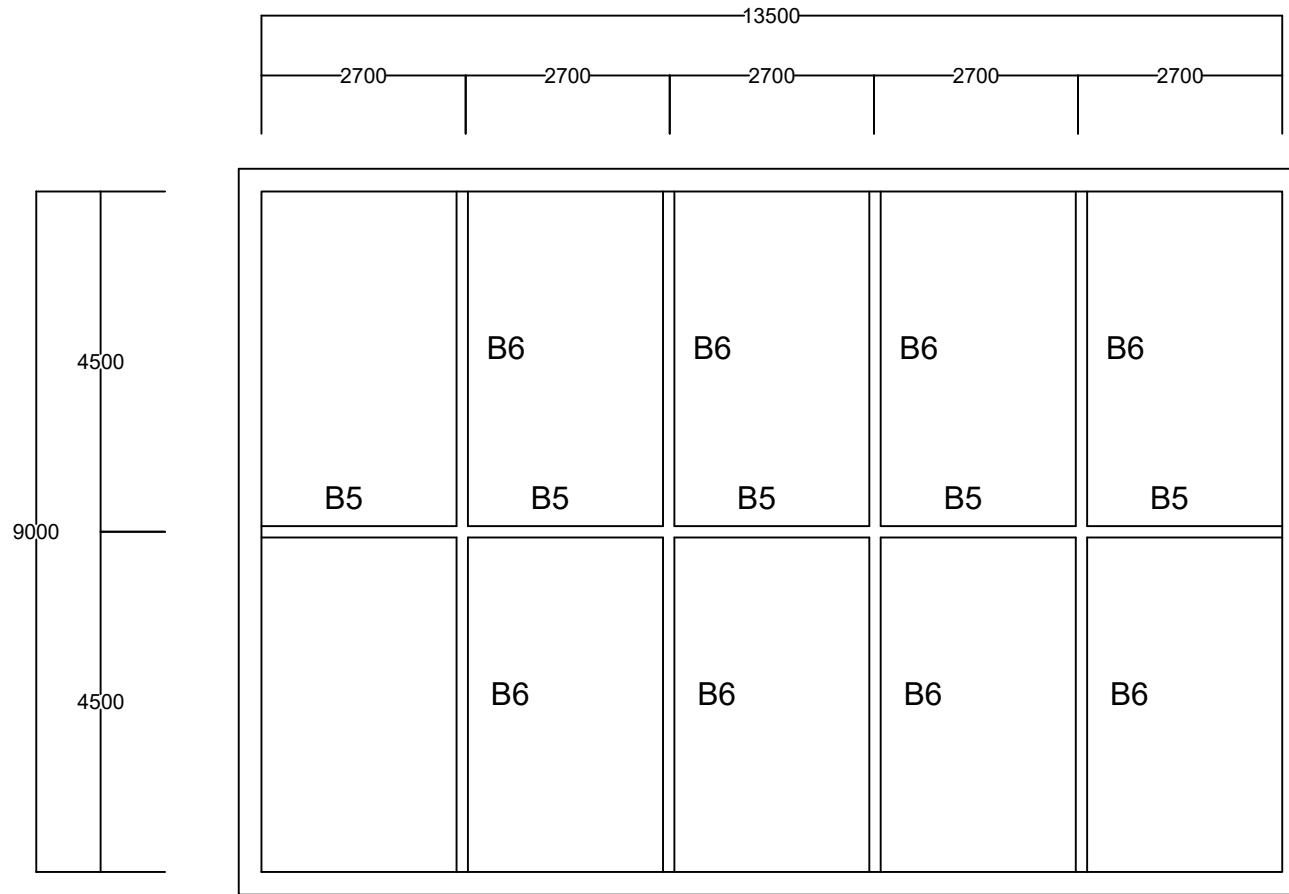
Tampak Atas Landfill

1 : 2000

Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D.
Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.

A Winardi
03111740000101





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Judul Gambar

Skala

Halaman

Dosen Pembimbing

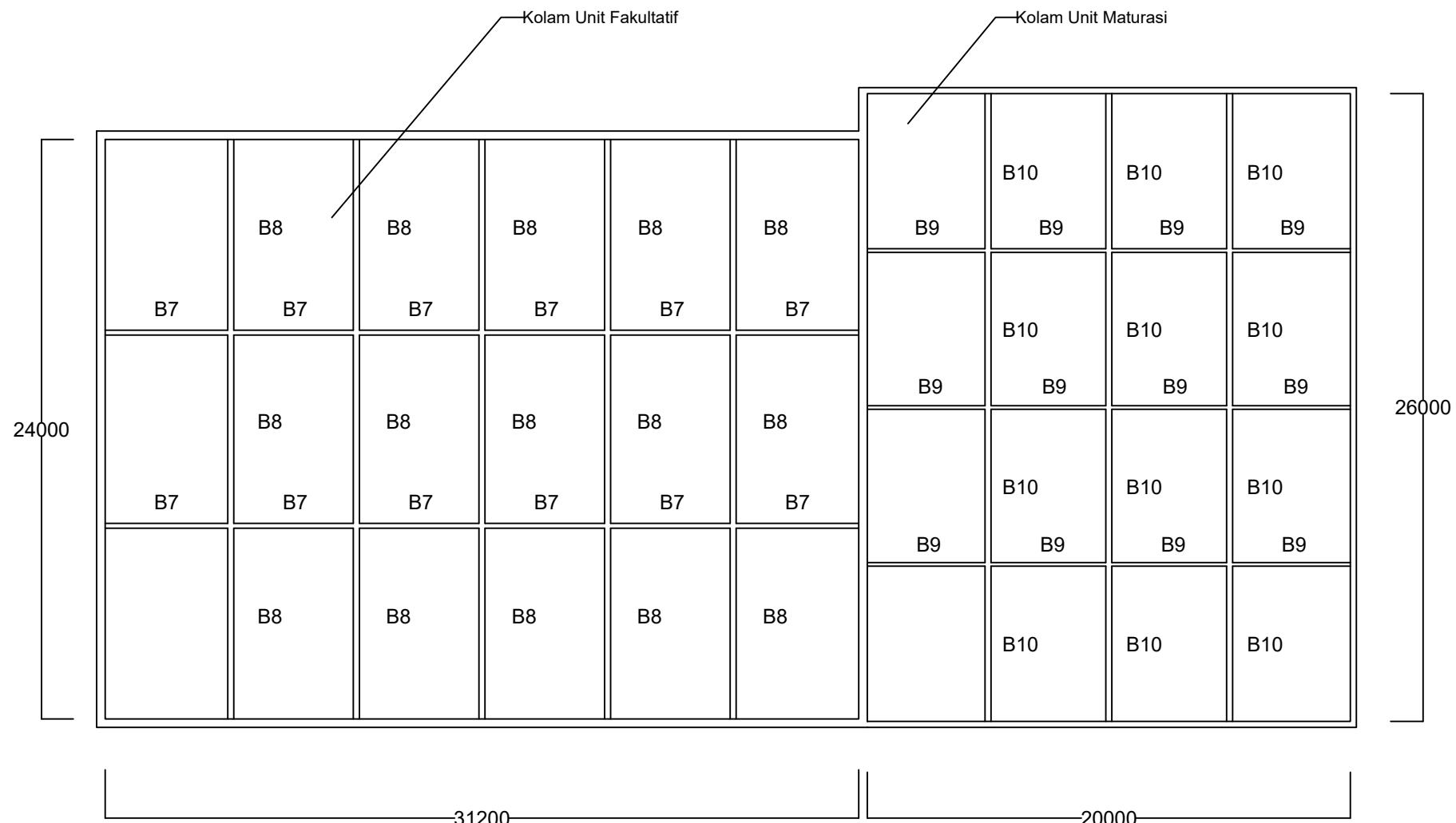
Nama/NRP Mahasiswa

Denah Pembalokan Kolam
Unit ABR

1 : 100

Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D.
Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.

