

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

Ria A. A. Soemitro, Trihanyndio Rendy S., Aqil Rausanfikr M.  
Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
e\_mail : ria@ce.its.ac.id

**Abstrak** — Aspek tinjauan dalam penilaian stabilitas TPA (Tempat Pembuangan Akhir) Ngipik adalah analisa kondisi stabilitas timbunan sampah eksisting, analisa stabilitas timbunan sampah dengan tinggi maksimum (tanpa perkuatan) yang akan terjadi pada area baru TPA dan analisa alternatif perkuatannya. Adapun alternatif perkuatannya adalah pemasangan minipile, geotextile, dan stone column terhadap tinggi timbunan sampah 30 m dengan merujuk peraturan SNI 8460:2017. Area eksisting TPA Ngipik pada tahun 2020 mendapati kelebihan volume daya tampung dengan tinggi timbunan eksisting 14,11 m dan nilai faktor keamanan 1,230. Pada area baru TPA Ngipik tinggi kritis timbunan maksimum yang dapat dicapai adalah 9,22 m dengan nilai pemampatan akibat timbunan bertahap selama 128 minggu sebesar 2,254 m. Dalam hasil analisis didapatkan perkuatan tanah terhadap tinggi timbunan sampah 30 m dapat menggunakan minipile menggunakan minipile 74 buah dengan jarak 0,303 m, atau geotextile 24 lapis dengan total Panjang 595,92 m/m', atau stone column diameter 0,8 m dengan jarak 1,71.

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

**Abstract** — Performed stability assessments of TPA (End Disposal Area) Ngipik in this study are the existing landfill, the maximum landfill height (without reinforcement) at new area and the reinforcement alternatives. The alternatives are installation of minipile, geotextile and stone column with 30 m of landfill height in accordance with Indonesian National Code (SNI 8460:2017). The result of this research is that the existing area of TPA Ngipik in 2020 suffers from excessive height as much as 14.1 m and the safety factor is 1.230. In the new area of TPA Ngipik, the maximum landfill height (without reinforcement) is 9.2 m with the total settlement due to landfill stages is 2.25 m (in 128 weeks). Reinforcement alternatives are using 74 Minipiles with spacing 0.3 m, or using geotextile in 24 layers with a total length of 596 m/m', or using stone column with diameter of 0.8 m and spacing 1.7 m.

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

## I. PENDAHULUAN

Kabupaten Gresik memiliki jumlah penduduk sebesar 1.313.826 jiwa pada tahun 2019 dengan luas wilayah sekitar 1.191,25 km<sup>2</sup>. Dinas Kebersihan, Pertamanan dan Kebakaran Kabupaten Gresik mencatat timbunan sampah seluruh Kabupaten Gresik sebesar 3.000 m<sup>3</sup> atau sekitar 900 ton/hari. Hal ini tidak sebanding dengan kemampuan angkut 416 m<sup>3</sup> atau sekitar 125 ton/hari. Dengan demikian, hanya 15-30 % per hari sampah yang terlayani (BPS, 2019). Sebenarnya ada alternatif TPA yang berkonsep ramah lingkungan atau Sanitary Landfill di mana TPA jenis ini mencegah atau mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, serta kesehatan manusia akibat penimbunan sampah (Peraturan Menteri LHK, 2016). 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). Namun dalam hal pengelolaan sampah, Kabupaten Gresik hanya memiliki satu fasilitas TPA yaitu di TPA Ngipik dengan sistem *open dumping*. TPA Ngipik terletak di area perindustrian dengan kapasitas penampungan sampah yang hampir mencapai maksimal. Timbunan sampah yang berada di lokasi ini berjumlah dua timbunan sampah dengan ketinggian tumpukan sampah setinggi 10 meter dan 12 meter yang akan terus bertambah ketinggian tumpukannya karena merupakan salah satu pengolahan sampah untuk kepentingan industri PT. Petrokimia Gresik. Pemilihan sistem *open dumping* dikarenakan dapat menampung

sampah yang ada luasan lahan, investasi awal lebih murah, dan tempat pembuangan sampah masih dapat digunakan untuk kepentingan lainnya. TPA Ngipik mempunyai luas  $\pm 8$  ha pada daerah eksisting dan mempunyai luas  $\pm 6$  ha pada zona yang akan dibangun. TPA Ngipik dengan sistem open dumping akan direncanakan mampu menahan timbunan sampah dengan tinggi maksimum timbunan sampah yang akan terjadi. Sehingga perlu dihitung stabilitas timbunan sampahnya. Selain stabilitas timbunan sampah, yang harus diperhatikan adalah kekuatan TPA Ngipik sebagai peningkat daya dukung tanah dasar.

