



TUGAS AKHIR – RC18 4803

ANALISIS PERENCANAAN DESAIN *SANITARY LANDFILL* DAN LAPISAN DASAR TANAH AGAR MENCEGAH PENCEMARAN AIR LINDI (*LEACHATE*) DI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) NGIPIK-GRESIK

SALMA ROSITA
NRP. 031 1 16 4000 0 044

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng

Dosen Pembimbing II
Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST. MT

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



TUGAS AKHIR – RC18 4803

ANALISIS PERENCANAAN DESAIN *SANITARY LANDFILL* DAN LAPISAN DASAR TANAH AGAR MENCEGAH PENCEMARAN AIR LINDI (*LEACHATE*) DI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) NGIPIK-GRESIK

SALMA ROSITA
NRP. 031 1 16 4000 0 044

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng

Dosen Pembimbing II
Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST. MT

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



FINAL PROJECT – RC18 4803

**ANALYSIS OF *SANITARY LANDFILL* DESIGN AND
LEACHATE BARRIER SYSTEM FOR PREVENTING
CONTAMINATION ON NGIPIK MUNICIPAL SOLID
WASTE DISPOSAL - GRESIK**

SALMA ROSITA
NRP. 031 1 16 4000 0 044

Major Supervisor I
Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng

Major Supervisor II
Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST. MT

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

**ANALISIS PERENCANAAN DESAIN SANITARY
LANDFILL DAN LAPISAN DASAR TANAH AGAR
MENCEGAH PENCEMARAN AIR LINDI (LEACHATE)
DI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) NGIPIK-
GRESIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

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

Oleh :

SALMA ROSITA

NRP. 031 116 4000 0044

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemiro, M. Eng.
(Pembimbing I)
2. Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, S.T., MT
(Pembimbing II)



SURABAYA

JULI, 2020

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, serta hidayahNya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Perencanaan Desain *Sanitary Landfill* dan Lapisan Dasar Tanah agar Mencegah Pencemaran Air Lindi (*Leachate*) di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Ngipik-Gresik”. Tugas akhir ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi tingkat sarjana di Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Kesuksesan Tugas Akhir ini tidak lepas dari berbagai bantuan serta dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, saya sebagai penulis menghaturkan rasa terima kasih yaitu kepada :

1. Kedua orang tua saya, Muyamin dan Sri Sundari, atas doa, motivasi dan nasihat yang telah diberikan selama ini.
2. Kedua kakak saya, Kak Inayah dan Kak Faisal, yang turut menjadi penyemangat. Serta Kak Tata yang telah banyak membantu untuk memberikan arahan serta semangat dalam pengerjaan tugas akhir
3. Ibu Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng dan Bapak Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST. MT selaku pembimbing, atas segala arahan yang telah diberikan selama proses penyelesaian tugas akhir.
4. Bapak Umboro Lasminto ST., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, FTSP-ITS dan Bapak Ir.Fuddoly M.Sc., selaku dosen wali.
5. Seluruh dosen pengajar, staff dan karyawan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.

6. Nadila Sevitra Ciptadewi, yang tidak pernah lelah memberi motivasi dan menemani selama pengerjaan tugas akhir ini.
7. Aulia Pramesta Putri, Jagad Dhita K., dan Ardhika Pasaratri P., yang tidak pernah lelah memberi semangat dan hiburan saat mencapai titik lelah dalam mengerjakan tugas akhir.
8. Avi, Diaz, Eis, Qoni, Bilah, Lulu dan teman-teman angkatan 2016 yang selalu memberikan semangat.
9. Dan kepada semua pihak yang telah ikut membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis menyadari terdapat kekurangan-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, Juni 2020

Salma Rosita

Daftar Isi

BAB I	1
Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Kriteria Desain	7
1.5 Batasan Permasalahan	7
1.6 Manfaat Penelitian.....	8
1.7 Lokasi Penelitian	8
BAB II.....	9
Tinjauan Pustaka	9
2.1 Tanah.....	9
2.1.1 Ukuran Partikel Tanah.....	9
2.1.2 Hubungan Berat-Volume.....	11
2.1.3 Analisis Statistik Data Tanah	14

2.2 Tempat Pembuangan Akhir (Municipal Solid Waste Disposal).....	15
2.2.1 Pembuangan Terbuka (<i>Open Dumping</i>).....	15
2.2.2 Pembuangan Akhir Terkontrol (<i>Controlled Landfill</i>)	16
2.2.3 Pembuangan Akhir Saniter (<i>Sanitary Landfill</i>).....	16
2.3 Air Lindi (<i>Leachate</i>).....	18
2.4 Karakteristik Sampah di TPA.....	19
2.5 Tanah Inisial.....	20
2.6 Compacted Clay Liner.....	21
2.7 <i>Geosynthetic Liner</i>	22
2.8 Perbandingan <i>Compacted Clay Liner</i> dan <i>Geosynthetic Liner</i>	23
2.9 Tes pepadatan.....	25
2.10 Tes <i>Hydraulic Conductivity</i>	25
2.11 Program <i>SEEP/W</i>	26
2.11.1 <i>Darcy's Law</i>	26
2.11.2 <i>Modeling SEEP/W</i>	27
2.12 Program <i>CTRAN/W</i>	29
2.13 Penelitian Terdahulu.....	30

2.13.1 Tempat Pembuangan Akhir, Gresik.	30
2.13.2 Data Topografi dan Geologi TPA Ngipik	30
2.13.3 Data Hasil Pengeboran	31
2.13.4 Elevasi Muka Air Tanah.....	36
2.13.5 Data Karakteristik Tanah dari Penelitian Terdahulu	36
BAB III.....	39
Metodologi	39
3.1 Metodologi Penelitian	39
3.2 Pengumpulan dan Analisis Data Sekunder.....	41
3.3 Analisis Rembesan Air Lindi serta Perubahan Karakteristik Tanah Insial	42
3.4 Uji Stabilitas Galian dari Permodelan TPA.....	54
Bab IV	57
Analisis dan Pembahasan	57
4.1 Analisa Data	57
4.1.1 Data Curah Hujan.....	57
4.2 Analisis Lokasi Baru untuk TPA Ngipik.....	63
4.2.1 Populasi Penduduk Kabupaten Gresik	70
4.2.2 Perencanaan Desain <i>Sanitary Landfill</i> TPA Ngipik...	71

4.3	Permodelan Menggunakan Software Geostudio.....	78
4.3.1	Data Input Material dalam Permodelan Software	79
4.3.2	Permodelan Tanpa Adanya Perencanaan Lapisan Dasar <i>Sanitary Landfill</i> (Kondisi Eksisting).....	80
4.3.2.1	Perbedaan Hasil Analisis Permodelan Muka Air Tanah dan Tidak Memodelkan Muka Air Tanah	80
4.3.2.2	Perbedaan Hasil Analisis pada Musim Penghujan dan Musim Kemarau	86
4.3.3	Permodelan Menggunakan Tanah Inisial yang Dipadatkan Ulang.....	91
4.3.4	Permodelan Menggunakan Tanah Inisial yang Distabilisasi Menggunakan Fly Ash.....	101
4.3.5	Permodelan Menggunakan <i>Geosynthetic Liner</i>	109
4.3.6	Analisis Slope/W Terhadap Perencanaan Galian	111
4.4	Penurunan Tanah Akibat Beban Sampah	112
4.5	Metode Pelaksanaan dalam Pembangunan <i>Sanitary Landfill</i>	116
BAB V	119
KESIMPULAN	119
5.1	Kesimpulan.....	119
5.2	Saran.....	120

Daftar Pustaka	123
LAMPIRAN	129

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Penelitian	8
Gambar 2. 1(a) Elemen tanah pada kondisi natural; (b) tiga fase elemen tanah.....	12
Gambar 2. 2 Ilustrasi <i>Sanitary Landfill</i>	17
Gambar 2. 3 Ilustrasi lapisan dasar tanah <i>Sanitary Landfill</i>	17
Gambar 2. 4 Ilustrasi lapisan dasar <i>Sanitary Landfill</i>	18
Gambar 2. 5 Perbandingan <i>GL</i> dan <i>CCL</i>	23
Gambar 2. 6 Sketsa Tangan Jaring Aliran.....	28
Gambar 2. 7 Sketsa permodelan menggunakan SEEP/W	28
Gambar 2. 8 Geologi Gresik (Sukardi, 1992).....	31
Gambar 2. 9 Lokasi Penelitian	32
Gambar 2. 10 Rekapitulasi NSPT BH-2	34
Gambar 3. 1 Bagan alir penelitian.....	40
Gambar 3. 2 Bagan alir penelitian (lanjutan)	41

Gambar 3. 3 Ilustrasi <i>Sanitary Landfill</i> menggunakan tanah inisial	42
Gambar 3. 4 Ilustrasi <i>Sanitary Landfill</i> menggunakan <i>Compacted Clay Liner</i>	43
Gambar 3. 5 Ilustrasi <i>Sanitary Landfill</i> menggunakan Geosynthetic Liner	43
Gambar 4. 1 Data Curah Hujan Stasiun Tambak Ombo	59
Gambar 4. 2 Data Curah Hujan Bulanan.....	59
Gambar 4. 3 Tampak Atas Desain <i>Sanitary Landfill</i>	72
Gambar 4. 4 Tampak Samping Desain <i>Sanitary Landfill</i>	72
Gambar 4. 5 Sel Sampah	75
Gambar 4. 6 Layout TPA Ngipik	76
Gambar 4. 7 Layout Pipa Air Lindi.....	76
Gambar 4. 8 Hubungan Antara Debit Rembesan dengan Angka Permeabilitas pada Kondisi Eksisting Memodelkan Muka Air Tanah.....	86
Gambar 4. 9 Hasil Debit Rembesan Air Lindi dan Angka Rembesan tanah di Kondisi Eksisting Pada Musim Penghujan ..	90
Gambar 4. 10 Hasil Debit Rembesan Air Lindi dan Angka Rembesan tanah di Kondisi Eksisting Pada Musim Kemarau	90
Gambar 4. 11 Hasil Debit Rembesan Air Lindi pada Tanah Inisial yang dipadatkan ulang dari berbagai ketinggian sampah.....	100

Gambar 4. 12 Hasil Angka Permeabilitas pada Tanah Inisial yang dipadatkan ulang dari berbagai ketinggian sampah.....	101
Gambar 4. 13 Hasil Debit Rembesan Air Lindi pada Tanah Inisial yang distabilisasi menggunakan Fly Ash	104
Gambar 4. 14 Hasil Angka Permeabilitas pada Tanah Inisial yang distabilisasi menggunakan Fly Ash	104
Gambar 4. 15 Hasil Angka Permeabilitas dan Debit Rembesan pada Tanah Inisial yang distabilisasi menggunakan Fly Ash....	108
Gambar 4. 16 Hasil Analisis Menggunakan Tanah Inisial dengan dikombinasikan <i>Geosynthetic Liner</i>	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah	10
Tabel 2. 2 Korelasi Konsistensi Tanah.....	15
Tabel 2. 3 Hasil Studi Penelitian	20
Tabel 2. 4 Perbedaan CCL dan GL	24
Tabel 2. 5 Sifat Fisis dari BH-2.....	33
Tabel 2. 6 Hasil Korelasi NSPT	35
Tabel 2. 7 Hasil Penelitian Menggunakan Fly Ash.....	36
Tabel 3. 1 Permodelan SEEP/W Steady State.....	44
Tabel 3. 2 Permodelan SEEP/W Transient.....	52
Tabel 3. 3 Langkah Pemodelan Menggunakan SLOPE/W	54
Tabel 4. 1 Data Curah Hujan Tahun 2000-2014	58
Tabel 4. 2 Informasi Cuaca Kabupaten Gresik	62
Tabel 4. 3 Hasil Assessment Lokasi Baru TPA Ngipik	64
Tabel 4. 4 Proyeksi Penduduk & Timbulan Sampah	71
Tabel 4. 5 Kebutuhan sel Sampah yang akan digunakan	73
Tabel 4. 6 Variasi Permodelan Lapisan Dasar	77
Tabel 4. 7 Parameter Data yang Digunakan dalam Aplikasi.....	79

Tabel 4. 8 Hasil <i>Running</i> Aplikasi SEEP/W Steady State	80
Tabel 4. 9 Hasil Numerik Angka Permeabilitas dan Debit Rembesan <i>Steady State</i> Kondisi Eksisting	85
Tabel 4. 10 Hasil Numerik <i>Transient</i> Pada Musim Penghujan ...	88
Tabel 4. 11 Hasil Numerik <i>Transient</i> Pada Musim Kemarau	89
Tabel 4. 12 Hasil <i>Running</i> Aplikasi SEEP/W Steady State untuk Tanah Inisial yang dipadatkan Ulang	91
Tabel 4. 13 Hasil Numerik Angka Permeabilitas dan Debit Rembesan pada Tanah Asli yang dipadatkan ulang	97
Tabel 4. 14 Hasil Analisis Numerik Angka Permeabilitas dan Debit Rembesan Menggunakan Tanah Inisial yang distabilisasi menggunakan Fly Ash.....	102
Tabel 4. 15 Hasil Analisis Numerik Angka Permeabilitas dan Debit Rembesan Menggunakan Tanah Inisial yang distabilisasi menggunakan FAG 10%	105
Tabel 4. 16 Hasil Analisis Menggunakan Tanah Inisial dengan dikombinasikan <i>Geosynthetic Liner</i>	109
Tabel 4. 17 Hasil Analisis SF Kritis pada Setiap Variasi	111
Tabel 4. 18 Data Tanah TPA Ngipik.....	112
Tabel 4. 19 Pemampatan Akibat Beban Sampah	114
Tabel 4. 20 Nilai C_v gabungan dan t_{90}	115
Tabel 4. 21 Nilai Penurunan Tanah pada TPA Ngipik Tiap Tahunnya.....	115

Tabel 4. 22 Tahapan Pelaksanaan Pekerjaan.....	117
Tabel 4. 23 RAB Pekerjaan Konstruksi Lapisan Dasar <i>Sanitary Landfill Ngipik</i>	118

**ANALISIS PERENCANAAN DESAIN SANITARY
LANDFILL DAN LAPISAN DASAR TANAH AGAR
MENCEGAH PENCEMARAN AIR LINDI (*LEACHATE*) DI
TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) NGIPIK-GRESIK**

Nama Mahasiswa : Salma Rosita
NRP : 0311164000044
Departemen : Teknik Sipil FTSPK ITS

ABSTRAK

Dinas Kebersihan, Pertamanan dan Kebakaran Kabupaten Gresik mencatat timbunan sampah seluruh Kabupaten Gresik sebesar 3.000 m³ atau sekitar 900 ton/hari. Hal ini tidak sebanding dengan kemampuan angkut 416 m³ atau sekitar 125 ton/hari. Dengan demikian, hanya 15-30 % per hari sampah yang terlayani. Salah satu aset daerah Kabupaten Gresik di bidang lingkungan hidup adalah Tempat pembuangan akhir sampah (TPA) Ngipik yang mulai beroperasi sejak Maret 2003. Secara teori metode penimbunan yang diterapkan di TPA Ngipik adalah *Sanitary Landfill* dimana penutupan sampah dengan tanah yang dilakukan oleh alat berat seharusnya dilakukan setiap hari. Namun pada pelaksanaannya tidak demikian akibat terkendala beberapa hal terutama faktor operasionalisasi dari kendaraan dan alat berat di TPA. Minimum untuk desain dan konstruksi TPA limbah berbahaya yaitu angka permeabilitas in situ yang diperlukan kurang dari 1×10^{-9} meter / detik, tanah liat harus memiliki plastisitas tinggi dan distribusi ukuran partikel yang sesuai, tanpa partikel lebih besar dari 50 milimeter dalam dimensi apa pun.

Sebagai alternatif dari tanah liat yang dipadatkan, *liner* tanah liat geosintetik dapat digunakan, asalkan itu digunakan dalam komposit dengan *liner* geomembran atasnya.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui angka *hydraulic conductivity* dan waktu rembesan air lindi dari beberapa desain lapisan dasar tanah, yaitu ketika menggunakan tanah inisial yang dipadatkan ulang, *compacted clay liner* dan *geosynthetic liner*. Untuk mengetahui angka permeabilitas dan debit rembesan dilakukan tahap penganalisisan menggunakan aplikasi Geostudio (SEEP/W) yang ditinjau dari ketinggian sampah yang dapat ditampung dan musim yang terjadi pada Kabupaten Gresik.

Hasil dari Tugas Akhir ini, lokasi TPA Ngipik yang baru merupakan lokasi yang sesuai untuk *Sanitary Landfill* berdasarkan SNI 19-3241-1994 menunjukkan nilai total untuk lokasi TPA Ngipik adalah 680 atau 86 pada skala 100, dimana sudah melebihi dari nilai minimum yang disyaratkan untuk memilih lokasi dari yang di rencanakan. Dan dalam hasil analisis berdasarkan ketebalan 0,5-1,5 m tanah inisial yang didapatkan ulang maupun tanah inisial yang dikombinasikan dengan fly ash yang paling optimum untuk menahan air lindi adalah ketebalan 1,5 m. Sedangkan untuk permodelan penyusun *geosynthetic liner* yang digunakan didapatkan hasil yang optimum adalah dengan pemakaian dengan 2 lapis *geomembrane HDPE*. Sehingga, dari berbagai rencana permodelan lapisan *Sanitary Landfill* digunakan variasi menggunakan *geomembrane HDPE*. Rencana Anggaran Biaya untuk pelaksanaan lapisan dasar *Sanitary Landfill* menggunakan *geomembrane HDPE* sebesar Rp 2.094.544.000.

Kata kunci : Tempat Pembuangan Akhir, *Sanitary Landfill*, tanah inisial, *compacted clay liner*, *geosynthetic liner*, TPA Ngipik

**ANALYSIS OF SANITARY LANDFILL DESIGN AND
LEACHATE BARRIER SYSTEM FOR PREVENTING
CONTAMINATION ON NGIPIK MUNICIPAL SOLID
WASTE DISPOSAL – GRESIK**

Student Name : Salma Rosita
NRP : 0311164000044
Department : Civil Engineering ITS FTSPK

ABSTRACT

The Gresik Regency's Sanitation, Landscaping, and Fire Agency record the entire pile of garbage in the Gresik Regency of 3,000 m³ or around 900 tons/day. This is not comparable with the carrying capacity of 416 m³ or around 125 tons/day. Thus, only 15-30% per day of waste is served. One of the assets of the Gresik Regency in the environmental sector is the Ngipik landfill (TPA) which began operating in March 2003. In theory, the landfill method applied at the Ngipik landfill is a *Sanitary Landfill* where the closure of landfills with heavy soil should be done every day. However, the implementation was not the case due to constrained several things, especially the operational factors of vehicles and heavy equipment in the landfill. Minimum for hazardous waste landfill design and construction in situ hydraulic conductivity required less than 1×10^{-9} meters / second, clay must have high plasticity and suitable particle size distribution, without particles larger than 50 millimeters in any dimension. As an alternative to compacted clay, a geosynthetic clay liner can be used, provided it is used in composites with an upper *geomembrane* liner.

This research was conducted to determine the hydraulic conductivity rate and seepage time of *Leachate* water from several

subgrade designs, namely when using resealed compacted soils, compacted clay liners, and geosynthetic liners. To find out the permeability and seepage discharge rates, an analysis step was performed using the Geostudio (SEEP / W) application in terms of the height of garbage that can be accommodated and the season occurring in Gresik Regency.

The results of this Final Project, the new Ngipik landfill site is a suitable location for *Sanitary Landfill* based on SNI 19-3241-1994 showing the total value for the Ngipik landfill site is 680 or 86 on a scale of 100, which has exceeded the minimum value required to select the location of what was planned. And in the results of the analysis based on the thickness of 0.5-1.5 m initial soil recovered or initial soil combined with the most optimum fly ash to hold *Leachate* water is a thickness of 1.5 m. As for the modeling of the geosynthetic liner, the optimum results are obtained by using two layers of HDPE *geomembrane*. So that, from various plans of modeling of *Sanitary Landfill* layers used variations using the HDPE *geomembrane*. The planned budget for the implementation of the *Sanitary Landfill* base layer using the HDPE *geomembrane* is Rp 2,094,544,000.

Keywords: Municipal Solid Waste Disposal, *Sanitary Landfill*, Initial Soil, compacted clay liner, geosynthetic liner, Ngipik landfill

BAB I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Penanganan sampah khususnya di kota-kota besar di Indonesia merupakan salah satu permasalahan perkotaan yang sampai saat ini merupakan tantangan bagi pengelola kota. Pertambahan penduduk dan peningkatan aktivitas yang demikian pesat di kota-kota besar, telah mengakibatkan meningkatnya jumlah sampah disertai permasalahannya. Diperkirakan rata-rata hanya sekitar 40% - 50% yang dapat terangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) oleh institusi yang bertanggung jawab atas masalah sampah dan kebersihan, seperti Dinas Kebersihan. Tahun 2016 jumlah timbunan sampah di Indonesia mencapai 65.200.000 ton per tahun dengan penduduk sebanyak 261.115.456 orang. Proyeksi penduduk Indonesia menunjukkan angka penduduk yang terus bertambah dan tentunya akan meningkatkan jumlah timbunan sampah. Sementara, Indonesia hanya memiliki 56 tempat pembuangan akhir. Tempat pembuangan sampah adalah metode yang paling banyak digunakan untuk pembuangan limbah, karena kesederhanaannya dan rendahnya modal dan biaya operasional.

Dinas Kebersihan, Pertamanan dan Kebakaran Kabupaten Gresik mencatat timbunan sampah seluruh Kabupaten Gresik sebesar 3.000 m³ atau sekitar 900 ton/hari. Hal ini tidak sebanding dengan kemampuan

angkut 416 m³ atau sekitar 125 ton/hari. Dengan demikian, hanya 15-30 % per hari sampah yang terlayani. Salah satu aset daerah Kabupaten Gresik di bidang lingkungan hidup adalah Tempat pembuangan akhir sampah (TPA) Ngipik yang mulai beroperasi sejak Maret 2003. Secara teori metode penimbunan yang diterapkan di TPA Ngipik adalah *Sanitary Landfill* dimana penutupan sampah dengan tanah yang dilakukan oleh alat berat seharusnya dilakukan setiap hari. Namun, pada pelaksanaannya tidak demikian akibat terkendala beberapa hal terutama faktor operasionalisasi dari kendaraan dan alat berat di TPA.

Tempat pembuangan akhir (TPA) Ngipik-Gresik masih menggunakan sistem open dumping sehingga air lindi (*Leachate*) dapat mencemari lingkungan termasuk tanah disekitarnya. Tanah yang tercemar oleh air lindi (*Leachate*) sulit untuk dimanfaatkan dikarenakan faktor pertimbangan dampak lingkungan, dan sifat-sifat fisik dan mekaniknya.

Berdasarkan peraturan (Menteri Pekerjaan Umum, 2012), penanganan persoalan sampah dilakukan dengan konsep ramah lingkungan. TPA yang berkonsep ramah lingkungan atau *Sanitary Landfill* adalah mencegah atau mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, serta kesehatan manusia akibat penimbunan sampah. Untuk mewujudkan TPA dengan konsep tersebut, salah satu persyaratannya adalah lapisan dasarnya harus mampu mencegah lingkungan sekitarnya dari sampah dan hasil dekomposisi sampah tersebut (EPA, 2016).

Untuk mencegah adanya penyebaran air lindi (*Leachate*) akibat adanya penumpukan sampah, dibutuhkan material yang dapat digunakan sebagai lapisan dasar pada TPA yaitu material alami dan material buatan. Lapisan dasar dengan material buatan adalah sulit dan mahal untuk pelaksanaannya. Dan juga membutuhkan pemantauan jangka panjang (30 tahun) dan menunjukkan tingkat kegagalan yang tinggi pada awal dekade (Davidovits, 1994). Material alami tidak dapat langsung digunakan karena perlu memperhatikan sifat-sifat tanah tersebut. Kontinuitas dan angka permeabilitas material natural sebagai lapisan dasar sulit untuk diperkirakan dan mahal untuk membuktikannya sehingga direkomendasikan untuk menggunakan material natural yang direkayasa (EPA, 2016). Dan material alami juga banyak yang tercemar, seperti tanah yang ada disekitar TPA Ngipik Kabupaten Gresik. TPA Ngipik masih menggunakan sistem *open dumping*, dimana sistem ini tidak mempunyai lapisan dasar yang baik sehingga mencemari lingkungan termasuk tanah disekitarnya. Tanah yang tercemar menjadi sulit untuk dimanfaatkan karena banyak tanah tercemar mengandung senyawa racun anorganik dan organik (Davidovits, 1994).

Minimum untuk desain dan konstruksi TPA limbah berbahaya yaitu angka permeabilitas in situ yang diperlukan kurang dari 1×10^{-9} meter/detik, tanah liat harus memiliki plastisitas tinggi dan distribusi ukuran partikel yang sesuai, tanpa partikel lebih besar dari 50 milimeter dalam dimensi apa pun.

Sebagai alternatif dari tanah liat yang dipadatkan, *liner* tanah liat geosintetik dapat digunakan, asalkan itu digunakan dalam komposit dengan *liner* geomembran atasnya. Geotekstil pelindung atau bantal harus digunakan untuk melindungi geomembran dari kerusakan oleh peralatan konstruksi dan material di atasnya. Geotekstil pemisahan harus ditempatkan di atas lapisan drainase untuk mengurangi masuknya denda dari limbah di atasnya.

Geokomposit drainase geonet dapat digunakan sebagai alternatif untuk lapisan drainase kerikil untuk drainase dinding dan lapisan deteksi kebocoran. Lapisan bantuan air tanah mungkin juga dibutuhkan di bawah penghalang lindi yang tinggi. Tingkat air tanah dapat mempengaruhi stabilitas dan kinerja penghalang. Dimana dibutuhkan, Bahan yang digunakan dalam sistem ini harus memiliki kualitas yang sama dengan bahan yang digunakan dalam lapisan drainase air lindi.

Elemen-elemen sistem penghalang air lindi yang dipasang pada lereng harus memiliki kemiringan yang memadai stabilitas. Analisis stabilitas lereng harus menunjukkan bahwa ada faktor-faktor yang memadai keamanan untuk semua mekanisme kegagalan potensial yang diusulkan bentuk lahan akhir dan pada tahap sementara selama konstruksi. Batas luar pada ketinggian apa pun dari semua sel TPA baru harus diatur kembali setidaknya 15 meter dari batas tempat.

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui desain lapisann dasar yang optimum ketika menggunakan tanah insial, *compacted clay liner*

dan *geosynthetic liner*. Oleh karena itu, direncanakan kembali pembangunan *Sanitary Landfill* pada TPA Ngipik di lokasi terbaru dengan beberapa alternatif desain lapisan dasar tanah yang optimum dari segi timbunan sampah yang akan ditampung dan musim di Kabupaten Gresik.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana kecocokan hasil karakteristik fisik dan mekanik tanah inisial pada TPA Ngipik jika digunakan dalam pembangunan lapisan dasar *Sanitary Landfill* berdasarkan SNI?
2. Bagaimana ketebalan tanah inisial yang dipadatkan ulang dan *compacted clay liner* yang diperlukan untuk menahan air lindi (*Leachate*) yang optimum ditinjau terhadap ketinggian sampah dan kondisi musim berdasarkan uji aplikasi Geostudio (SEEP/W)?
3. Bagaimana kombinasi penyusun *geosynthetic liner* untuk menahan air lindi (*Leachate*) pada dasar tanah *Sanitary Landfill* yang optimum ditinjau terhadap ketinggian sampah dan kondisi musim berdasarkan uji aplikasi Geostudio (SEEP/W)?
4. Bagaimana kestabilan dari galian dan penurunan tanah akibat beban sampah terhadap perencanaan *Sanitary Landfill* TPA Ngipik?
5. Bagaimana perencanaan *Sanitary Landfill* pada TPA Ngipik pada lokasi baru yang optimum

berdasarkan biaya dan metode pelaksanaan dari alternatif yang terpilih?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui kecocokan hasil karakteristik fisik dan mekanik tanah inisial pada TPA Ngipik jika digunakan dalam pembangunan lapisan dasar *Sanitary Landfill* berdasarkan SNI
2. Mengetahui ketebalan tanah inisial yang dipadatkan ulang dan *compacted clay liner* yang diperlukan untuk menahan air lindi (*Leachate*) yang optimum ditinjau terhadap ketinggian sampah dan kondisi musim berdasarkan uji aplikasi Geostudio (SEEP/W)
3. Mengetahui kombinasi penyusun *geosynthetic liner* untuk menahan air lindi (*Leachate*) pada dasar tanah *Sanitary Landfill* yang optimum ditinjau terhadap ketinggian sampah dan kondisi musim berdasarkan uji aplikasi Geostudio (SEEP/W)
4. Mengetahui kestabilan dari galian dan penurunan tanah akibat beban sampah terhadap perencanaan *Sanitary Landfill* TPA Ngipik
5. Mengetahui perencanaan *Sanitary Landfill* pada TPA Ngipik pada lokasi baru yang optimum berdasarkan biaya dan metode pelaksanaan dari alternatif yang terpilih

1.4 Kriteria Desain

Berdasarkan uraian rumusan masalah diatas maka kriteria desain yang akan dikerjakan dalam Tugas Akhir ini antara lain menggunakan beberapa data sekunder sebagai berikut :

1. Untuk kriteria desain perencanaan lapisan dasar *Sanitary Landfill* Ngipik menggunakan data sekunder tanah dari penelitian Daniel et. al. (1993), Reddy, K. et. al. (2009), Agustina (2011), Sutra, N. (2016) Ardiansah (2017), Arsyadi (2017), dan Aribudiman, I. N. et. al. (2019)
2. Data tanah inisial yang distabilisasi menggunakan fly ash didapat pada penelitian Ardiansah (2017)

1.5 Batasan Permasalahan

Batasan masalah dalam penelitian ini dilakukan sebagai berikut :

1. Tidak merencanakan pengolahan air lindi (*Leachate*) dalam perencanaan
2. Tidak memperhatikan TPA Ngipik yang lama
3. Tidak membahas lebih dalam mengenai langkah-langkah untuk mengatasi muka air tanah yang dangkal dan penurunan tanah akibat beban sampah yang data ditampung
4. Tidak Mempelajari stabilisasi tanah menggunakan fly ash

1.6 Manfaat Penelitian

Dapat mengetahui alternatif desain lapisan dasar tanah menggunakan tanah inisial, *compacted clay liner* dan *geosynthetic liner* untuk mencegah tanah tercemar air lindi (*Leachate*) secara optimum berdasarkan biaya dan metode pelaksanaan yang dapat dijadikan referensi perencanaan *Sanitary Landfill*.