A Winardi
03111740000101



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Judul Gambar

Skala

Halaman

Dosen Pembimbing

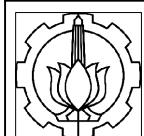
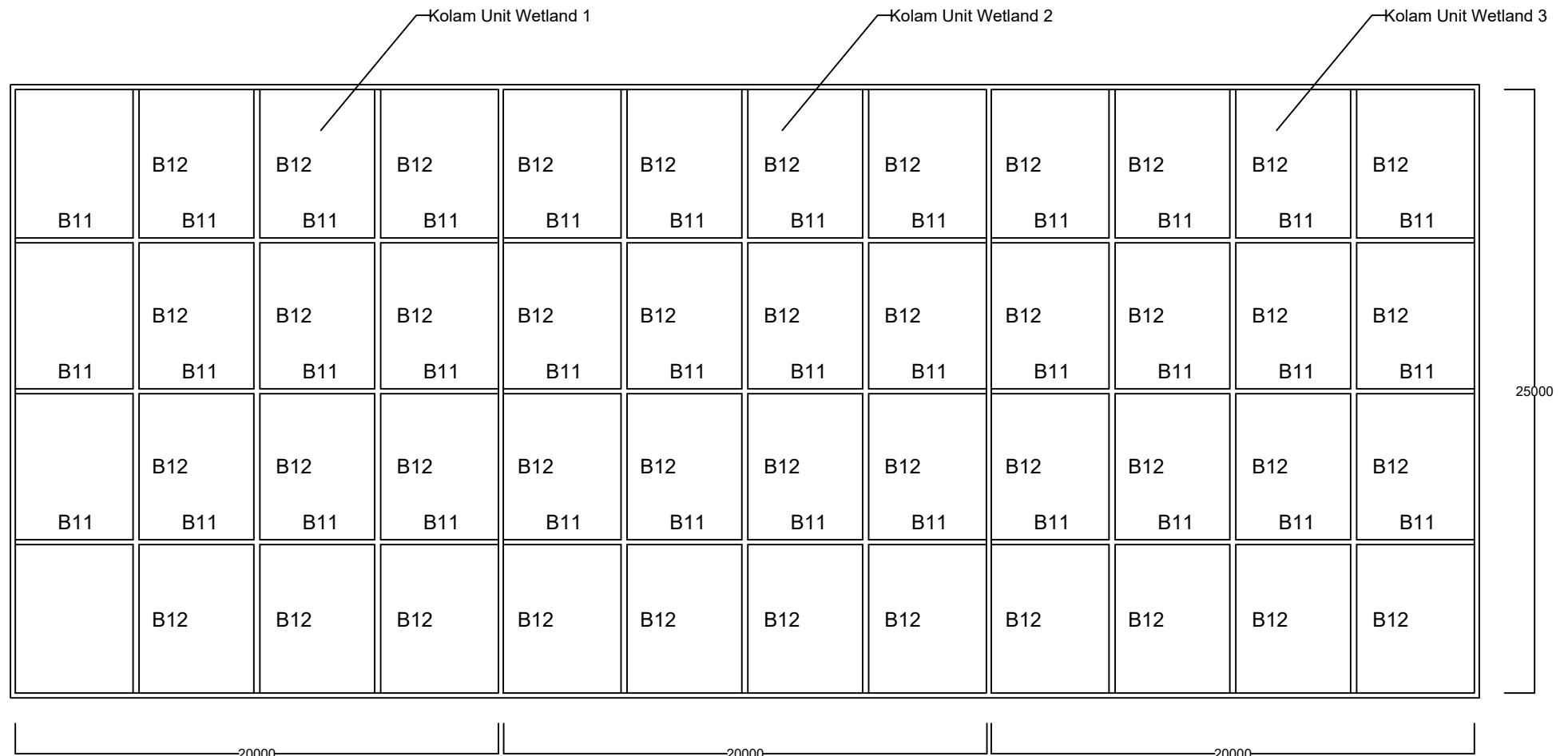
Nama/NRP Mahasiswa

Denah Pembalokan Kolam
Unit Fakultatif dan Maturasi

1 : 250

Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D.
Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.

A Winardi
03111740000101



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Judul Gambar

Skala

Halaman

Dosen Pembimbing

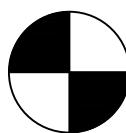
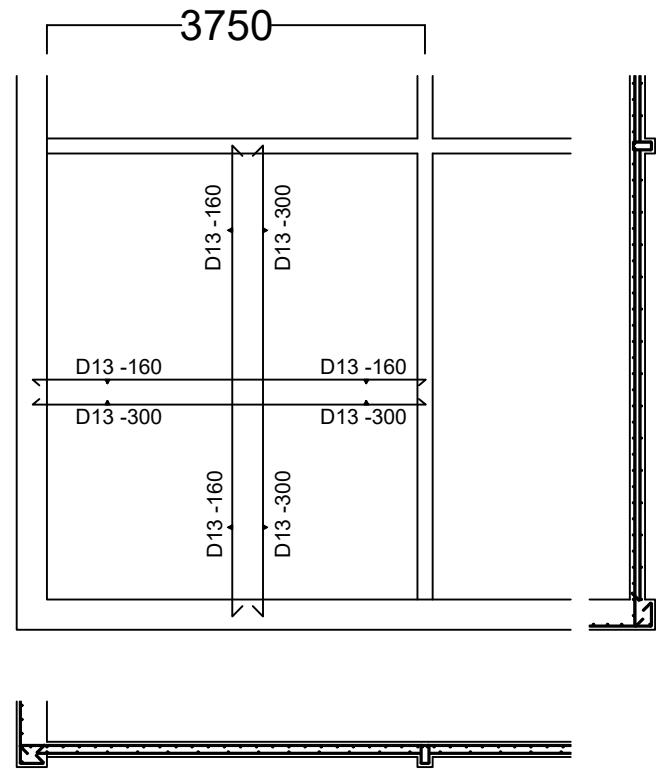
Nama/NRP Mahasiswa

Denah Pembalokan Kolam
Unit Wetland 1, 2 dan 3

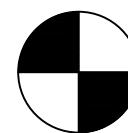
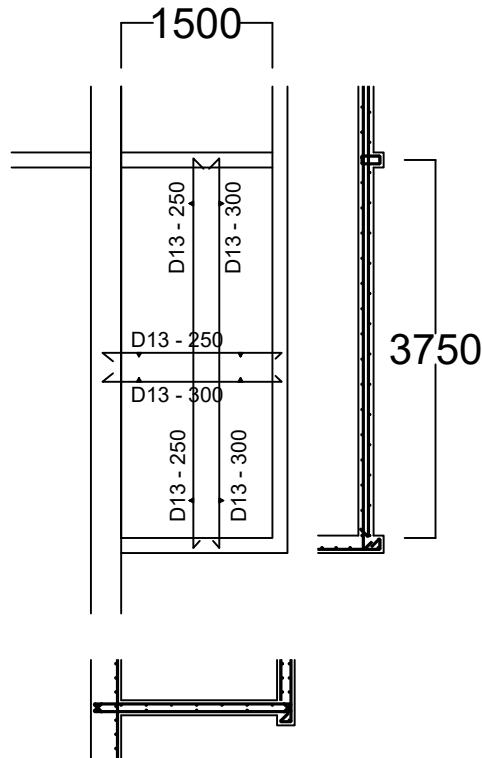
1 : 250

Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D.
Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.

A Winardi
03111740000101

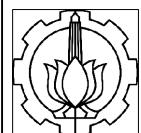
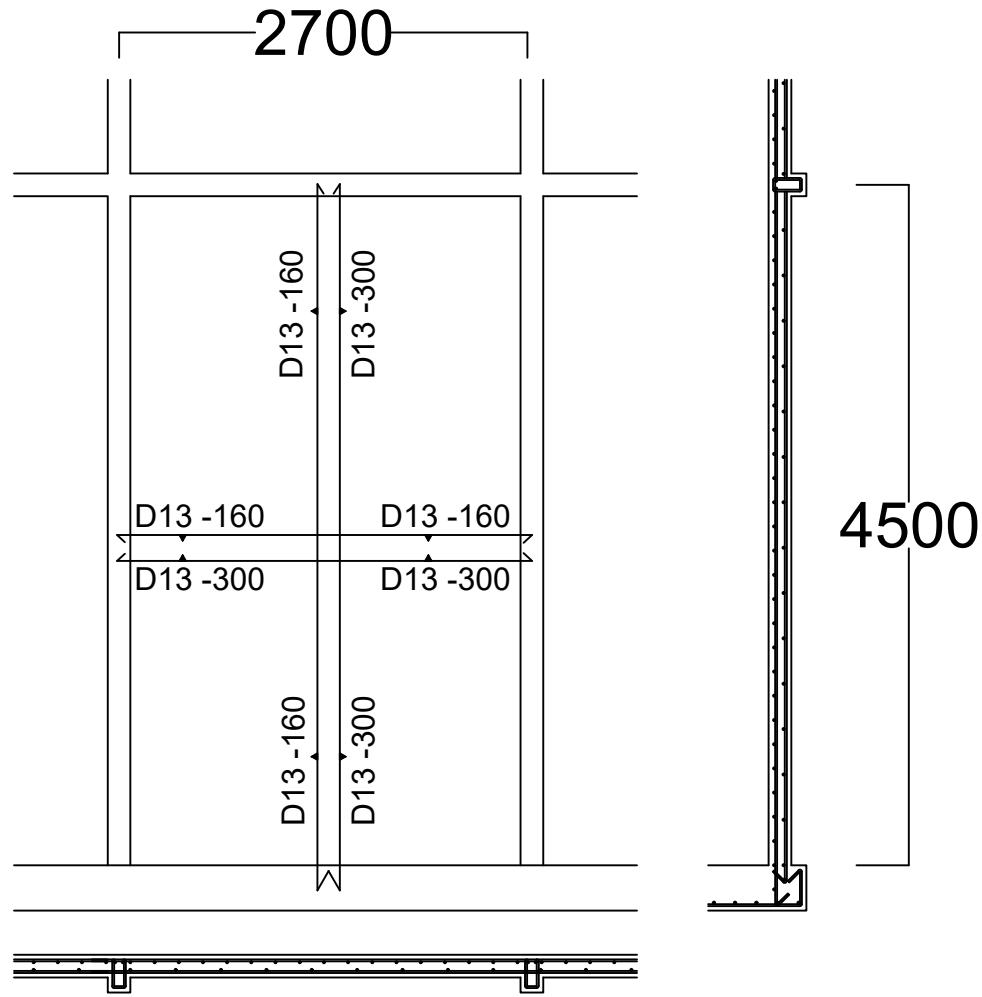