Pada penelitian ini akan menganalisa stabilitas timbunan sampah akibat daya dukung tanah dan akibat overall stability, menghitung nilai pemampatan akibat konsolidasi dan tanpa konsolidasi, menghitung nilai pemampatan akibat beban timbunan sampah bertahap yang masuk ke area TPA dan membandingkan alternatif-alternatif kekuatan tanah bawah menggunakan geotextile, minipile, dan stone column berdasarkan angka keamanan yang akan dicapai.

Konsep dasar perencanaan tempat pembuangan akhir yaitu memiliki permeabilitas rendah, memiliki daya dukung tanah tinggi, dan kuat geser terhadap longsor. Dari penjelasan di atas, pada penelitian ini akan membahas dan menganalisa mengenai kondisi eksisting TPA Ngipik dengan sistem open dumping, stabilitas timbunan sampah dan kekuatan tanah menggunakan alternatif geotextile, minipile, dan stone column untuk mendapatkan kekuatan yang diperlukan pada TPA Ngipik. Perencanaan kekuatan tanah dilakukan terhadap tinggi timbunan sampah sebesar 30 m dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,50. Pemilihan tinggi timbunan sampah ini direncanakan dengan tujuan bahan pertimbangan oleh pihak berwenang untuk menentukan tinggi maksimum sampah berikut dengan kekuatannya. Penelitian ini dirasa perlu untuk memberikan alternatif perencanaan kepada Pemerintahan Kabupaten Gresik untuk mengadakan perluasan zona di TPA Ngipik.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Tempat Pembuangan Akhir

Menurut SNI 03-3241-1994, tempat pembuangan akhir (TPA) sampah adalah sarana

fisik untuk berlangsungnya kegiatan pembuangan akhir sampah berupa tempat yang digunakan untuk mengkarantina sampah kota secara aman. Sedangkan menurut UU No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, TPA adalah sarana fisik untuk berlangsungnya kegiatan pemrosesan akhir sampah.

### Open Dumping

Yaitu sistem pembuangan sampah yang dilakukan secara terbuka. Hal ini akan menjadi masalah jika sampah yang dihasilkan adalah sampah organik yang membusuk karena menimbulkan gangguan pembauan dan estetika serta menjadi sumber penularan penyakit.

### B. Stabilitas Timbunan

Metode Fellenius (Ordinary Method of Slice) diperkenalkan pertama oleh Fellenius (1936) berdasarkan bahwa gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan angka keamanan (SF) dihitung dengan keseimbangan momen. Nilai angka keamanan ini adalah sama dengan perbandingan antara seluruh komponen momen penahan longsor dengan momen penyebab longsor untuk seluruh irisan yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$SF = \frac{\sum \text{Momen penahan longsor}}{\sum \text{momen penyebab longsor}} \quad (1)$$

### Geotextile

Pemasangan geotextile berkekuatan tinggi yang direncanakan dengan tepat akan berfungsi sebagai kekuatan untuk meningkatkan stabilitas serta mencegah keruntuhan. Adapun panjang geotextile yang diperlukan untuk memperkuat timbunan dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Le = \frac{T_{allow} \times SF}{(\tau_1 + \tau_2) \times E} \quad (2)$$

### Minipile

Metode cerucuk dengan minipile adalah salah satu cara stabilisasi dengan cara memasukkan minipile ke dalam tanah dasar Untuk menghitung kekuatan 1 (satu) cerucuk, terlebih dahulu harus ditentukan faktor kekuatan relatif (T) dari cerucuk seperti yang telah dijelaskan dalam NAVFAC DM-7, 1971 yaitu:

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{1/5} \quad (3)$$

Di mana:

$E$  = modulus elastis tiang (cerucuk),  $\text{kg/cm}^2$

$I$  = momen inersia tiang (cerucuk),  $\text{cm}^4$

$f$  = koefisien dari variasi modulus tanah,  $\text{kg/cm}^3$

$T$  = faktor kekuatan relatif, cm

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

$$M_{p_{\text{mak-1cerucuk}}} = \frac{\sigma_{\text{mak-bahan}} \times I_n}{D/2} \quad (4)$$