1.7 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA), Kelurahan Ngipik, Kecamatan Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur yang ditunjukkan pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian

BAB II

Tinjauan Pustaka

2.1 Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan dan pondasi dari bangunan.

Butiran-butiran mineral yang membentuk bagian padat dari tanah merupakan hasil pelapukan dari batuan. Ukuran setiap butiran padat tersebut sangat bervariasi dan sifat-sifat fisik dari tanah banyak tergantung dari faktor-faktor tersebut, harus lebih dikenal dahulu tipe-tipe dasar dari batuan yang membentuk kerak bumi, mineral-mineral yang membentuk batuan, dan proses pelapukan.

2.1.1 Ukuran Partikel Tanah

Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt), atau lempung (clay), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (soil-separate-size limits).

Tabel 2. 1 Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama golongan	Kerikil	Ukuran butiran (mm)		
		Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	<0,002
U. S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	<0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	<0,002
Unified Soil Classification System (U. S. Army Corps of Engineers, U. S. Bureau of Reclamation)	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075		Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,0075.

Pada Tabel 2.1 ditunjukkan Batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah yang telah dikembangkan oleh Massachusetts Institute of Technology (MIT), U.S. Department of Agriculture (USDA), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) dan oleh U. S. Army Corps of Engineers dan J. S. Bureau of Reclamation yang kemudian menghasilkan apa yang disebut sebagai Unified Soil Classification System (USCS).

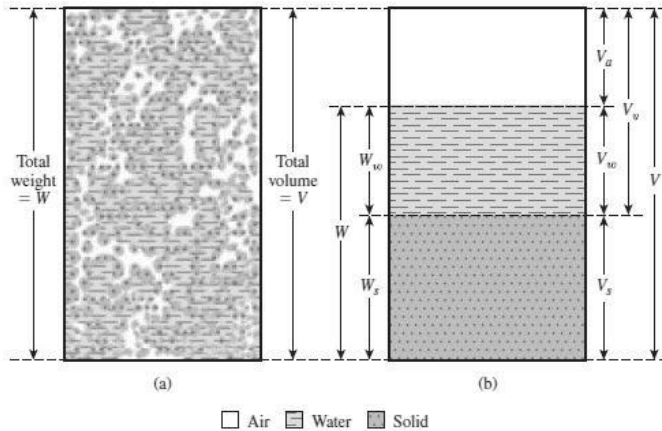
Ukuran partikel tanah adalah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Umumnya, tanah disebut kerikil, pasir, lanau, atau lempung, tergantung pada ukuran partikel yang dominan dalam tanah tersebut. Kerikil adalah kepingan-kepingan dari bebatuan yang kadang-kadang mengandung partikel-partikel mineral quartz, feldspar, dan mineral-mineral lain. Partikel pasir sebagian besar terdiri dari mineral quartz dan feldspar. Butiran mineral lain mungkin juga ada pada golongan ini. Lanau sebagian besar merupakan fraksi mikroskopis (berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran quartz yang sangat halus, dan sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral mika. Lempung sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa)

mika, mineral-mineral lempung, dan mineral-mineral yang sangat halus lain.

Lempung umumnya didefinisikan sebagai partikel yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm (2 mikron). Namun, diberberapa kasus, ukuran partikel 0,002 mm sampai 0,005 mm digolongkan sebagai lempung. Partikel yang diklasifikasikan sebagai lempung berdasarkan ukuran partikelnya, belum tentu mengandung mineral-mineral lempung. Lempung (mineral lempung) didefinisikan sebagai partikel yang menghasilkan sifat plastis ketika dicampur dengan jumlah air tertentu. Jadi dari segi mineral lempung, tanah dapat digolongkan sebagai tanah bukan lempung meskipun dari segi ukuran partikelnya tergolong lempung. Oleh karena itu, jika tanah digolongkan sebagai lempung berdasarkan ukuran partikelnya, maka lebih tepat disebut partikel berukuran lempung daripada lempung.

2.1.2 Hubungan Berat-Volume

Pada kejadian alami, tanah terdiri dari tiga fase yaitu butiran padat, air, dan udara. Gambar 2.1a menunjukkan suatu elemen tanah dengan volume V dan berat W . Untuk membuat hubungan berat-volume, tiga fase (yaitu butiran padat, air, dan udara) harus dipisahkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1b.



Gambar 2. 1(a) Elemen tanah pada kondisi natural; (b) tiga fase elemen tanah

Dari Gambar 2.1, volume total sampel tanah dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \quad (2.1)$$

dimana:

V_s = volume butiran padat

V_v = volume pori

V_w = volume air di dalam pori

V_a = volume udara di dalam pori

Dengan asumsi bahwa berat udara diabaikan, maka berat total sampel tanah dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$W = W_s + W_w \quad (2.2)$$

dimana:

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

Hubungan volume biasanya digunakan untuk tiga fase dalam suatu elemen tanah adalah angka pori, porositas, dan derajat kejenuhan. Angka pori (e) didefinisikan sebagai rasio volume pori dengan volume butiran padat. Dengan demikian,

$$e = Vv/Vs \quad (2.3)$$

Porositas (n) didefinisikan sebagai rasio volume pori dengan volume total. Dengan demikian,

$$n = Vv/V \quad (2.4)$$

Derajat kejenuhan (S) didefinisikan sebagai rasio volume air dengan volume pori. Dengan demikian,

$$S = Vw/Vv \quad (2.5)$$

Definisi yang umum digunakan untuk hubungan berat adalah kadar air dan berat volume. Kadar air (w) didefinisikan sebagai rasio berat air dengan berat butiran padat pada tanah yang diselidiki. Dengan demikian,

$$w = Ww/Ws \quad (2.6)$$

Berat volume basah (γ) didefinisikan sebagai berat tanah per satuan volume. Dengan demikian,

$$\gamma = W/V \quad (2.7)$$

Berat volume kering (γ_d) didefinisikan sebagai berat tanah kering per satuan volume termasuk air. Dengan demikian,

$$\gamma_d = Ws/V \quad (2.8)$$

Berat volume butiran padat (γ_s) didefinisikan sebagai berat butiran padat per satuan volume butiran padat. Dengan demikian,

$$\gamma_s = Ws/Vs \quad (2.9)$$

Berat volume air (γ_w) didefinisikan sebagai berat air per satuan volume air. Dengan demikian,

$$\gamma_w = Ww/Vw \quad (2.10)$$

Berat jenis tanah (G_s) didefinisikan sebagai berat volume butiran padat per berat volume air. Dengan demikian,

$$G_s = \gamma_s/\gamma_w \quad (2.11)$$

Berat volume dinyatakan dalam satuan Inggris (salah satu pengukuran dengan sistem gravitasi) seperti pound per kaki kubik (lb/ft^3). Dalam SI (Satuan Internasional), satuan yang digunakan adalah Newton per meter kubik (N/m^3). Karena Newton adalah suatu satuan turunan, mungkin akan bekerja lebih baik pada kerapatan (ρ). Satuan SI untuk kerapatan massa adalah kilogram per meter kubik (kg/m^3).

2.1.3 Analisis Statistik Data Tanah

Pendekatan statistik yang digunakan adalah dengan pengambilan keputusan berdasarkan koefisien varian (CV) dari suatu distribusi nilai parameter tanah.

Beberapa persamaan statistik yang digunakan antara lain (ITS,1998)

- Rata – rata

$$X = \frac{\sum_{n=1}^1 X}{n} \quad (2.12)$$

- Standar Deviasi

$$STD = \sqrt{\frac{\sum(x-U)^2}{n}} \quad (2.13)$$

- Koefisian Varian

$$CV = \frac{STD}{U} \times 100\% \quad (2.14)$$

Dimana U adalah nilai n data saat n , sedangkan x adalah rata-rata. Distribusi sebaran suatu nilai dapat diterima jika harga koefisien varian (CV) dari sebaran tersebut bernilai lebih kecil atau sama dengan 30%. Apabila nilai koefisien varian (CV) lebih besar dari pada 30%, maka perlu dilakukan pembagian layer tanah sampai nilai CV tersebut kurang dari atau sama dengan 30%. Adapun parameter yang tidak langsung dapat di Laboratorium seperti nilai Modulus Elastisitas dan Permeabilitas, digunakan korelasi seusai dengan konsistensi tanahnya. Korelasi yang digunakan adalah dengan Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Korelasi Konsistensi Tanah

N	<4	4-6	6-15	16-25	>25
γ (kN/m ³)	14-16	16-18	16-18	16-20	18-23
Qu (kPa)	<25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Sumber : Bowles (1996)

2.2 Tempat Pembuangan Akhir (Municipal Solid Waste Disposal)

Limbah Padat Kota (MSW) terdiri dari barang-barang sehari-hari yang digunakan penghuni dan kemudian dibuang, seperti kemasan produk, klipng rumput, furnitur, pakaian, botol, sisa makanan, koran, peralatan, cat, dan baterai. Ini berasal dari rumah, sekolah, rumah sakit, dan bisnis (EPA, 2014). Limbah yang dibuang termasuk limbah komersial, limbah industri dan limbah domestik. Dalam penelitian yang diusulkan ini, tempat pembuangan sampah yang diselidiki terbatas dalam pembuangan untuk limbah domestik. Ada tiga jenis tempat pembuangan sampah berdasarkan metode penimbunan limbah: pembuangan terbuka (*open dumping*), pembuangan akhir terkontrol (*controlled landfill*), dan pembuangan akhir saniter (*Sanitary Landfill*).

2.2.1 Pembuangan Terbuka (*Open Dumping*)

Limbah pembuangan terbuka adalah metode pembuangan dengan menimbun limbah langsung ke lubang tanah atau tanah alami tanpa proses pemadatan, penutup limbah, atau penghalang tambahan di bawahnya. Metode ini sangat dibatasi di negara maju (EPA, 2014), namun di negara berkembang, termasuk Indonesia,

metode ini masih diterapkan karena masalah biaya. Metode ini berbahaya karena cairan dari pengeringan limbah akan menembus tanah dan mencemari air tanah (Yuniarti, 2009).

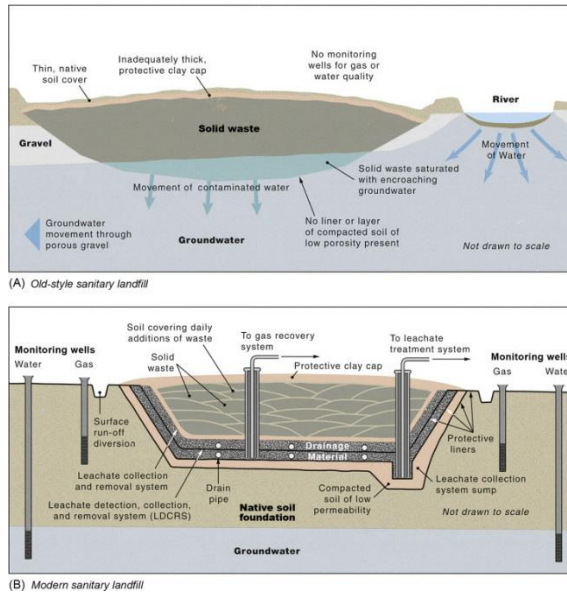
2.2.2 Pembuangan Akhir Terkontrol (*Controlled Landfill*)

TPA yang terkontrol adalah metode antara pembuangan terbuka dan metode *Sanitary Landfill*. Metode ini dibuat sebagai persiapan metode open dumping untuk menjadi *Sanitary Landfill*. Karena metode open dumping adalah metode yang sangat berbahaya, beberapa negara termasuk Indonesia menggunakan metode ini untuk mengurangi dampak kontaminasi. TPA saniter adalah metode terbaik untuk mencegah bahaya lingkungan, tetapi menghabiskan banyak biaya untuk konstruksi dan pemeliharaan. Sehingga Indonesia menetapkan peraturan bahwa kota kecil dan menengah di Indonesia diizinkan untuk menggunakan metode ini. TPA yang terkontrol membutuhkan setidaknya drainase untuk melepaskan lindi, unit gas metana, instalasi pengolahan lindi dan penutup tanah untuk setiap minggu. (Per.Men PU No.3 / 2013)

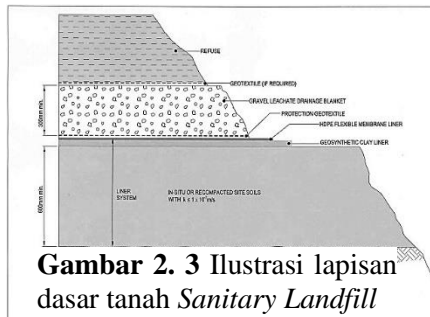
2.2.3 Pembuangan Akhir Saniter (*Sanitary Landfill*)

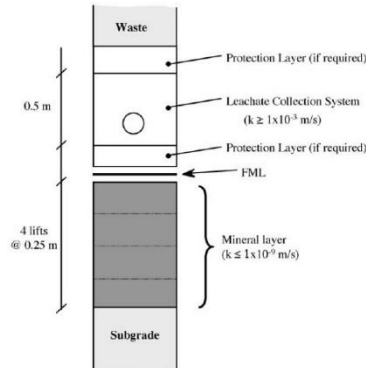
Tujuan utama *Sanitary Landfill* adalah untuk mengurangi dampak negatif dari pembuangan limbah ke lingkungan. Seperti polusi udara atau pencemaran air tanah. Karena itu, *Sanitary Landfill* harus dirancang dengan baik untuk mencegah kebocoran limbah. TPA saniter biasanya terdiri dari *liner* tanah liat, geomembran, sistem pengumpulan lindi dan lapisan penutup (Yuniarti, 2009; EPA, 2000). *Sanitary Landfill* jauh lebih mahal sehingga Indonesia masih belum dapat menerapkan metode ini secara optimal. Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia (Per. Men. PU No. 3, 2013) memberikan skema untuk desain penghalang *landfill* untuk limbah domestik yang merujuk pada *landfill* limbah berbahaya dari EPA (2000). Skema penyederhanaan untuk regulasi Indonesia (Gambar 2.3) dapat dilihat pada skema EPA (2000) (Gambar 2.4). Peraturan Indonesia

membutuhkan setidaknya 10^{-8} m/s untuk permeabilitas clay liner, sedangkan EPA (2000) sebagian besar peneliti membutuhkan setidaknya 10^{-9} m/s untuk permeabilitas liner *landfill*. Maka dari ini penelitian juga akan menggunakan setidaknya 10^{-9} m/s untuk permeabilitas tanah liat.



Gambar 2. 2 Ilustrasi *Sanitary Landfill*





Gambar 2. 4 Ilustrasi lapisan dasar *Sanitary Landfill*

2.3 Air Lindi (*Leachate*)

Limbah TPA akan terurai oleh mikroorganismenya yang menyebabkan perubahan fisik, kimia dan biologis dalam limbah secara bersamaan. Lindi adalah cairan yang melewati sampah yang telah diekstraksi dan ditangguhkan dari reaksi limbah. Ini hasil dari kelembaban yang ada dalam limbah saat disusun (Raghab et al, 2013). Beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas lindi adalah kelas limbah, usia tempat pembuangan sampah, suhu, dan permintaan oksigen (Bagchi, 1994). Sedangkan jumlah lindi sebagian besar dipengaruhi oleh curah hujan.

Zat kimia lindi adalah Ca, CaCO₃, Mg, K, Na, Fe, Si, Al, Cl, SO₄ dan amoniak yang akan mencemari air tanah di sekitar TPA jika tidak ada penghalang tambahan di bawahnya. Endah et al (1995) menemukan kontaminasi pada sumur kediaman di sekitar TPA Sukolilo, Surabaya di mana parameter kualitas air melebihi batas kesehatan, dan air pada sumur di dekat TPA memiliki zat

kimia yang sama dengan lindi dari TPA. Jika lindi bermigrasi dari situs, mereka mencemari air tanah atau permukaan. Peraturan Indonesia tentang konten

2.4 Karakteristik Sampah di TPA

Bahan limbah secara luas memiliki perbedaan dari jenis, komposisi, konsistensi serta keadaannya secara biokimia. Salah satu contoh limbah bisa seperti limbah alami, sampah rumah tangga, bahan bangunan, lumpur, atau sampah perkotaan dengan berbagai variasi. Umumnya, tipe sampah dibagi didefinisikan sebagai "limbah granular", yang mana mekanika tanahnya menggunakan teori mekanika tanah konvensional, dan "limbah lainnya". (Lentini et al, 2012).

Pada penelitian laboratorium yang dilakukan oleh Krishna R. Reddy (2009) untuk menguji angka permeabilitas limbah padat kota di tempat pembuangan sampah dan memberikan penilaian komparatif dari nilai-nilai angka permeabilitas diukur dengan yang dilaporkan dalam literatur berdasarkan studi laboratorium dan lapangan. Serangkaian tes laboratorium dilakukan dengan menggunakan limbah padat parut dan ditimbun dari TPA Orchard Hills (Illinois, Amerika Serikat) menggunakan dua permeameter dinding kaku skala kecil dan skala besar dan permeameter triaksial skala kecil. Limbah segar dikumpulkan dari tahap kerja, sedangkan limbah TPA digali dari lubang bor di sel TPA yang mengalami resirkulasi lindi selama sekitar 1,5 tahun. Tes angka permeabilitas yang dilakukan pada limbah padat segar menggunakan permeameter dinding kaku skala kecil menghasilkan berbagai angka permeabilitas $2,8 \times 10^{-3}$ - $11,8 \times 10^{-3}$ cm/s dengan berat unit kering bervariasi dalam kisaran sempit antara 3,9-5,1 kN / m³. Sampah padat yang ditimbun diuji menggunakan permeameter yang sama menghasilkan hasil antara $0,6 \times 10^{-3}$ - $3,0 \times 10^{-3}$ cm/s untuk 4,5-5,5 kN / m³ berat unit kering. Angka permeabilitas yang diperoleh dari uji permeameter skala besar menurun dengan

meningkatnya tegangan normal untuk limbah segar dari TPA. Hasil dari beberapa studi yang dilakakukan dirangkum pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Hasil Studi Penelitian

Jurnal	Berat Jenis (kN/m ³)	Angka Permeabilitas (cm/s)
Korfiatis et al. (1984) <i>Column test, refuse of six months 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 samples from Keele Valley landfill in Toronto</i>	5,9-11,8	$1.6 \times 10^{-4} - 1.0 \times 10^{-6}$
Brandl (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 tests, 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	$1.0 \times 10^{-2} - 8.0 \times 10^{-4}$

2.5 Tanah Inisial

Tanah didefinisikan sebagai bahan yang terdiri dari geo-mineral. Dalam kondisi alami, tanah adalah sistem tiga fase yang terdiri dari padatan tanah, air dan udara (Das, 2010).

2.6 Compacted Clay Liner

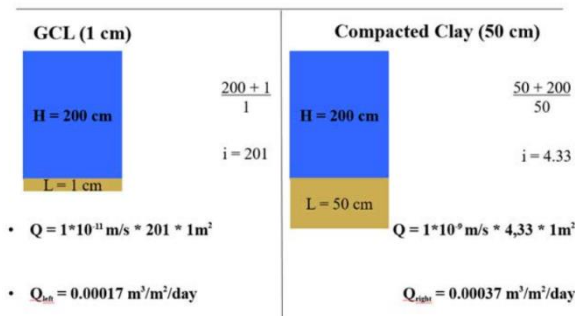
Sistem liner komposit digunakan di tempat pembuangan sampah untuk mengisolasi limbah komponen dari lingkungan dan, oleh karena itu, untuk melindungi tanah dan air tanah dari polusi yang berasal dari tempat pembuangan sampah. Sistem liner komposit tipikal dapat terdiri dari lapisan *Compacted Clay Liner* (CCL) atau *Geosynthetic liner* (GL) yang ditindih oleh *geomembrane* (High Density Polyethylene, HDPE) untuk meminimalkan pelarian kontaminan dari TPA. Biasanya, CCL terdiri dari lapisan tanah padat padat setebal 0,75–1,0 m dengan hidrolikkonduktivitas sekitar $1 \cdot 10^{-9} \text{ m / s}$. CCL diharapkan memberikan kinerja hidrolis yang memadai ketika langkah-langkah desain dan konstruksi yang tepat diikuti. Setelah penempatan limbah di landfill, CCL mungkin terpapar ke ketinggian suhu dan cairan kimia yang mungkin menurunkan kinerja hidrolis CCL. Lindi timbunan sampah dihasilkan dari pengusiran air limbah, perkolasi air permukaan menjadi TPA, dan penguraian sampah organik. Di samping itu, biodegradasi limbah organik kemungkinan akan disertai oleh generasi panas yang signifikan. Suhu 60 dan 70 adalah direkam di tempat pembuangan sampah di Jerman (Collins, 1993) dan Jepang (Yoshida et al., 1996) masing-masing 10 tahun dan 6 tahun setelah penutupan. Studi kasus sebelumnya di Amerika Utara juga menunjukkan suhu lebih tinggi dari 55 C di bagian bawah tempat pembuangan akhir dekat dengan liner (Hanson et al., 2010; Rowe dan Yu, 2010; Yesiller et al., 2011). Ini kondisi suhu dapat memengaruhi angka permeabilitas CCL dengan mengurangi viskositas air lindi. Apalagi tempat pembuangan akhir suhu dapat mempengaruhi mekanisme transportasi kontaminan karena itu mempengaruhi tingkat difusi melintasi hambatan permeabel rendah seperti CCL, GL, dan GM (Rowe, 1998).

Air Lindi tempat pembuangan sampah dapat mengubah angka permeabilitas dari CCL melalui pembubaran mineral tanah

liat, sedangkan suhu TPA dapat mempengaruhi angka permeabilitas CCL oleh mengurangi viskositas lindi. Namun, efek suhu aktif fenomena lain yang terlibat dalam kinerja hidrolik seperti interaksi termo-kimia, yang dapat berdampak pada kain tanah liat dan cairan pori, tidak dipahami dengan baik. Bahkan, efek gabungannya paparan kimia dan suhu tinggi, karena biodegradasi limbah, pada kinerja CCL telah menerima sedikit perhatian. Akibatnya, prediksi kinerja dan masa layanan saat ini liner tanah liat didasarkan pada data yang tidak termasuk semua yang diharapkan kondisi paparan lapangan, atau menangkap keterkaitan antara kondisi ini. Makalah ini dikhususkan untuk mengevaluasi gabungan efek dari paparan termo-kimia pada kinerja hidrolik CCL mensimulasikan kondisi lapangan di TPA setelah penempatan limbah

2.7 Geosynthetic Liner

Desain rancang lapisan pada tempat penimbunan akhir limbah sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor P.63/Menlhk/Setjen/KUM.1/7/2016 pada setiap kategori baik kategori I, kategori II, dan kategori III memiliki lapisan tanah penghalang berupa tanah liat yang dipadatkan dengan konduktivitas hidraulik 10^{-7} cm/det dengan ketebalan minimal 30 cm. Saat ini untuk mendapatkan tanah liat yang dipadatkan konduktivitas hidraulik 10^{-7} cm/det sangat sulit didapat, ditambah untuk mencapai nilai tersebut perlu pemadatan yang membutuhkan waktu yang lama, oleh karena keterbatasan tanah liat yang dipadatkan (*compacted clay liner*) maka CCL ini dapat diganti dengan *Geosynthetic Liner* (GL) dengan ketebalan 6 mm yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Perbandingan *GL* dan *CCL*

Sumber : <https://pandu-equator.com/geosynthetics-clay-liner-pada-tempat-pembuangan-akhir/>

Keuntungan dengan menggunakan *GL* ini dibandingkan dengan *CCL* yaitu memiliki konduktivitas hidraulik lebih kecil dibandingkan dengan *CCL*. Pada *CCL* konduktivitas hidraulik 10^{-7} cm/det sedangkan pada *GL* memiliki konduktivitas hidraulik 10^{-12} cm/det.

2.8 Perbandingan *Compacted Clay Liner* dan *Geosinthetic Liner*

GL memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan *CCL* dalam hal angka permeabilitas yang rendah. Penggunaan *GL* membutuhkan lebih sedikit tenaga kerja terampil untuk instalasi dan lebih murah. Ini juga menempati ruang lebih sedikit dibandingkan dengan *CCL*. Selama siklus beku / cair, *GL* memiliki ketahanan yang baik sehingga dapat dengan mudah diperbaiki. Dapat dengan mudah diangkut dalam bentuk gulungan dengan diameter 0,75 m dan 4-6 m panjang. *GCL* terbukti lebih murah dibandingkan dengan *CCL* di mana tanah liat jauh dari TPA situs. Namun, *CCL* memiliki kapasitas pelemahan besar dibandingkan dengan *GL* karena ketebalannya yang besar. Dan juga ada

kemungkinan komponen geosintetik dalam GL sedang terdegradasi dalam jangka panjang. Menurut Giroud (1996) beberapa jamur dan bakteri dapat mengkatalisis hidrolisis polimer dalam GL. Pada tabel 2.3 menyajikan perbandingan GL dan CCL.

Tabel 2. 4 Perbedaan CCL dan GL

Karakteristik	<i>Compacted Clay Liner</i>	<i>Geosynthetic Liner</i>
Komposisi	Tanah asli atau campuran tanah dan bentonit	Bentonit, perekat geotekstil dan Geomembran
Ketebalan	Biasanya 300 hingga 600 mm; mengkonsumsi lebih banyak volume TPA	Sekitar 12mm; mengkonsumsi sangat volume TPA kecil
Konduktivitas hidrolis	$<1 \times 10^{-7}$ cm / s	Kurang dari 10^{-8} cm / s
Material	Bahan yang cocok tidak tersedia di semua lokasi	Bahan mudah dikirim ke situs mana pun

Biaya	Sangat bervariasi-sangat bergantung pada karakteristik tanah setempat	Sangat rendah, sangat mudah ditebak biaya yang tidak berbeda jauh dari proyek ke proyek
--------------	---	---

2.9 Tes pemadatan

Hubungan kelembaban-kepadatan alami dan diperlakukan Spesimen tanah liat ditentukan dengan menggunakan tiga bahan kompakatif energi: Proctor yang dikurangi, standar, dan dimodifikasi. Kedua tes pemadatan Proctor standar dan dimodifikasi dilakukan menggunakan British Standard ringan dan berat (BS 1377, 1990) spesifikasi, masing-masing, sedangkan Proctor berkurang mengikuti prosedur yang diusulkan oleh Daniel dan Benson (1990). Proctor yang Dimodifikasi mewakili batas atas yang wajar upaya kompakatif, Proctor standar mewakili media upaya kompakatif, sedangkan Proctor yang berkurang sesuai dengan tingkat minimum pemadatan energi untuk sebagian besar proyek pekerjaan tanah. Rentang energi ini dipilih untuk rentang rentang upaya kompakatif yang wajar diantisipasi di lapangan (Daniel dan Wu 1993).

2.10 Tes *Hydraulic Conductivity*

Untuk menilai pengaruh lindi pada angka permeabilitas dari sampel tanah liat alami dan yang diolah, dua scenario dipertimbangkan: sampel jenuh dan diserap dengan air ledeng (TW) [mis. TW + TW], dan sampel jenuh dengan TW dan meresap dengan timbunan lindi (LL) [yaitu. TW + LL]. Spesimen uji disiapkan dengan membentuk kembali tanah liat menjadi cetakan permeameter menggunakan upaya Proctor yang dikurangi, standar, dan dimodifikasi dan diizinkan selama 7 hari pengobatan dalam

suhu terkontrol $\sim 20 \pm 1$ ° C dan ruang kelembaban konstan. Setelah sembuh, specimen menjadi sasaran pengujian angka permeabilitas awal dan serangkaian siklus kering-basah dan pengujian angka permeabilitas untuk mengevaluasi pengaruh retakan dan lindi pada tanah liat konduktivitas hidrolik. Tes angka permeabilitas adalah dilakukan pada sampel menggunakan teknik kepala jatuh sebagai direkomendasikan oleh Head and Epps (1980). Diskusi terperinci dari prosedur saturasi, pengujian angka permeabilitas prosedur, dan kriteria pemutusan dilaporkan dalam sebelumnya dalam studi, Emmanuel et al. (2019c, 2019d).

2.11 Program SEEP/W

Subbab ini menjelaskan dasar rekayasa teoritis untuk program SEEP / W. Lebih khusus, itu berurusan dengan hukum aliran mendasar untuk kondisi stabil dan aliran sementara, dan itu menunjukkan bagaimana hukum ini direpresentasikan dalam bentuk angka.

2.11.1 Darcy's Law

SEEP / W diformulasikan berdasarkan aliran air baik melalui tanah jenuh maupun tidak jenuh mengikuti Hukum Darcy yang menyatakan bahwa:

$$q = ki \quad (2.12)$$

dimana :

q = debit spesifik,

k = konduktivitas hidrolik, dan

i = gradien total head hidrolik.

Hukum Darcy pada awalnya diturunkan untuk tanah jenuh, tetapi penelitian kemudian menunjukkan bahwa itu juga bisa diterapkan pada aliran air melalui tanah tak jenuh (Richards, 1931 dan Childs & Collins-George, 1950). Satu-satunya perbedaan adalah bahwa dalam kondisi aliran tak jenuh, angka permeabilitastidak lagi konstanta, tetapi bervariasi dengan perubahan kadar air dan secara tidak langsung bervariasi dengan perubahan dalam air laut tekanan.

Hukum Darcy :

$$v = ki \quad (2.13)$$

dimana:

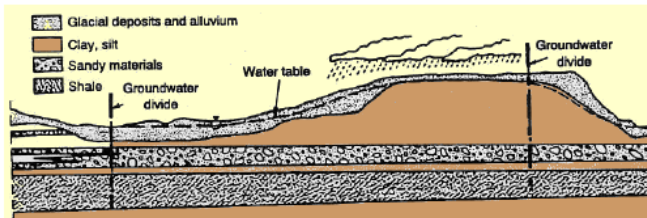
v = kecepatan Darcian

Perhatikan bahwa kecepatan rata-rata aktual di mana air bergerak melalui tanah adalah kecepatan linier, yaitu sama dengan kecepatan Darcian dibagi dengan porositas tanah. Di tanah tak jenuh, itu sama dengan Darcian kecepatan dibagi dengan kadar air volumetrik tanah. SEEP / W menghitung dan hanya menyajikan Kecepatan Darcian.

