

Perencanaan Sel Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Dengan Sistem *Controlled Landfill* pada TPA Lubuk Binjai-Lubuklinggau

Rendy Cahya Putra Pamungkas, Noor Endah, dan Trihanyndio Rendy Satrya
 Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: noormochtar@gmail.com

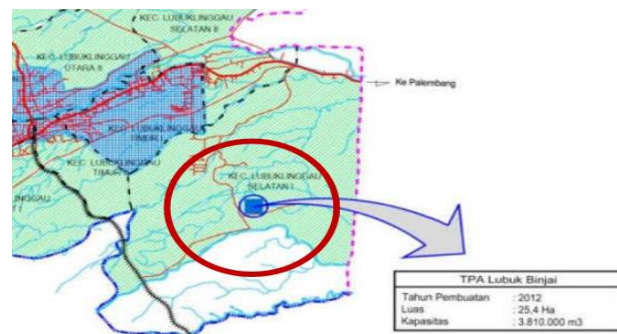
Abstrak—Kota Lubuklinggau merupakan salah satu daerah administratif tingkat II di daerah administratif tingkat I/Provinsi Sumatera Selatan. Kepadatan penduduk di kota Lubuklinggau adalah sekitar 578 jiwa/km² dengan peningkatan penduduknya yaitu rata-rata 3000 jiwa tiap tahunnya memberikan pengaruh terhadap berbagai sektor, salah satunya adalah infrastruktur persampahan. TPA Petanang yang merupakan tempat penampungan sampah di wilayah Kota Lubuklinggau telah mencapai kapasitas maksimumnya. Dari permasalahan tersebut, maka diperlukan perencanaan TPA baru yaitu TPA Lubuk Binjai dengan pembangunan pada sel C dan D. Dalam tugas akhir ini dilakukan beberapa perencanaan diantaranya perencanaan tanggul dari timbunan tanah yang dipadatkan meliputi dimensi tanggul dengan perkuatan menggunakan geotextile, dan analisa stabilitas timbunan sampah dengan perkuatan cerucuk. Kondisi eksisting pada masing – masing sel harus sesuai persyaratan dalam penentuan lokasi sel TPA menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 3 Tahun 2013. Hasil analisa tanggul untuk sel D memiliki variasi ketinggian menyesuaikan elevasi dasar sampah dengan tinggi terendah 3 m hingga tertingginya 6.7m. Untuk perencanaan sel C tanggul dibuat setinggi 6m. Timbunan sampah sel C dan D direncanakan setinggi 15m dan terbagi menjadi 3 lift. Perencanaan sel D memiliki variasi ketinggian lift sampah, sedangkan untuk sel C memiliki tinggi lift sampah yang seragam yaitu sebesar 5m. Perkuatan geotextile dan cerucuk setiap sel mengikuti kebutuhan masing-masing tanggul dan timbunan sampah sesuai analisa yang didapatkan.

Kata Kunci—*Controlled Landfill*, Lubuk Binjai, Open Dumping, Sel Sampah, Tempat Pembuangan Akhir.