Di mana:

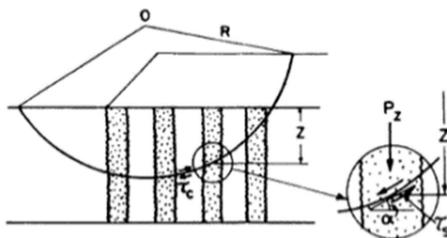
$\sigma_{\text{maks}}$  = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban  $P$ ,  $\text{kg-cm}$

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

$D$  = diameter cerucuk

### Stone Column

Teknik kolom batu (*stone column technique*) merupakan pengembangan dari teknik vibroflotation, dengan menggunakan material pengisi dari kerikil besar atau batu. Dalam desain kolom batu tiga hal yang tidak dapat dipisahkan pembahasannya, yaitu daya dukung (bearing capacity), spasi (spacing), dan penurunan (settlement). Bila kolom batu digunakan untuk tujuan stabilitas pada tanggul atau lereng, kekuatan geser kolom batu merupakan perhatian utama (Mitchell, 1981), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Ketahanan geser kolom batu pada stabilitas lereng (Mitchell, 1981)

## III. METODE PENELITIAN

Metodologi yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### Pengumpulan Data

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

- Data umum proyek: merupakan data site plan, lokasi zona TPA yang akan dibangun, dan keadaan lingkungan di sekitarnya.
- Jumlah Timbunan sampah harian di TPA Ngipik untuk menghitung beban timbunan sampah.
- Data bor log dan parameter tanah.

### Perencanaan Tinggi Timbunan Sampah

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

### Perencanaan Pemasangan Minipile, Geotextile dan Stone Column sebagai Alternatif Perkuatan.

Adapun beberapa alternatif perkuatan tanah TPA Ngipik:

- Pemasangan Geotextile  
Menghitung panjang geotextile yang diperlukan.
- Pemasangan Cerucuk Minipile  
Menghitung panjang dan jumlah cerucuk minipile yang diperlukan.
- Pemasangan Stone Column  
Menghitung panjang dan jumlah stone column yang diperlukan.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Analisis Data Perencanaan

#### Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam Penelitian ini adalah data borlog dari laporan sementara hasil penyelidikan tanah pada area TPA Ngipik, Gresik. Data borlog yang tersedia merupakan hasil penyelidikan tanah terhadap tiga (3) titik sampel borlog, yaitu BH-01, BH-02, dan BH-03 dengan kedalaman 30 m (Nurlita, 2018). Pada gambar dapat dilihat bahwasannya lokasi eksisting dan area baru TPA berada pada area borlog titik BH-02 sehingga data tanah yang digunakan adalah borlog pada titik BH-02. Data pada Tabel 1. Merupakan data tanah terpakai dengan korelasi terhadap nilai-

nilai parameter yang diperlukan untuk perhitungan perencanaan. Rekapitulasi data tanah pada setiap titik bor hasil analisis menggunakan metode parameter statistik distribusi dan rumus korelasi (Mohammad, 2020).

### Data Timbunan Sampah

Data material timbunan dalam perencanaan ini, menggunakan material sampah berdasarkan data sekunder dari penelitian terdahulu pada TPA Ngipik (Nurlita, 2018), yaitu:

Berat volume,	$\gamma = 0.8 \text{ t/m}^3$
Sudut geser dalam tanah,	$\phi = 15^\circ$
Kohesi,	$c = 0,2 \text{ kg/cm}^2$

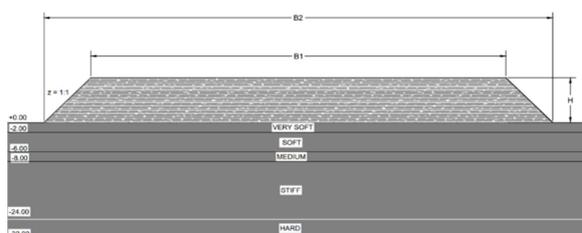


Gambar 2. Layout Titik Penyelidikan Tanah

Untuk geometrik timbunan rencana dan deskripsi tanah ditampilkan sedemikian rupa sehingga membentuk timbunan trapezium dengan kemiringan 1:1 dan luas lahan eksisting 60.000 m<sup>2</sup> dan luas area baru TPA 80.000 m<sup>2</sup>.