Detail Pelat Unit Equalisasi
Skala 1 : 75



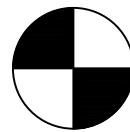
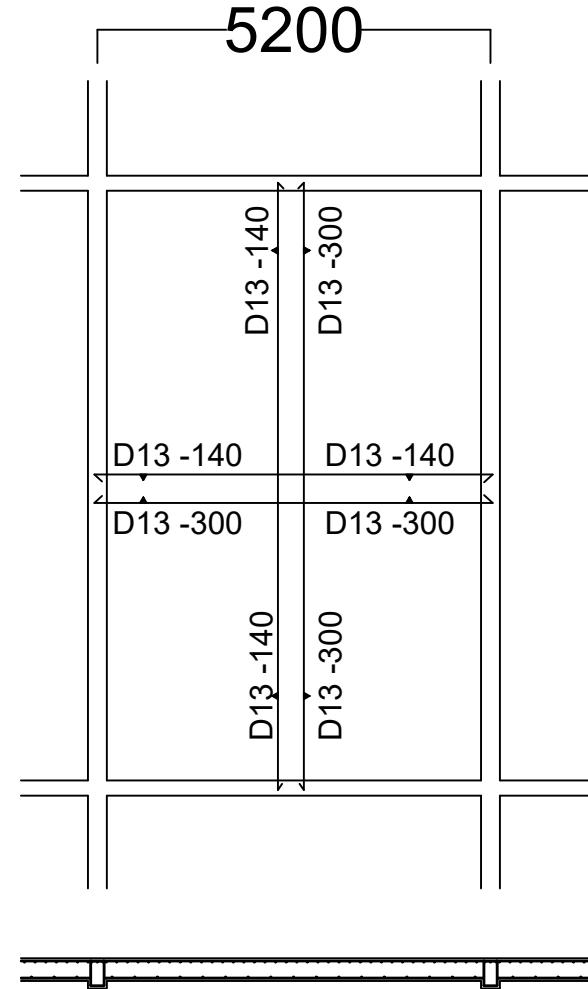
Detail Pelat Unit Screen
Skala 1 : 75



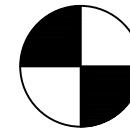
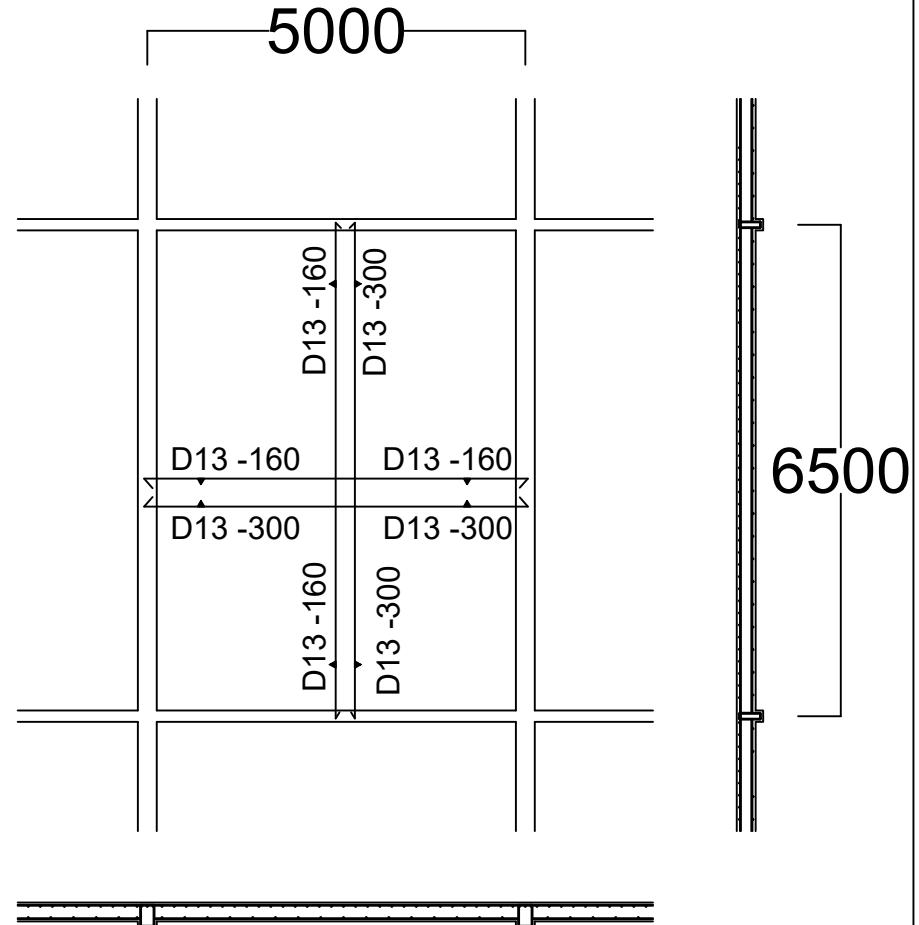


DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

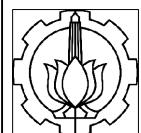
Judul Gambar	Skala	Halaman	Dosen Pembimbing	Nama/NRP Mahasiswa
Detail Pelat Unit ABR	1 : 50		Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D. Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.	A Winardi 03111740000101

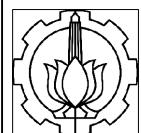
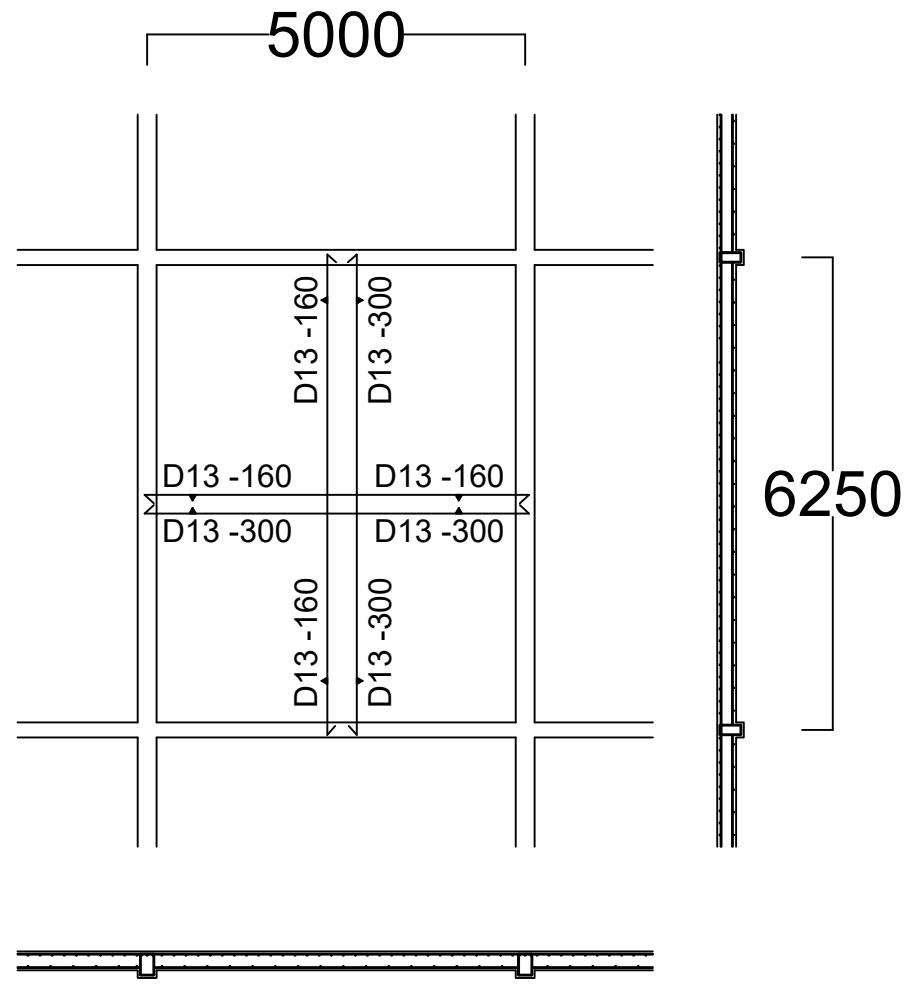


Detail Pelat Unit Fakultatif
Skala 1 : 100



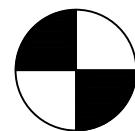
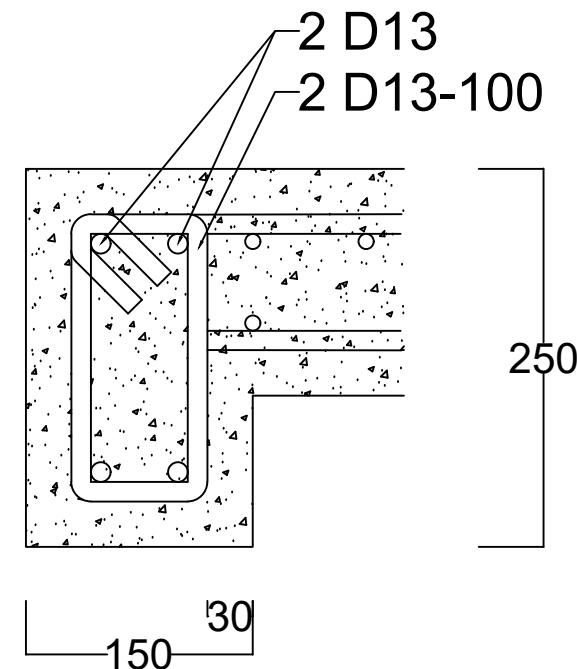
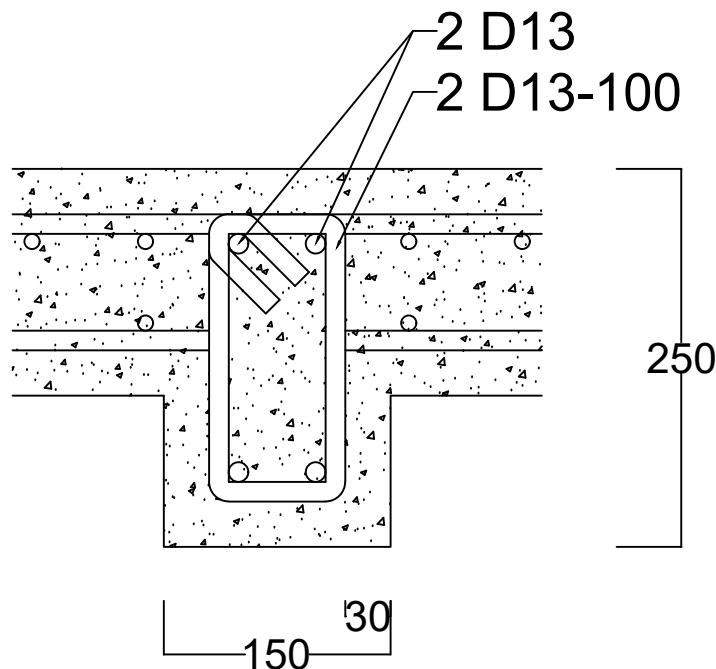
Detail Pelat Unit Maturasi
Skala 1 : 100