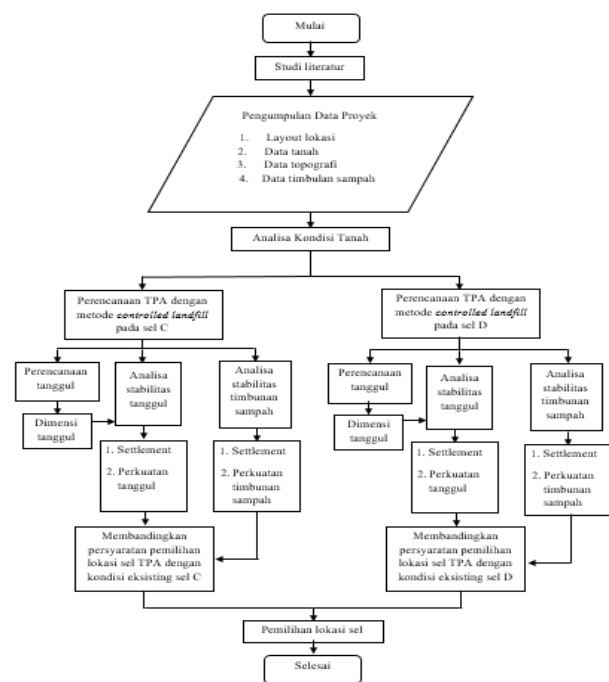
I. PENDAHULUAN

KOTA Lubuklinggau merupakan salah satu daerah administratif tingkat II di daerah administratif tingkat I/Provinsi Sumatera Selatan, dengan luas wilayah 401.50 km² dan jumlah penduduk sebanyak 232.229 jiwa (BPS 2019), serta dikategorikan sebagai kota sedang. peningkatan penduduk memberikan pengaruh terhadap sektor persampahan.

Pembuangan sampah di Kota Lubuklinggau ditampung oleh (TPA) Petanang, memiliki luas 4 ha dengan kapasitas 600.000 m³. Pada tahun 2015, TPA Petanang telah *overload*. Maka pemerintah mengalihkan penampungan sampah menuju TPA Lubuk Binjai (Gambar 1). TPA Lubuk Binjai berada di Kecamatan Lubuklinggau Selatan I dengan luas area 25,4 ha dengan kapasitas 446,47 m³/hari. Pengoperasian TPA di Lubuk Binjai berupa *open dumping* pada lokasi sel E. Terdapat rencana pembangunan sel C dan D menggunakan sistem *controlled landfill*. Sistem pengolahan sampah *controlled landfill* telah diatur pada PerMen PU No 3 Tahun 2013. Peraturan tersebut mengatur tentang penyelenggaraan prasarana dan sarana persampahan dalam penanganan



Gambar 1. Lokasi TPA Lubuk Binjai.

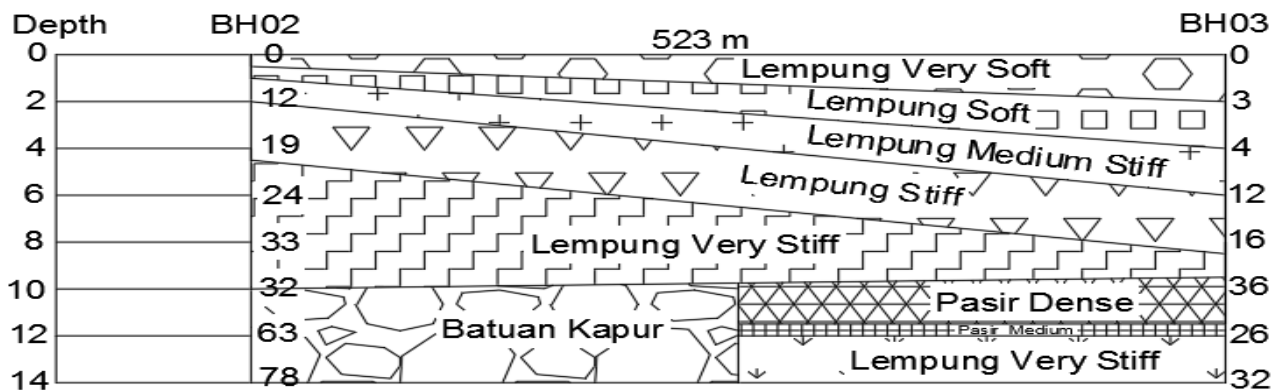


Gambar 2. Diagram alir perencanaan.

sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga.

II. METODOLOGI

Tahapan perencanaan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 2. Perencanaan diawali dengan mencari dan membaca referensi yang berkaitan dengan permasalahan yang akan dibahas. Kemudian mengumpulkan data data yang diperlukan. Data tanah yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan analisa dan pengolahan sehingga didapatkan hasil yang diinginkan. Setelah itu menganalisis masing – masing sel yang akan direncanakan seperti pemampatan, stabilitasnya, dan perkuatannya. Persyaratan dari pemerintah



Gambar 3. Stratigrafi tanah BH02 dan BH03.