### Data Material Geotextile

Untuk kekuatan pada perencanaan ini akan digunakan woven geotextile stabilenka yang diproduksi oleh Huesker dan distributor di Indonesia adalah PT. Geotechnical Systemindo.



Gambar 3. Geometrik Timbunan Sampah dan Tanah Dasar

### Data Material Minipile

Jenis minipile yang digunakan pada perencanaan ini adalah spunpile dari PT. Wika dengan bahan beton, pada perencanaan ini akan digunakan spesifikasi material minipile.

### Data Material Stone Column

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

## B. Analisis eksisting TPA

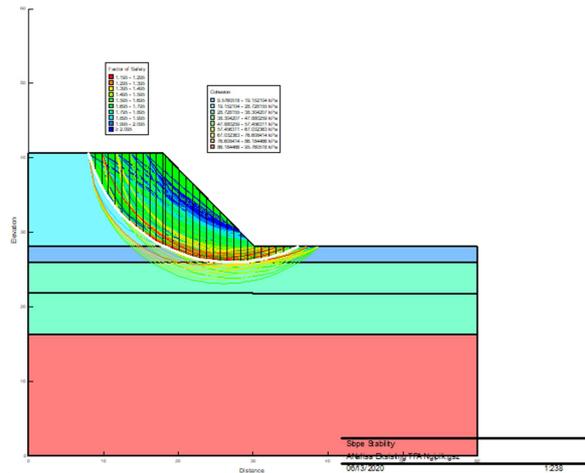
### Kapasitas Daya Tampung

Pada tahun 2020 dengan jumlah penduduk Kabupaten Gresik 1.316.401 jiwa dan jumlah sampah masuk sebesar 349.00 ton yang didapatkan dari hasil prediksi, maka tinggi timbunan eksisting TPA mencapai tinggi 14,11 m dengan kapasitas daya tampung 1.146.866 m<sup>3</sup>. Sedangkan data untuk pre-eliminery TPA Ngipik dengan umur rencana 10 tahun, tinggi rencana sebesar 8 m, dan luas lahan sebesar 80.0000 m<sup>3</sup> memiliki daya tampung sebesar 640.000 m<sup>3</sup>. Sehingga diperlukan area TPA Ngipik dengan daya tampung yang memadai karena daya tampung pada tahun 2020 melebihi daya tampung rencana.

### Stabilitas Lereng Timbunan Eksisting

#### - Akibat Overall Stability

Dari hasil perhitungan volume timbunan sampah TPA Ngipik pada tahun 2020 sebesar 1.146.866 m<sup>3</sup> dan mempunyai tinggi 14,11 m kemudian dianalisa stabilitas lereng akibat overall stability untuk mendapatkan nilai faktor keamanan pada tinggi maksimum timbunan sampah TPA Ngipik sebesar 1.230. Hasil stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Stabilitas Lereng akibat Overall Stability Area Eksisting TPA

**-Akibat Bearing Capacity**

Dari hasil perhitungan volume timbunan sampah TPA Ngipik pada tahun 2020 sebesar 1.146.866 m<sup>3</sup> dan mempunyai tinggi 14,11 m kemudian dianalisa stabilitas lereng akibat Bearing Capacity untuk mendapatkan nilai faktor keamanan pada tinggi maksimum timbunan sampah TPA Ngipik sebesar 1.230 didapatkan nilai Qult 68,575 kPa dengan Qijin sebesar 112,88 kPa maka didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 0,608 dan dikategorikan tidak aman.

Stabilitas Pemampatan Timbunan Eksisting

Estimasi nilai penurunan tanah antara 20 sampai 60% dari ketinggian volume sampah TPA pada tahun pertama (Park et al, 2007). Pemampatan yang terjadi pada timbunan eksisting sampah adalah konsolidasi primer dengan nilai OCR > 1, Oleh karena nilai OCR lebih dari 1 maka tanah termasuk Overconsolidated (OC). Hal ini dikarenakan area TPA Ngipik merupakan area yang dipengaruhi oleh adanya fluktuasi muka air tanah.. Pemampatan dihitung hingga mencapai tanah dasar dengan konsistensi medium yaitu 8 m. Hasil pemampatan total dari tinggi timbunan 14,11 m area eksisting adalah 2,078 m.