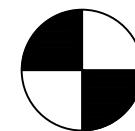


DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

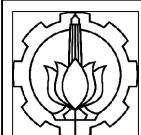
Judul Gambar	Skala	Halaman	Dosen Pembimbing	Nama/NRP Mahasiswa
Detail Pelat Unit Wetland	1 : 100		Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D. Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.	A Winardi 03111740000101

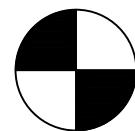
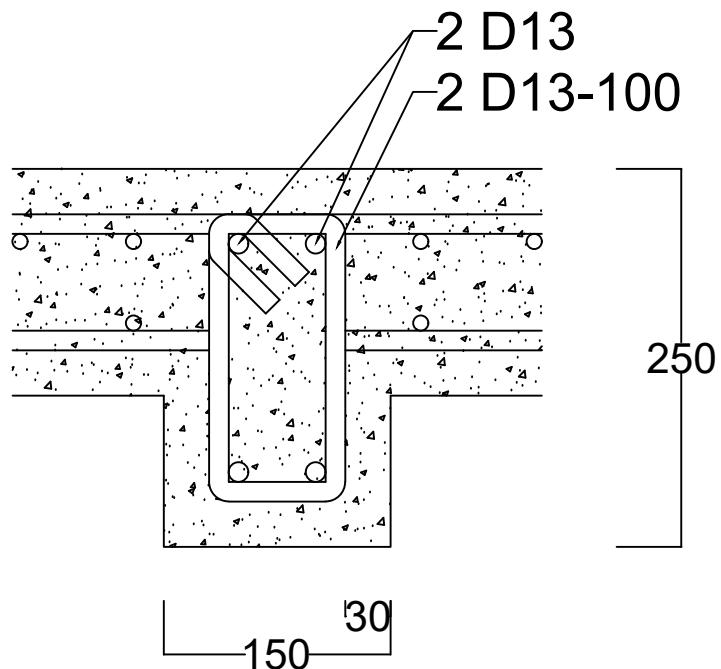


Detail Balok B1
Skala 1 : 5

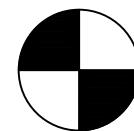
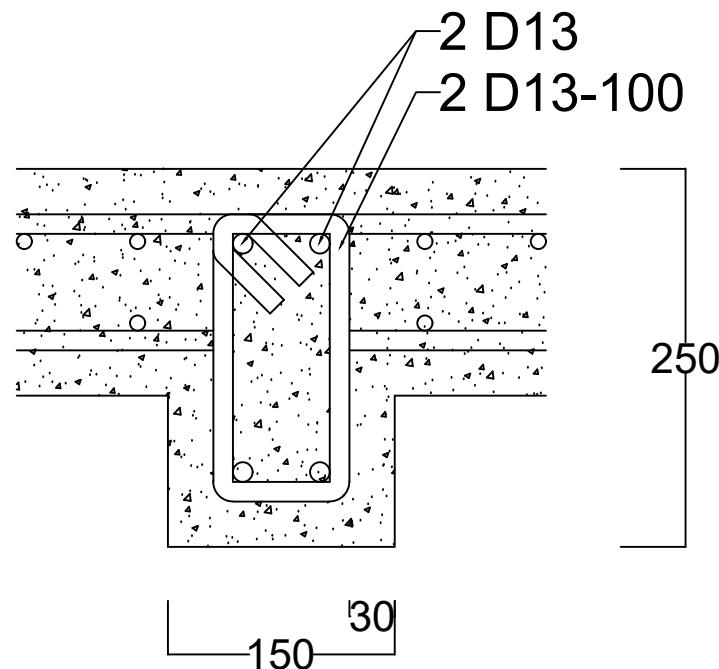


Detail Balok B2
Skala 1 : 5

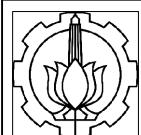


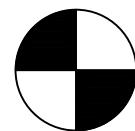
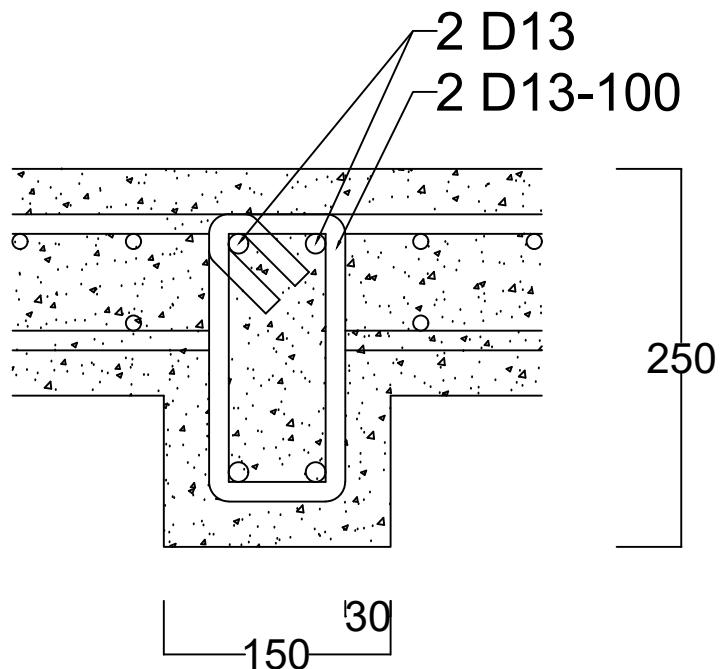


Detail Balok B3
Skala 1 : 5

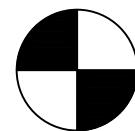
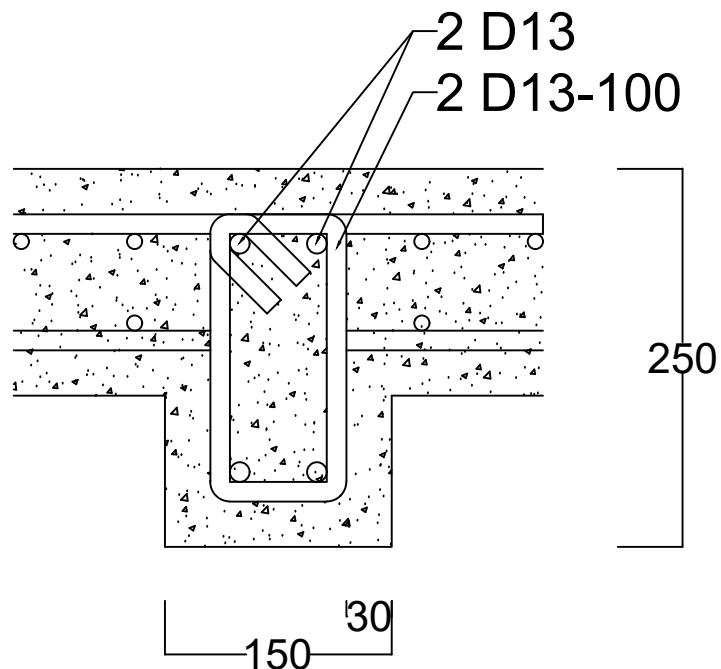