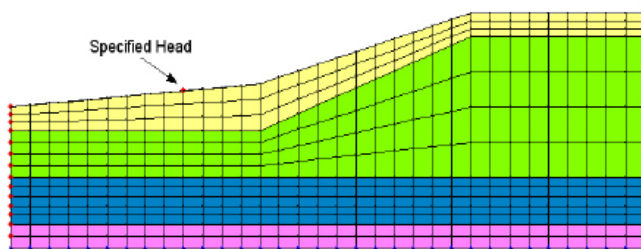
2.11.2 Modeling SEEP/W

Pemodelan numerik melibatkan lebih dari sekadar memperoleh produk perangkat lunak. Menjalankan dan menggunakan perangkat lunak merupakan unsur penting, tetapi merupakan bagian kecil dari pemodelan numerik. Bagian ini membahas tentang konsep penting dalam pemodelan numerik dan menyoroti komponen penting dalam pemodelan yang baik. Secara umum, perencanaan yang cermat dilibatkan ketika melakukan karakterisasi lokasi atau melakukan pengukuran perilaku yang diamati. Perencanaan yang hati-hati yang sama diperlukan untuk pemodelan. Praktik pemodelan yang baik dimulai dengan

perencanaan. Gambar 2.6 menunjukkan sketsa tangan dari jaring aliran. Dari sketsa kasar jarring aliran, mendapatkan estimasi kuantitas aliran. Jumlah aliran dapat diperkirakan dengan rasio saluran aliran ke tetes ekuipotensial dikalikan dengan konduktivitas dan total *head drop*. Untuk sketsa pada Gambar 2.7 jumlah saluran aliran adalah 3, jumlah tetes ekuipotensial adalah 9 dan total *head drop* adalah 5 m. Asumsikan angka permeabilitas $K = 0,1$ m / hari. Perkiraan kasar kuantitas aliran kemudian adalah $(5 \times 0,1 \times 3) / 9$, yaitu antara 0,1 dan 0,2 m^3 / hari. Itu Aliran yang dihitung SEEP / W adalah $0,1427 \text{ m}^3 / \text{hari}$ dan garis ekuipotensial seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 6 Sketsa Tangan Jaring Aliran



Gambar 2. 7 Sketsa permodelan menggunakan SEEP/W

Dalam pemodelan numerik ini tidak selalu benar. Meningkatnya kompleksitas tidak selalu mengarah pada solusi yang lebih baik dan lebih akurat. Salah satu kesalahan paling umum dalam pemodelan numerik adalah mulai dengan model yang terlalu kompleks. Ketika suatu model terlalu kompleks, sangat sulit untuk menilai dan menafsirkan hasilnya. Seringkali hasilnya mungkin terlihat benar-benar tidak masuk akal.

Pendekatan lain mungkin dimulai dengan analisis kondisi mapan. Analisis kondisi-mapan memberikan gagasan tentang di mana analisis sementara seharusnya berakhir atas: untuk menentukan titik akhir. Dengan menggunakan pendekatan ini, didapatkan tentang bagaimana prosesnya bermigrasi dengan waktu hingga sistem kondisi yang ingin tercapai.

2.12 Program CTRAN/W

SEEP / W dan VADOSE / W menghitung debit spesifik atau kecepatan D'Arcy. Debit spesifik adalah total fluks Q dibagi dengan luas penampang penuh (rongga dan padatan sama). Luas penampang sebenarnya yang tersedia untuk air kurang dari luas penuh, karena keberadaan padatan. Akibatnya, laju pergerakan aktual air lebih tinggi dari kecepatan D'Arcy. Oleh definisi, porositas adalah volume rongga dibagi dengan volume total. Area penampang tersedia untuk aliran air adalah porositas kali luas penampang total. Kecepatan linier rata-rata fluida pori adalah:

$$v = Q/n.A$$

atau,

$$v = U/n$$

dimana:

U = debit spesifik, atau kecepatan D'Arcian, dan

n = porositas.

Dalam kondisi jenuh, kadar air volumetrik (θ) sama dengan porositas. Rata-rata linier

kecepatan kemudian juga sama dengan:

$$v = U / \theta$$

CTRAN / W dirumuskan dengan asumsi bahwa kecepatan linier rata-rata dapat dikaitkan dengan kadar air volumetrik untuk kondisi jenuh dan tidak jenuh. SEEP / W, menjadi a model aliran jenuh / tak jenuh, menghitung kadar air volumetrik. Khusus SEEP / W debit, (kecepatan D'Arcy), dibagi dengan kadar air volumetrik SEEP / W diambil dalam CTRAN / W formulasi sebagai kecepatan linier rata-rata.

2.13 Penelitian Terdahulu

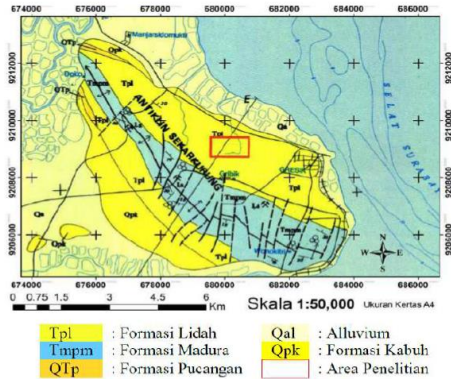
2.13.1 Tempat Pembuangan Akhir, Gresik.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui parameter sampah dan penyebaran air lindi pada kondisi eksisting di TPA ngipik. Agustina (2011) meyebutkan bahwa, nilai berat volume (γ) adalah sebesar 3 kN/m³ dan kuat geser dengan nilai $c = 10$ dan $\phi = 15$. Sedangkan penelitian tentang air lindi juga telah dilakukan Arsyadi et al (2017) yang menerangkan jika ketika air lindi sudah masuk kebawah permukaan, arah aliran lindi akan berubah menjadi Selatan ke Utara searah dengan aliran bawah permukaan daerah TPA, serta identifikasi persebaran air lindi memiliki pola dari Tenggara – Barat Laut mengikuti kontur lokasi TPA.

2.13.2 Data Topografi dan Geologi TPA Ngipik

Data Geologi menunjukkan TPA Ngipik berada di dalam Formasi Lidah dengan umur Quarter, tersusun atas batu lempung

biru, batu lempung kehitaman, pejal dan keras bila kering, sedikit kandungan fosil serta batu lempung pasiran (Arsyadi, 2017) yang ditunjukkan pada gambar 2.8



Gambar 2. 8 Geologi Gresik (Sukardi, 1992)

2.13.3 Data Hasil Pengeboran

Berdasarkan dari hasil pengeboran (bor log) yang dilakukan dalam penelitian sebelumnya dimana data ini digunakan sebagai acuan kondisi tanah dengan titik bor dan juga sebagai referensi kondisi bawah permukaan di area TPA Ngipik. Lintasan yang paling dekat lokasi baru adalah BH-2.



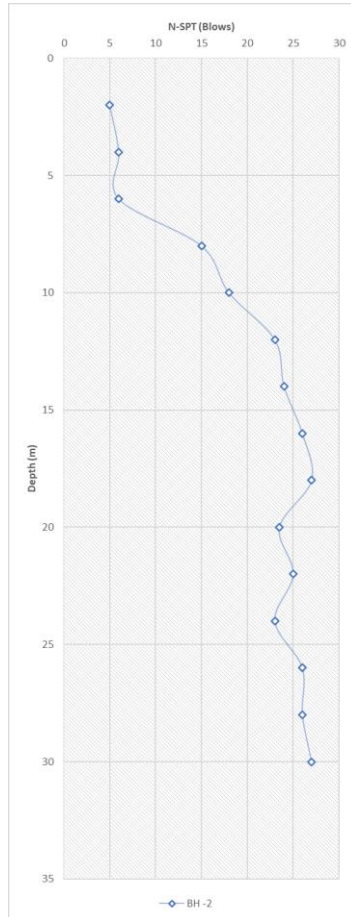
Gambar 2. 9 Lokasi Penelitian

Jenis tanah didominasi oleh lempung berlanau dan lanau, sedangkan menurut klasifikasi USCS sebagian besar tanahnya diklasifikasikan sebagai CH (Clay dengan plastisitas tinggi). Tipe tanah dari permukaan tanah hingga 5 meter didominasi oleh tanah liat yang sangat lunak hingga lunak. Sifat fisis dari uji laboratorium yang sudah dilakukan dalam penelitian sebelumnya ditunjukkan pada tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Sifat Fisis dari BH-2

Depth	Soil Classification			Grain Size Distribution			γ	γ_d	Physical Properties			Sr	n	Atterberg's Limit		
	Soil Type	Consistency	USCS	Sand	Silt	Clay			Wc	Gs	e			LL	PL	PI
(m)				(%)	(%)	(%)	(g/cc)	(g/cc)	(%)	-	-	(%)	-	(%)	(%)	(%)
1	Silty clay			11	18	71										
2	Clayey Silt	soft	CH	18,56	74,95	6,49	1,795	1,353	32,74	2,85	1,1	84,38	0,52	71,33	27,01	44,33
4	Silty sand	soft	SC	60,77	36,89	2,35	1,773	1,327	33,61	2,91	1,19	82,05	0,54	45,84	17,81	28,03
6	Clayey Silt	soft	CH	6,54	21,34	72,12	1,671	1,122	48,94	2,66	1,34	94,94	0,58	68,95	37,21	31,74
8	Silty clay	medium	CH	22,5	50,8	26,7	1,863	1,441	29,3	2,72	0,89	89,59	0,47	76,09	22,4	53,69
10	Silty clay	stiff	CH	5,47	4,22	52,31	1,871	1,446	29,36	2,96	1,04	83,14	0,51	76,13	25,08	51,05
12	Silty clay	stiff	CH	1,38	42,17	56,44	1,857	1,415	31,23	2,71	0,91	92,52	0,48	63,97	16,5	47,47
14	Silty clay	stiff	CH	0,27	45,49	54,24	1,834	1,444	27,01	2,63	0,82	86,57	0,45	72,03	8,49	63,54
16	Silty clay	hard	CH	1,27	41,29	57,45	1,823	1,369	33,09	2,7	0,97	91,81	0,49	70,2	13,27	56,92
18	Silty clay	hard	CH	0,5	41,61	57,89	1,681	1,31	28,25	2,71	1,07	71,62	0,52	62,4	11,36	51,03
20	Clayey Silt	stiff	CH	3,13	52,46	44,41	1,753	1,245	40,78	2,57	1,06	98,59	0,51	70,68	12,96	57,72
22	Silty clay	stiff	CH	0,81	47,53	51,65	1,839	1,438	27,87	2,75	0,91	84,07	0,48	71,06	14,83	55,86
24	Clayey Silt	stiff	CH	0,36	53,48	46,15	1,907	1,473	31,98	2,72	0,84	94,69	0,46	65,7	16,39	54,29
26	Clayey Silt	hard	CH	0,19	68,89	30,92	1,874	1,42	31,98	2,77	0,95	93,24	0,49	60,95	20,88	49,8
28	Clayey Silt	hard	CH	0,25	53,54	46,21	1,53	1,084	41,13	2,81	1,59	72,58	0,61	54,44	14,06	56,62
30	Clayey Silt	hard	CH	1,14	51,17	47,69	1,862	1,425	30,67	2,78	0,95	89,67	0,49	68,74	18,03	52,65

Hasil pengujian NSPT di titik bor log BH-2 memberikan hasil konsistensi *Soft* pada kedalaman 2-6m, *Medium* di kedalaman 6-8m, *stiff* dan *hard* hingga kedalaman 30m (*end of boring*). Rekap NSPT diberikan pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Rekapitulasi NSPT BH-2

Beberapa parameter yang dibutuhkan seperti nilai konsistensi, yang lainnya yang tidak bisa didapatkan secara langsung dari hasil pengujian di Laboratorium, digunakan persamaan korelasi yang ada pada Tabel 2.2 untuk mendapatkan parameter berikut. Rekap Seluruh hasil dari parameter tanah diberikan pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Hasil Korelasi NSPT

Kedalaman	Jenis Tanah	N-SPT	q_u (KPa)	Konsistensi
(m)			Bowles (1996)	
1				
2	Lempung Berkerikil	5	33	Soft
4	Lempung Berkerikil	6	40	Medium
6	Lempung Berkerikil	6	40	Medium
8	Lempung Berkerikil	15	100	Medium
10	Lempung Berkerikil	18	120	Stiff
12	Lempung Berkerikil	24	153	Stiff
14	Lempung Berkerikil	24	160	Stiff
16	Lempung	26	173	Hard
18	Lempung	27	180	Hard
20	Lempung	24	160	Stiff
22	Lempung	25	167	Stiff
24	Lempung	23	153	Stiff

26	Lempung	26	173	Hard
28	Lempung	26	173	Hard
30	Lempung	27	180	Hard

2.13.4 Elevasi Muka Air Tanah

Data pendukung selanjutnya ialah elevasi muka air tanah yang dibuat dari data elevasi sumur dan kedalaman muka air tanah. Data elevasi ini dilakukan oleh Arsyadi (2017) ketika pengukuran untuk musim penghujan dalam penelitiannya. Langkah pengambilan data elevasi yakni menggunakan pengujian bor log. Dari hasil pengujiannya didapatkan MAT pada lokasi *Sanitary Landfill* TPA Ngipik adalah pada kedalaman 2 m.

2.13.5 Data Karakteristik Tanah dari Penelitian Terdahulu

Ardiansah (2017) melakukan penelitian stabilisasi tanah pada Lokasi TPA Ngipik dengan geopolimer cocok dilakukan karena selain dapat memperbaiki sifat fisik dan mekaniknya juga dapat mengimobilisasi senyawa-senyawa racun berbahaya yang ada dalam tanah tersebut. Hasil dari penelitian ini diperoleh pengaruh geopolimer berbahan dasar fly ash (FAG) terhadap perubahan karakteristik fisik dan mekanik tanah tercemar lindi. Sampel tanah tersebut distabilisasi dengan

konsentrasi FAG sebesar 5% dan 10%. Berdasarkan hasil penelitian tsb. konsentrasi FAG 10% merupakan konsentrasi yang optimum untuk memperbaiki karakteristik fisik dan mekanik tanah tersebut. Hasil penelitian terangkum dalam Tabel 2.7

Tabel 2. 7 Hasil Penelitian Menggunakan Fly Ash

Parameter (%)	Tanah Inisial yang dipadatkan ulang	Tanah Inisial + FAG 5%	Tanah Inisial + FAG 10%
Klasifikasi Tanah	CH	CH	CH
Liquid Limit	90	105	107
Plasticity Index	61	72	68
γ_d (max), Kg/m³	1324	1312	1295
Gravimetric Water Content	31	29	28
Shrinkage Limit	29	33	38
Shrinkage Index	23	24	30
Prosentasi Lempung	53	53	53
Angka Permeabilitas, m/s	2,5E-10	7,8E-11	2,3E-11

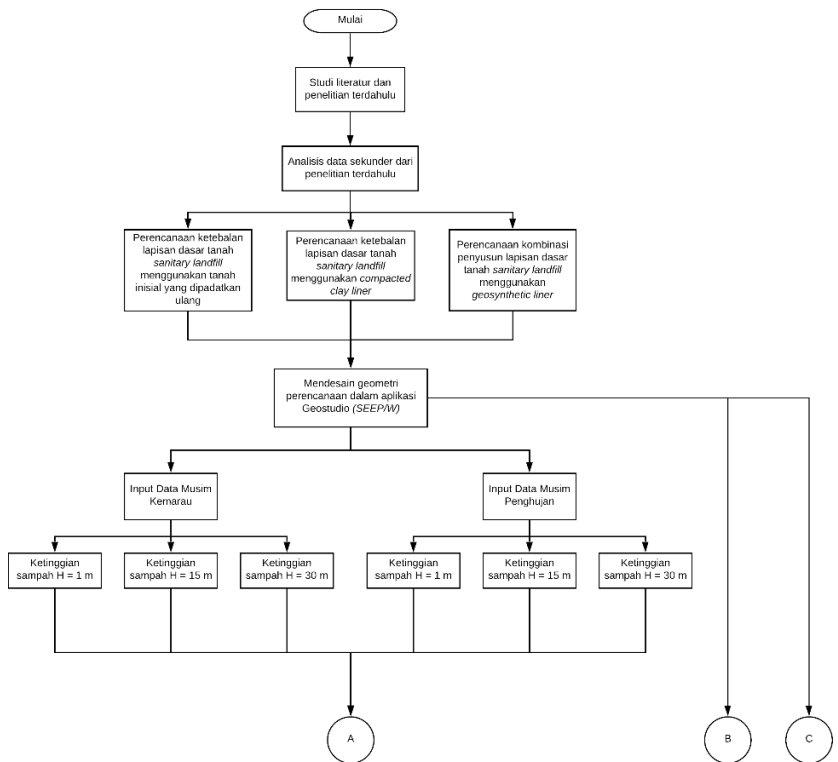
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

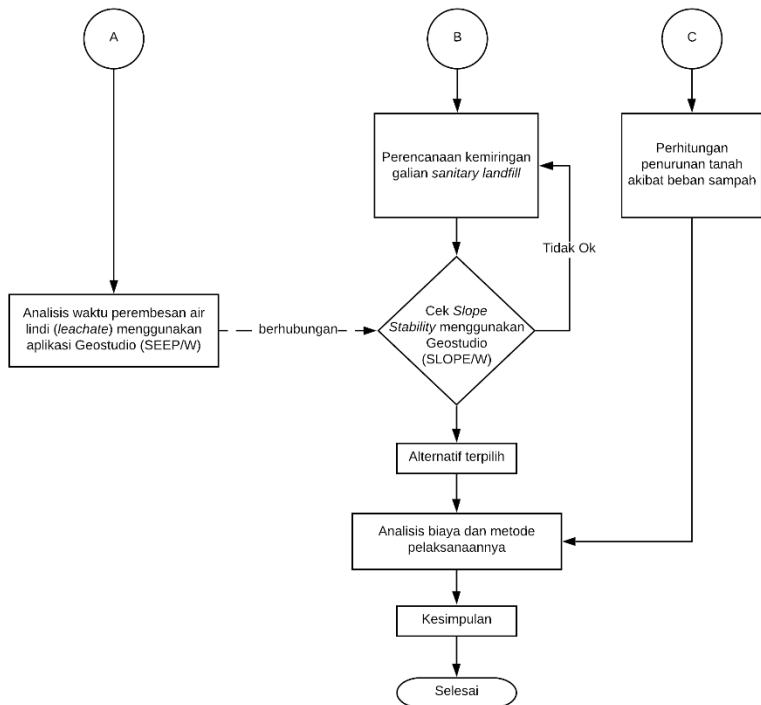
Metodologi

3.1 Metodologi Penelitian

Sebelum melakukan perencanaan dari lapisan dasar *Sanitary Landfill* pada TPA Ngipik perlu disusun langkah – langkah pengerjaan sesuai dengan uraian kegiatan yang akan dilakukan. Urutan pelaksanaannya dimulai dari pengumpulan literatur dan pedoman perancangan, sampai mencapai tujuan akhir dari analisa struktur yang akan disajikan. Secara skematis, metodologi penelitian yang dilakukan ditunjukkan dalam Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Bagan alir penelitian



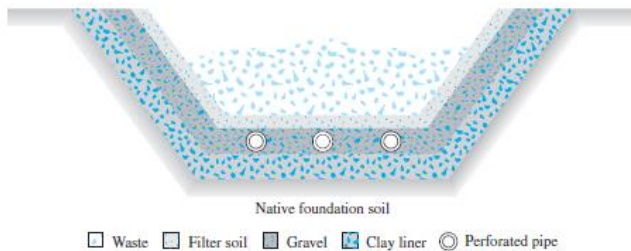
Gambar 3. 2 Bagan alir penelitian (lanjutan)

3.2 Pengumpulan dan Analisis Data Sekunder

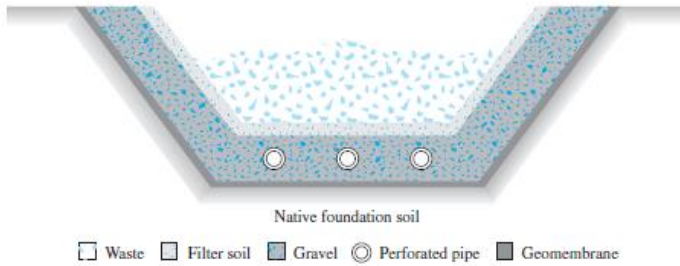
Langkah awal yang harus diperhatikan yaitu mengumpulkan data sekunder berupa data bor log, curah hujan, peta geologi dan peta topografi daerah sekitar. Hal ini penting dilakukan untuk mendapatkan informasi awal serta dapat menganalisis dari karakteristik daerah yang ditinjau agar sesuai dengan perencanaan yang ada.

3.3 Analisis Rembesan Air Lindi serta Perubahan Karakteristik Tanah Inisial

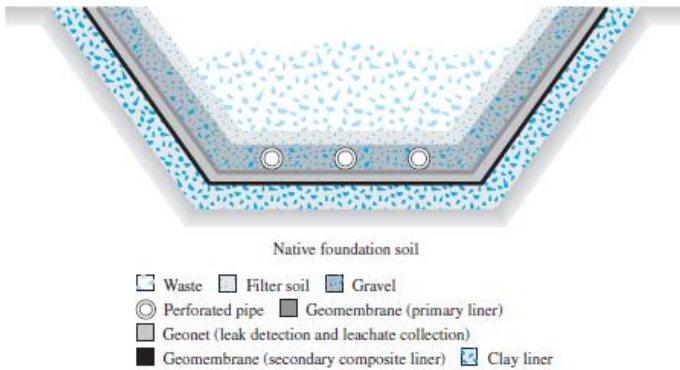
Pemodelan lapisan dasar tanah dari TPA menggunakan program Geostudio untuk mengetahui kecepatan rembesan dan perubahan angka permeabilitas dari tanah inisial. Pemodelan dibagi menjadi beberapa perencanaan yaitu menggunakan tanah inisial, menggunakan *compacted clay liner* dan menggunakan *Geosynthetic Liner* dimana memodelkan untuk beberapa ketebalan tertentu serta adanya musim penghujan dan kemarau. Beberapa ilustrasi dari perencanaan *Sanitary Landfill* akan ditunjukkan pada beberapa gambar 3.3-3.5.



Gambar 3.3 Ilustrasi *Sanitary Landfill* menggunakan tanah inisial



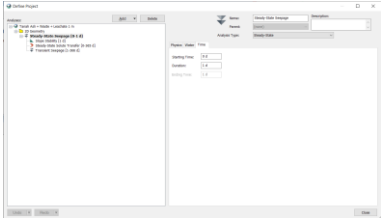
Gambar 3. 4 Ilustrasi *Sanitary Landfill* menggunakan *Compacted Clay Liner*

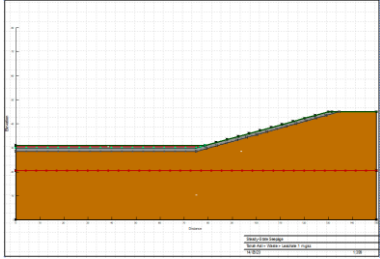
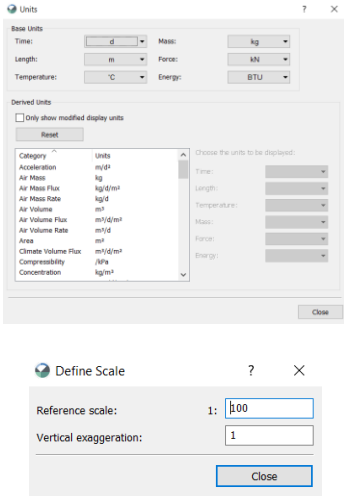


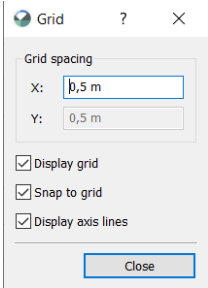
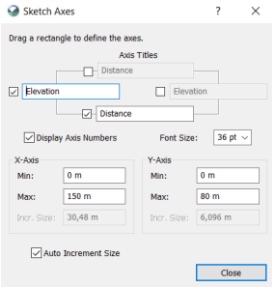
Gambar 3. 5 Ilustrasi *Sanitary Landfill* menggunakan *Geosynthetic Liner*

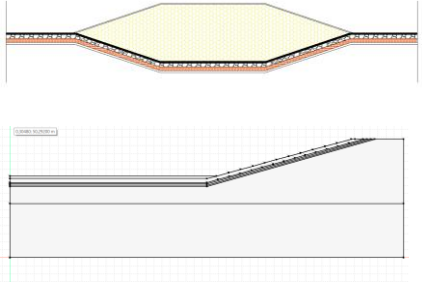
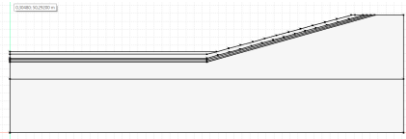
Langkah input pemodelan diberikan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

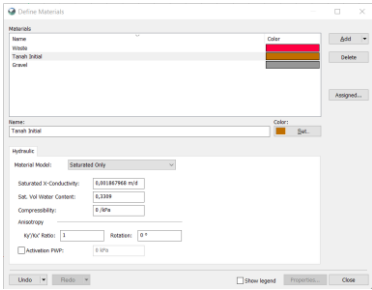
Tabel 3. 1 Permodelan SEEP/W Steady State

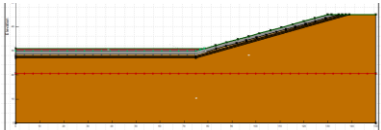
Langkah	Input	Keterangan
<p>1</p>	<p>Menentukan <i>Define Project</i></p>	<p>Dalam tahap ini kita menentukan analisis apa yang akan kita operasikan dan hubungan antar analisis. Pada awal dimulai dengan melakukan analisis rembesan <i>steady state</i>. Analisis rembesan <i>steady state</i> diperlukan sebelum melakukan analisis rembesan <i>transient</i>.</p> 
<p>2</p>	<p>Menentukan setting dari workspace</p>	<p>Menyesuaikan ukuran lembar kerja. Pada skripsi ini ukuran lembar kerja adalah 420x297 mm.</p>

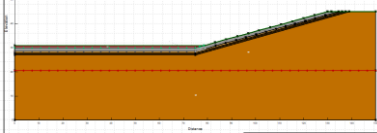
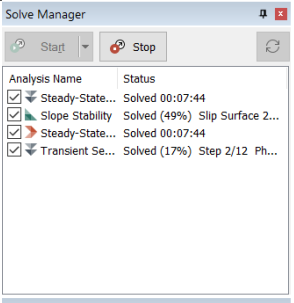
		
<p>3</p>	<p>Menentukan Unit dan Skala</p>	<p>Menentukan satuan dan skala lembar kerja. Satuan/unit yang digunakan pada skripsi ini adalah kN (kilo Newton) untuk satuan gaya dan <i>days</i> (hari) untuk satuan waktu. Pada skripsi ini ukuran skala adalah 1:100 .</p> 

<p>4</p>	<p>Menentukan Grid</p>	<p>Grid adalah titik-titik pada lembar kerja yang menandai koordinat-koordinat tertentu. Pada skripsi ini grid maksimum yang dipakai adalah 0.5</p> 
<p>5</p>	<p>Menggambar Axes</p>	<p>Membuat sumbu horizontal dan sumbu vertikal pada lembar kerja. Sumbu horizontal adalah jarak (<i>distance</i>) dan sumbu vertikal adalah elevasi (<i>elevation</i>).</p> 

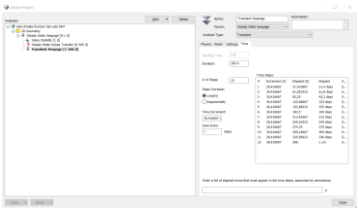
<p>6</p>	<p>Menggambar Sketsa dari permodelan yang direncanakan</p>	<p>Membuat sketsa model <i>Sanitary Landfill</i> dari gambar AutoCAD ke dalam GeoStudio. Model dibuat sesuai dengan ukuran dan setengah bagian dari bentuk asli <i>Sanitary Landfill</i>.</p> 
<p>7</p>	<p>Menggambar <i>region</i></p>	<p>Membagi area yang dibatasi oleh garis ke dalam beberapa region sesuai dengan bagian-bagiannya misalnya bagian Tanah Inisial, <i>Compacted Clay Liner</i>, dan kerikil. Satu region memiliki material yang sama.</p> 

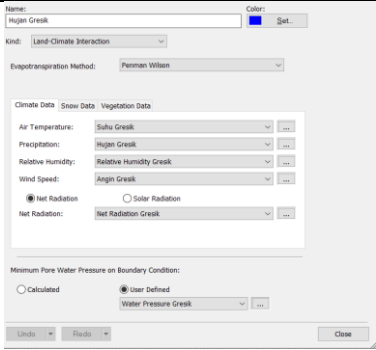
<p>8</p>	<p><i>Input Material Properties</i></p>	<p>Input Material yang akan digunakan. Material yang digunakan pada Tugas akhir ini berupa:</p> <ol style="list-style-type: none"> Tanah Inisial Berbagai variasi <i>Compacted Clay Liner</i> <i>Geosynthetic liner</i> Kerikil Sampah <p>Model material untuk setiap jenis tanah yang digunakan adalah Material Model: <i>Saturated only</i>, dan input <i>Hydraulic Conductivity</i> dan <i>Volumetric Water Content Function</i> sesuai dengan masing-masing material.</p> 
<p>9</p>	<p><i>Menyeting Boundary Condition</i></p>	<p>Menentukan kondisi batas masalah untuk mendapatkan solusi. Kondisi batas yang</p>

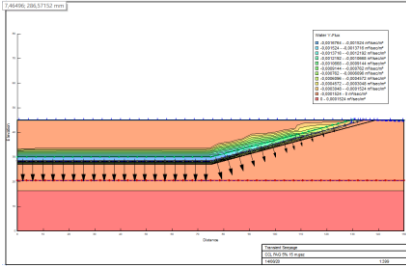
		<p>digunakan dalam studi ini adalah sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kondisi dibawah kerikil dianggap terdapat pipa penyalur dari Air Lindi maka diasumsikan sebagai kondisi batas type : <i>Constant</i> dengan <i>Water Pressure Head</i> sebesar 0 m 2. Kondisi dibawah sampah dianggap terdapat Air Lindi maka diasumsikan sebagai kondisi batas type : <i>Constant</i> dengan <i>Water Total Head</i> sesuai dengan ketinggian dari sampah yang diujikan 3. Muka Air Tanah dari lokasi TPA Ngipik diasumsikan berupa kondisi batas Type: <i>Constant</i> dengan <i>Water Total Head</i> sebesar 43 m
10	Menggambar Material pada Model	<p>Dari area yang telah dibagi-bagi tersebut, kemudian di set jenis material yang telah diinput pada Material Properties. SEEP/W akan memberi warna pada setiap area sesuai dengan warna jenis material tersebut.</p> 