**C. Perencanaan Timbunan di Area Baru TPA**

Stabilitas Lereng Timbunan Sampah

Dengan luas lahan area relokasi TPA Ngipik sebesar 60.000 m<sup>2</sup> akan dicari tinggi

maksimum yang akan menyebabkan nilai kritis pada faktor keamanan sebesar 1,50 (SNI 8460:2017) dengan variasi ketinggian timbunan sampah sebesar 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, dan 16 m untuk mencapai tinggi kritis timbunan.

Tabel 2. Pemampatan Kumulatif pada Area Eksisting

Kedalaman (m)	S <sub>c</sub> (M)	S <sub>c</sub> KUMULATIF (M)
0-1	0,469	0,469
1-2	0,384	0,853
2-3	0,233	1,086
3-4	0,207	1,293
4-5	0,187	1,480
5-6	0,171	1,651
6-7	0,222	1,873
7-8	0,206	2,078

**- Akibat Overall Stability**

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

**-Akibat Bearing Capacity**

Selain dihitung akibat overall stability, nilai faktor keamanan dihitung akibat daya dukung tanah dasar supaya dapat mengetahui daya dukung tanah dasar lempung TPA Ngipik terhadap stabilitas lereng timbunan sampah tersebut.

Tabel 3. Nilai Faktor Keamanan dengan Variasi Tinggi Timbunan Akibat Overall Stability

Tinggi Timbunan (m)	Faktor Keamanan
2	5,312
4	2,749
6	2,088
8	1,699
10	1,445
12	1,326
14	1,201
16	1,106

Untuk perhitungan stabilitas lereng menggunakan rumus dari Terzaghi dan menggunakan tabel N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub> dan N<sub>γ</sub> dari Caquet & Kerisel dengan bearing capacity untuk beban sentris dan vertikal dengan pendekatan pondasi dangkal menerus (Wahyudi, 2012).

Tinggi Kritis Timbunan

Untuk menghitung stabilitas pemampatan timbunan sampah maka dibutuhkan

tinggi kritis (Hkritis). Hkritis didapatkan dari nilai faktor keamanan terkecil perbandingan antara faktor keamanan akibat overall stability dengan akibat daya dukung tanah. Untuk nilai faktor keamanan lereng tanah yang dipakai adalah 1,5 (Soemitro, 2018). Maka dari perbandingan nilai faktor keamanan antara daya dukung tanah dengan overall stability yang terdapat pada Tabel 3 dan Tabel 4 didapatkan tinggi kritis timbunan sampah sebesar 8 meter.

Tabel 4. Nilai Faktor Keamanan dengan Variasi Tinggi Timbunan Akibat Bearing Capacity

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

#### Perubahan Parameter Tanah

Beban timbunan yang diletakkan secara bertahap akan menyebabkan kenaikan daya dukung tanah dasar dan perubahan parameter tanah tersebut. Perubahan parameter tanah ini meliputi angka pori ( $e$ ) dan berat jenis ( $\gamma$ ) dan kadar air ( $w_c$ ). Perubahan parameter tersebut diperlukan untuk menghitung pemampatan akibat beban yang mulai bekerja saat tanah dasar di bawah timbunan sudah memampat dan daya dukungnya meningkat. Untuk perubahan angka pori mengalami kenaikan sebesar 6% dan untuk perubahan berat jenis mengalami kenaikan 2% dari nilai asli.

#### Penimbunan Bertahap

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

#### Kenaikan Daya Dukung Akibat Timbunan Bertahap

Dengan adanya kenaikan tegangan yang diterima oleh tanah dasar, maka terjadi kenaikan daya dukung ( $C_u$ ). Setelah mendapatkan perubahan tegangan per minggu dapat dihitung kenaikan daya dukung tanah dasar (Wahyudi, 2012).

#### Kontrol Overall Stability akibat 112 Minggu Timbunan Bertahap

Untuk mengetahui apakah stabilitas lereng akibat timbunan 112 minggu dikategorikan aman dengan nilai faktor keamanan 1,50 (SNI 8460:2017), maka dibutuhkan cek stabilitas dengan overall stability akibat 112 minggu beban timbunan bertahap atau sebesar 8 m. didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,560 > 1 atau dikategorikan sebagai aman.