Detail Balok B4
Skala 1 : 5

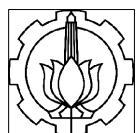


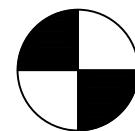
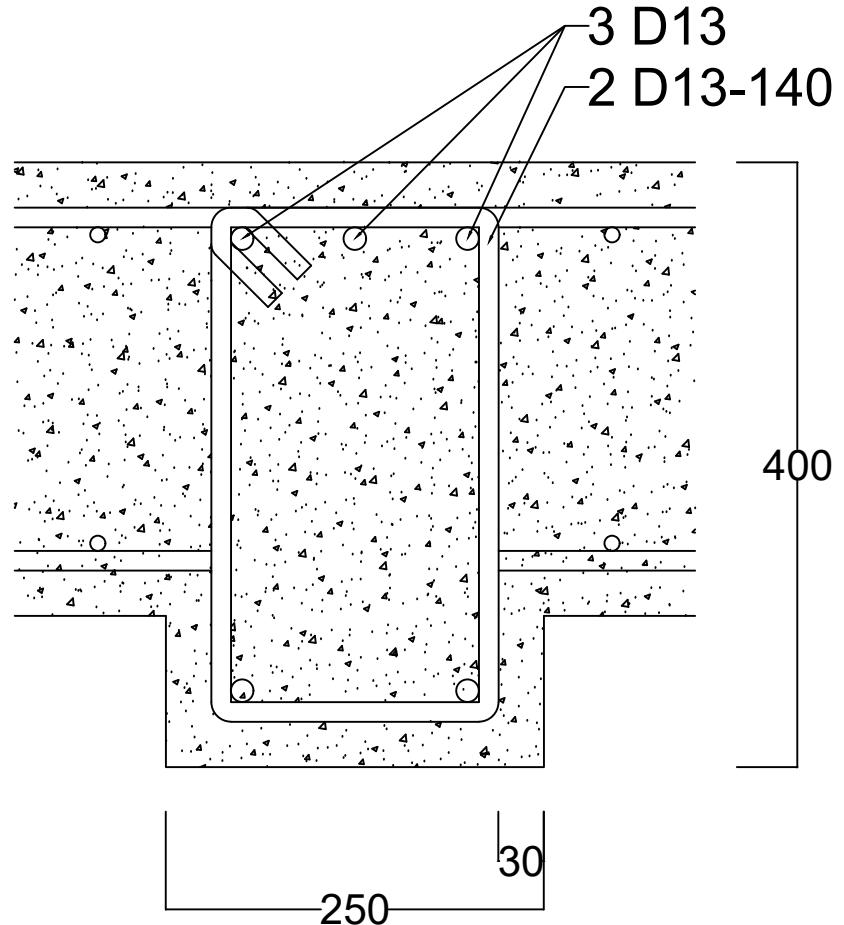
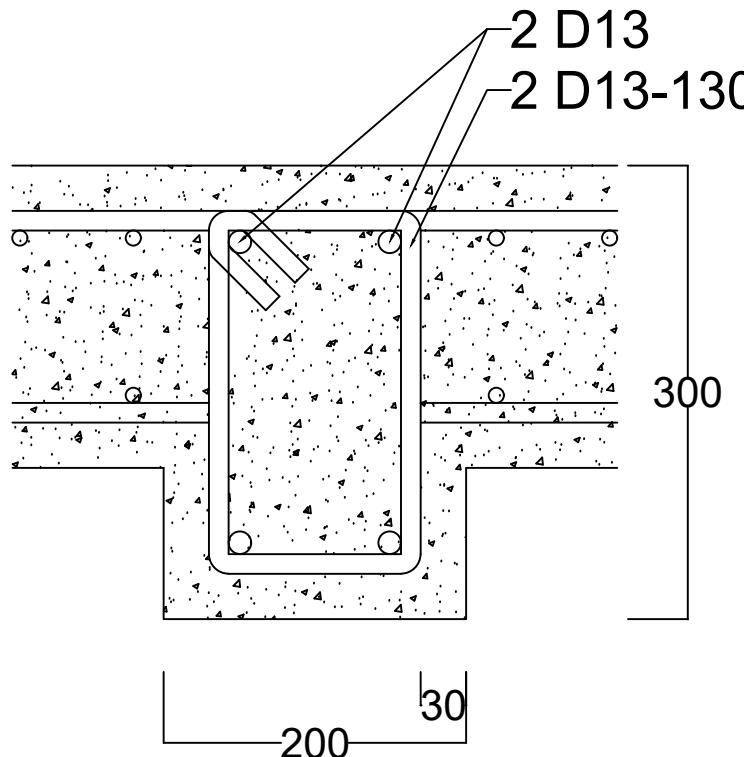


Detail Balok B5
Skala 1 : 5

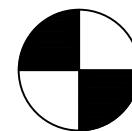


Detail Balok B6
Skala 1 : 5

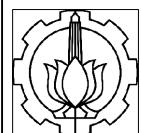


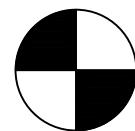
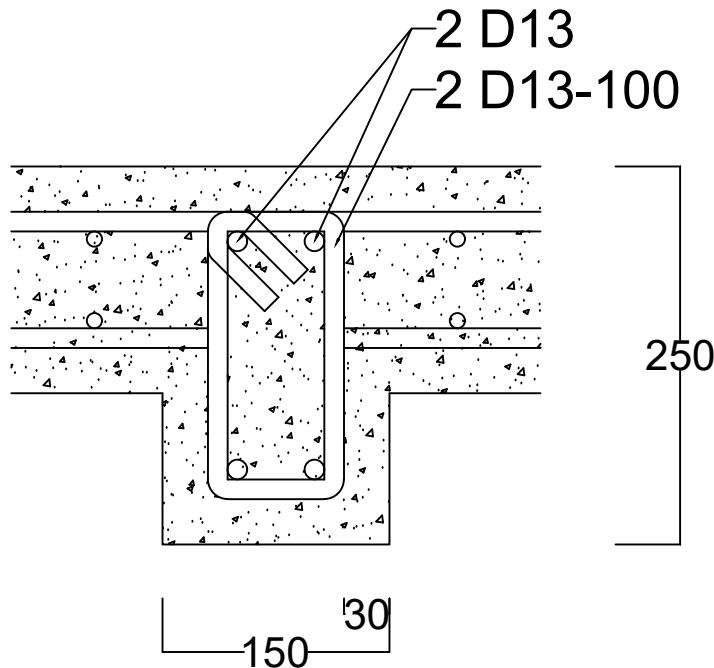


Detail Balok B7
Skala 1 : 5

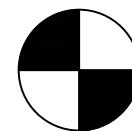
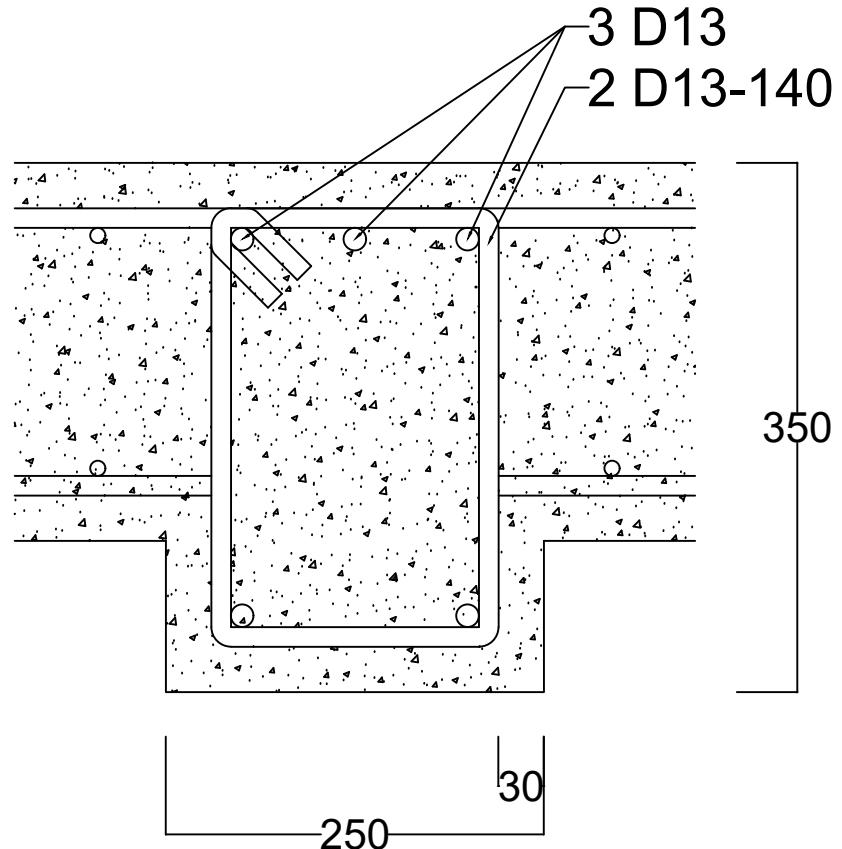


Detail Balok B8
Skala 1 : 5

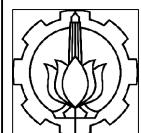


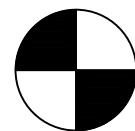
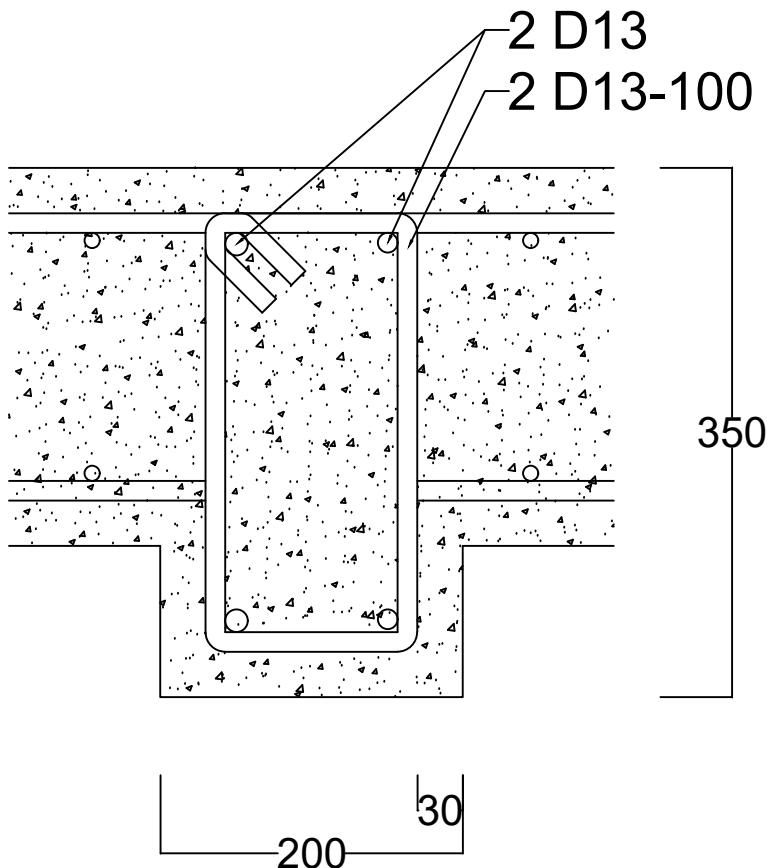