Tabel 1.
Keadaan eksisting lokasi sel C dan sel D dengan pesyaratan PerMen PU No 3 tahun 2013

No	Parameter	Lokasi		Persyaratan PerMen Pekerjaan Umum No 3 Tahun 2013
		Sel C	Sel D	
1	Kemiringan lahan	12 - 20%	6.5 - 23%	< 20%
2	Kondisi geologi	Tidak berada di zona bahaya geologi	Tidak berada di zona bahaya geologi	Tidak berada di zona bahaya geologi
3	Jarak terhadap badan air	15 m	300 m	> 100 m
4	Jarak terhadap permukiman	900 m	500 m	> 1000 m
5	Bahaya banjir	Aman terhadap banjir	Aman terhadap banjir	Bukan merupakan daerah banjir periode ulang 25 tahun
6	Muka air tanah	MAT sangat dalam	MAT sangat dalam	> 3 m
7	Kawasan lindung	Tidak berada di kawasan lindung/cagar alam	Tidak berada di kawasan lindung/cagar alam	Tidak berada di kawasan lindung/cagar alam
8	Jarak dari lapangan terbang	Terdapat bandara Silampari namun terletak di pusat kota dan berjauhan dengan lokasi sel TPA Lubuk Binjai	Terdapat bandara Silampari namun terletak di pusat kota dan berjauhan dengan lokasi sel TPA Lubuk Binjai	Jarak dari lapangan terbang, yaitu berjarak lebih dari 3000 m untuk lapangan terbang yang didarati pesawat turbo jet dan berjarak lebih dari 1500 m untuk lapangan terbang yang didarati pesawat jenis lain

juga digunakan sebagai syarat fisik dalam pendirian sel sampah yang baru. Setelah seluruh analisis telah didapatkan, maka akan ditulis menjadi laporan tugas akhir kemudian dibukukan.

III. ANALISA DATA

A. Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini merupakan data tanah sekunder yang berupa data NSPT. Pengujian dan pengambilan sampel di lapangan dilakukan pada 2 titik bor yaitu masing masing BH02 (Sel D) dan BH03 (Sel C). Konsistensi tanah dan parameter tanah yang dibutuhkan dalam Tugas Akhir ini didapatkan dari Tabel Bowless, Tabel Biarez dan Tabel konsistensi tanah kohesif dan non kohesif [1]. Jenis dan konsistensi tanahnya pada Gambar 3.

B. Data Material Timbunan Sampah

Berat volume (γ : 1.18 t/m³), sudut geser dalam tanah (ϕ : 6°), kohesi (Cu: 3 ton/m²).

C. Data Material Tanggul Sampah

Berat volume (γ : 1.9 t/m³), sudut geser dalam tanah (ϕ : 0°), kohesi (Cu: 25 kPa).

D. Data Material Geotextile

Tipe: 25, kuat tarik memanjang: 55.79 kN/m, kuat tarik melebar: 42.84 kN/m, berat: 247.75 gr/m², tebal: 0.88 – 0.97 mm, lebar: 4 m, panjang: 150 m.

E. Data Material Minipile

Ukuran: 300 mm, kelas: C, tebal: 60 mm, momen inersia: 34607.78 cm⁴, momen crack: 4 tm, momen break: 8 tm, panjang terpendek: 6 m, panjang terpanjang : 15 m.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Persyaratan Perencanaan Lokasi Sel TPA Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 3 Tahun 2013

Negara Indonesia sendiri telah ditetapkan peraturan yang mengatur persampahan. Salah satunya adalah Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 3 Tahun 2013 [2].

Dalam pasal 29 ayat (3) huruf c bahwa penyediaan dan pengoperasian harus memperhatikan lokasi, kondisi fisik, kemudahan operasi, aspek lingkungan, dan sosial. Perbandingan masing-masing keadaan lokasi sel dengan pertauran yang ada dapat dilihat pada Tabel 1 dan beberapa informasi tambahan pada Tabel 2.

B. Perencanaan Tanggul

Dalam perencanaan TPA Lubuk Binjai ini, dibangun tanggul sekeliling sampah untuk mencegah kelongsoran dari tumpukan sampah.