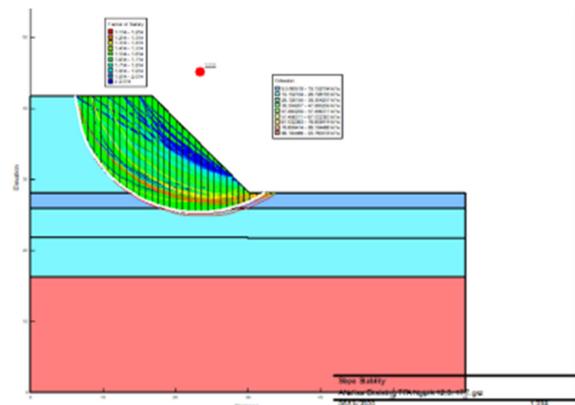
#### Pemampatan (Beban Timbunan Bertahap)

Pemampatan akibat beban timbunan bertahap dapat dilakukan setelah mendapat nilai perubahan tegangan tiap minggu.

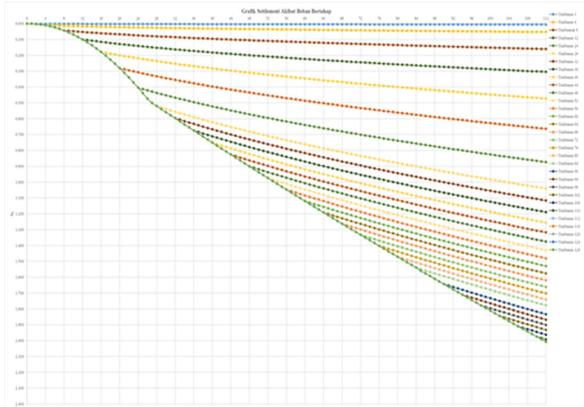
Tabel 5. Kenaikan Daya Dukung akibat Timbunan Bertahap

Kedalaman (m)	$\sigma_{84}'$ (KG/CM <sup>2</sup> )	$C_u$ BARU (KG/CM <sup>2</sup> )
0-1	0,588	0,122
1-2	0,756	0,136
2-3	0,944	0,182
3-4	1,115	0,202
4-5	1,286	0,221
5-6	1,456	0,241
6-7	1,626	0,250
7-8	1,796	0,268

Kemudian hasil pemampatan dikali dengan derajat konsolidasi tiap minggu sehingga mendapat hasil pemampatan akibat beban timbunan bertahap yaitu 2,002 m selama 112 minggu timbunan bertahap.



Gambar 5. Stabilitas Lereng akibat Overall Stability pada Tinggi Timbunan 8 m atau 112 minggu Timbunan Bertahap



Gambar 6. Grafik pemampatan dengan waktu penimbunan bertahap 112 minggu

Cek Stabilitas Timbunan Bertahap

Pada perhitungan timbunan bertahap selama 112 minggu didapatkan nilai penurunan akibat timbunan bertahap yaitu 2,2002 m, sedangkan nilai pemampatan yang umumnya terjadi (Kumar, 1998) yaitu dengan range 5-50% dari tinggi timbunan sampah total (Kumar, 1998). Dibutuhkan cek stabilitas hingga pemampatan lebih dari 50% tinggi timbunan total, namun karena untuk mencapai melebihi 50% dari tinggi timbunan total terlalu lama, maka dianggap aman hingga umur rencan dan tidak diperhitungkan

Kemudian nilai faktor keamanan pada timbunan 112 minggu sebesar 1,560 dan masih aman dengan batas <1,50. Maka diperlukan untuk mencari berapa tinggi timbunan dan berapa minggu tahap penimbunan agar bisa di cek stabilitas aman untuk nilai SF< 1,50. Sehingga dihitung secara perlahan setiap bulan atau 4 minggu dan melihat berapa nilai faktor keamanan yang didapat.

Tabel 6. Nilai Faktor Keamanan terhadap Tinggi Timbunan

Tahap Penimbunan (minggu)	TINGGI TIMBUNAN (M)	FAKTOR KEAMANA N
112	8,064	1,560
116	8,352	1,528
120	8,640	1,512
124	8,928	1,493
128	9,216	1,465

Hasil nilai pemampatan akibat 128 minggu sebesar 3,363 m dan pemampatan akibat beban bertahap dengan derajat konsolidasi 62,735% sebesar 2,254 m.