Detail Balok B9
Skala 1 : 5

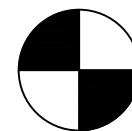
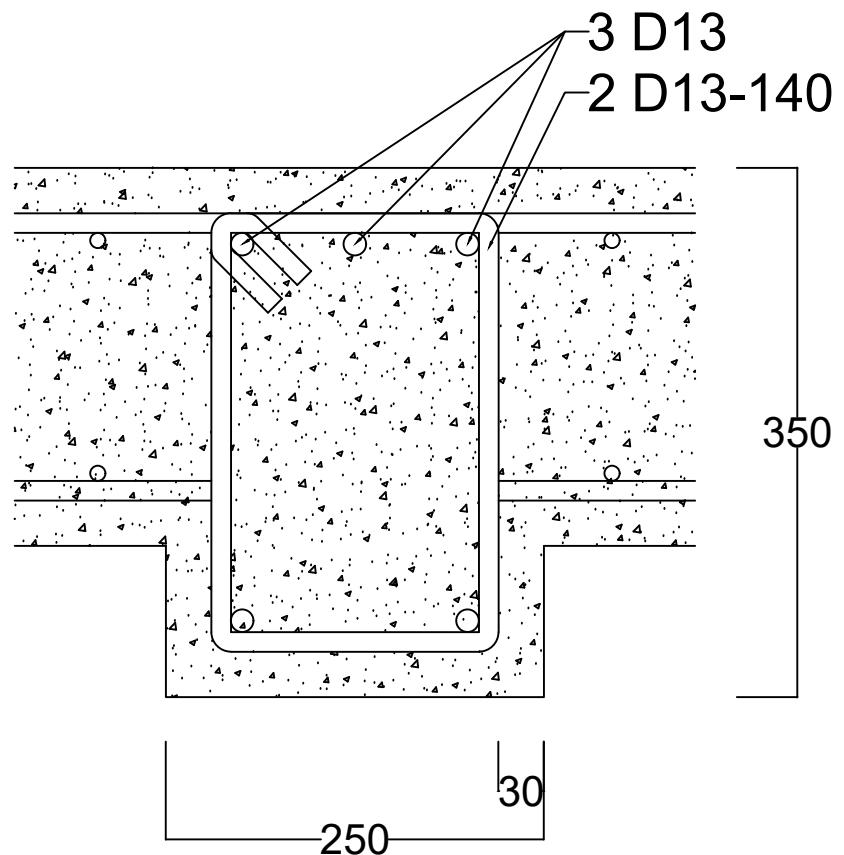


Detail Balok B10
Skala 1 : 5



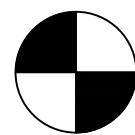
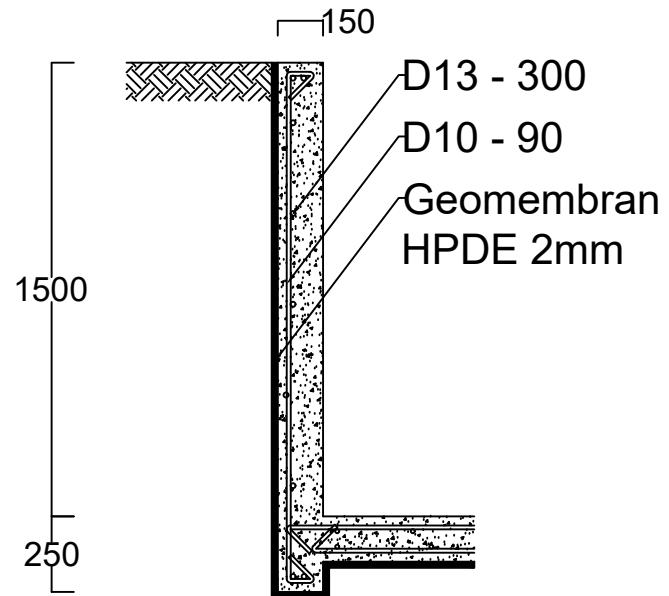


Detail Balok B11
Skala 1 : 5

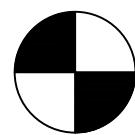
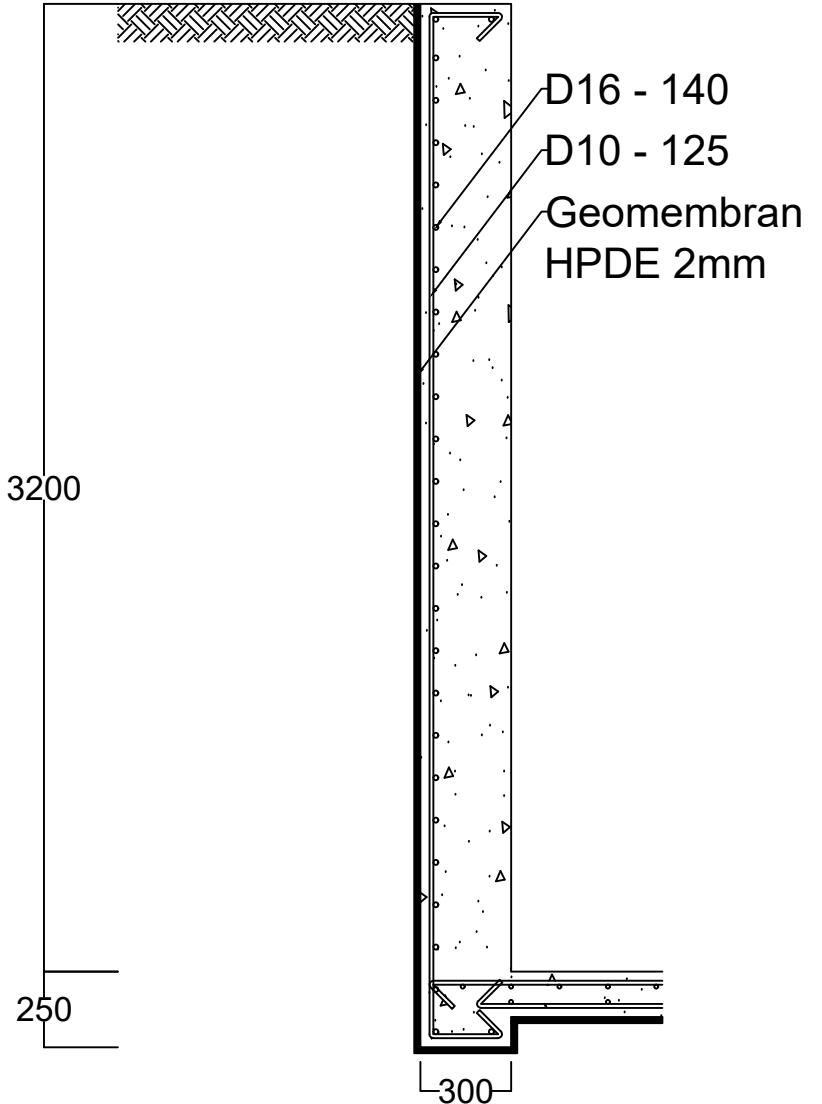


Detail Balok B12
Skala 1 : 5

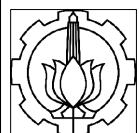


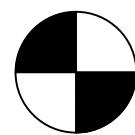
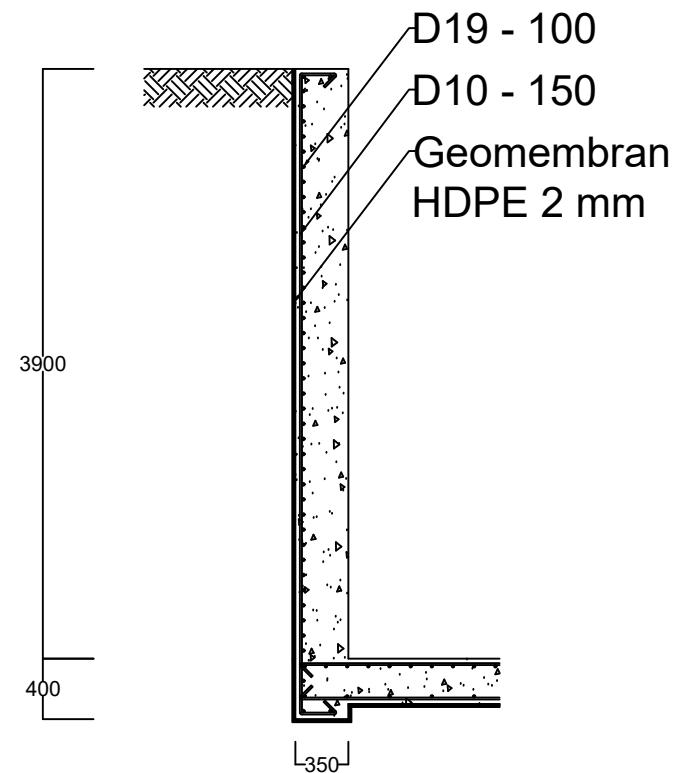
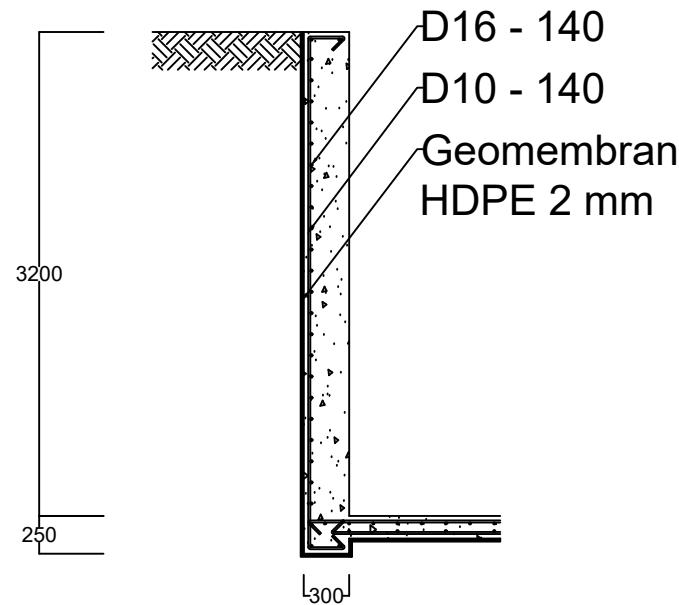