<p>11</p>	<p>Draw Boundary Condition pada Model</p>	<p>Langkah selanjutnya adalah menetapkan kondisi batas yang sudah diasumsikan</p> 
<p>12</p>	<p>Melakukan <i>Verify/Optimize</i></p>	<p>Langkah selanjutnya adalah melakukan verifikasi (Verify/Optimize). Verifikasi ditujukan untuk mengecek pemodelan yang telah dibuat apakah terdapat kesalahan pada data atau tidak. Apabila terdapat kesalahan maka SEEP/W tidak dapat dilakukan analisis selanjutnya.</p> 
<p>13</p>	<p>Solve Analysis</p>	<p>Malakukan analisis untuk mendapatkan hasil berupa pola aliran, besarnya rembesan, tekanan air pori dan hasil lainnya. Sebelum melakukan analisis, pemodelan harus terlebih dahulu disimpan (save). Setelah disimpan</p>

Tabel 3. 2 Permodelan SEEP/W Transient

Langkah	Input	Keterangan
1	Menambahkan Analisis <i>Transient</i> pada <i>Define Project</i>	<p>Analisis Transien dapat ditambahkan melalui Add <input type="checkbox"/> SEEP/W Analysis <input type="checkbox"/> Transient</p> <p>Pada analisis <i>transient</i> perlu ditetapkan durasi pengamatan desain <i>Sanitary Landfill</i>. Pada studi ini durasi dilakukan selama 365 hari (1 tahun). Dengan jumlah pengamatan sebanyak 12 kali agar bisa melihat perbedaan saat musim penghujan dan kemarau</p> 
2	Set Boundary Condition	Boundary Condition untuk transien analisis ditambahkan kondisi musim di Kabupaten Gresik,

		
	Melakukan verify/Optimize	Langkah verify/Optimize sama dengan yang dilakukan pada SEEP/W Steady State
	Solve analysis	Langkah melakukan Solve Analysis juga sama dengan yang dilakukan pada SEEP/W Steady State
	Menampilkan hasil analisis transien	Hasil yang didapat dari analisis transien adalah hasil dengan rentang waktu yang telah diasumsikan. Pada studi ini hasil yang akan ditampilkan berupa debit rembesan (<i>Water Y-Flux</i>) dan Angka permeabilitas dari material (<i>Water Y-Conductivity</i>). Untuk menampilkan hasil adalah sama dengan langkah-langkah

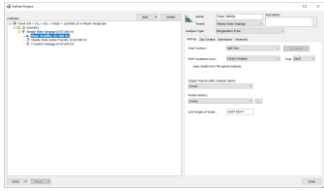
		<p>pada SEEP/W Steady State. Berikut akan ditampilkan contoh hasil pada saat hari H +62:</p> 
--	--	--

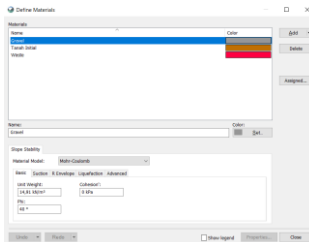
3.4 Uji Stabilitas Galian dari Permodelan TPA

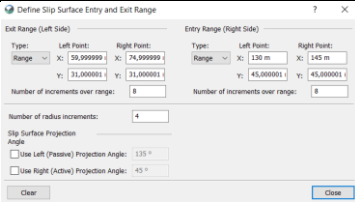
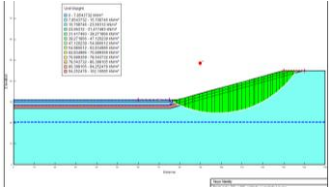
Pemodelan galian menggunakan program Geoslope untuk mengetahui nilai *safety factor*. Pemodelan galian dibagi menjadi beberapa *profile* tertentu. Langkah input pemodelan diberikan pada Tabel 3.3

Tabel 3. 3 Langkah Pemodelan Menggunakan SLOPE/W

Langkah	Input	Keterangan
1	Menambahkan Analisis <i>Slope Stability</i> pada	Analisis Slop dapat ditambahkan melalui Add <input type="checkbox"/> SLOPE/W Analysis

	<i>Define Project</i>	
2	Input geometri timbunan	Pemodelan timbunan berdasarkan beberapa pemodelan <i>profile</i> yang berbeda
3	Input parameter tanah	Pemodelan menggunakan model Mohr column, dan memasukkan parameter γ_{sat} , cohessi (c), dan sudut geser tanah (ϕ)
4	Input <i>entry and exit</i>	Menetapkan <i>Slip Surface</i> dari pemodelan Geostudio.



		
5	Solve analysis	Langkah melakukan <i>Solve Analysis</i> juga sama dengan yang dilakukan pada SEEP/W <i>Steady State</i> dan <i>Transient</i>
6	Menampilkan hasil analisis <i>Slope Stability</i>	<p>Hasil yang didapat dari analisis <i>Slope Stability</i> adalah <i>Safety factor</i> dari galian yang direncanakan</p> 

Bab IV

Analisis dan Pembahasan

Dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil analisis dan pengolahan data yang telah dilakukan. Analisis dilakukan selama 2 kali, pertama pada musim kemarau dan musim penghujan. Pengukuran pada waktu yang berbeda ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan rembesan dan perubahan angka permeabilitas dari tanah inisial.

4.1 Analisa Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah data Topografi, Data Geologi, dan data hasil pengeboran di lapangan serta beberapa data sekunder penelitian yang berhubungan dengan penelitian dari Tugas Akhir ini.

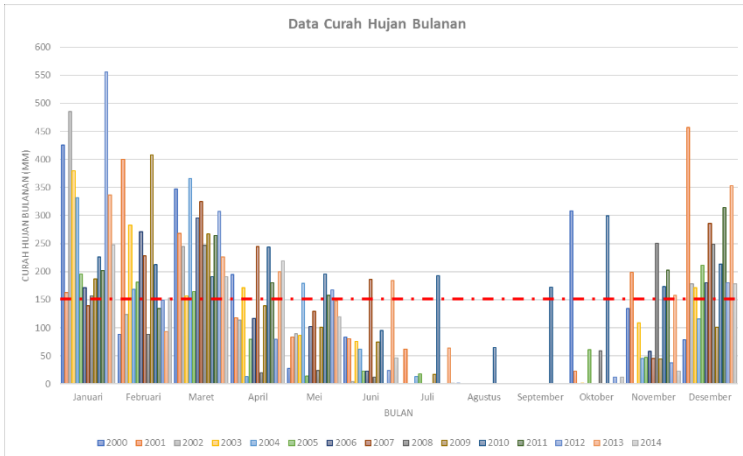
4.1.1 Data Curah Hujan

Data hujan untuk analisis menggunakan data hujan di Stasiun Tambak Ombo dengan data hujan selama 15 tahun. Data hujan dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini :

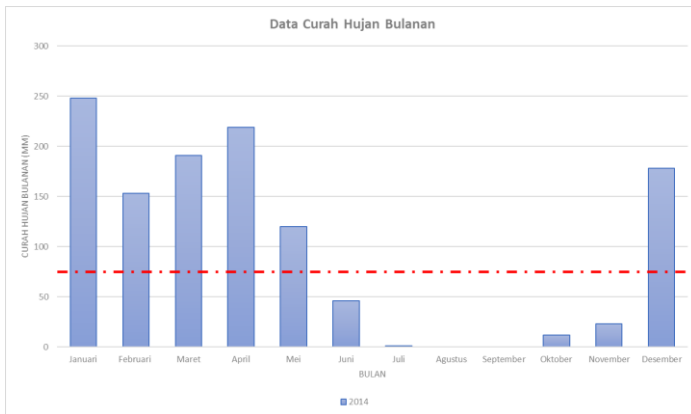
Tabel 4. 1 Data Curah Hujan Tahun 2000-2014

Tahun	Curah Hujan Maksimal (mm)
2000	95
2001	95
2002	200
2003	92
2004	61
2005	71
2006	51
2007	95
2008	71
2009	100
2010	95
2011	80
2012	84
2013	100
2014	87

Definisi dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), musim hujan ditandai dengan curah hujan yang terjadi dalam satu dasarian (10 hari) sebesar 50 mm atau lebih yang diikuti oleh dasarian berikutnya, atau dalam satu bulan terjadi lebih dari 150 mm. Meninjau definisi tersebut berarti jika curah hujan yang terjadi kurang dari kriteria di atas, maka fase tersebut dianggap sebagai musim kemarau. Untuk mengetahui karakterisasi klimatologi, khususnya penentuan dan perubahan musim di lokasi penelitian maka telah dilakukan pengumpulan data curah hujan yang berasal dari pos hujan terdekat dengan lokasi penelitian. Data curah hujan untuk lokasi di TPA Ngipik diperoleh dari stasiun hujan terdekat yaitu Stasiun Tambak Ombo yang akan ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Data Curah Hujan Stasiun Tambak Ombo



Gambar 4. 2 Data Curah Hujan Bulanan

Dari data curah hujan akumulatif daerah penelitian dari tahun 2000-2014 (Gambar 4.2) terlihat bahwa penentuan musim hujan dan kemarau relatif tidak menentu, namun dapat dilihat pada Tahun 2014 untuk bulan Juni – November

merupakan musim kemarau dan untuk bulan Desember – Mei merupakan musim penghujan. Dari sumber data yang ada wilayah TPA Ngipik terwakili oleh 1 stasiun pengamatan curah hujan. Curah hujan di Stasiun Tambak Ombo berkisar 71 – 200 mm/tahun dimana curah hujan harian maksimumnya dapat mencapai 126,11 mm.

Dari data tersebut dilakukan analisa frekuensi untuk menghitung besarnya curah hujan pada kala ulang tertentu yang dapat mewakili pola curah hujan di wilayah Ngipik tsb. Untuk menganalisa frekuensi curah hujan ini digunakan enam metode distribusi yaitu : Metode Normal, Log Normal 2 Parameter, Log Normal 3 Parameter, Pearson Type III, Log Pearson Type III dan Metode Gumbel dimana diperoleh R_{24} sebesar 126,11 mm. Dengan metode distribusi tersebut maka intensitas curah hujan dapat dianalisis dengan menggunakan metode Mononobe.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = 17,35 \text{ mm/jam}$$

Sedangkan perhitungan desain debit *Leachate* adalah menggunakan model atau dengan perhitungan yang didasarkan atas asumsi-asumsi berdasarkan Permen PU No. 3 Tahun 2013 Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga :

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

- b) Dalam 1 bulan, maksimum terjadi 20 hari hujan. Data presipitasi diambil berdasarkan data harian atau tahunan maksimum dalam 5 tahun terakhir.

Maka, Debit hujan yang diasumsikan dalam lokasi TPA Ngipik adalah

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

$$Q = 0,278 \times 0,1 \times 17,35 \times 0,02$$

$$Q = 0,00965 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Dan untuk penambahan informasi mengenai kondisi cuaca pada Kabupaten Gresik, penulis menambahkan informasi berdasarkan website metoblue yang dilampirkan pada tabel 4.5

Tabel 4. 2 Informasi Cuaca Kabupaten Gresik

Lokasi	Gresik						
Variabel	Suhu	Kelembaban	Tekanan Air	Curah Hujan	Radiasi Solar	Penguapan	Kecepatan Angin
unit	°C	%	kPa	mm	BTU/s/ft2	mm	m/s
25/05/20	28,17	76,63	1,01	0,00	0,01	0,11	1,01
26/05/20	28,30	77,00	1,01	0,01	0,02	0,12	1,36
27/05/20	26,89	84,21	1,01	0,11	0,01	0,08	1,42
28/05/20	26,35	88,58	1,01	0,53	0,01	0,08	1,70
29/05/20	24,78	88,67	1,01	0,01	0,01	0,05	3,04
30/05/20	26,73	84,83	1,01	0,05	0,01	0,11	2,96
31/05/20	26,95	83,46	1,01	0,07	0,01	0,10	3,34
01/06/20	26,65	82,85	1,01	0,00	0,01	0,05	2,58
02/06/20	27,41	77,25	1,01	0,00	0,01	0,11	2,16
03/06/20	26,80	78,92	1,01	0,00	0,02	0,17	4,19
04/06/20	26,33	79,79	1,01	0,00	0,02	0,15	3,78
05/06/20	26,62	76,33	1,01	0,00	0,02	0,15	2,55
06/06/20	26,91	75,00	1,01	0,00	0,02	0,13	1,50
07/06/20	26,92	77,54	1,01	0,00	0,01	0,10	1,33
08/06/20	26,99	76,96	1,01	0,00	0,02	0,13	2,57

4.2 Analisis Lokasi Baru untuk TPA Ngipik

Pemilihan lokasi TPA sampah perkotaan harus sesuai dengan ketentuan yang ada (SNI 03-3241-1994 tentang tata cara pemilihan lokasi TPA). Perencanaan TPA sampah perkotaan perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

a) Rencana pengembangan kota dan daerah, tata guna lahan serta rencana pemanfaatan lahan bekas TPA.

b) Kemampuan ekonomi Pemerintah Daerah setempat dan masyarakat, untuk menentukan teknologi sarana dan prasarana TPA yang layak secara ekonomis, teknis dan lingkungan

c) Kondisi fisik dan geologi seperti topografi, jenis tanah, kelulusan tanah, kedalaman air tanah, kondisi badan air sekitarnya, pengaruh pasang surut, angin, iklim, curah hujan, untuk menentukan metode pembuangan akhir sampah.

d) Rencana pengembangan jaringan jalan yang ada, untuk menentukan rencana jalan masuk TPA.

e) Rencana TPA di daerah lereng agar memperhitungkan masalah kemungkinan terjadinya longsor.

Pemilihan lokasi TPA mempertimbangkan beberapa aspek sebagai berikut:

1. Tata Ruang Kota atau wilayah
2. Kondisi geologi : kondisi geologi formasi batu pasir, batu gamping atau dolomite berongga tidak sesuai untuk lahan urug. Juga daerah potensi gempa, zona vulkanik. Kondisi yang layak : sedimen berbutir sangat halus, misal : batu liat, batuan beku, batuan malihan yang kedap ($k < 10^{-6}$ cm/det).

3. Kondisi geohidrologi : sistem aliran air tanah discharge lebih baik dari recharge. Sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup yang berlaku, jarak landfill dengan lapisan akuifer paling dekat 4 m dan dengan badan air paling dekat 100 m. apabila tidak memenuhi persyaratan tersebut, diperlukan masukan teknologi.
4. Jarak dari lapangan terbang 1.500 m (pesawat baling-baling) – 3.000 meter (pesawat jet).
5. Kondisi curah hujan kecil, terutama daerah kering dengan kecepatan angin rendah dan berarah dominan tidak menuju permukiman.
6. Topografi : Tidak boleh pada bukit dengan lereng tidak stabil, daerah berair, lembah yang rendah dan dekat dengan air permukaan dan lahan dengan kemiringan alami > 20%
7. Tidak berada pada daerah banjir 25 tahunan
8. Tidak merupakan daerah produktif
9. Tidak berada pada kawasan lindung/cagar alam
10. Kemudahan operasi
11. Aspek lingkungan lainnya
12. Penerimaan masyarakat

Berdasarkan aspek-aspek yang harus ditinjau untuk memilih lokasi TPA Ngipik, maka berikut adalah hasil assessment lokasi TPA Ngipik yang terbaru pada tabel 4.3

Tabel 4. 3 Hasil Assessment Lokasi Baru TPA Ngipik

No.	Parameter	Bobot	Nilai	N	BxN
I	Umum				
1	Batas Administrasi	5		10	50
	Dalam batas administrasi		10		

	Di luar batas administrasi tetapi dalam satu sistem pengelolaan TPA Sampah Terpadu		5		
	Di luar batas administrasi		1		
2	Pemilik hak atas tanah	3		10	30
	pemerintah daerah/pusat		10		
	pribadi (satu)		7		
	Swasta/perusahaan (satu)		5		
	Lebih dari satu pemilik hak dan atau status kepemilikan		3		
	Organisasi sosial/agama		1		
3	Kapasitas lahan	5		8	40
	> 10 Tahun		10		
	5 tahun - 10 tahun		8		
	3 tahun - 5 tahun		5		
	kurang dari 3 tahun		1		
4	Jumlah pemilik tanah	3		10	30
	1 kk		10		
	2 - 3 kk		7		
	4 - 5 kk		5		
	6 - 10 kk		3		
	Lebih dari 10 kk		1		
5	Partisipasi masyarakat	3		5	15
	Spontan		10		
	Digerakkan		5		
	Negosiasi		1		
II	Lingkungan Fisik				

1	Tanah (di atas muka air tanah)	5		10	50
	Harga kelulusan < 10-9 cm/det		10		
	Harga kelulusan < 10-9 cm/det - 10-6 cm/det		7		
	Harga kelulusan > 10-6 cm/det (kecuali ada masukkan teknologi)		0		
2	Air Tanah	5		1	5
	> 10 m dengan kelulusan <10-6 cm/det		10		
	< 10 m dengan kelulusan <10-6 cm/det		8		
	= 10 m dengan kelulusan 10-6 cm/det - 10-4 cm/det		3		
	< 10 m dengan kelulusan 10-6 cm/det - 10-4 cm/det		1		
3	Sistem aliran air tanah	3		10	30
	Discharge area/local		10		
	Recharge area dan discharge area lokal		5		
	recharge area regional dan lokal		1		
4	kaitan dengan pemanfaatan air tanah	3		5	15
	Kemungkinan pemanfaatan rendah dengan batas hidrolis		10		

	Diproyeksikan untuk dimanfaatkan dengan batas hidrolis		5		
	Diproyeksikan untuk dimanfaatkan tanpa batas hidrolis		1		
5	Bahaya Banjir	2		10	20
	Tidak ada bahaya banjir		10		
	Kemungkinan banjir > 25 tahunan		5		
	Kemungkinan banjir < 25 tahunan Tolak (kecuali ada masukan teknologi)		1		
6	Tanah penutup	4		10	40
	Tanah penutup cukup		10		
	Tanah penutup cukup sampai 1/2 umur pakai		5		
	Tanah penutup tidak ada		1		
7	Intensitas hujan	3		5	15
	dibawah 500 mm per tahun		10		
	antara 500 mm sampai 1000 mm per tahun		5		
	di atas 1000 mm per tahun		1		
8	Jalan menuju lokasi	5		10	50
	Datar dengan kondisi baik		10		
	Datar dengan kondisi buruk		5		
	Naik/turun		1		

9	Transport sampah (satu jalan)	5		8	40
	Kurang dari 15 menit dari centroid sampah		10		
	Antara 16 - 30 menit dan centroid sampah		8		
	Antara 31 - 60 menit dan centroid sampah		3		
	Lebih dari 60 menit dan centroid sampah		1		
10	Jalan Masuk	4		5	20
	Truk sampah tidak melalui daerah permukiman		10		
	Truk sampah melalui daerah permukiman berkepadatan sedang (<300 jiwa/ha)		5		
	Truk sampah melalui daerah permukiman berkepadatan sedang (>300 jiwa/ha)		1		
11	Lalu lintas	3		8	50
	Terletak 500 m dari jalan umum		10		
	Terletak < 500 m pada lalu lintas rendah		8		
	Terletak > 500 m pada lalu lintas sedang		3		
	Terletak pada lalu lintas tinggi		1		
12	Tata guna tanah	5		10	50

	Mempunyai dampak sedikit terhadap tata guna tanah sekitar		10		
	Mempunyai dampak sedang terhadap tata guna tanah sekitar		5		
	Mempunyai dampak besar terhadap tata guna tanah sekitar		1		
13	Pertanian	3		5	15
	Berlokasi di lahan tidak produktif		10		
	Tidak ada dampak terhadap pertanian sekitar		5		
	Terhadap pengaruh negative terhadap pertanian sekitar		1		
	Berlokasi di tanah pertanian produktif		1		
14	Daerah lindung/ cagar alam	2		10	20
	Tidak ada daerah lindung/ cagar alam di sekitarnya		10		
	Terdapat daerah lindung/ cagar alam di sekitarnya yang tidak terkena dampak negative		1		
	Terdapat daerah lindung/ cagar alam di sekitarnya terkena dampak negatif		1		
15	Biologis	3		5	15
	Nilai habitat rendah		10		

	Nilai habitat yang tinggi		5		
	Habitat kritis		1		
16	Kebisingan, bau	2		10	20
	Terdapat zona penyangga		10		
	Terdapat zona penyangga yang terbatas		5		
	Tidak terdapat penyangga		1		
17	Estetika	3		5	15
	Operasi penimbunan tidak terlihat dari luar		10		
	Operasi penimbunan sedikit terlihat dari luar		5		
	Operasi penimbunan terlihat dari luar		1		
Total					587

Penilaian dengan menggunakan parameter dari SNI 19-3241-1994 menunjukkan nilai total untuk lokasi TPA Ngipik adalah 587 atau 74 pada skala 100. Berdasarkan kondisi geologinya TPA Ngipik layak karena bukan termasuk kondisi geologi formasi batu pasir, batu gamping atau dolomite berongga, Juga daerah potensi gempa, zona vulkanik.

4.2.1 Populasi Penduduk Kabupaten Gresik

Pada Master Plan Persampahan Kabupaten Gresik perlu dilakukan proyeksi pertumbuhan penduduk pada zona pelayanan TPA Ngipik ini. Dari data Badan Pusat Statistik Gresik (2019) didapatkan tingkat pertumbuhan penduduk rata-rata pertahunnya berkisar 1,01%, tingkat pertumbuhan ini

menjadi dasar sebagai proyeksi penduduk selama 10 tahun kedepan hingga tahun 2030 yang ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4. 4 Proyeksi Penduduk & Timbulan Sampah

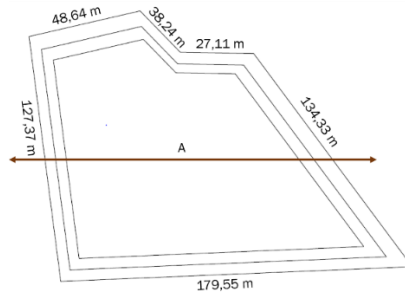
Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Jumlah Sampah yang Dihasilkan (Ton/Hari)	Jumlah Sampah yang Dihasilkan (m3/Hari)	Proyeksi Sampah yang dapat ditimbun di TPA Ngipik (Ton/Hari)	Proyeksi Sampah yang dapat ditimbun di TPA Ngipik (m3/Hari)
2020	1326141	254	720	127	360
2021	1339535	257	727	128	364
2022	1353064	260	734	130	367
2023	1366730	262	742	131	371
2024	1380534	265	749	132	375
2025	1394478	267	757	134	378
2026	1408562	270	765	135	382
2027	1422788	273	772	136	386
2028	1437159	276	780	138	390
2029	1451674	278	788	139	394
2030	1466336	281	796	141	398

Berdasarkan data diatas, dapat mengetahui jumlah optimum sampah yang dapat ditampung dalam rencana desain TPA Ngipik yang baru serta dapat menentukan ketinggian sampah yang akan digunakan dalam meanalisis permodelan dalam aplikasi Geostudio 2020. Oleh sebab itu, diambil ketinggian sampah 1 m, 15 m dan 30 m.

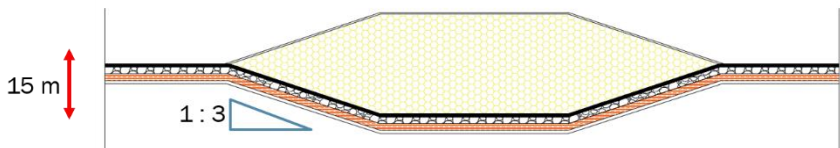
4.2.2 Perencanaan Desain *Sanitary Landfill* TPA Ngipik

Tempat Pemrosesan Akhir/TPA Sampah memiliki potensi kerawanan terhadap lingkungan sehingga pengaturan ruang dalam upaya pencegahan kontaminasi terhadap

lingkungan perlu pengaturan zona yang baik. Sesuai dengan peraturan yang ada, berikut adalah gambar dari desain *Sanitary Landfill* yang ditunjukkan dalam gambar 4.3 dan 4.4



Gambar 4. 3 Tampak Atas Desain *Sanitary Landfill*



Gambar 4. 4 Tampak Samping Desain *Sanitary Landfill*

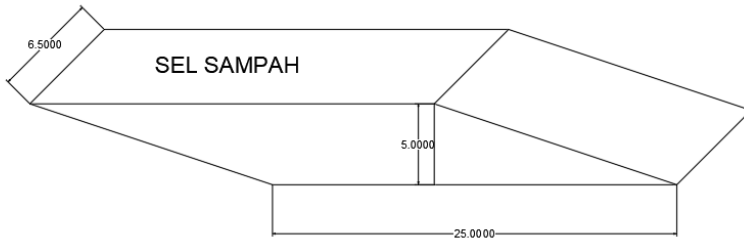
Untuk desain sel per hari maka dengan volume akan ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan kemiringan sel dengan perbandingan 1:3 atau maksimum dengan sudut 30° dikarenakan sesuai dengan Permen PU No. 3 Tahun 2013 yang ditampilkan pada Gambar 4.5

Tabel 4. 5 Kebutuhan sel Sampah yang akan digunakan

Keterangan		Beban Eksisting	
1	Timbunan Cell Landfill Jangka Pendek (harian)		
	Volume Sampah Masuk TPA	89,98	m3/hari
	Residu Akhir Sampah (Asumsi 90%)	80,98	m3/hari
	Volume Sampah Setelah Pemadatan (60%)	53,99	m3/hari
	Asumsi Tinggi Timbunan	1,00	m
	Asumsi Lebar Timbunan	7,00	m
	Panjang Cell Harian	7,71	m
2	Timbunan Cell Landfill Jangka Menengah (Bulanan)		
	Asumsi Tinggi Timbunan	1,00	m
	Asumsi Lebar Timbunan	7,00	m
	Panjang Cell Harian	7,71	m
	Luas Cell Tebal Satu Lapis	53,99	m2/hari
	Luas block Operasi 30 hari	1619,65	m2/bulan
3	Timbunan Cell Landfill Jangka Panjang (1 Tahun)		
	Luas Cell Tebal Satu Lapis	53,99	m2/hari
	Luas block Operasi 30 hari	1619,65	m2/bulan
	Luas Zona Tahunan (12 bulan 1 lapis)	19435,81	m2/tahun
		1,94	Ha
Keterangan		Peningkatan 50%	
1	Timbunan Cell Landfill Jangka Pendek (harian)		
	Volume Sampah Masuk TPA	134,97	m3/hari
	Residu Akhir Sampah (Asumsi 90%)	121,47	m3/hari
	Volume Sampah Setelah Pemadatan (60%)	80,98	m3/hari
	Asumsi Tinggi Timbunan	1,50	m
	Asumsi Lebar Timbunan	7,00	m

	Panjang Cell Harian	7,71	m
2	Timbunan Cell Landfill Jangka Menengah (Bulanan)		
	Asumsi Tinggi Timbunan	1,50	m
	Asumsi Lebar Timbunan	7,00	m
	Panjang Cell Harian	7,71	m
	Luas Cell Tebal Satu Lapis	53,99	m ² /hari
	Luas block Operasi 30 hari	1619,65	m ² /bulan
3	Timbunan Cell Landfill Jangka Panjang (1 Tahun)		
	Luas Cell Tebal Satu Lapis	53,99	m ² /hari
	Luas block Operasi 30 hari	1619,65	m ² /bulan
	Luas Zona Tahunan (12 bulan 1 lapis)	19435,81	m ² /tahun
		1,94	Ha
Keterangan		Peningkatan 100%	
1	Timbunan Cell Landfill Jangka Pendek (harian)		
	Volume Sampah Masuk TPA	179,96	m ³ /hari
	Residu Akhir Sampah (Asumsi 90%)	161,97	m ³ /hari
	Volume Sampah Setelah Pematatan (60%)	107,98	m ³ /hari
	Asumsi Tinggi Timbunan	2,00	m
	Asumsi Lebar Timbunan	7,00	m
	Panjang Cell Harian	7,71	m
2	Timbunan Cell Landfill Jangka Menengah (Bulanan)		
	Asumsi Tinggi Timbunan	2,00	m
	Asumsi Lebar Timbunan	7,00	m
	Panjang Cell Harian	7,71	m
	Luas Cell Tebal Satu Lapis	53,99	m ² /hari
	Luas block Operasi 30 hari	1619,65	m ² /bulan
3	Timbunan Cell Landfill Jangka Panjang (1 Tahun)		
	Luas Cell Tebal Satu Lapis	53,99	m ² /hari
	Luas block Operasi 30 hari	1619,65	m ² /bulan

Luas Zona Tahunan (12 bulan 1 lapis)	19435,81	m ² /tahun
	1,94	Ha



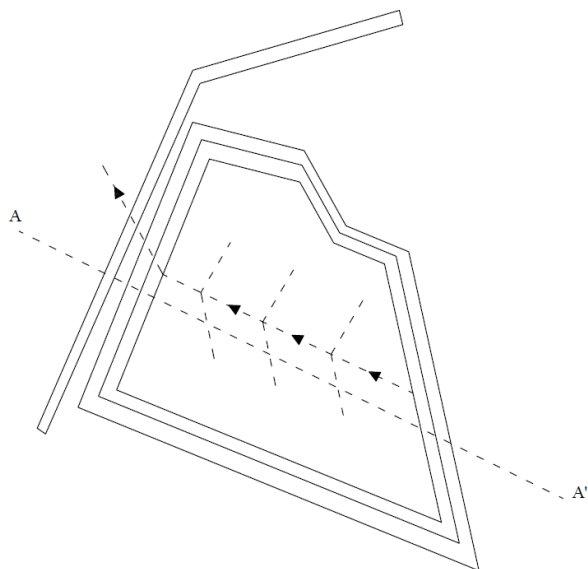
Gambar 4. 5 Sel Sampah

TPA Ngipik memiliki luas lahan sebanyak 2 Ha, dengan lahan yang ada maka akan direncanakan fase-fase untuk dapat menampung sel timbunan sampah yang dibutuhkan, dan dihasilkan dari penduduk yaitu daerah yang dilayani TPA selama 10 tahun masa perencanaan, agar nantinya fase yang dibuat dapat menampung timbunan sampah yang direncanakan.