**D. Perencanaan Perkuatan Tanah**

Perencanaan perkuatan tanah dihitung terhadap tinggi timbunan maksimum sampah yang akan terjadi dengan tinggi timbunan sebesar 30 m dengan nilai faktor keamanan 1,50 sehingga dapat menjadi acuan pemerintah dalam merencanakan TPA Ngipik di area baru.

Perkuatan Minipile

Minipile direncanakan sebagai alternatif perkuatan pada timbunan sampah. Minipile direncanakan untuk menambah kekuatan geser tanah dasar (Mochtar, 2000)

Tinggi Timbunan 30 m

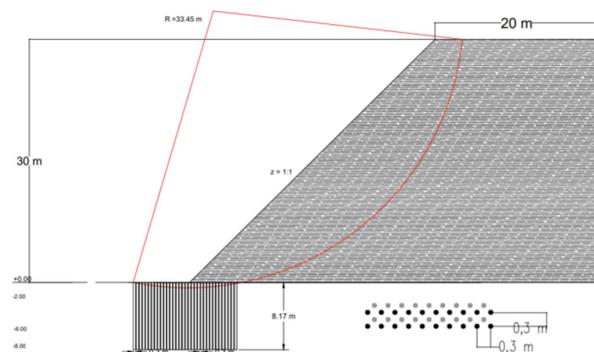
Diameter dan jarak pemasangan yang digunakan untuk minipile dengan tinggi timbunan sampah sebesar 30 m adalah 74 buah dan 0,303 m.

Perkuatan Geotextile

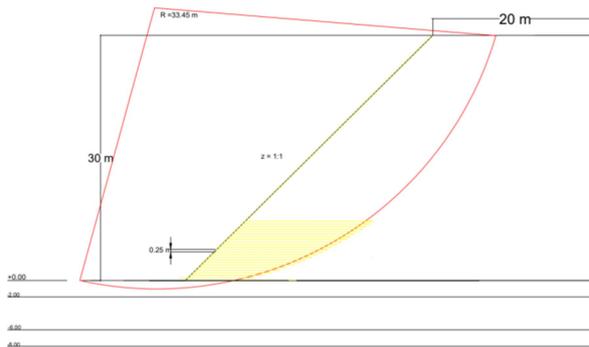
Geotextile digunakan sebagai perkuatan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar di bawah timbunan (Widianti, 2012). Dalam perencanaan ini akan dihitung dengan Tensile strength ( $T_{ult}$ ) sebesar 200 kN/m dan jarak pemasangan 0,25 m dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,50.

Tinggi Timbunan 30 m

Kebutuhan geotextile yang didapat sebanyak 24 lapis dengan panjang geotextile di depan bidang longsor adalah 20,71 m untuk lapis pertama, dan total panjang geotextile yang dibutuhkan adalah 595,92 m/m'



Gambar 7. Pemasangan Minipile (Tinggi Timbunan 30 m)



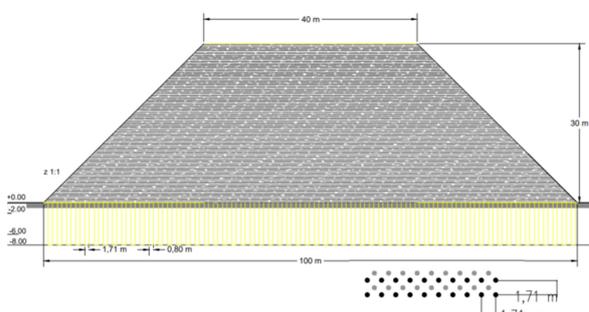
Gambar 8. Pemasangan Minipile (Tinggi Timbunan 30 m)

### Perkuatan Stone Column

Metode Stone Column biasanya digunakan untuk perbaikan tanah kohesif lunak untuk menaikkan daya dukung tanah dan untuk mengurangi penurunan tanah yang akan terjadi. Dengan perbaikan menggunakan teknik stone column ini, diharapkan tanah lempung dapat menghasilkan kapasitas daya dukung besar sehingga beban timbunan yang bekerja menjadi lebih besar (Darwis, 2017). Dalam perencanaan tipe pemasangan yang digunakan adalah fixed type, dimana pemasangan stone column diasumsikan sampai mencapai tanah yang cukup keras yaitu 8 m (Sihombing, 2016) Selain itu untuk pola pemasangan stone column yang digunakan adalah pola segitiga sama sisi. Perencanaan dihitung dengan nilai faktor keamanan direncanakan adalah 1,50.