Detail Dinding Kolam Unit Screen
Skala 1 : 25

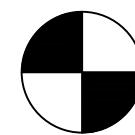


Detail Dinding Kolam Unit Equalisasi
Skala 1 : 25

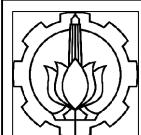




Detail Dinding Kolam Unit ABR
Skala 1 : 50

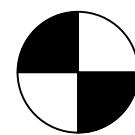
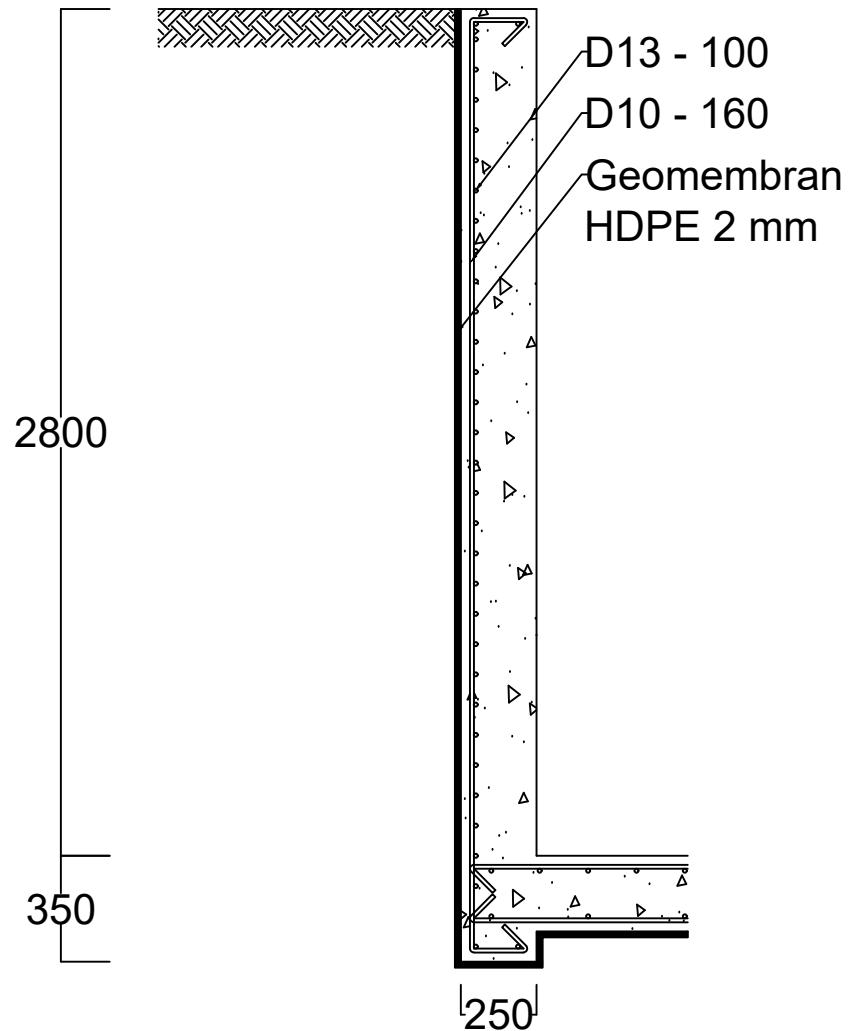


Detail Dinding Kolam Unit Fakultatif
Skala 1 : 50

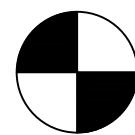
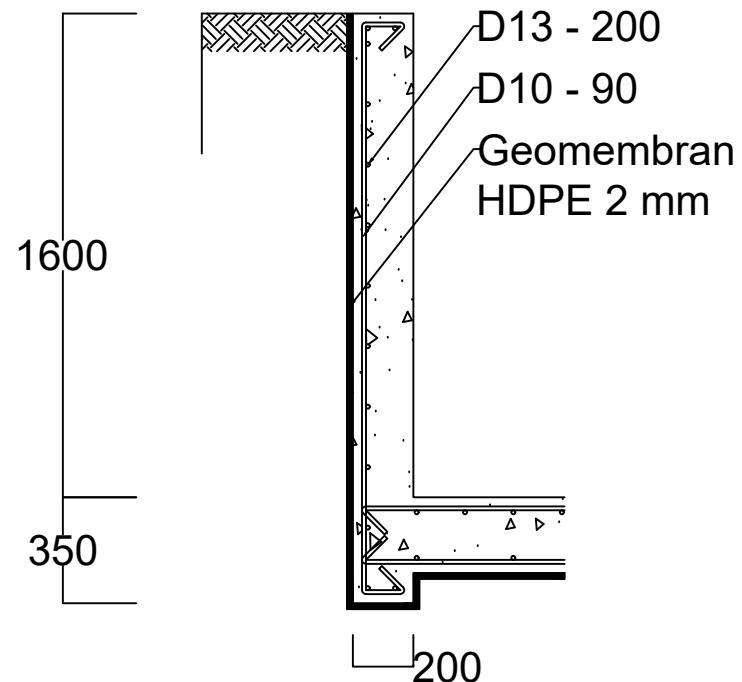


DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

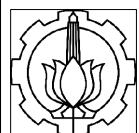
Judul Gambar	Skala	Halaman	Dosen Pembimbing	Nama/NRP Mahasiswa
Detail Dinding Kolam IPAL	1 : 50		Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D. Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.	A Winardi 03111740000101

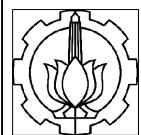
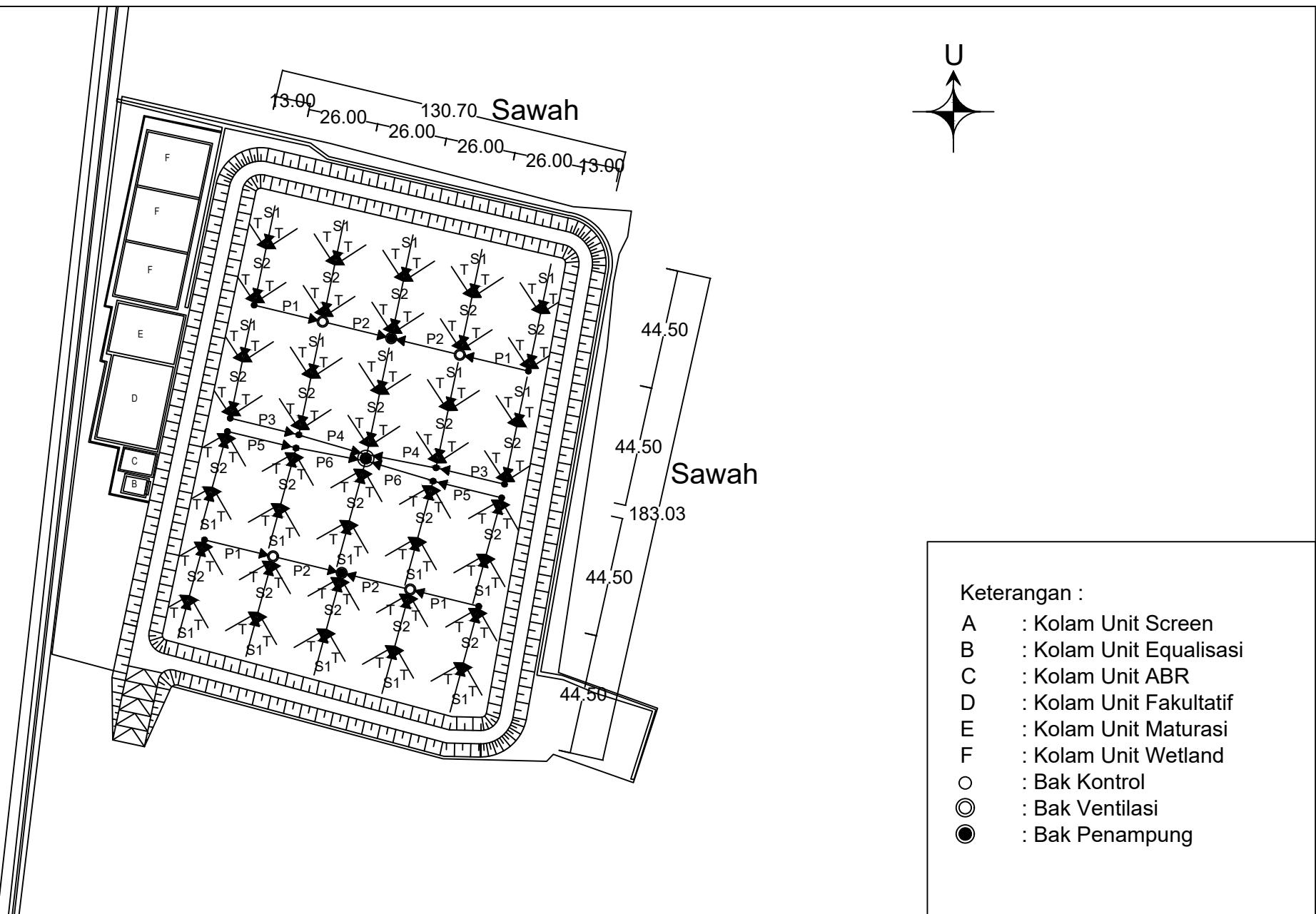