Dibuatlah gambar layout TPA Ngipik yang nantinya akan memudahkan dalam menentukan lokasi dari fase-fase dan perencanaan dalam Layout TPA serta perencanaan layout pipa *Leachate* yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.7



Gambar 4. 6 Layout TPA Ngipik



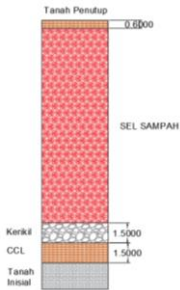
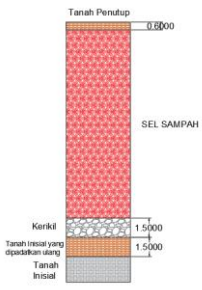
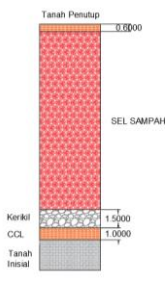
Gambar 4. 7 Layout Pipa Air Lindi

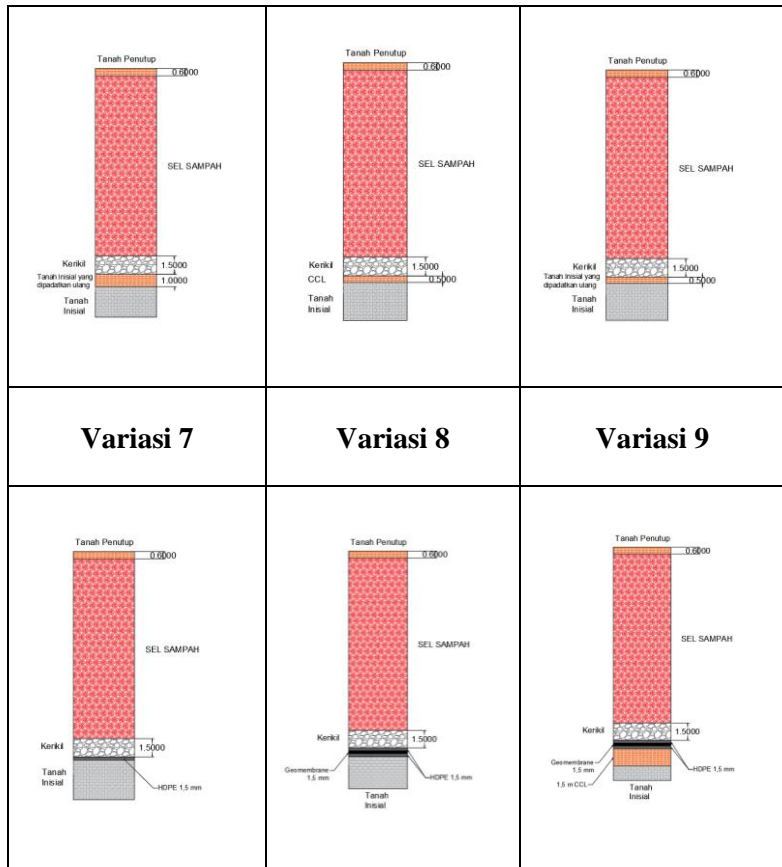
Dasar *Sanitary Landfill* direncanakan terdiri atas sistem pelapis dasar dan saluran pengumpul *Leachate*. Sistem liner di TPA Ngipik direncanakan dengan beberapa perencanaan lapisan dengan satu sistem pipa pengumpul *Leachate*. Sistem *single liner* yang digunakan yaitu *geomembrane* liner. Perencanaan penyusunan lapisan-lapisan tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Tanah setempat yang dipadatkan ulang (ground liner)
- 2) Tanah setempat yang distabilisasi menggunakan fly ash
- 3) Lapisan *geomembrane* HDPE 1,5 mm
- 4) Lapisan media kerikil

Untuk variasi yang digunakan dalam permodelan desain lapisan dasar *Sanitary Landfill* ditampilkan pada tabel 4.6

Tabel 4. 6 Variasi Permodelan Lapisan Dasar

Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
		
Variasi 4	Variasi 5	Variasi 6



4.3 Pemodelan Menggunakan Software Geostudio

Pemodelan pada studi ini akan dilakukan dengan menggunakan software GEO-STUDIO 2020 yaitu: SEEP/W 2020. Program SEEP/W 2020 digunakan untuk menganalisis rembesan yang terjadi pada lapisan dasar *Sanitary Landfill* akibat adanya beda tinggi dari timbunan sampah.

Setelah mengetahui nilai karakteristik dari tanah inisial dan beberapa data sekunder terkait material yang digunakan dalam permodelan lapisan dasar maka perlu diuji bagaimana perubahan nilai rembesan dari tanah inisialnya. Ketinggian timbunan sampah yang direncanakan adalah berkisar 1 m, 15 m dan 30 m. Hasil analisis dilakukan untuk mengetahui perilaku dan kecepatan debit air jika timbunan sampah terus bertambah.

4.3.1 Data Input Material dalam Permodelan Software

Pada studi ini akan dilakukan dengan menggunakan beberapa data yang digunakan dalam input material (menggunakan model *saturated only*) dalam aplikasi Geostudio yang akan dirangkum dalam Tabel 4.7

Tabel 4. 7 Parameter Data yang Digunakan dalam Aplikasi

SEEP/W			
Material	Model Material	Angka Permeabilitas (m/s)	Saturated Volume Water Content (%)
Tanah Inisial	<i>Saturated Only</i>	2,162E-08	90
Tanah Inisial yang dipadatkan ulang	<i>Saturated Only</i>	2,500E-08	90
CCL FAG 5%	<i>Saturated Only</i>	7,8E-11	0,84
CCL FAG 10%	<i>Saturated Only</i>	2,3E-11	0,84
<i>Geomembrane HDPE 1,5 mm</i>	<i>Saturated Only</i>	2,19E-13	0
Geonet	<i>Saturated Only</i>	5,87E-12	0
Kerikil	<i>Saturated Only</i>	0,0003	19
Sampah	<i>Saturated Only</i>	0,0001	99,1
SLOPE/W			

Material	Berat Jenis (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	phi (°)
Tanah Dasar	17,88	173	0
Tanah Inisial yang dipadatkan ulang	101,05	333,426	0
CCL FAG 5%	101,05	333,426	0
CCL FAG 10%	101,05	333,426	0
Geomembrane HDPE 1,5 mm	0,00928	0	28
Geonet	0,00928	0	28
Kerikil	14,91	0	40
Sampah	9,7184	10	15

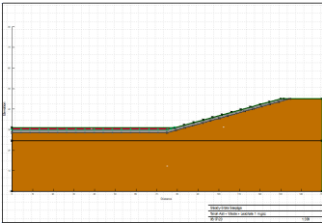
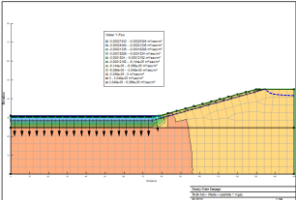
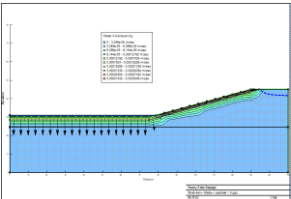
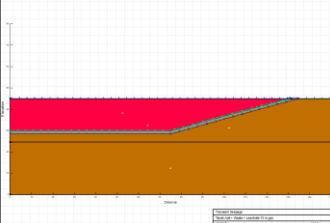
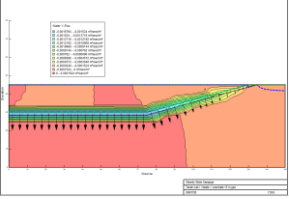
4.3.2 Pemodelan Tanpa Adanya Perencanaan Lapisan Dasar *Sanitary Landfill* (Kondisi Eksisting)

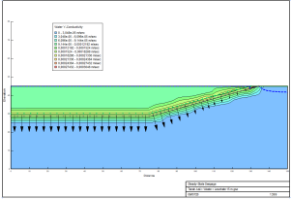
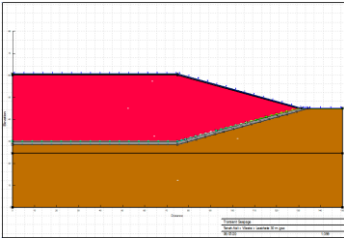
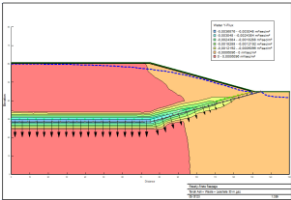
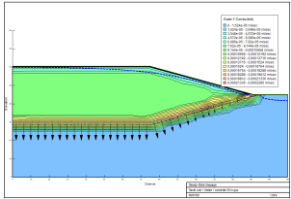
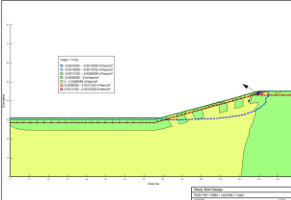
Sebelum menggunakan analisis variasi dari perencanaan lapisan dasar *Sanitary Landfill* maka perlu mengetahui kondisi eksisting jika tidak diberi lapisan kedap air lindi untuk meninjau khusus dari permodelan perencanaan dalam Aplikasi Geostudio 2020.

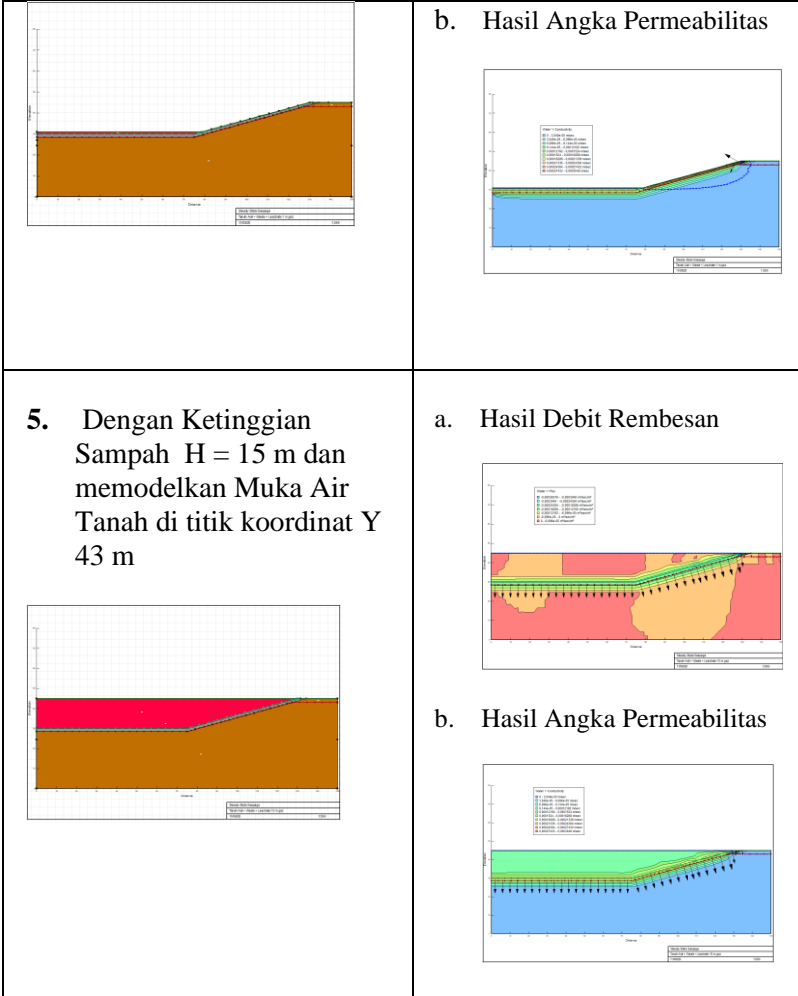
4.3.2.1 Perbedaan Hasil Analisis Permodelan Muka Air Tanah dan Tidak Memodelkan Muka Air Tanah

Muka Air Tanah menjadi batasan untuk perencanaan dalam mengetahui keefektifitasan dari permodelan yang akan dilakukan dalam aplikasi Geostudio 2020. Dan berikut adalah geometri dari permodelan Geostudio serta hasil dari aplikasi SEEP/W *Steady State* yang ditunjukkan dalam Tabel 4.8

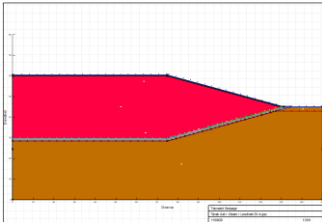
Tabel 4. 8 Hasil *Running* Aplikasi SEEP/W *Steady State*

Permodelan Geometri	Hasil <i>Running</i>
<p data-bbox="216 328 589 456">1. Dengan Ketinggian Sampah $H = 1$ m dan tidak memodelkan Muka Air Tanah</p> 	<p data-bbox="624 328 913 355">a. Hasil Debit Rembesan</p>  <p data-bbox="624 595 958 622">b. Hasil Angka Permeabilitas</p> 
<p data-bbox="216 927 561 1054">2. Dengan Ketinggian Sampah $H = 15$ m dan tidak memodelkan Muka Air Tanah</p> 	<p data-bbox="624 927 913 954">a. Hasil Debit Rembesan</p>  <p data-bbox="624 1217 958 1244">b. Hasil Angka Permeabilitas</p>

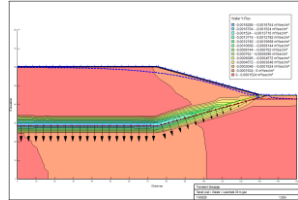
	
<p>3. Dengan Ketinggian Sampah H = 30 m dan tidak memodelkan Muka Air Tanah</p> 	<p>a. Hasil Debit Rembesan</p>  <p>b. Hasil Angka Permeabilitas</p> 
<p>4. Dengan Ketinggian Sampah H = 1 m dan memodelkan Muka Air Tanah di titik koordinat Y 43 m</p>	<p>a. Hasil Debit Rembesan</p> 



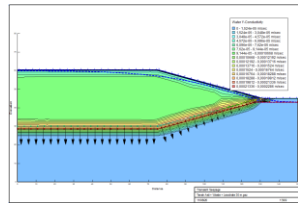
6. Dengan Ketinggian Sampah $H = 30$ m dan memodelkan Muka Air Tanah di titik koordinat Y 43 m



- a. Hasil Debit Rembesan



- b. Hasil Angka Permeabilitas



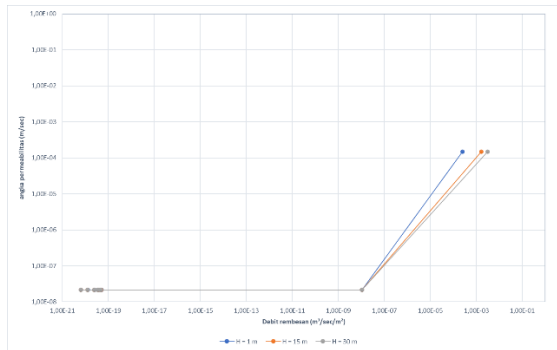
Jika tabel 4.8 menunjukkan geometri dan hasil kontur dari keseluruhan material tanah terhadap debit rembesan dan angka permeabilitas maka pada tabel 4.9 ditunjukkan angka numerik dari setiap elevasi material tanah yang dipermodelkan.

Tabel 4. 9 Hasil Numerik Angka Permeabilitas dan Debit Rembesan *Steady State* Kondisi Eksisting

Steady State					
Tidak Mendesain MAT			Mendesain MAT		
Ketinggian Sampah H = 1 m			Ketinggian Sampah H = 1 m		
Y (m)	1 days		Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)		Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)
0,0	2,16E-08	1,487E-10	0,0	2,16E-08	-6,40E-21
4,1	2,16E-08	2,998E-10	4,1	2,16E-08	-1,27E-20
8,2	2,16E-08	6,087E-10	8,2	2,16E-08	-2,48E-20
12,3	2,16E-08	9,337E-10	12,3	2,16E-08	-3,57E-20
16,4	2,16E-08	1,270E-09	16,4	2,16E-08	-4,47E-20
20,4	2,16E-08	1,588E-09	20,4	2,16E-08	-5,08E-20
24,5	2,16E-08	1,824E-09	24,5	2,16E-08	-1,09E-08
28,5	1,500E-04	-2,500E-04	28,5	0,000150	-0,000250
Ketinggian Sampah H = 15 m			Ketinggian Sampah H = 15 m		
Y (m)	1 days		Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)		Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)
0,0	2,16E-08	1,55E-10	0,0	2,16E-08	-6,34E-21
4,1	2,16E-08	3,13E-10	4,1	2,16E-08	-1,25E-20
8,2	2,16E-08	6,40E-10	8,2	2,16E-08	-2,43E-20
12,3	2,16E-08	9,92E-10	12,3	2,16E-08	-3,48E-20
16,3	2,16E-08	1,37E-09	16,3	2,16E-08	-4,32E-20
20,4	2,16E-08	1,74E-09	20,4	2,16E-08	-4,87E-20
24,5	2,16E-08	1,90E-09	24,5	2,16E-08	-1,09E-08
28,5	0,000150	-0,001650	28,5	0,000150	-0,001650
Ketinggian Sampah H = 30 m			Ketinggian Sampah H = 30 m		
Y (m)	1 days		Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)		Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)
0,000988	2,16E-08	1,55E-10	0,0	2,16E-08	-6,26E-21
4,086133	2,16E-08	3,13E-10	4,1	2,16E-08	-1,23E-20
8,171278	2,16E-08	6,40E-10	8,2	2,16E-08	-2,39E-20
12,25642	2,16E-08	9,92E-10	12,3	2,16E-08	-3,41E-20
16,34157	2,16E-08	1,37E-09	16,3	2,16E-08	-4,23E-20
20,42671	2,16E-08	1,74E-09	20,4	2,16E-08	-4,76E-20
24,51186	2,16E-08	1,90E-09	24,5	2,16E-08	-1,08E-08
28,5	0,000150	-0,003150	28,5	0,000150	-0,003150

Dapat disimpulkan perbedaan saat memodelkan adanya muka air tanah dengan tidak adanya muka air tanah yaitu, mengetahui titik koordinat yang mengalami debit rembesan mengalir kebawah (nilai negatif menunjukkan arah dari rembesan) dan mengetahui semakin besar debit yang merembes kedalam tanah dibawahnya maka akan merubah angka permeabilitas pada tanah dibawahnya seperti pada gambar 4.8. Namun, diketahui jika memodelkan adanya muka air tanah maka terjadi kapilaritas dan kejenuhan pada tanah sehingga hasil dari debit rembesan bernilai negatif. Oleh sebab

itu, untuk permodelan selanjutnya tidak dimodelkan adanya muka air tanah agar mengetahui aliran air lindi merembes hingga pada titik koordinat tanah yang telah dimodelkan.



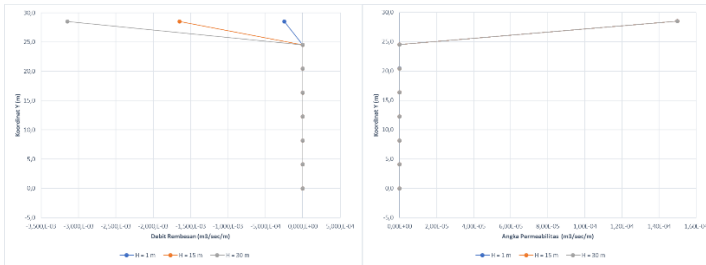
Gambar 4. 8 Hubungan Antara Debit Rembesan dengan Angka Permeabilitas pada Kondisi Eksisting Memodelkan Muka Air Tanah

4.3.2.2 Perbedaan Hasil Analisis pada Musim Penghujan dan Musim Kemarau

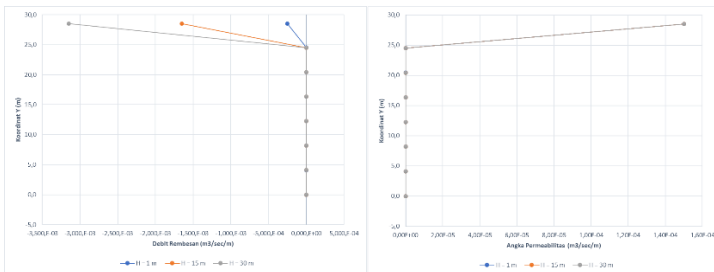
Memodelkan musim kemarau dan musim penghujan ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan debit rembesan dan perubahan angka permeabilitas dari tanah inisial akibat faktor musim. Oleh sebab itu, perlu dilakukannya pengecekan terhadap kondisi musim agar mengetahui langkah antisipasi dari variasi model dari lapisan dasar tanah *Sanitary Landfill* TPA Ngipik. Seperti yang sudah dibahas pada subab 4.1.1 pada bulan Juni – November merupakan musim kemarau dan untuk bulan Desember – Mei merupakan musim penghujan. Permodelan musim dalam aplikasi Geostudio menggunakan SEEP/W *Transient*. Berikut adalah hasil numerik debit rembesan dan angka permeabilitas yang ditunjukkan dalam

Tabel 4.10 untuk musim penghujan dan Tabel 4.11 untuk musim kemarau.

Untuk mempermudah perbandingan antara musim hujan dan musim kemarau dibuatlah gambar grafik dari hasil numerik diatas yang ditampilkan pada gambar 4.9 dan 4.10



Gambar 4. 9 Hasil Debit Rembesan Air Lindi dan Angka Rembesan tanah di Kondisi Eksisting Pada Musim Penghujan



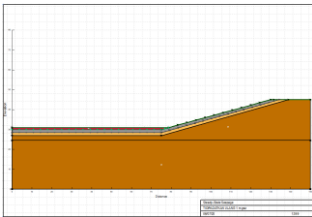
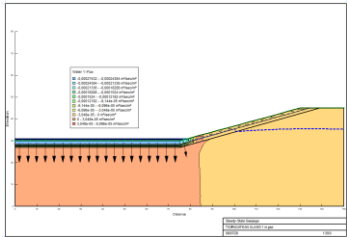
Gambar 4. 10 Hasil Debit Rembesan Air Lindi dan Angka Rembesan tanah di Kondisi Eksisting Pada Musim Kemarau

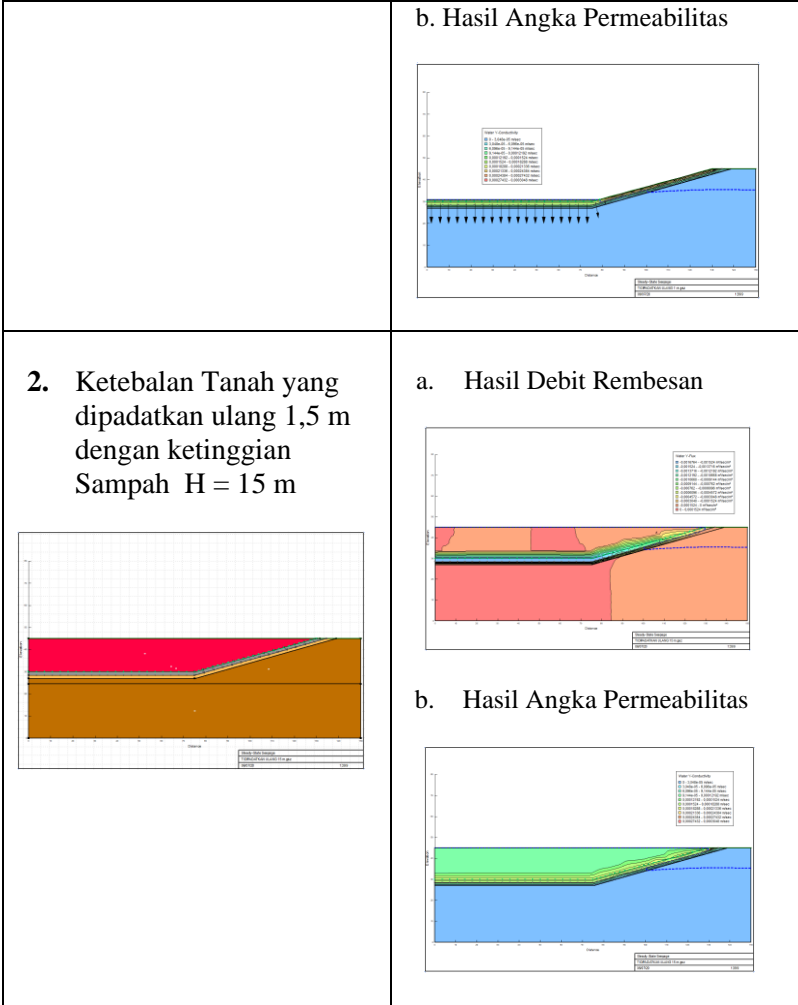
Akibat kecilnya curah hujan yang terjadi pada daerah TPA Ngipik, maka tidak terlihat signifikan perubahan antara musim penghujan dengan musim kemarau oleh sebab itu dalam analisis perencanaan Geostudio pada variasi lapisan dasar tanah *Sanitary Landfill* Ngipik tidak menghiraukan perbedaan musim kemarau dan musim penghujan.

4.3.3 Permodelan Menggunakan Tanah Inisial yang Dipadatkan Ulang

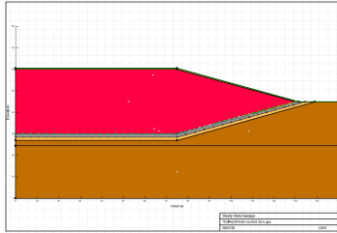
Berdasarkan data penelitian Ardiansah (2017) yang memadatkan ulang tanah inisial, maka direncanakan lapisan dasar Tanah *Sanitary Landfill* menggunakan liner tanah inisial yang dipadatkan ulang dengan ketebalan 0,5 m, 1 m, dan 1,5 m. Hasil analisis kontur material tanah pada *Steady State* diberikan pada tabel 4.12, dan hasil numerik dari angka permeabilitas dan debit rembesan ditampilkan di tabel 4.13

Tabel 4. 12 Hasil *Running* Aplikasi SEEP/W Steady State untuk Tanah Inisial yang dipadatkan Ulang

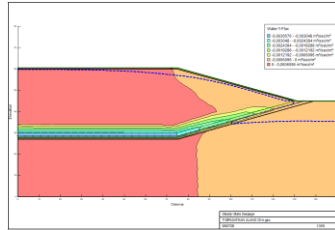
Permodelan Geometri	Hasil <i>Running</i>
<p>1. Ketebalan Tanah yang dipadatkan ulang 1,5 m dengan ketinggian sampah $H = 1$ m</p> 	<p>a. Hasil Debit Rembesan</p> 



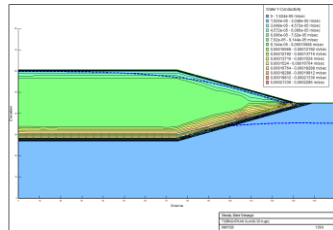
3. Ketebalan Tanah yang dipadatkan ulang 1,5 m dengan ketinggian Sampah H = 30 m



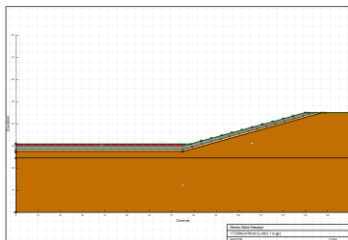
a. Hasil Debit Rembesan



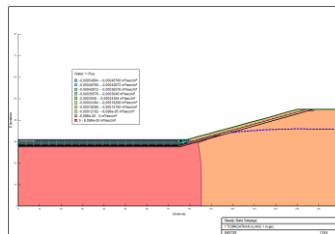
b. Hasil Angka Permeabilitas



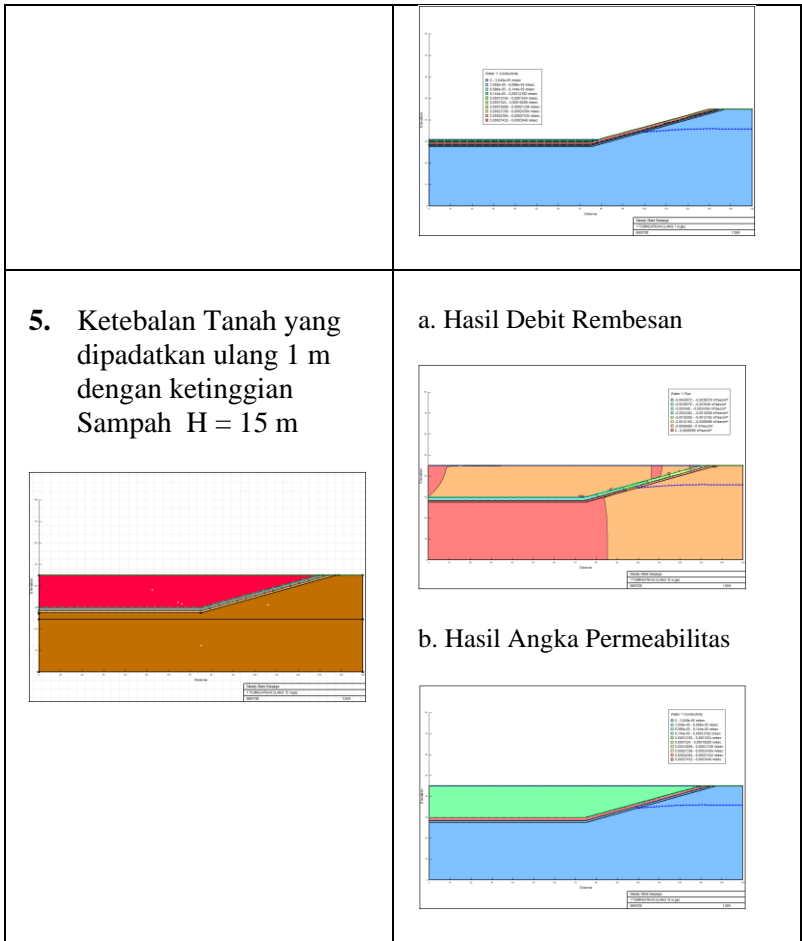
4. Ketebalan Tanah yang dipadatkan ulang 1 m dengan ketinggian sampah H = 1 m