### Tinggi Timbunan 30 m

Diameter dan jarak pemasangan yang digunakan dengan perkuatan stone column adalah 0,8 m dan 1,71 m dengan nilai faktor keamanan 1,502.



Gambar 9. Stone Column (Tinggi Timbunan 30 m)

## V. KESIMPULAN

Pada eksisting TPA Ngipik dengan luas 8 ha telah mengalami kelebihan volume sampah sebesar 1.146.866 m<sup>3</sup> dengan tinggi timbunan 14,11 m pada tahun 2020 dan memiliki nilai faktor keamanan akibat overall stability sebesar 1,230 dan akibat daya dukung tanah sebesar 0,671. Timbunan area Eksisting memiliki nilai pemampatan tak hingga sebesar 2,078 m.

Pada lahan baru dengan luas 6 Ha didapatkan tinggi timbunan sampah kritis sebesar 9,22 m dengan nilai pemampatan tak hingga akibat tanah dasar sebesar 1,415 m dan pemampatan akibat timbunan bertahap dengan kecepatan 0,072 m/minggu selama 128 minggu sebesar 2,254 m. Pada ketinggian maksimum 9,22 m memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1,465.

Perkuatan tanah dengan minipile untuk timbunan sampah 30 m digunakan dengan jarak 0,303 m dan sebanyak 74 buah. Perkuatan tanah dengan geotextile untuk timbunan 30 m digunakan tensile 200 kN/m<sup>2</sup> dengan jumlah 24 lapis dan panjang total 595,92 m/m'. Perkuatan tanah dengan stone column untuk timbunan sampah 30 m digunakan diameter stone column 0,8 m dan jarak stone column 1,71 m.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Indonesia, 2019, Statistik Lingkungan Hidup Indonesia.
- Darwis, 2017, Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah, Yogyakarta: Pustaka AQ.
- Endah, N., 2012, Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah". Surabaya. Jurusan Teknik Sipil FTSPK-ITS.
- EPA, 2016, Landfill Manuals, Landfill Site Design. Pacific Highway: Environmental Protection Agency.
- Fellenius, W., 1936, Calculation of The Stability of Earth Dams, Trans. 2nd Cong. on Large Dams, Vol 4, p 445.
- Hyun, I.P., Borinara, P. and Seung, L.R., 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, S., 1998, Procedure to Predict Settlement of Solid Waste Landfills Using Power Creep Law, Fourth international conference on case histories in geotechnical engineering, Missouri: Missouri University of Science.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, R. I., 2016, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI 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.
- Mitchell, J.K., 1981, Soil Improvement—State of The Art Report. In: Proceedings of The 10th International Conference on Soil Mech. and Found. Eng., Stockholm, pp 509–565.
- Mochtar. I.B., 2000, Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils), Surabaya: Jurusan Teknik Sipil – FTSPK ITS.
- Mohammad, A.R., 2020, Analisa Penilaian Stabilitas Timbunan dan Perkuatan Tanah pada Open Dumping TPA Ngipik, Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSPK-ITS.
- Nurlita, Siti, 2018, Penilaian Stabilitas Timbunan dan Potensi Kebocoran Lindi Akibat Pengaruh Seismik di Tempat Pembuangan Akhir Ngipik, Tesis. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSLK-ITS.
- Sihombing, I., 2016, Studi Parameter Perencanaan Stone Column untuk Perbaikan Bearing Capacity dan Settlement pada Tanah Lempung, Bandung: Fakultas Teknik Sipil-ITB.
- Soemitro, Ria A.A., Warnana, D.D., Suprayitno, H., 2018, Assessment To Buffer Material For Open Dumping Waste, Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSPK-ITS.
- Standar Nasional Indonesia 8460, 2017, Persyaratan Perancangan Geoteknik, Jakarta: Menteri Pekerjaan Umum.
- United States of America. Department of The Navy, 1971, Design Manual: Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures, NAVFAC DM-7, March 1971, Department of The Navy.
- Wahyudi, H., 2012, Daya Dukung Pondasi Dangkal”, Edisi Kesatu, Surabaya: ITS Press.
- Widianti, A., 2012, Pengaruh Jumlah Lapisan dan Spasi Perkuatan Geosintetik terhadap Kuat Dukung dan Penurunan Tanah Lempung Lunak, Vol. 15, Yogyakarta: Semesta Teknika.