1) Perencanaan Tanggul Sel D

Perencanaan tanggul pada Sel D menggunakan data tanah BH02 dengan jenis tanah lempung dengan variasi konsistensinya dari very soft hingga hard. Perencanaan tanggul yang terdapat pada Sel D memiliki ketinggian yang bervariasi dari setinggi 3.5 m hingga setinggi 6.7 m dengan

Tabel 2.
Informasi tambahan kondisi sel c dan sel

No	Parameter	Lokasi	
		Sel C	Sel D
1	Potensi pengembangan	Berdampingan dengan rencana pembangunan sel A dan B	Berdiri Sendiri
2	Biaya	Rp 33 Miliar	Rp 31.5 Miliar
3	Akses jalan dari pintu masuk	800 m	200 m

Tabel 3.
Ukuran tanggul sel D

Tinggi	Lebar Atas	Lebar Bawah
3.5	13.8	25.8
4.5	13.8	25.8
6.7	13.8	25.8

Tabel 4.
Ukuran tanggul sel C

Tinggi	Lebar Atas	Lebar Bawah
6	13.8	25.8

Tabel 5.
Perencanaan timbunan sampah sel D

Tinggi Tanggul	Lift	Elevasi Dasar Sampah	Tinggi Sampah	Elevasi Puncak Sampah
3.5	1	370.649	1.8	372.45
	2	372.449	5	377.45
	3	377.449	5	382.45
4.5	1	369.582	2.9	372.45
	2	372.449	5	377.45
	3	377.449	5	382.45
6.7	1	367.449	5	372.45
	2	372.449	5	377.45
	3	377.449	5	382.45

Tabel 6.
Perencanaan timbunan sampah sel C

Tinggi Tanggul	Lift	Elevasi Dasar Sampah	Tinggi Sampah	Elevasi Puncak Sampah
6	1	350	5	355
	2	355	5	360
	3	360	5	365

dimensinya dapat dilihat pada Tabel 3.

2) *Perencanaan Tanggul Sel C*

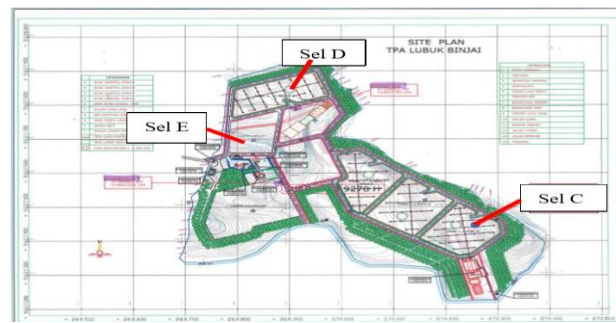
Perencanaan tanggul pada Sel C menggunakan data tanah BH03 dengan jenis tanah lempung dan pasir dengan variasi konsistensinya dari very soft hingga hard.

Perencanaan tanggul yang terdapat pada Sel C memiliki ketinggian 6 m dengan dimensinya dapat dilihat pada Tabel 4.

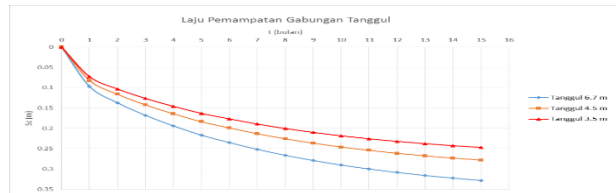
C. *Perencanaan Timbunan sampah*

Dalam perencanaan timbunan sampah ini akan direncanakan pada 2 lokasi sel sampah yang berbeda yaitu pada sel D dan sel C (Gambar 4). Kedua sel direncanakan dengan ketinggian sampah 15 meter dan terbagi menjadi 3 lift sampah dengan setiap liftnya memiliki tinggi timbunan sampah bervariasi dengan dimensinya dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

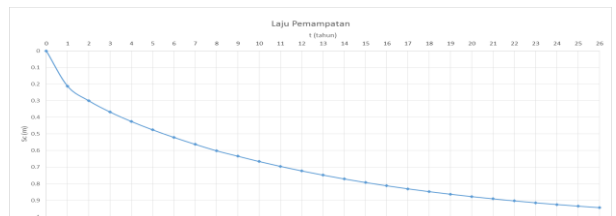
Data – data dari sel D meliputi: luas sel D = 14862 m², umur sel = 10 tahun, faktor padat = 0.7 ton/m³, tinggi rencana = 15 m, volume daya tampung = Luas sel D x tinggi