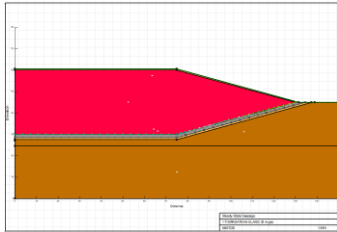
a. Hasil Debit Rembesan



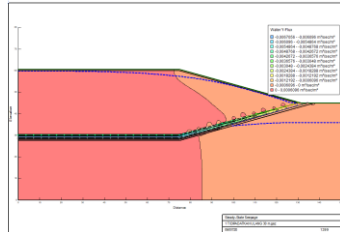
b. Hasil Angka Permeabilitas



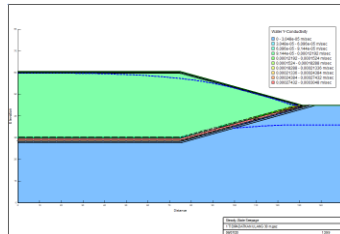
6. Ketebalan Tanah yang dipadatkan ulang 1 m dengan ketinggian Sampah H = 30 m



a. Hasil Debit Rembesan

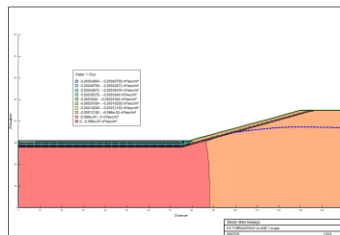


b. Hasil Angka Permeabilitas

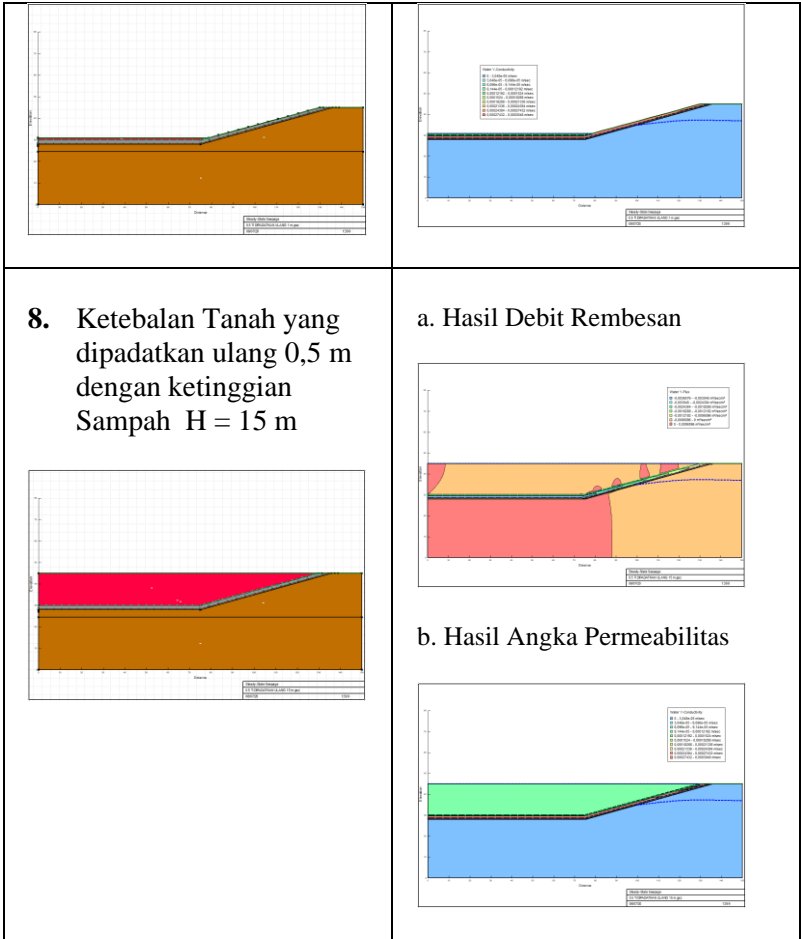


7. Ketebalan Tanah yang dipadatkan ulang 0,5 m dengan ketinggian Sampah H = 1 m

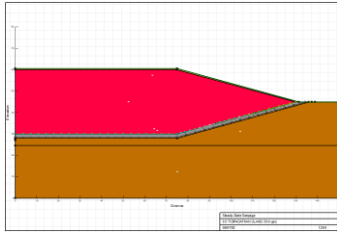
a. Hasil Debit Rembesan



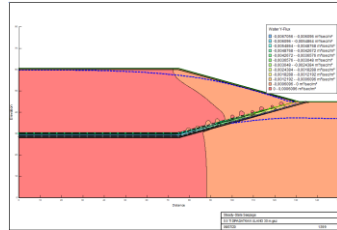
b. Hasil Angka Permeabilitas



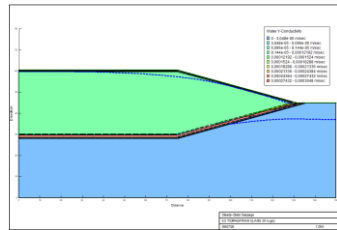
9. Ketebalan Tanah yang dipadatkan ulang 0,5 m dengan ketinggian Sampah H = 30 m



a. Hasil Debit Rembesan



b. Hasil Angka Permeabilitas



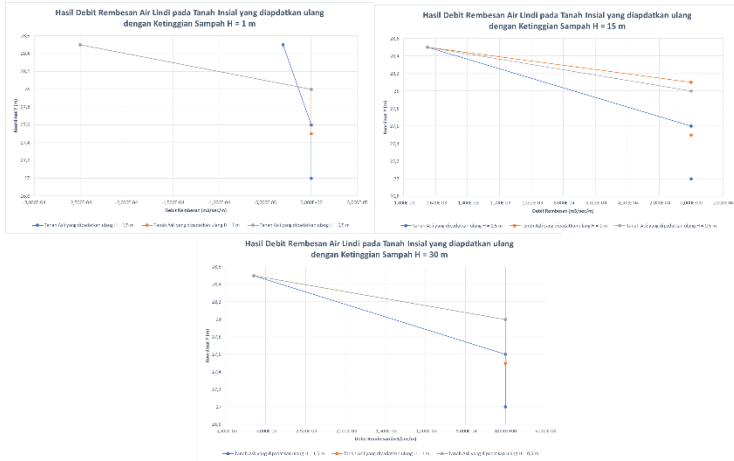
Tabel 4. 13 Hasil Numerik Angka Permeabilitas dan Debit Rembesan pada Tanah Asli yang dipadatkan ulang

Tanah Asli yang dipadatkan ulang H = 1,5 m		
Ketinggian Sampah H = 1 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)
27	1,094E-08	1,602E-23
27,6	2,500E-10	2,988E-25

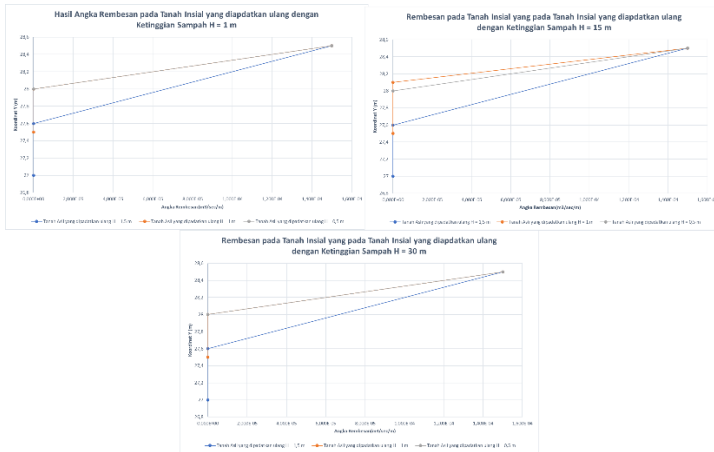
28,5	1,500E-04	-3,048E-05
Ketinggian Sampah H = 15 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
27	1,094E-08	5,161E-10
27,6	2,500E-10	5,175E-10
28,5	1,500E-04	-1,650E-03
Ketinggian Sampah H = 30 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
27	1,094E-08	5,093E-10
27,6	2,500E-10	5,107E-10
28,5	1,500E-04	-3,150E-03
Tanah Asli yang dipadatkan ulang H = 1 m		
Ketinggian Sampah H = 1 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
27,5	1,094E-08	6,935E-10
28	2,500E-10	6,977E-10
28,5	1,500E-04	-2,500E-04
Ketinggian Sampah H = 15 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
27,5	1,094E-08	6,891E-10
28,1	2,500E-10	6,908E-10

28,5	1,500E-04	-1,650E-03
Ketinggian Sampah H = 30 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
27,5	1,094E-08	6,817E-10
28	2,500E-10	6,857E-10
28,5	1,500E-04	-3,150E-03
Tanah Asli yang dipadatkan ulang H = 0,5 m		
Ketinggian Sampah H = 1 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
28	1,09E-08	1,078E-09
28,5	1,50E-04	-2,500E-04
Ketinggian Sampah H = 15 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
28	1,094E-08	1,064E-09
28,5	1,500E-04	-1,650E-03
Ketinggian Sampah H = 30 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
28	1,094E-08	1,064E-09
28,5	1,500E-04	-3,150E-03

Dari hasil numerik dapat disimpulkan dalam grafik yang akan ditampilkan pada gambar 4.11 dan 4.12



Gambar 4. 11 Hasil Debit Rembesan Air Lindi pada Tanah Inisial yang dipadatkan ulang dari berbagai ketinggian sampah



Gambar 4. 12 Hasil Angka Permeabilitas pada Tanah Inisial yang dipadatkan ulang dari berbagai ketinggian sampah

Dapat disimpulkan bahwa semakin tebal tanah inisial yang dipadatkan ulang maka semakin kecil debit air yang merembes kedalam Tanah Inisial yang menyebabkan perubahan angka rembesan pada karakteristik tanah tersebut. Karena adanya rembesan kedalam tanah inisial yang dipadatkan ulang menyebabkan perubahan angka permeabilitas dari tanah inisial yaitu yang semula $2,5 \times 10^{-10}$ m/s menjadi $1,5 \times 10^{-4}$ m/s sampai kedalaman 0,2 m tanahnya. Sehingga ketebalan yang optimum yaitu menggunakan ketebalan 1,5 m tanah inisial yang dipadatkan ulang.

4.3.4 Permodelan Menggunakan Tanah Inisial yang Distabilisasi Menggunakan Fly Ash

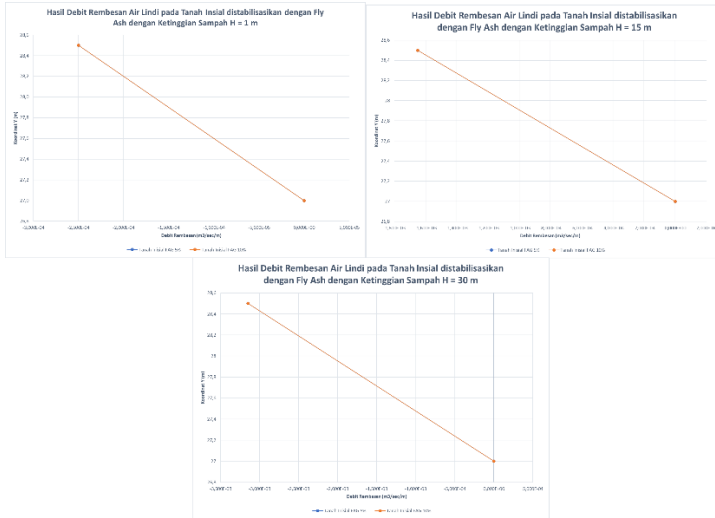
Pada data penelitian Ardiansah (2017) yang melakukan penelitian terhadap tanah inisial direncanakan lapisan dasar *Sanitary Landfill* menggunakan *liner* tanah inisial yang distabilisasi dengan *fly ash* konsentrasi 5% dan 10 %.

Hasil analisis Numerik menggunakan *Steady State* diberikan pada tabel 4.14 Gambar 4.1 dan 4.1

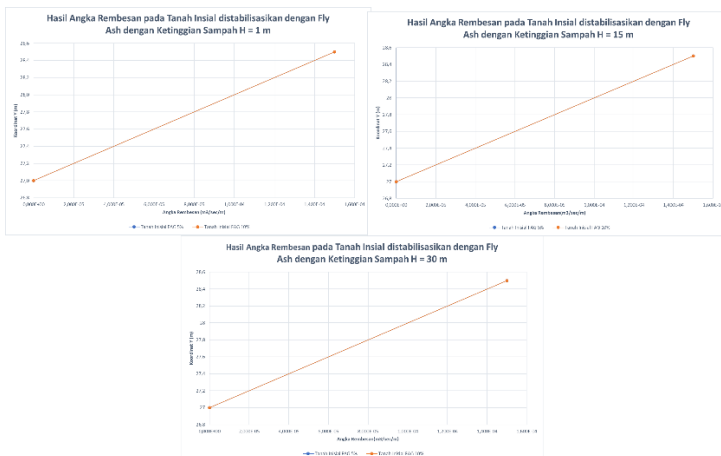
Tabel 4. 14 Hasil Analisis Numerik Angka Permeabilitas dan Debit Rembesan Menggunakan Tanah Inisial yang distabilisasi menggunakan Fly Ash

Tanah Inisial FAG 5%		
Ketinggian Sampah H = 1 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
27,0	1,085E-08	1,923E-10
28,5	1,500E-04	-2,500E-04
Ketinggian Sampah H = 15 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
27	1,085E-08	1,923E-10
28,5	1,500E-04	-1,650E-03
Ketinggian Sampah H = 30 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
27	1,085E-08	1,980E-10
28,5	1,500E-04	-3,150E-03
Tanah Inisial FAG 10%		

Ketinggian Sampah H = 1 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
27	1,082E-08	6,037E-11
28,5	1,500E-04	-2,500E-04
Ketinggian Sampah H = 15 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
27	1,082E-08	6,042E-11
28,5	1,500E-04	-1,650E-03
Ketinggian Sampah H = 30 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
27	1,085E-08	1,922E-10
28,5	1,500E-04	-3,150E-03



Gambar 4. 13 Hasil Debit Rembesan Air Lindi pada Tanah Inisial yang distabilisasi menggunakan Fly Ash



Gambar 4. 14 Hasil Angka Permeabilitas pada Tanah Inisial yang distabilisasi menggunakan Fly Ash

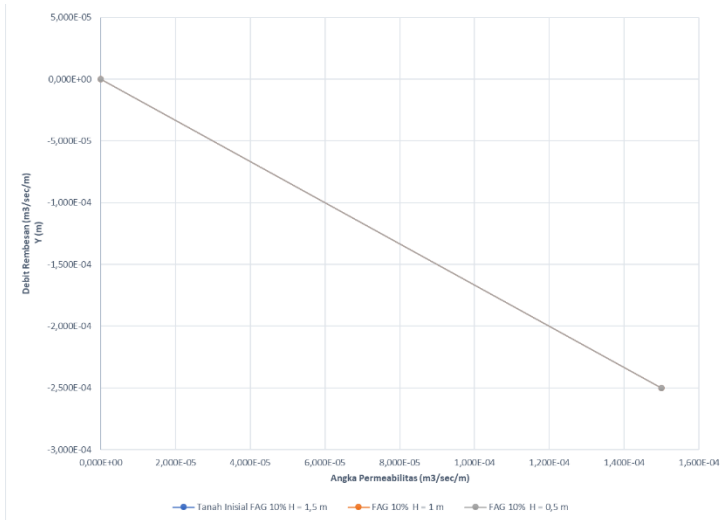
Dari hasil tsb menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi Fly Ash maka semakin kecil debit air yang merembes kedalam tanah yang menyebabkan perubahan angka Permeabilitas . Oleh sebab itu dilakukan analisis ketebalan yang optimum terhadap tanah inisial distabilisasikan dengan fly ash dari air lindi. Hasil analisis ditampilkan pada tabel 4.15 dan gambar 4.15

Tabel 4. 15 Hasil Analisis Numerik Angka Permeabilitas dan Debit Rembesan Menggunakan Tanah Inisial yang distabilisasi menggunakan FAG 10%

Tanah Inisial FAG 10% H = 1,5 m		
Ketinggian Sampah H = 1 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
27	1,082E-08	6,037E-11
28,5	1,500E-04	-2,500E-04
Ketinggian Sampah H = 15 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
27	1,082E-08	6,042E-11
28,5	1,500E-04	-1,650E-03
Ketinggian Sampah H = 30 m		
1 days		

Y (m)	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)
27	1,085E-08	1,922E-10
28,5	1,500E-04	-3,150E-03
FAG 10% H = 1 m		
Ketinggian Sampah H = 1 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)
27,5	1,08E-08	8,851E-11
28,5	0,00015	-2,500E-04
Ketinggian Sampah H = 15 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)
27,5	1,082E-08	9,032E-11
28,5	1,500E-04	-1,650E-03
Ketinggian Sampah H = 30 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)
27,5	1,085E-08	2,642E-10
28,5	1,500E-04	-3,150E-03
FAG 10% H = 0,5 m		
Ketinggian Sampah H = 1 m		

Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)
28	1,08E-08	-1,83E-10
28,5	1,50E-04	-2,50E-04
Ketinggian Sampah H = 15 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)
28	1,082E-08	1,743E-10
28,5	1,500E-04	-1,650E-03
Ketinggian Sampah H = 30 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m ³ /sec/m ²)
28	1,085E-08	5,037E-10
28,5	1,500E-04	-3,150E-03



Gambar 4. 15 Hasil Angka Permeabilitas dan Debit Rembesan pada Tanah Inisial yang distabilisasi menggunakan Fly Ash

Dari hasil tsb menunjukkan semakin tebal tanah inisial yang ditabilisasi Fly Ash maka semakin kecil debit air yang merembes kedalam Tanah Inisial yang menyebabkan perubahan angka rembesan pada karakteristik tanah tersebut. Karena adanya rembesan kedalam tanah inisial yang ditabilisasi Fly Ash menyebabkan perubahan angka permeabilitas dari tanah inisial yaitu yang semula $2,3 \times 10^{-11}$ m/s menjadi $1,5 \times 10^{-4}$ m/s sampai kedalaman 0,2 m tanahnya. Sehingga ketebalan yang optimum yaitu menggunakan ketebalan 1,5 m tanah inisial yang ditabilisasi Fly Ash 10%.

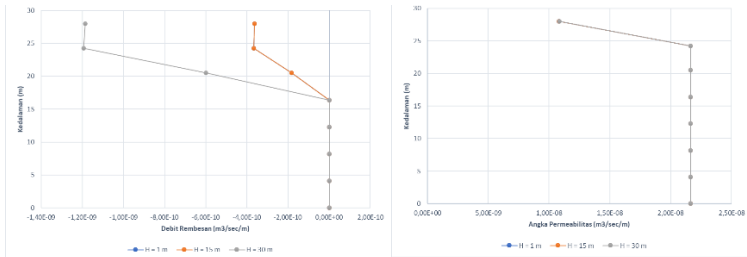
4.3.5 Permodelan Menggunakan *Geosynthetic Liner*

Berdasarkan data penelitian Ardiansah (2017) yang melakukan penelitian pada maka direncanakan lapisan dasar *Sanitary Landfill* menggunakan liner tanah inisial yang distabilisasi dengan fly ash konsentrasi 10 % dikombinasikan dengan *geomembrane* HDPE setebal 1,5 mm. Hasil analisis menggunakan *Steady State* diberikan pada tabel 4.16 Gambar 4.16.

Tabel 4. 16 Hasil Analisis Menggunakan Tanah Inisial dengan dikombinasikan *Geosynthetic Liner*

Steady State		
H = 1 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
0	2,16E-08	3,44E-21
4,1	2,16E-08	6,94E-21
8,2	2,16E-08	1,43E-20
12,3	2,16E-08	2,25E-20
16,4	2,16E-08	3,16E-20
20,5	2,16E-08	-1,84E-10
24,25	2,16E-08	-3,66E-10
28	1,08E-08	-3,63E-10
H = 15 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)

0	2,16E-08	3,36E-21
4,1	2,16E-08	6,92E-21
8,2	2,16E-08	1,43E-20
12,3	2,16E-08	2,25E-20
16,4	2,16E-08	3,16E-20
20,5	2,16E-08	-1,84E-10
24,25	2,16E-08	-3,66E-10
28	1,08E-08	-3,63E-10
H = 30 m		
Y (m)	1 days	
	Angka Permeabilitas (m/sec)	Debit Rembesan (m³/sec/m²)
0	2,16E-08	1,02E-20
4,1	2,16E-08	2,08E-20
8,2	2,16E-08	4,30E-20
12,3	2,16E-08	6,78E-20
16,4	2,16E-08	9,53E-20
20,5	2,16E-08	-5,99E-10
24,25	2,16E-08	-1,19E-09
28	1,08E-08	-1,19E-09



Gambar 4. 16 Hasil Analisis Menggunakan Tanah Inisial dengan dikombinasikan *Geosynthetic Liner*

Dari hasil tsb menunjukkan bahwa ditambahkan *Geosynthetic Liner* maka semakin kecil debit air yang merembes kedalam Tanah Inisial. Karena adanya rembesan kedalam tanah inisial menyebabkan perubahan angka permeabilitas dari tanah inisial yaitu yang semula $2,16 \times 10^{-8}$ m/s menjadi $1,08 \times 10^{-8}$ m/s.

4.3.6 Analisis Slope/W Terhadap Perencanaan Galian

Setelah mengetahui nilai perubahan angka permeabilitas serta debit air lindi yang merembes dengan berbagai perencanaan, selanjutnya dianalisis nilai SF untuk berbagai variasi lapisan dasar tanah. Hasil analisis dilakukan untuk mengetahui perilaku dan batas galian yang aman saat operasional. Hasil analisis diberikan pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Hasil Analisis SF Kritis pada Setiap Variasi

Keterangan	SF
Kondisi Eksisting	5,63
Menggunakan Tanah Inisial yang dipadatkan ulang	5,64

Menggunakan CCL	6,295
Menggunakan GL	6,6

SF Kritis yang didapat dari permodelan adalah 5,63 dimana sudah melebihi dari batas SF minimum yaitu 1,5 berdasarkan peraturan Permen PU No. 3 Tahun 2013 Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.

4.4 Penurunan Tanah Akibat Beban Sampah

Kerusakan bangunan teknik sipil banyak sekali penyebabnya, salah satu penyebab kerusakan terletak pada kondisi tanah. Penyebab kerusakan tersebut biasanya pada penurunan tanah yang terjadi dan daya dukung tanah yang rendah seperti pada tanah kohesif khususnya yang mengandung kadar air yang cukup tinggi. Oleh sebab itu, perlu adanya pengecekan terhadap beban sampah yang akan ditampung pada TPA Ngipik. Berikut merupakan data Tanah TPA Ngipik yang ditampilkan pada tabel 4.18

Tabel 4. 18 Data Tanah TPA Ngipik

Kedalaman	Cc					Cs = 1/5 s.d 1/10 Cc	Cv (cm ² /s)
	CC = 0,007(LL - 7)	CC = 1,15(E0 - 0,27)	CC = 0,15 E0 + 0,0107	CC = 0,009 (LL-10)	Dipilih		
(m)							Biarez
1							
2	0,45	0,95	0,18	0,55	0,95	0,19	0,01

4	0,27	1,06	0,19	0,32	1,06	0,21	0,01
6	0,43	1,23	0,21	0,53	1,23	0,25	0,001
8	0,48	0,71	0,14	0,59	0,71	0,14	0,01
10	0,48	0,89	0,17	0,60	0,89	0,18	0,01
12	0,40	0,74	0,15	0,49	0,74	0,15	0,01
14	0,46	0,63	0,13	0,56	0,63	0,13	0,01
16	0,44	0,81	0,16	0,54	0,81	0,16	0,01
18	0,39	0,92	0,17	0,47	0,92	0,18	0,001
20	0,45	0,91	0,17	0,55	0,91	0,18	0,01
22	0,45	0,74	0,15	0,55	0,74	0,15	0,01
24	0,41	0,66	0,14	0,50	0,66	0,13	0,01
26	0,38	0,78	0,15	0,46	0,78	0,16	0,01
28	0,33	1,52	0,25	0,40	1,52	0,30	0,001
30	0,43	0,78	0,15	0,53	0,78	0,16	0,01

Dengan menggunakan rumus pemampatan tanah *Over Consolidated (OC)* maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.19

$$S_{ci} = \left[\frac{Cs}{1 + e_0} \text{Log} \frac{Pc}{P_0} + \frac{Cc}{1 + e_0} \text{Log} \frac{P_0 + \Delta p}{Pc} \right] H_i$$

Dimana:

S_{ci} = pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah yang ditinjau, lapisan ke i .

H_i = tebal lapisan tanah ke i

e_0 = angka pori awal dari lapisan tanah ke i

Cc = Compression Index dari lapisan tanah tersebut. (lapisan ke i)

C_s = Swelling Index dari lapisan tanah tersebut.
(lapisan ke i)

p_o' = tekanan tanah vertical effective di suatu titik ditengah-tengah lapisan ke i akibat beban tanah sendiri di atas titik tersebut di lapangan (= effective overburden pressure)

p_c = effective past overburden pressure , tegangan konsolidasi effective dimasa lampau yang lebih besar dari pada p_o' (dapat dilihat dari kurva konsolidasinya).

Δp = penambahan tegangan vertical di titik yang ditinjau (di tengah lapisan ke i) akibat beban timbunan

Tabel 4. 19 Pemampatan Akibat Beban Sampah

No.	Ketinggian Sampah (m)	Penurunan Yang Terjadi (m)
1	1	0,0064
2	15	1,33
3	30	1,8

Penurunan yang terjadi di TPA akan dipengaruhi oleh kondisi lokasi, metode pengolahan sampah, jenis limbah yang disimpan, dan efek dari proses mekanis dan biokimia. Estimasi nilai penurunan tanah antara 20 sampai 60% dari ketinggian volume sampah TPA pada tahun pertama (Hyun Il Park, 2007). Maka, perlu diperhitungkan nilai rate of settlement dari setiap tahunnya untuk mengetahui seberapa besar penurunan tanahnya. Dengan menghitung C_v (Koefisien Konsolidasi) gabungan dan t_{90} (waktu untuk derajad konsolidasi 90%) dari ketebalan tanah dasar sebesar 15 m didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.20

:

$$C_{v \text{ gabungan}} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left[\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}} \right]^2}$$

$$C_{v \text{ gabungan}} = \frac{T_v \times Hdr^2}{t_{90}}$$

Tabel 4. 20 Nilai $C_{v \text{ gabungan}}$ dan t_{90}

$C_{v \text{ gabungan}}$ (cm ² /detik)	T_v	Hdr (cm)	t_{90} (detik)	t_{90} (tahun)
0,01100	0,848	1500	1,7,E+08	5,5

Penurunan yang terjadi di TPA Ngipik setiap tahunnya berdasarkan ketinggian sampah akan ditampilkan pada tabel 4.21

Tabel 4. 21 Nilai Penurunan Tanah pada TPA Ngipik Tiap Tahunnya

H Sampah	15	m		Estimasi penurunan dari ketinggian Sampah (%)
Sc	133	cm		
Penurunan pada Ketinggian Sampah 15 m				
Tahun Ke	T_v	U_v (%)	Sc (cm)	
1	15,43%	44,32%	58,947	3,93
2	30,86%	62,68%	83,364	5,56
3	46,28%	76,77%	102,100	6,81
4	61,71%	88,64%	117,895	7,86
5	77,14%	99,11%	131,810	8,79
6	92,57%	108,56%	144,391	9,63
H Sampah	30	m		Estimasi penurunan dari ketinggian Sampah (%)
Sc	180	cm		
Penurunan pada Ketinggian Sampah 30 m				

Tahun Ke	Tv	Uv (%)	Sc (cm)	
1	15,43%	44,32%	79,778	2,66
2	30,86%	62,68%	112,824	3,76
3	46,28%	76,77%	138,180	4,61
4	61,71%	88,64%	159,557	5,32
5	77,14%	99,11%	178,390	5,95
6	92,57%	108,56%	195,416	6,51

Dapat disimpulkan bahwa estimasi penurunan sampah pada TPA Ngipik sebesar 2-4% dari ketinggian sampah yang ditampung pada tahun pertama. Perbedaan yang terpaut jauh dari estimasi penelitian Hyun Il Park dikarenakan kondisi tanah TPA yang berbeda. Selan itu, untuk mengatasi adanya penurunan tanah dapat dilakukan metode *preloading* dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) yang ditujukan untuk mempercepat pemampatannya.