Detail Dinding Kolam Unit Maturasi
Skala 1 : 25



Detail Dinding Kolam Unit Wetland
Skala 1 : 25





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Judul Gambar

Skala

Halaman

Dosen Pembimbing

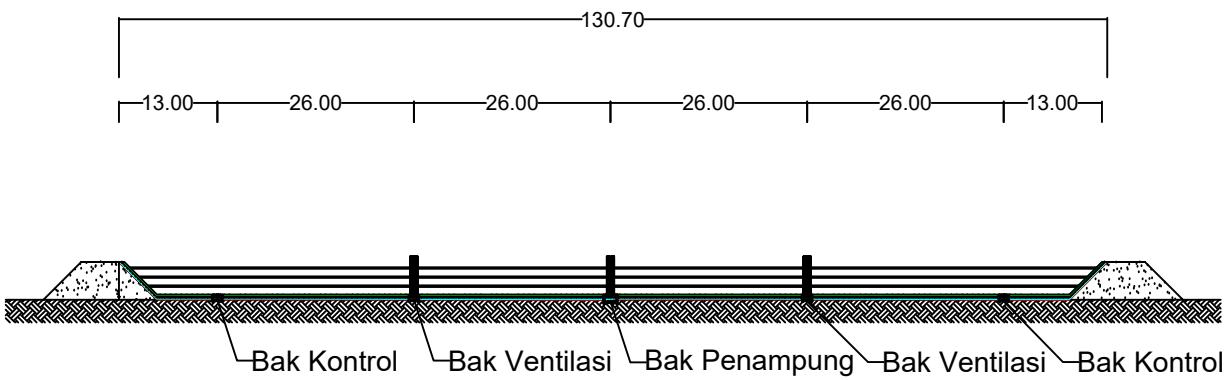
Nama/NRP Mahasiswa

Jaringan Perpipaan Lindi

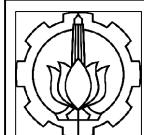
1 : 2000

Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D.
Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.

A Winardi
03111740000101

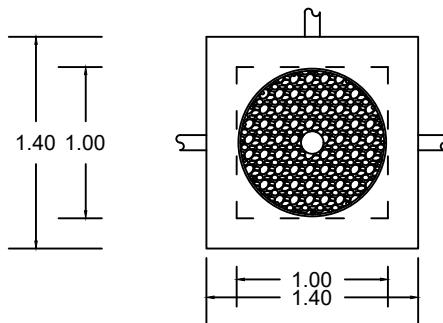
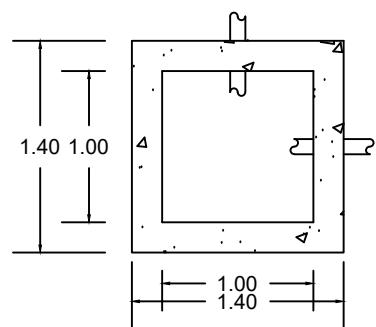
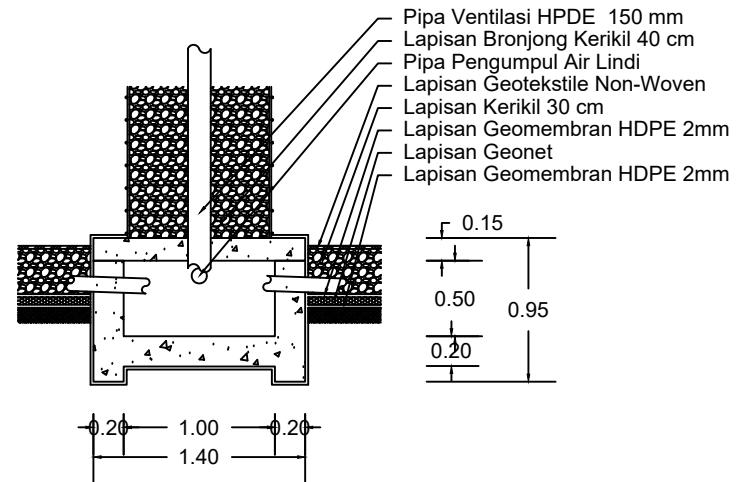
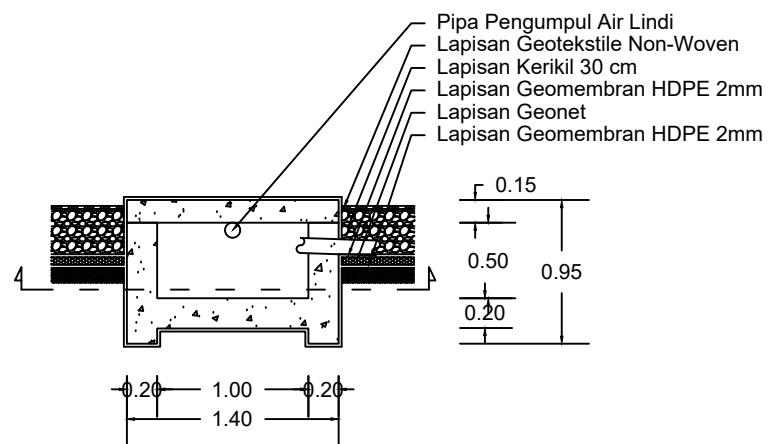


Potongan Jaringan Perpipaan Air Lindi
Skala 1 : 1000



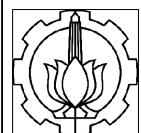
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Judul Gambar	Skala	Halaman	Dosen Pembimbing	Nama/NRP Mahasiswa
Potongan Jaringan Perpipaan Air Lindi	1 : 1000		Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D. Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.	A Winardi 03111740000101



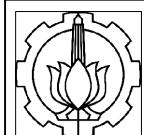
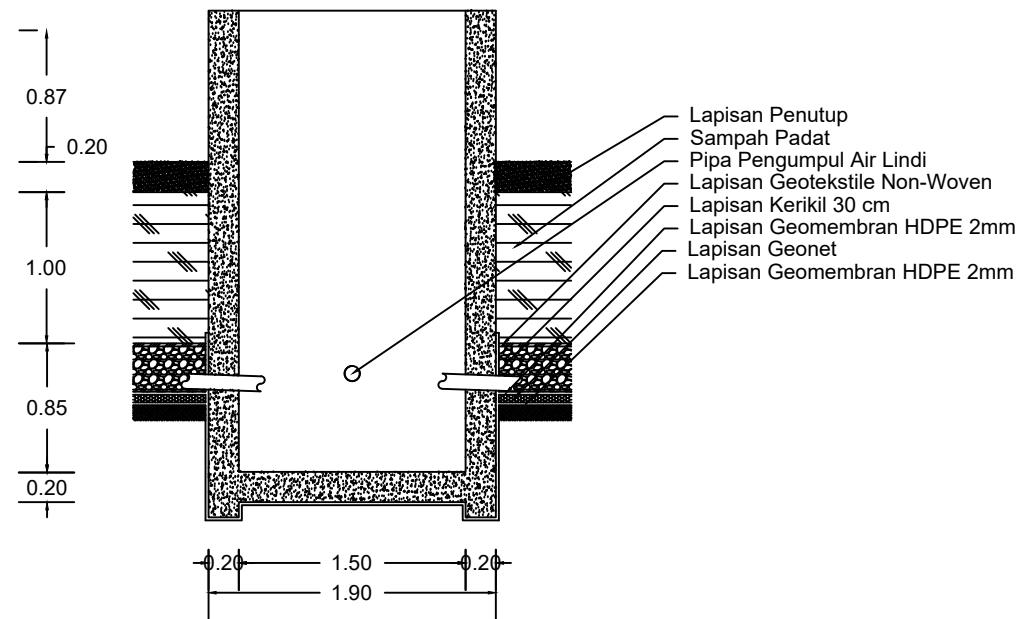
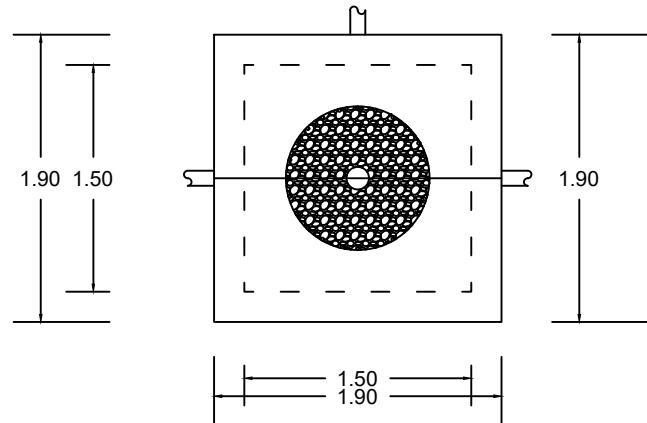
Detail Bak Kontrol
Skala 1 : 50

Detail Bak Ventilasi
Skala 1 : 50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Judul Gambar	Skala	Halaman	Dosen Pembimbing	Nama/NRP Mahasiswa
Detail Bak Air Lindi	1 : 50		Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D. Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.	A Winardi 03111740000101



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Judul Gambar	Skala	Halaman	Dosen Pembimbing	Nama/NRP Mahasiswa
Detail Sumur Air Lindi	1 : 50		Prof. Ir. Noor Endah M., M.Sc. Ph.D. Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.	A Winardi 03111740000101