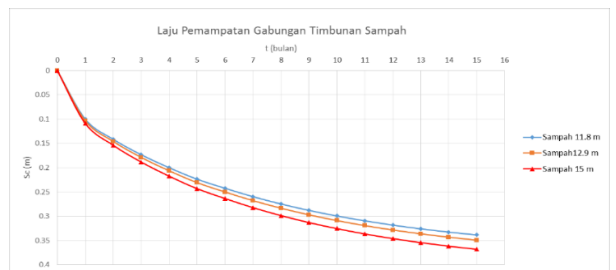
Gambar 4. Site plan TPA Lubuk Binjai.



Gambar 5. Grafik hubungan antara besar dan lama pemampatan (bulan) untuk tinggi tanggul yang berbeda pada Sel D.



Gambar 6. Grafik hubungan antara besar dan lama pemampatan (tahun) untuk tanggul pada Sel C.



Gambar 7. Grafik hubungan antara besar dan lama pemampatan (bulan) untuk tinggi timbunan sampah yang berbeda pada Sel D.

rencana = 14862 x 15 = 222930 m³.

Data – data dari sel C: luas sel C = 14761 m², umur sel = 10 tahun, faktor padat = 0.7 ton/m³, tinggi rencana = 15 m, volume daya tampung = luas sel D x tinggi rencana = 14761 x 15 = 221415 m³.

D. *Perhitungan Pemampatan Tanggul dan Timbunan Sampah*

Pemampatan pada tanah dasar terjadi akibat adanya beban timbunan tanggul dan timbunan sampah. Pemampatan ini perlu diperhitungkan untuk stabilitas tanggul dan timbunan sampah. Berikut adalah langkah-langkah pengerjaannya:

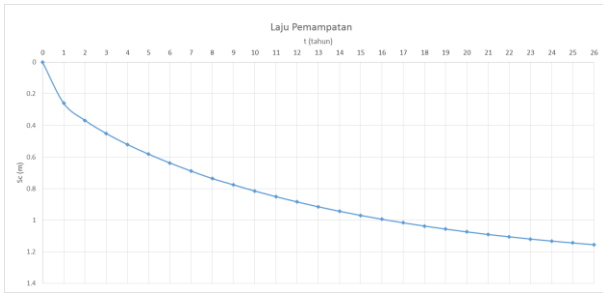
1. Membagi kedalaman tanah tiap 1m atau sesuai dengan konsistensi tanah yang sama.
2. Mencari besarnya berat volume efektif tanah (γ')

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_{air}$$

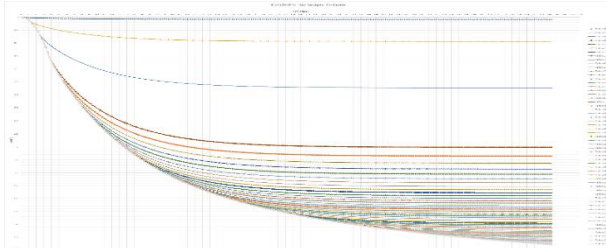
3. Menghitung besarnya tegangan overburden ($\sigma'o$)

$$\sigma'o = \frac{h}{2} \times \gamma'$$

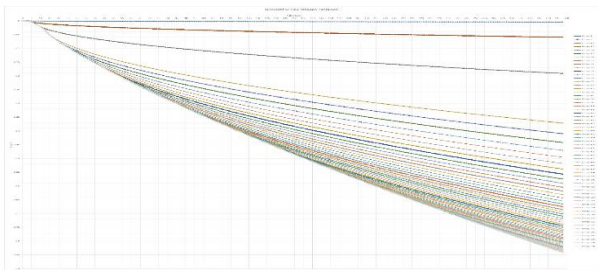
4. Menghitung besarnya tegangan prakonsolidasi ($\sigma'c$)



Gambar 8. Grafik hubungan antara besar dan lama pemampatan (tahun) untuk timbunan sampah pada Sel C.



Gambar 9. Grafik pemampatan kumulatif di sel D akibat timbunan sampah setinggi 15m selama 281 minggu.