4.5 Metode Pelaksanaan dalam Pembangunan *Sanitary Landfill*

Tempat Pemrosesan Akhir/TPA Sampah memiliki potensi kerawanan terhadap lingkungan sehingga pengaturan ruang dalam upaya pencegahan kontaminasi terhadap lingkungan perlu pengaturan zona yang baik. Sehingga metode Pelaksanaan untuk pembangunan *Sanitary Landfill* direncanakan seperti pada tabel 4.22

Tabel 4. 22 Tahapan Pelaksanaan Pekerjaan

Tahapan Rencana Pelaksanaan Pembangunan TPA Sanitary Landfill Ngipik			
1	Persiapan Site		PEKERJAAN PRIORITAS UTAMA UNTUK PENGOPERASIAN TPA SECARA MINIMUM
	1	Mobilisasi	
	2	Pembuatan Direksi Kit	
	3	Pengukuran Ulang dan Staking Out	
	4	Penyiapan Shop Drawings & Revisi	
	5	Pembuatan Bowplank	
	6	Pembuatan Pagar & Gerbang Site TPA	
2	Pembentukan Lahan		
	1	Perataan Lahan Area Fasilitas	
	2	Pembuatan Emplasemen Sementara Area Fasilitas (LPB & LPA)	
	3	Galian & Timbunan Saluran Drainase & Jalan Akses Operasional	
	4	Instalasi U-ditch dan Drainage Line	
3	Pembuatan Sumur Sumber Air bersih		
4	Pembentukan Zona/Cell LandFill		
	1	Galian & Timbunan Zona/Cell Landfill (Tanah Galian disimpan pada Stockpile Area)	
	2	Pembuatan Base Liner Zona LandFill (Pemasangan Geomembrane)	
	3	Pemasangan/Instalasi Jaringan Pipa Penangkap Lindi	
5	Pembangunan IPAL TPA		
	1	Pembuatan Jalan Inspeksi IPAL TPA	
	2	Galian & Timbunan IPAL TPA	
	3	Pembangunan Konstruksi IPAL TPA	
6	Finishing Jalan Akses Operasional Permanen TPA (LAPEN & LASTON		
7	Pembangunan Garasi & Bengkel Alat Berat TPA		
8	Pembangunan Fasilitas Cuci Kendaraan TPA		
9	Pembuatan Sumur Pantau/Sumur Uji		
10	Pembangunan Jembatan Timbang TPA		
11	Pembangunan Tower Air Bersih TPA		
12	Pembangunan Kantor Pengelola TPA		
13	Finishing Area Fasilitas TPA (LAPEN & LASTON AC/WC)		
14	Instalasi PJU TPA		
15	Pembuatan RTH TPA dan Taman Bio Indikator TPA pada Area Wetland		
			DAPAT DILAKUKAN PADA PHASE KEDUA

Karena keterbatasan penelitian dimana hanya merencanakan lapisan dasar tanah dari *Sanitary Landfill* TPA Ngipik, untuk rencana anggaran biaya berdasarkan pemilihan lapisan dasar yang menggunakan *geosynthetic liner* didapatkan seperti pada Tabel 4.23

Tabel 4. 23 RAB Pekerjaan Konstruksi Lapisan Dasar
Sanitary Landfill Ngipik

NO	URAIAN	Jumlah Harga
	PEKERJAAN KONSTRUKSI LAPISAN DASAR SANITARY LANDFILL	
1	UMUM	734.454.130
2	PEMBERSIHAN TEMPAT KERJA	50.384.288
3	PEMBONGKARAN	483.535.323
4	PEKERJAAN TANAH	437.756.800
5	PENANGANAN GALIAN DAN TIMBUNAN	198.000.000
(A)	JUMLAH HARGA KONSTRUKSI	1.904.130.542
(B)	PAJAK PERTAMBAHAN NILAI (PPN) = 10% X (A)	190.413.054
(C)	TOTAL JUMLAH HARGA KONSTRUKSI = (A) + (B)	2.094.543.596
(D)	TOTAL JUMLAH HARGA DIBULATKAN	2.094.544.000

Berdasarkan dari berbagai rencana permodelan lapisan *Sanitary Landfill* maka digunakan variasi menggunakan *geomembrane* HDPE 1.5 mm. Sehingga, Rencana Anggaran Biaya untuk pelaksanaan lapisan dasar *Sanitary Landfill* TPA Ngipik menggunakan *geomembrane* HDPE 1.5 mm sebesar Rp 2.094.544.000

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Data karakteristik fisik dan mekanik tanah inisial pada lokasi TPA Ngipik merupakan lokasi yang sesuai untuk *Sanitary Landfill* berdasarkan SNI 19-3241-1994 menunjukkan nilai total untuk lokasi TPA Ngipik adalah 587 atau 74 pada skala 100, dimana sudah melebihi dari nilai minimum yang disyaratkan untuk memilih lokasi dari yang di rencanakan.
2. Ketebalan tanah inisial yang dipadatkan ulang dan *compacted clay liner* yang diperlukan untuk menahan air lindi (*Leachate*) yang optimum dalam hasil analisis berdasarkan ketebalan 0,5-1,5 m didapatkan yang paling optimum untuk menahan air lindi adalah 1,5 m.
3. Kombinasi penyusun geosynthetic liner untuk menahan air lindi (*Leachate*) pada dasar tanah *Sanitary Landfill* yang optimum adalah dengan pemakaian *geomembrane* HDPE ketebalan 1.5 mm.
4. Kestabilan dari galian perencanaan *Sanitary Landfill* yaitu didapat SF Kritis dari permodelan adalah 5,63 dimana sudah melebihi dari batas SF minimum yaitu 1,5 berdasarkan peraturan yang Permen PU No. 3 Tahun 2013 Penyelenggaraan

Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Sedangkan untuk penurunan yang terjadi akibat beban sampah, yaitu :

No.	Ketinggian Sampah (m)	Penurunan Yang Terjadi (m)
1	1	0,0064
2	15	1,33
3	30	1,8

Estimasi penurunan tanah pada TPA Ngipik yaitu 2-4% dari ketinggian sampah yang dapat ditampung pada tahun pertama.

5. Berdasarkan dari berbagai rencana permodelan lapisan *Sanitary Landfill* maka digunakan variasi menggunakan *geomembrane HDPE* 1.5 mm. Sehingga, Rencana Anggaran Biaya untuk pelaksanaan lapisan dasar sanitary landfill menggunakan *geomembrane HDPE* 1.5 mm sebesar Rp **2.094.544.000**

5.2 Saran

Adapun saran dan peluang untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakakukan uji Laboratorium agar hasil dapat tervalidasi antara hasil uji laboratorium dengan hasil menggunakan aplikasi Geostudio
2. Dilakukan uji aplikasi Geostudio C-TRAN/W agar mengetahui seberapa banyak air lindi yang masuk

kedalam tanah inisial dan atau sampai ke muka air tanah

3. Perlu dilakukan metode mengurangi kadar air pada tanah (*dewatering*) untuk mengatasi muka air tanah yang dangkal serta meningkatkan kekuatan tanah itu sendiri. Selain itu untuk mengatasi penurunan tanah dapat dilakukan metode *preloading* dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) yang ditujukan untuk mempercepat pemampatan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Daftar Pustaka

Aldaef, A. A., & Rayhani, M. T. (2014). Hydraulic performance of Compacted Clay Liners (CCLs) under combined temperature and *Leachate* exposures. *Waste Management*, 34(12), 2548–2560. doi:10.1016/j.wasman.2014.08.007

ASTM D 1140-00. “Standard Test Methods for Amount of Material in Soils Finer Than the No. 200 (75- μ m) Sieve”

ASTM D 2216-71. “Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass”

ASTM D 698. “Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort”

ASTM D 854-72. “Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer”

Agustina (2011), *Karakteristik sampah pada TPA Ngipik Gresik*, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Ardiansyah, R. H., Sobriyah, Wahyudi, A. H., (2014), *Pengaruh Fluktuasi Muka Air Waduk terhadap Debit Rembesan Menggunakan Model SEEP/W* (Studi Kasus di Bendungan Benel, Kabupaten Jembrana, Bali), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta

Ardiansyah (2017), *Analisis Perubahan Karakteristik Fisik dan Mekanik Tanah Tercemar Lindi yang Distabilisasi dengan Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash di Tempat Pembuangan*

Akhir (TPA) Ngipik-Gresik, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Aribudiman, I. N., Redana, I. W., Harmayani, K. D., & Ciawi, Y. (2019). Seepage in soil from the difference of water viscosity using Geo-studio SEEP/W program. *International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research*, 5(1), 15-26. <https://doi.org/10.21744/irjeis.v5n1.586>

Arsyadi (2017), *Identifikasi Persebaran Air Lindi Di Tpa Ngipik Kabupaten Gresik Dengan Menggunakan Metode Resistivitas 2d Konfigurasi Wenner- Schlumberger*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Badan Standardisasi Nasional. (1994). SNI 19-3964-1994. *Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan*. Jakarta :Badan Standardisasi Nasional.

Badan Pusat Statistik Indonesia, 2019. *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2019*

Bagchi, A. 1994. *Design, Construction, and Monitoring of Landfills*. Second Edition. United States: John Wiley and Sons, Inc., New York, NY (United States) (United States).

Bowles, J. E., 1970. *Engineering Properties of Soils and Their Measurement*. New York, United States of America: McGraw-Hill.

Bowles, J.E. (1996) *Physical and Geotechnical Properties of Soil*. McGRAW-HILL International book company. Tokyo, Japan

BS 1377 (1990) *Methods of testing soils for civil engineering purposes*. British Standards Institution, London

Daniel DE, Benson CH (1990), *Water content-density criteria for compacted soil liners*. J Geotech Eng 119(12):1811–1830

Daniel DE, Wu YK (1993), *Compacted clay liners and covers for arid sites*. J Geotech Eng 199(2):223–237

Das, B. M., 1988. Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis), Jilid 1. Diterjemahkan oleh Noor Endah Mochtar dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta, Indonesia: Erlangga.

Das, B. M., 2010. Principles of Geotechnical Engineering. 7th penyunt. Stamford, United States of America: Cengage Learning.

Davidovits, J., 1994. Properties of Geopolymer Cements. Alakaline Cements and Concretes, pp. 131-149.

EPA, 1996. Environmental Guidelines: Solid Waste Landfills. Wexford, Ireland: Environmental Protection Agency.

EPA, 1999. Landfill Manuals, Landfill Restoration and Aftercare. Pacific Highway: Environmental Protection Agency.

EPA, 2016. Landfill Manuals, Landfill Site Design. Pacific Highway: Environmental Protection Agency.

Emmanuel E, Anggraini V, Raghunandan ME, Asadi A, Bouazza A (2019c) Improving the engineering properties of a soft marine clay with forsteritic olivine. Eur J Environ Civ Eng. <https://doi.org/10.1080/19648189.2019.1665593>

Emmanuel E, Anggraini V, Asadi A, Raghunandan ME (2019d) Interaction of landfill *Leachate* with olivine-treated marine clay: suitability for bottom liner application. Environ Technol Innov. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100574>

Endah, N. dan L. Pudjiastuti. 1995. Pengaruh *Leachate* Sampah Kota Surabaya di TPA Sukolilo terhadap Kualitas Air Sumur Penduduk di Sekitarnya. Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Fitri, S. N., (2018), *Penilaian Stabilitas Timbunan dan Potensi Kebocoran Lindi Akibat Pengaruh Seismik di Tempat Pembuangan Akhir Ngipik, Gresik*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Hyun Il Park , Borinara Park & Seung Rae Lee (2007) Analysis of Long-Term Settlement of Municipal Solid Waste Landfills as Determined by Various Settlement Estimation Methods, Journal of the Air & Waste Management Association, 57:2, 243-251, DOI:10.1080/10473289.2007.10465318

Kumar, Sanjeev, "Procedure to Predict Settlement of Solid Waste Landfills Using Power Creep Law" (1998). International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. 8.

Lee, A. H., Nikraz, H. & Hung, Y. T., 2010. Influence of Waste Age on Landfill Leachate Quality. International Journal of Environmental Science and Development, Volume 4, pp. 347-350.

Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, R. I., 2016. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat

Pemrosesan Akhir Sampah. Jakarta: Kementerian 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.

Raghab, Safaa M., Ahmed M. Abd El Meguid, and Hala A. Hegazi. 2013. "Treatment of *Leachate* from Municipal Solid Waste Landfill." HBRC Journal 9 (2). Housing and Building National Research Center: 187–92. doi:10.1016/j.hbrcj.2013.05.007.

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. doi:10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000031

Sutra, N., Soemitro, R.A.A., Warnana, D.D. 2016. *Preliminary Assessment to Contaminated Soil Characteristics on Ngipik Open Dumping Waste In Gresik Residence*. Proceedings of 2nd International Conference of Problematic Soil, Bandung, Indonesia.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

2. Data Curah Hujan

Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2000												
Nama Stasiun	Tambak Ombo											
Kode Stasiun	83A											
Lintang Selatan												
Bujur Timur												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	15	2	5	60	0	0	0	0	0	0	0	0
2	4	1	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
3	17	0	0	2	0	22	0	0	0	0	0	0
4	12	0	3	37	0	0	0	0	0	0	14	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0
7	13	30	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0
8	11	18	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
9	44	29	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
10	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	56	0	35	0	0	0	0	0	0	0	5	7
14	0	0	2	0	0	0	0	0	0	30	0	1
15	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
16	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	63	0
19	0	0	2	0	0	50	0	0	0	0	0	2
20	9	0	20	0	20	11	0	0	0	70	0	0
21	10	4	28	10	0	0	0	0	0	0	6	27
22	0	0	29	45	0	0	0	0	0	0	0	1
23	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	15	0
24	12	0	0	0	0	0	0	0	0	95	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
26	35	3	14	37	0	0	0	0	0	0	20	0
27	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0
28	16	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0
29	13	0	70	0	0	0	0	0	0	51	0	31
30	26	0	2	0	0	0	0	0	0	29	0	0
31	48	0	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bulanan	426	88	347	195	28	83	0	1	0	308	134	78
Curah Hujan Harian Maksimal												95

Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2001												
Nama Stasiun	Tambak Omba											
Kode Stasiun	83A											
Lintang Selatan												
Bujur Timur												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	0	86	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	6	10	20	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	72	0	0	0	0	0	0	0
4	0	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	3	20	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	2	4	0	0	15	0	0	0	0	0	0
12	0	15	12	0	0	17	0	0	0	6	11	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	92
15	20	0	3	0	0	0	0	0	0	0	25	16
16	0	0	0	28	0	0	0	0	0	2	1	15
17	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	5	35
18	0	0	17	11	1	0	22	0	0	0	0	1
19	7	5	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	43	25
21	4	1	0	0	0	0	11	0	0	0	15	95
22	50	0	20	0	0	0	0	0	0	15	0	75
23	10	0	7	0	0	0	29	0	0	0	0	50
24	2	63	25	1	0	0	0	0	0	0	0	8
25	3	91	0	48	0	0	0	0	0	0	42	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	0
27	0	0	5	0	10	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	2	0
29	27	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
31	14	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	15
Bulanan	163	400	268	118	83	80	62	0	0	23	199	457
Curah Hujan Harian Maksimal												95

Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2002												
Nama Stasi	Tambak Ombo											
Kode Stasi	83A											
Lintang Sel												
Bujur Timur												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	5			2								
2	10		39									
3		25		47								
4		5	2	2								
5		5				4						
6	10	5										
7	14	4	45									10
8	25				6							
9	10		18									
10		2										
11	19	23	11		47							
12			10									
13												
14		1										65
15		6										
16		32	38									
17												
18	17			34								
19	7											
20			5									
21	3			29								
22												
23												
24												
25	7											
26	9	15	42									3
27	10		20									27
28	4											65
29	40											
30	200											8
31	95		15		36							
Bulanan	485	123	245	114	89	4						178
Curah Hujan Harian Maksimal												200

Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2003												
Nama Stasi	Tambak Ombo											
Kode Stasi	83A											
Lintang Sel												
Bujur Timur												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1												15
2	10											10
3	46	31										
4		20	28		15							14
5			7		3							10
6	21	3										
7		10										23
8	3	25			2						3	
9	42	14										2
10	3	36	10	45								5
11	13	23	15	32								
12	17											25
13	15		7									
14	15	10							1			
15	6										34	
16		45		4							11	55
17	3	25										
18											11	
19	43		58		13							
20		5	32									
21					25						6	7
22				92	18							
23	9										3	
24												
25	9	33										
26		3										
27												
28	28										32	5
29	65											
30	11										9	
31	21											
Bulanan	380	283	157	171	86	76				1	109	171
Curah Hujan Harian Maksimal												92

Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2004												
Nama Stasi	Tambak Ombo											
Kode Stasi	83A											
Lintang Sel												
Bujur Timur												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	18		15									
2			25									
3		26	36									31
4			3	6								
5	30		36									8
6	10		9									
7	20	4										
8			9				8					
9	45		4									
10	3		57									
11			33									
12	61		16		18	56						5
13			25		40	6						
14	5		8		36							
15												
16					26		5					
17	9				30							14
18	14	4										
19	9			5								
20		5										
21	3	41										16
22		23										6
23		30			17							36
24		30	31								8	
25											30	
26	4		25								7	
27	53											
28	30	5		2	12							
29	4		10									
30	4		14									
31	10		10									
Bulanan	332	168	366	13	179	62	13				45	116
Curah Hujan Harian Maksimal												61

Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2005												
Nama Stasi	Tambak Ombo											
Kode Stasi	83A											
Lintang Selatan												
Bujur Timur												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1												7
2												4
3			5									
4			4									9
5												
6	6		34	9								
7				6								9
8			13	2								
9			31									
10	27											
11			4	5								
12		26		5								
13				11			2					4
14		8					16					8
15												5
16	59			2								
17	50	2	15									33
18				4								7
19	4	10	4	1								
20	33	20			10					19	8	33
21		2			4	5				32	32	24
22						15						25
23			21									3
24		71								7	7	35
25									3			
26		36	6			2						
27		6	11			1						2
28	17		2	34								1
29			15									2
30												
31												
Bulanan	196	181	165	79	14	23	18			61	47	211
Curah Hujan Harian Maksimal												71

Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2006												
Nama Staj	Tambak Ombo											
Kode Stasi	83A											
Lintang Sel												
Bujur Timur												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	20	20	23	29	40							
2												
3			5		16							
4	5	5										
5			28	3								
6	7	7										
7			31	24	5							
8	15	15		15	4							
9	10	10										
10												
11		39			4							
12												
13	17	2	17									1
14												1
15												
16	5			15								16
17		2	14	6								8
18		7										
19		5	50									
20			20	5								9
21		6	2									
22		48				5						
23		7	23	4	3	15						
24		8	22	6								
25	51	33	5	10							5	23
26		37										
27		20				2					30	
28	36		20		5	1					23	38
29	5		5		10							
30			28		15							48
31			3									36
Bulanan	171	271	296	117	102	23					58	180
Curah Hujan Harian Maksimal												51

Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2007												
Nama Stasi	Tambak Ombo											
Kode Stasi	83A											
Lintang Sel												
Bujur Timur												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	2	1			1	21						
2		15									11	
3	2		19	19								
4						13					2	
5						80						
6		8	9	9		9					29	12
7		2	4	4							3	
8			4	4		3						
9												
10			49	49								
11		20			16							47
12		15			12							
13				14	11							
14				46	3							
15			28	21								
16	3	12	32	1								
17												4
18		10										54
19		8	32		5							30
20		25	7	2								
21		11	69			3						2
22	19											
23	31				4							7
24	26			6								1
25		18										2
26		24	3									95
27		44	4	70								
28		15				3						7
29						54						10
30			51		13							
31	56		14		64							15
Bulanan	139	228	325	245	129	186					45	286
Curah Hujan Harian Maksimal												95

Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2008												
Nama Stasi	Tambak Ombo											
Kode Stasi	83A											
Lintang Selatan												
Bujur Timur												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1					19							49
2												
3	12										18	23
4	18										25	
5			9								17	
6	3		18								45	
7				15								2
8	18		30									10
9			50						8		16	
10												
11												7
12				3								2
13												
14			3	2								20
15	9		7			7						12
16	43	8										41
17	9										2	35
18		5									8	10
19		10										8
20		2										
21			71								26	
22	26		49		5					17		
23	19											
24		24								6		
25										8	2	
26		3									9	
27						5				18	13	
28		24	10						2			18
29		12										
30											70	12
31												
Bulanan	157	88	247	20	24	12				59	251	249
Curah Hujan Harian Maksimal												71

Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2009												
Nama Stasi	Tambak Ombo											
Kode Stasi	83A											
Lintang Sel												
Bujur Timur												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1		6	10			19						
2	7	48		27								12
3	18	29	20									
4		2	7				17				37	2
5		1	25	10								
6		3	70									
7		3										
8	3	100	6									
9	8	13	2	26		33						
10	17			16		23						
11	14	24			2							
12		9	61									
13	13	72			13							
14	3	12										45
15	10											
16		7			10							29
17	23	1	32		32							
18					5							
19	3				30							
20				54	2							
21	12	34										
22		7									2	
23		8	34	3								4
24												
25		26		3								
26											5	5
27		3										
28					7							4
29	3											
30	8											
31	45											
Bulanan	187	408	267	139	101	75	17				44	101
Curah Hujan Harian Maksimal												100

Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2010												
Nama Staj	Tambak Ombo											
Kode Stasi	83A											
Lintang Sel												
Bujur Timu												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	9			10							35	26
2	26		15	18			4				35	
3		2	5		23	2						22
4		11	34	24	2						2	
5	4		9				3			9	5	
6	8	8		3					23	29	19	34
7	1			63	22							
8				1	12	3				31		
9				20		26				34	3	
10	10					2				10	7	22
11	1				6	2			55	41		2
12	6			23			28	7				7
13	6	3			1	25		2			1	7
14	13				2	1		18	18		4	
15		21		23	50					52	34	6
16				5	14	26						4
17					26	7	5			25	16	
18		43	20				2		25	2		
19		35	15						13			
20	2	25		2						2		2
21	1	2	2	14	10					5	3	1
22				11	3						4	1
23		11	8	7	13							25
24	33		31		7			18	18			19
25	9			2				16	16	15		
26			8				2			17		2
27	1		29	13	3					4	5	
28	95	51	12	5			80					7
29	1					3	67			11		
30										12		13
31			3		2			4	4			2
Bulanan	226	212	191	244	196	95	193	65	172	299	173	213
Curah Hujan Harian Maksimal												95

Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2011												
Nama Staj	Tambak Ombo											
Kode Stasi	83A											
Lintang Se												
Bujur Timu												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	13	12	19									12
2	17		6		4							
3	13	20		2	5							
4		17										70
5		10			26						15	
6	16			12	50							13
7			41		11							12
8			3								2	1
9	7	6		6							28	
10	4	12	10		49						16	
11	2			71								15
12	12	7			3							11
13	6	34										
14	11		5		2						6	
15				23								
16	10											6
17												
18											7	19
19												25
20	25	2										
21					8							
22		1	1									3
23			32	40								20
24				2							4	6
25	17		14								6	19
26	6		36	9								35
27			55	15								47
28		13										
29	3		17								80	
30	25		25								36	
31	15										3	
Bulanan	202	134	264	180	158						203	314
Curah Hujan Harian Maksimal												80

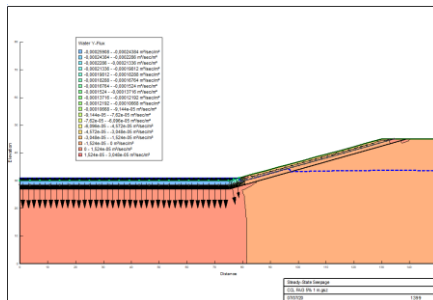
Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2012												
Nama Staj	Tambak Ombo											
Kode Stasi	83A											
Lintang Se												
Bujur Timu												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	72		3		15	10						
2	14	6	2		7	4						
3		10			6							
4	3	11		29								4
5	25			6	2							8
6	84				22							
7	22										8	
8		2	19	9	6					7		
9	3	19	48			2						
10	50	12	15									10
11	41	62	27	17		8						22
12		2	2									
13	19		17									
14	39		11		14							16
15		5		2	6							
16	15				1							
17	1			5	17							6
18		4			17							
19					12							
20	22	5	2		3					20		7
21	2											
22	28									2		32
23			35									21
24	2		31									
25	13		20		3							
26	4		18									14
27			44	11								
28		7										
29		4			36							23
30	74		5						12			7
31	23		8									10
Bulanan	556	149	307	79	167	24				12	37	180
Curah Hujan Harian Maksimal												84

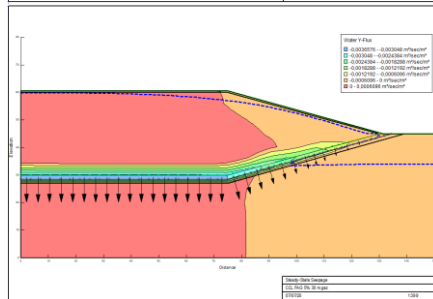
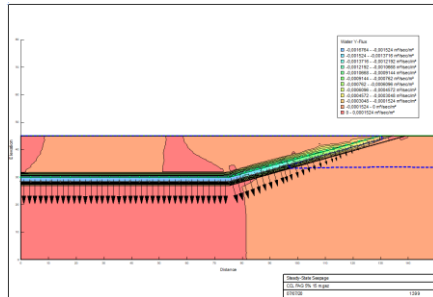
Data Curah Hujan Harian												
Tahun 2013												
Nama Stasi	Tambak Ombo											
Kode Stasi	83A											
Lintang Se												
Bujur Timu												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	24	7		8		15	1					4
2	100	9										
3	4	5		2		28	24					6
4	22	13		4		3	9				34	22
5			11									31
6	10		2	3								3
7	11			38	7							23
8			7	4								
9	3											8
10	5			11		1						7
11		5	2			5	5					
12							2					22
13				48	8							15
14	8	11	12		12	20	15					
15	3	3	65								14	40
16	15		39	40							6	7
17					25	4						30
18		15	43		69	29					8	
19	4	2	14		6							57
20		2	26		7						31	
21	53											20
22				15			1					7
23	26		5								29	
24	15				4		7					
25	13											11
26												
27		17				1						
28	8	4		27	10	32					4	
29						46					32	
30	10											
31	3											40
Bulanan	337	93	226	200	148	184	64				158	353
Curah Hujan Harian Maksimal												100

Data Curah Hujan												
Tahun 2014												
Nama Stasi	Tambak Ombo											
Kode Stasi	83A											
Lintang Sel												
Bujur Timur												
Elevasi	17-E mdpl											
Tanggal	Bulan (mm)											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	0	0	4			0						
2	0	0	0			0						
3	0	20	0			0						4
4	0	10	0		17	2						0
5	34	0	0		3							0
6	80	0	0		48							25
7	0	0	0									0
8	0	0	6	25								0
9	17	0	2			2						0
10	3	0	0									2
11	0	0	0			0						
12	0	0	40	25		17						
13	57	0	16		1							
14	0	17	87	26	47		1					
15	0	0	0			12						
16	3	0	0	58								
17	0	5	0	35	4							
18	0	37	0			13						21
19	7	22	0								2	
20	2	13	0								0	
21	0	0	30									
22	7	0	0								0	
23	0	28	0									16
24	8	1	0	43							5	
25	0	0	0									
26	0	0	0									
27	30	0	0	1								22
28	0	0	0									25
29	0	0	0									
30	0	0	6	6						12		
31	0	0	0								16	63
Bulanan	248	153	191	219	120	46	1			12	23	178
Curah Hujan Harian Maksimal												87

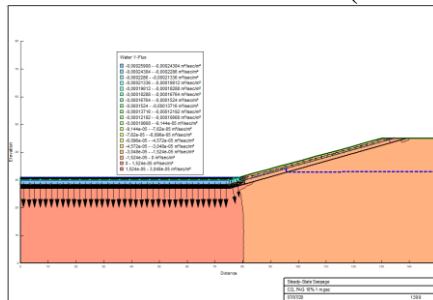
3. Hasil Running Geostudio

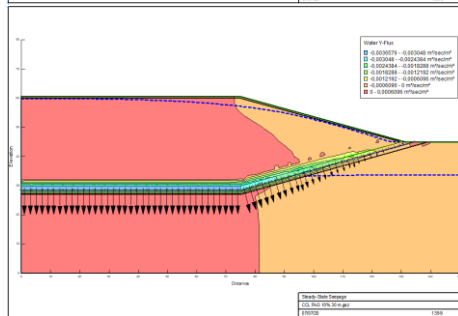
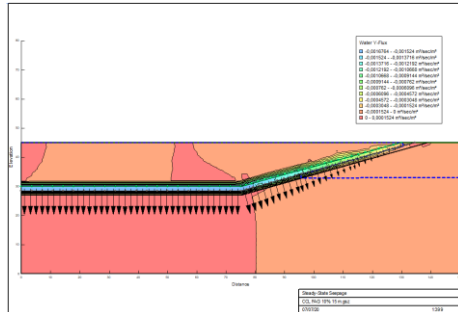
- Tanah Inisial + FAG 5%



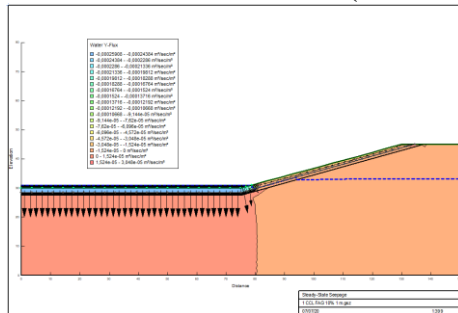


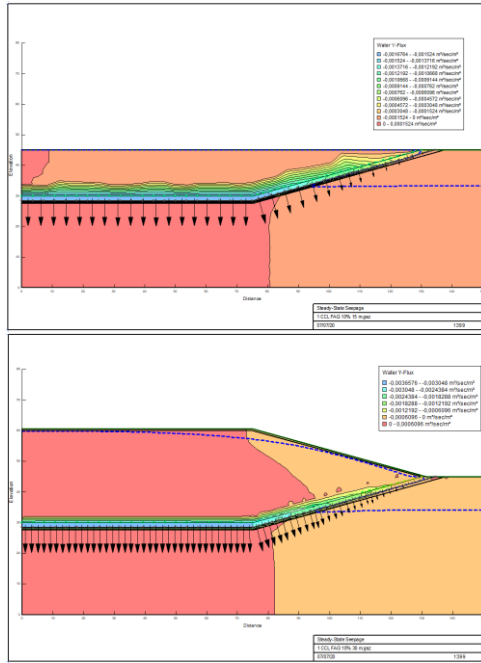
- **Tanah Inisial + FAG 10 % (H = 1.5 m)**



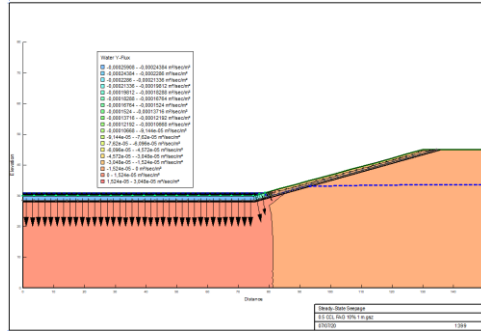


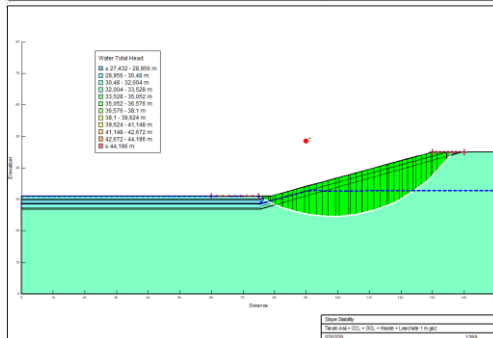
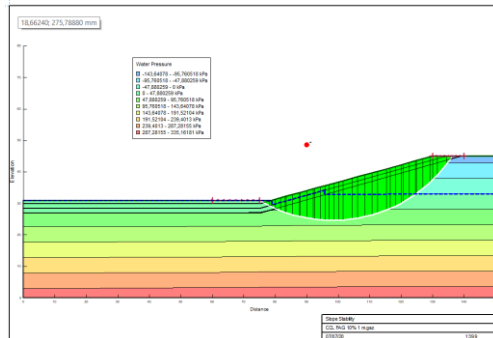
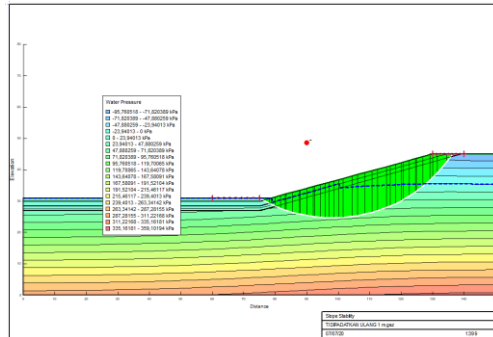
• Tanah Inisial + FAG 10 % (H = 1 m)





- **Tanah Inisial + FAG 10 % (H = 0.5 m)**





4. Spesifikasi Geosynthetic Liner

UnggulTex

POLYPROPYLENE WOVEN GEOTEXTILES

TECHNICAL SPECIFICATIONS

PROPERTIES	UNIT	TEST METHOD	UW - 150	UW - 200	UW - 250
Physical Properties					
Mass	g/m ²	ASTM D 5261-92	150	200	250
Thickness	mm	ASTM D 5199-91	0.5	0.6	0.7
Colour	-	-	Black	Black	Black
Mechanical Properties					
Strip Tensile Strength (Wrab/Weft)	kN/m	ASTM D 4595-94	37/35	42/39	52/52
Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)	%	ASTM D 4595-94	19/18	20/20	20/20
Grap Tensile Strength (Wrab/Weft)	N	ASTM D 4632-91	1210/1200	1600/1600	1750/1750
Elongation at Max. Load (Wrab/Weft)	%	ASTM D 4632-91	14/13	22/22	22/22
Trapezoidal Tear Strength (Wrab/Weft)	N	ASTM D 4533-91	615/615	700/700	800/800
Hydraulic Properties					
Pore Size O ₉₅	µm	ASTM D 4751-95	320	275	250
Water Permeability	l/m ² /sec	100 mm water head	28	16	7.5
Environmental Properties					
Effect of soil Alkalinity	-	-	nil	nil	nil
Effect of soil Acidity	-	-	nil	nil	nil
Effect of Bacteria	-	-	nil	nil	nil
Effect of U.V. Light	-	-	Stabilized	Stabilized	Stabilized
Packaging					
Roll Length	m	-	150 - 200	150 - 200	150 - 200
Roll Width	m	-	3 - 4	3 - 4	3 - 4
Roll Area	m ²	-	640 - 760	640 - 760	640 - 760
Roll Diameter (Approx)	m	-	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5
Roll Weight (Approx)	kg	-	96 - 114	128 - 152	160 - 190

All information, illustration and specification are based on the latest product information available at the time of printing. The right is reserved to make changes at any time without notice.

Distributed by :

PT. TEKNINDO GEOSISTEM UNGGUL

Wiema SIER Building, 1st Floor, Jl. Rungkut Industri Raya 10, Surabaya 60293

Tel. 031-8475062 Fax. 031-8475063

Email : info@geosistem.co.id

Website : www.geosistem.co.id



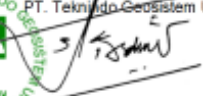
5. Harga Geosynthetic Liner



**HARGA SATUAN MATERIAL GEOSINTETIK
TAHUN 2019**

No.	Jenis Produk	Merek	Tipe	tebal	Dimensi	Unit	Harga satuan Material	Minimum Pesanan
I	GEOMEMBRANE (MATERIAL)							
1	Geomembrane HDPE	GSE	HDS050	0,50 mm	7,1m x 420m	m2	Rp 22.000,00	17 rol
2	Geomembrane HDPE	GSE	HDS075	0,75 mm	7,0m x 280m	m2	Rp 34.000,00	17 rol
3	Geomembrane HDPE	GSE	HDS100	1,00 mm	7,0m x 210m	m2	Rp 44.000,00	17 rol
4	Geomembrane HDPE	GSE	HDS150	1,50 mm	7,0m x 140m	m2	Rp 66.000,00	17 rol
5	Geomembrane HDPE	GSE	HDS200	2,00 mm	7,0m x 105m	m2	Rp 88.000,00	17 rol
II	GEOTEXTILE WOVEN (MATERIAL)							
1	Geotextile Woven	UNGGULTEX	UW-150	0,50 mm	4,0 m X 200 m	m2	Rp 7.500,00	20 rol
2	Geotextile Woven	UNGGULTEX	UW-200	0,60 mm	4,0 m X 200 m	m2	Rp 9.500,00	20 rol
3	Geotextile Woven	UNGGULTEX	UW-250	0,70 mm	4,0 m X 150 m	m2	Rp 12.000,00	20 rol
III	GEOTEXTILE NONWOVEN (MATERIAL)							
1	Geotextile Nonwoven Polyester	Hilon Geotextile	GTR-150	1,13 mm	4,0 m X 100 m	m2	Rp 6.500,00	25 rol
2	Geotextile Nonwoven Polyester	Hilon Geotextile	GTR-200	1,25 mm	4,0 m X 100 m	m2	Rp 7.500,00	25 rol
3	Geotextile Nonwoven Polyester	Hilon Geotextile	GTR-250	1,35 mm	4,0 m X 100 m	m2	Rp 9.500,00	25 rol
4	Geotextile Nonwoven Polyester	Hilon Geotextile	GTR-300	1,67 mm	4,0 m X 100 m	m2	Rp 11.500,00	25 rol
5	Geotextile Nonwoven Polyester	Hilon Geotextile	GTR-400	2,15 mm	4,0 m X 100 m	m2	Rp 14.000,00	20 rol
6	Geotextile Nonwoven Polyester	Hilon Geotextile	GTR-500	3,05 mm	4,0 m X 50 m	m2	Rp 17.500,00	20 rol
7	Geotextile Nonwoven Polyester	Hilon Geotextile	GTR-600	4,00 mm	4,0 m X 50 m	m2	Rp 21.000,00	20 rol
IV	PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD)							
1	Prefabricated Vertical Drain (Material)	Ceteau Drain	CT-D1008	3,0 mm	320 meter	m	Rp 5.500,00	500 rol
V	PREFABRICATED HORIZONTAL DRAIN (PHD)							
1	Prefabricated Vertical Drain (Material)	Ceteau Strip Drain	CT-SD 20-100	20 mm	50 meter	m	Rp 40.000,00	500 rol

RJP : BDN
RP3 : CTLI.0122.05-2019
FP2 : TLI.0122.05-2019

Surabaya, 28 Mei 2016
PT. Teknindo Geosistem Unggul

Budioko
Penjualan

6. Pempampatan

- Ketinggian Sampah 1 m m

No	Tebal	Jenis	Tipe Tanah	Z	e0	Cc	Cs	γt (t/m3)	γd (t/m3)	γsat (t/m3)	γ' (t/m3)	LL (%)	Wc (%)	po (t/m2)	pc (t/m2)	a/z	b/z	2l	$\Delta\sigma$ (t/m2)	OCR	JENIS2	$\Delta\sigma+\sigma'0$	Sc (m)	Sc	
1	1	soft	Lempung	0										0	0	∞									
2	1	soft	Lempung	0,5	1,100	0,9545	0,1909	1,795	1,353	1,795	0,795	71,33	32,740	0,3975	2,3975	6,00	150,00	1	0,99	6,03	OC SOIL	1,39	0,00000	0,00000	
3	1	soft	Lempung	1,5	1,100	0,9545	0,1909	1,795	1,353	1,795	0,795	71,33	32,740	1,1925	3,1925	2,00	50,00	1	0,99	2,68	OC SOIL	2,18	0,00000	0,00000	
4	1	soft	Lempung	2,5	1,190	1,058	0,2116	1,773	1,327	1,773	0,773	45,84	33,610	1,9325	3,9325	1,20	30,00	1	0,99	2,03	OC SOIL	2,92	0,00000	0,00000	
5	1	soft	Lempung	3,5	1,190	1,058	0,2116	1,773	1,327	1,773	0,773	45,84	33,610	2,7055	4,7055	0,86	21,43	1	0,99	1,74	OC SOIL	3,70	0,00000	0,00000	
6	1	soft	Lempung	4,5	1,340	1,2305	0,2461	1,671	1,122	1,671	0,671	68,95	48,940	3,0195	5,0195	0,67	16,67	1	0,99	1,66	OC SOIL	4,01	0,00000	0,00000	
7	1	medium	Lempung	5,5	1,340	1,2305	0,2461	1,671	1,122	1,671	0,671	68,95	48,940	3,6905	5,6905	0,55	13,64	1	0,99	1,54	OC SOIL	4,68	0,00000	0,00000	
8	1	medium	Lempung	6,5	0,890	0,713	0,1426	1,863	1,441	1,863	0,863	76,09	29,300	5,6095	7,6095	0,46	11,54	1	0,99	1,36	OC SOIL	6,60	0,00000	0,00000	
9	1	stiff	Lempung	7,5	0,890	0,713	0,1426	1,863	1,441	1,863	0,863	76,09	29,300	6,4725	8,4725	0,40	10,00	1	0,99	1,31	OC SOIL	7,46	0,00000	0,00000	
10	1	stiff	Lempung	8,5	1,040	0,8855	0,1771	1,871	1,446	1,871	0,871	76,13	29,360	7,4035	9,4035	0,35	8,82	1	0,99	1,27	OC SOIL	8,39	0,00000	0,00000	
11	1	stiff	Lempung	9,5	1,040	0,8855	0,1771	1,871	1,446	1,871	0,871	76,13	29,360	8,2745	10,2745	0,32	7,89	1	0,99	1,24	OC SOIL	9,26	0,00000	0,00000	
12	1	stiff	Lempung	10,5	0,910	0,736	0,1472	1,857	1,415	1,857	0,857	63,97	31,230	8,9985	10,9985	0,29	7,14	1	0,99	1,22	OC SOIL	9,99	0,00000	0,00000	
13	1	stiff	Lempung	11,5	0,910	0,736	0,1472	1,857	1,415	1,857	0,857	63,97	31,230	9,8555	11,8555	0,26	6,52	1	0,99	1,20	OC SOIL	10,85	0,00000	0,00000	
14	1	stiff	Lempung	12,5	0,820	0,6325	0,1265	1,834	1,444	1,834	0,834	72,03	27,010	10,425	12,425	0,24	6,00	1	0,99	1,19	OC SOIL	11,42	0,00000	0,00000	
15	1	hard	Lempung	13,5	0,820	0,6325	0,1265	1,834	1,444	1,834	0,834	72,03	27,010	11,259	13,259	0,22	5,56	1	0,99	1,18	OC SOIL	12,25	0,00000	0,00000	
16	1	hard	Lempung	14,5	0,970	0,805	0,161	1,823	1,369	1,823	0,823	70,20	33,090	11,9335	13,9335	0,21	5,17	1	0,99	1,17	OC SOIL	12,92	-0,00284	-0,00284	
17	1	hard	Lempung	15,5	0,970	0,805	0,161	1,823	1,369	1,823	0,823	70,20	33,090	12,7565	14,7565	0,19	4,84	1	0,99	1,16	OC SOIL	13,75	-0,00270	-0,00555	
18	1	hard	Lempung	16,5	1,070	0,92	0,184	1,681	1,310	1,681	0,681	62,40	28,250	11,2365	13,2365	0,18	4,55	1	0,99	1,18	OC SOIL	12,23	-0,00131	-0,00686	
19	1	stiff	Lempung	17,5	1,070	0,92	0,184	1,681	1,310	1,681	0,681	62,40	28,250	11,9175	13,9175	0,17	4,29	1	0,99	1,17	OC SOIL	12,91	-0,00128	-0,00814	
20	1	stiff	Lempung	18,5	1,060	0,9085	0,1817	1,753	1,245	1,753	0,753	70,68	40,780	13,9305	15,9305	0,16	4,05	1	0,99	1,14	OC SOIL	14,92	-0,00132	-0,00946	
21	1	stiff	Lempung	19,5	1,060	0,9085	0,1817	1,753	1,245	1,753	0,753	70,68	40,780	14,6835	16,6835	0,15	3,85	1	0,99	1,14	OC SOIL	15,67	-0,00128	-0,01074	
22	1	stiff	Lempung	20,5	0,910	0,736	0,1472	1,839	1,438	1,839	0,839	71,06	27,870	17,1995	19,1995	0,15	3,66	1	0,99	1,12	OC SOIL	18,19	-0,00264	-0,01339	
23	1	stiff	Lempung	21,5	0,910	0,736	0,1472	1,839	1,438	1,839	0,839	71,06	27,870	18,0385	20,0385	0,14	3,49	1	0,99	1,11	OC SOIL	19,03	-0,00254	-0,01593	
24	1	stiff	Lempung	22,5	0,840	0,6555	0,1311	1,907	1,473	1,907	0,907	65,70	31,980	20,4075	22,4075	0,13	3,33	1	0,99	1,10	OC SOIL	21,40	-0,00266	-0,01859	
25	1	hard	Lempung	23,5	0,840	0,6555	0,1311	1,907	1,473	1,907	0,907	65,70	31,980	21,3145	23,3145	0,13	3,19	1	0,99	1,09	OC SOIL	22,30	-0,00256	-0,02115	
26	1	hard	Lempung	24,5	0,950	0,782	0,1564	1,874	1,420	1,874	0,874	60,95	31,980	21,413	23,413	0,12	3,06	1	0,99	1,09	OC SOIL	22,40	-0,00192	-0,02307	
27	1	hard	Lempung	25,5	0,950	0,782	0,1564	1,874	1,420	1,874	0,874	60,95	31,980	22,287	24,287	0,12	2,94	0,9	0,89	1,09	OC SOIL	23,18	-0,00259	-0,02567	
28	1	hard	Lempung	26,5	1,590	1,518	0,3036	1,530	1,084	1,530	0,530	54,44	41,130	14,045	16,045	0,11	2,83	0,98	0,97	1,14	OC SOIL	15,02	0,01103	-0,01464	
29	1	hard	Lempung	27,5	1,590	1,518	0,3036	1,530	1,084	1,530	0,530	54,44	41,130	14,575	16,575	0,11	2,73	0,96	0,95	1,14	OC SOIL	15,53	0,01031	-0,00433	
30	1	hard	Lempung	28,5	0,950	0,782	0,1564	1,862	1,425	1,862	0,862	68,74	30,670	24,567	26,567	0,11	2,63	0,94	0,93	1,08	OC SOIL	25,50	-0,00211	-0,00644	

- Ketinggian Sampah 15 m

No	Tebal	Jenis Tanah	Tipe Tanah	Z	e0	Cc	Cs	γt (t/m3)	γd (t/m3)	γsat (t/m3)	γ' (t/m3)	LL (%)	Wc (%)	po (t/m2)	pc (t/m2)	a/z	b/z	2l	$\Delta\sigma$ (t/m2)	OCR	JENIS2	$\Delta\sigma+\sigma'$	Sc (m)	Sc	
1	1	soft	mpung Berker	0										0	0										
2	1	soft	mpung Berker	0,5	1,100	0,9545	0,1909	1,795	1,353	1,795	0,795	71,33	32,740	0,3975	2,3975	6,00	150,00	1	11,39	6,03	OC SOIL	11,78	0,00000	0,00000	
3	1	soft	mpung Berker	1,5	1,100	0,9545	0,1909	1,795	1,353	1,795	0,795	71,33	32,740	1,1925	3,1925	2,00	50,00	1	11,39	2,68	OC SOIL	12,58	0,00000	0,00000	
4	1	soft	mpung Berker	2,5	1,190	1,058	0,2116	1,773	1,327	1,773	0,773	45,84	33,610	1,9325	3,9325	1,20	30,00	1	11,39	2,03	OC SOIL	13,32	0,00000	0,00000	
5	1	soft	mpung Berker	3,5	1,190	1,058	0,2116	1,773	1,327	1,773	0,773	45,84	33,610	2,7055	4,7055	0,86	21,43	1	11,39	1,74	OC SOIL	14,09	0,00000	0,00000	
6	1	soft	mpung Berker	4,5	1,340	1,2305	0,2461	1,671	1,122	1,671	0,671	68,95	48,940	3,0195	5,0195	0,67	16,67	1	11,39	1,66	OC SOIL	14,40	0,00000	0,00000	
7	1	medium	mpung Berker	5,5	1,340	1,2305	0,2461	1,671	1,122	1,671	0,671	68,95	48,940	3,6905	5,6905	0,55	13,64	1	11,39	1,54	OC SOIL	15,08	0,00000	0,00000	
8	1	medium	mpung Berker	6,5	0,890	0,713	0,1426	1,863	1,441	1,863	0,863	76,09	29,300	5,6095	7,6095	0,46	11,54	1	11,39	1,36	OC SOIL	16,99	0,00000	0,00000	
9	1	stiff	mpung Berker	7,5	0,890	0,713	0,1426	1,863	1,441	1,863	0,863	76,09	29,300	6,4725	8,4725	0,40	10,00	1	11,39	1,31	OC SOIL	17,86	0,00000	0,00000	
10	1	stiff	mpung Berker	8,5	1,040	0,8855	0,1771	1,871	1,446	1,871	0,871	76,13	29,360	7,4035	9,4035	0,35	8,82	1	11,39	1,27	OC SOIL	18,79	0,00000	0,00000	
11	1	stiff	mpung Berker	9,5	1,040	0,8855	0,1771	1,871	1,446	1,871	0,871	76,13	29,360	8,2745	10,2745	0,32	7,89	1	11,39	1,24	OC SOIL	19,66	0,00000	0,00000	
12	1	stiff	mpung Berker	10,5	0,910	0,736	0,1472	1,857	1,415	1,857	0,857	63,97	31,230	8,9985	10,9985	0,29	7,14	1	11,39	1,22	OC SOIL	20,38	0,00000	0,00000	
13	1	stiff	mpung Berker	11,5	0,910	0,736	0,1472	1,857	1,415	1,857	0,857	63,97	31,230	9,8555	11,8555	0,26	6,52	1	11,39	1,20	OC SOIL	21,24	0,00000	0,00000	
14	1	stiff	Lempung	12,5	0,820	0,6325	0,1265	1,834	1,444	1,834	0,834	72,03	27,010	10,425	12,425	0,24	6,00	1	11,39	1,19	OC SOIL	21,81	0,00000	0,00000	
15	1	hard	Lempung	13,5	0,820	0,6325	0,1265	1,834	1,444	1,834	0,834	72,03	27,010	11,259	13,259	0,22	5,56	1	11,39	1,18	OC SOIL	22,64	0,00000	0,00000	
16	1	hard	Lempung	14,5	0,970	0,805	0,161	1,823	1,369	1,823	0,823	70,20	33,090	11,9335	13,9335	0,21	5,17	1	11,39	1,17	OC SOIL	23,32	0,10190	0,10190	
17	1	hard	Lempung	15,5	0,970	0,805	0,161	1,823	1,369	1,823	0,823	70,20	33,090	12,7565	14,7565	0,19	4,84	1	11,39	1,16	OC SOIL	24,14	0,09724	0,19913	
18	1	hard	Lempung	16,5	1,070	0,92	0,184	1,681	1,310	1,681	0,681	62,40	28,250	11,2365	13,2365	0,18	4,55	1	11,39	1,18	OC SOIL	22,62	0,11745	0,31658	
19	1	stiff	Lempung	17,5	1,070	0,92	0,184	1,681	1,310	1,681	0,681	62,40	28,250	11,9175	13,9175	0,17	4,29	1	11,39	1,17	OC SOIL	23,30	0,11275	0,42933	
20	1	stiff	Lempung	18,5	1,060	0,9085	0,1817	1,753	1,245	1,753	0,753	70,68	40,780	13,9305	15,9305	0,16	4,05	1	11,39	1,14	OC SOIL	25,32	0,09994	0,52927	
21	1	stiff	Lempung	19,5	1,060	0,9085	0,1817	1,753	1,245	1,753	0,753	70,68	40,780	14,6835	16,6835	0,15	3,85	1	11,39	1,14	OC SOIL	26,07	0,09616	0,62543	
22	1	stiff	Lempung	20,5	0,910	0,736	0,1472	1,839	1,438	1,839	0,839	71,06	27,870	17,1995	19,1995	0,15	3,66	1	11,39	1,12	OC SOIL	28,58	0,07300	0,69843	
23	1	stiff	Lempung	21,5	0,910	0,736	0,1472	1,839	1,438	1,839	0,839	71,06	27,870	18,0385	20,0385	0,14	3,49	1	11,39	1,11	OC SOIL	29,42	0,07040	0,76883	
24	1	stiff	Lempung	22,5	0,840	0,6555	0,1311	1,907	1,473	1,907	0,907	65,70	31,980	20,4075	22,4075	0,13	3,33	1	11,39	1,10	OC SOIL	31,79	0,05860	0,82743	
25	1	hard	Lempung	23,5	0,840	0,6555	0,1311	1,907	1,473	1,907	0,907	65,70	31,980	21,3145	23,3145	0,13	3,19	1	11,39	1,09	OC SOIL	32,70	0,05663	0,88406	
26	1	hard	Lempung	24,5	0,950	0,782	0,1564	1,874	1,420	1,874	0,874	60,95	31,980	21,413	23,413	0,12	3,06	1	11,39	1,09	OC SOIL	32,80	0,06447	0,94853	
27	1	hard	Lempung	25,5	0,950	0,782	0,1564	1,874	1,420	1,874	0,874	60,95	31,980	22,287	24,287	0,12	2,94	0,9	10,25	1,09	OC SOIL	32,53	0,05646	1,00499	
28	1	hard	Lempung	26,5	1,590	1,518	0,3036	1,530	1,084	1,530	0,530	54,44	41,130	14,045	16,045	0,11	2,83	0,98	11,16	1,14	OC SOIL	25,20	0,14284	1,14783	
29	1	hard	Lempung	27,5	1,590	1,518	0,3036	1,530	1,084	1,530	0,530	54,44	41,130	14,575	16,575	0,11	2,73	0,96	10,93	1,14	OC SOIL	25,50	0,13666	1,28449	
30	1	hard	Lempung	28,5	0,950	0,782	0,1564	1,862	1,425	1,862	0,862	68,74	30,670	24,567	26,567	0,11	2,63	0,94	10,70	1,08	OC SOIL	35,27	0,05440	1,33888	

- Ketinggian Sampah 30 m

No	Tebal	Jenis	Tipe Tanah	Z	e0	Cc	Cs	γt (t/m3)	γd (t/m3)	γsat (t/m3)	γ' (t/m3)	LL (%)	Wc (%)	po (t/m2)	pc (t/m2)	a/z	b/z	2l	$\Delta\sigma$ (t/m2)	OCR	JENIS2	$\Delta\sigma+\sigma'$	Sc (m)	Sc	
1	1	soft	mpung Berkeri	0										0	0	∞									
2	1	soft	mpung Berkeri	0,5	1,100	0,9545	0,1909	1,795	1,353	1,795	0,795	71,33	32,740	0,3975	2,3975	6,00	150,00	1	16,34	6,03	OC SOIL	16,73	0,00000	0,00000	
3	1	soft	mpung Berkeri	1,5	1,100	0,9545	0,1909	1,795	1,353	1,795	0,795	71,33	32,740	1,1925	3,1925	2,00	50,00	1	16,34	2,68	OC SOIL	17,53	0,00000	0,00000	
4	1	soft	mpung Berkeri	2,5	1,190	1,058	0,2116	1,773	1,327	1,773	0,773	45,84	33,610	1,9325	3,9325	1,20	30,00	1	16,34	2,03	OC SOIL	18,27	0,00000	0,00000	
5	1	soft	mpung Berkeri	3,5	1,190	1,058	0,2116	1,773	1,327	1,773	0,773	45,84	33,610	2,7055	4,7055	0,86	21,43	1	16,34	1,74	OC SOIL	19,04	0,00000	0,00000	
6	1	soft	mpung Berkeri	4,5	1,340	1,2305	0,2461	1,671	1,122	1,671	0,671	68,95	48,940	3,0195	5,0195	0,67	16,67	1	16,34	1,66	OC SOIL	19,35	0,00000	0,00000	
7	1	medium	mpung Berkeri	5,5	1,340	1,2305	0,2461	1,671	1,122	1,671	0,671	68,95	48,940	3,6905	5,6905	0,55	13,64	1	16,34	1,54	OC SOIL	20,03	0,00000	0,00000	
8	1	medium	mpung Berkeri	6,5	0,890	0,713	0,1426	1,863	1,441	1,863	0,863	76,09	29,300	5,6095	7,6095	0,46	11,54	1	16,34	1,36	OC SOIL	21,94	0,00000	0,00000	
9	1	stiff	mpung Berkeri	7,5	0,890	0,713	0,1426	1,863	1,441	1,863	0,863	76,09	29,300	6,4725	8,4725	0,40	10,00	1	16,34	1,31	OC SOIL	22,81	0,00000	0,00000	
10	1	stiff	mpung Berkeri	8,5	1,040	0,8855	0,1771	1,871	1,446	1,871	0,871	76,13	29,360	7,4035	9,4035	0,35	8,82	1	16,34	1,27	OC SOIL	23,74	0,00000	0,00000	
11	1	stiff	mpung Berkeri	9,5	1,040	0,8855	0,1771	1,871	1,446	1,871	0,871	76,13	29,360	8,2745	10,2745	0,32	7,89	1	16,34	1,24	OC SOIL	24,61	0,00000	0,00000	
12	1	stiff	mpung Berkeri	10,5	0,910	0,736	0,1472	1,857	1,415	1,857	0,857	63,97	31,230	8,9985	10,9985	0,29	7,14	1	16,34	1,22	OC SOIL	25,33	0,00000	0,00000	
13	1	stiff	mpung Berkeri	11,5	0,910	0,736	0,1472	1,857	1,415	1,857	0,857	63,97	31,230	9,8555	11,8555	0,26	6,52	1	16,34	1,20	OC SOIL	26,19	0,00000	0,00000	
14	1	stiff	Lempung	12,5	0,820	0,6325	0,1265	1,834	1,444	1,834	0,834	72,03	27,010	10,425	12,425	0,24	6,00	1	16,34	1,19	OC SOIL	26,76	0,00000	0,00000	
15	1	hard	Lempung	13,5	0,820	0,6325	0,1265	1,834	1,444	1,834	0,834	72,03	27,010	11,259	13,259	0,22	5,56	1	16,34	1,18	OC SOIL	27,59	0,00000	0,00000	
16	1	hard	Lempung	14,5	0,970	0,805	0,161	1,823	1,369	1,823	0,823	70,20	33,090	11,9335	13,9335	0,21	5,17	1	16,34	1,17	OC SOIL	28,27	0,13606	0,13606	
17	1	hard	Lempung	15,5	0,970	0,805	0,161	1,823	1,369	1,823	0,823	70,20	33,090	12,7565	14,7565	0,19	4,84	1	16,34	1,16	OC SOIL	29,09	0,13033	0,26639	
18	1	hard	Lempung	16,5	1,070	0,92	0,184	1,681	1,310	1,681	0,681	62,40	28,250	11,2365	13,2365	0,18	4,55	1	16,34	1,18	OC SOIL	27,57	0,15565	0,42204	
19	1	stiff	Lempung	17,5	1,070	0,92	0,184	1,681	1,310	1,681	0,681	62,40	28,250	11,9175	13,9175	0,17	4,29	1	16,34	1,17	OC SOIL	28,25	0,14993	0,57197	
20	1	stiff	Lempung	18,5	1,060	0,9085	0,1817	1,753	1,245	1,753	0,753	70,68	40,780	13,9305	15,9305	0,16	4,05	1	16,34	1,14	OC SOIL	30,27	0,13414	0,70611	
21	1	stiff	Lempung	19,5	1,060	0,9085	0,1817	1,753	1,245	1,753	0,753	70,68	40,780	14,6835	16,6835	0,15	3,85	1	16,34	1,14	OC SOIL	31,02	0,12946	0,83557	
22	1	stiff	Lempung	20,5	0,910	0,736	0,1472	1,839	1,438	1,839	0,839	71,06	27,870	17,1995	19,1995	0,15	3,66	1	16,34	1,12	OC SOIL	33,53	0,09973	0,93530	
23	1	stiff	Lempung	21,5	0,910	0,736	0,1472	1,839	1,438	1,839	0,839	71,06	27,870	18,0385	20,0385	0,14	3,49	1	16,34	1,11	OC SOIL	34,37	0,09642	1,03173	
24	1	stiff	Lempung	22,5	0,840	0,6555	0,1311	1,907	1,473	1,907	0,907	65,70	31,980	20,4075	22,4075	0,13	3,33	1	16,34	1,10	OC SOIL	36,74	0,08099	1,11271	
25	1	hard	Lempung	23,5	0,840	0,6555	0,1311	1,907	1,473	1,907	0,907	65,70	31,980	21,3145	23,3145	0,13	3,19	1	16,34	1,09	OC SOIL	37,65	0,07844	1,19115	
26	1	hard	Lempung	24,5	0,950	0,782	0,1564	1,874	1,420	1,874	0,874	60,95	31,980	21,413	23,413	0,12	3,06	1	16,34	1,09	OC SOIL	37,75	0,08895	1,28010	
27	1	hard	Lempung	25,5	0,950	0,782	0,1564	1,874	1,420	1,874	0,874	60,95	31,980	22,287	24,287	0,12	2,94	0,9	14,70	1,09	OC SOIL	36,99	0,07881	1,35891	
28	1	hard	Lempung	26,5	1,590	1,518	0,3036	1,530	1,084	1,530	0,530	54,44	41,130	14,045	16,045	0,11	2,83	0,98	16,01	1,14	OC SOIL	30,05	0,18765	1,54656	
29	1	hard	Lempung	27,5	1,590	1,518	0,3036	1,530	1,084	1,530	0,530	54,44	41,130	14,575	16,575	0,11	2,73	0,96	15,68	1,14	OC SOIL	30,26	0,18014	1,72671	
30	1	hard	Lempung	28,5	0,950	0,782	0,1564	1,862	1,425	1,862	0,862	68,74	30,670	24,567	26,567	0,11	2,63	0,94	15,35	1,08	OC SOIL	39,92	0,07598	1,80268	

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Malang, 4 Januari 1998, dengan nama Salma Rosita, merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDI Insan Amanah Malang (2004-2010), SMPN 3 Malang (2010-2013), SMAN 3 Malang (2010-2013).

Menempuh pendidikan di S1 Teknik Sipil FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan terdaftar dengan NRP 03111640000044. Penulis mengambil bidang studi Geoteknik

dengan judul Tugas Akhir “*Analisis Perencanaan Desain Sanitary Landfill dan Lapisan Dasar Tanah agar Mencegah Pencemaran Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Ngipik-Gresik*”. Penulis sempat aktif sebagai Direktur BSO ITS Education Care Center BEM ITS dan Wakil Ketua Departemen Khusus dalam Himpunan Mahasiswa Sipil FTSP ITS. Penulis dapat dihubungi melalui email, salmarst@gmail.com