Gambar 10. Grafik pemampatan kumulatif sel C akibat timbunan sampah setinggi 15m selama 298 minggu.

$$\sigma'_c = \sigma'_o + \sigma_{fluktuasi}$$

5. Menghitung besarnya beban timbunan (q_0)

$$q_0 = \gamma_{timbunan} \times h_{tanggul}$$

6. Menghitung besarnya setengah lebar timbunan ($B1$) dan Panjang proyeksi horizontal kemiringan timbunan ($B2$)
7. Menentukan kedalaman tegangan overburden (z)
8. Menghitung nilai $\alpha1$ dan $\alpha2$

$$\alpha1 = \tan^{-1} \left(\frac{B1 + B2}{z} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{B1}{z} \right)$$

$$\alpha2 = \tan^{-1} \left(\frac{B1}{z} \right)$$

9. Mencari besar distribusi tegangan ($\Delta\sigma$)

$$\Delta\sigma = 2 \times \frac{q_0}{\pi} \left(\left(\frac{B1 + B2}{B2} \right) (\alpha1 + \alpha2) - \left(\frac{B1}{B2} \right) \alpha2 \right)$$

10. Perhitungan Tegangan Total

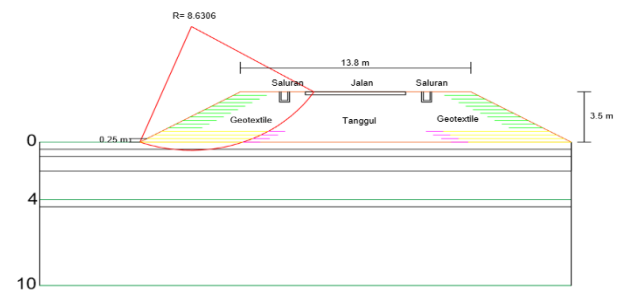
$$\Delta_{tot} = \sigma'_o + \Delta\sigma$$

11. Perhitungan Besar Pemampatan (S_c)

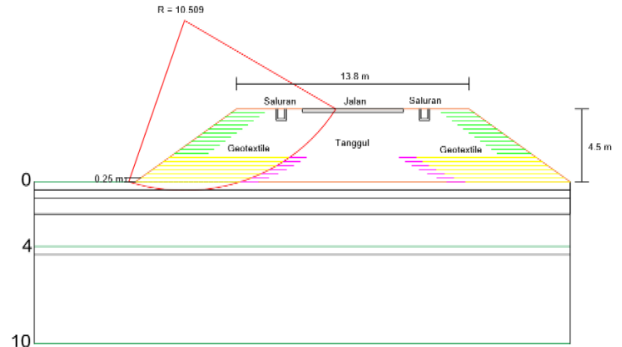
$$S_c = \left[\frac{H}{1 + e_o} C_s \log \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} \right) \right] + \left[\frac{H}{1 + e_o} C_c \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma}{\sigma'_c} \right) \right]$$

E. Lama Waktu Pemampatan (t)

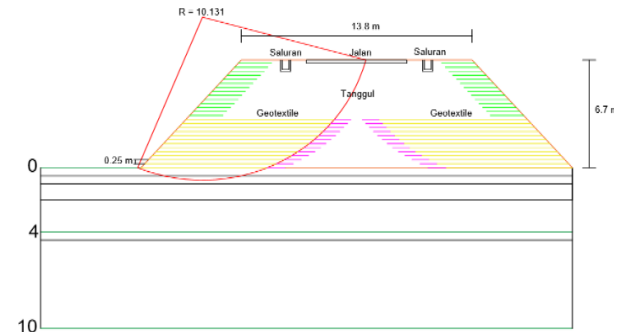
Setelah besar pemampatan yang terjadi didapatkan, dilakukan perhitungan waktu pemampatan yang diperlukan



Gambar 11. Pemasangan geotextile pada tanggul setinggi 3.5m.



Gambar 12. Pemasangan geotextile pada tanggul setinggi 4.5m.



Gambar 13. Pemasangan geotextile pada tanggul setinggi 6.7m.

untuk menyelesaikan pemampatan tersebut. Berikut adalah langkah – langkah pengerjaannya:

1. Menentukan nilai C_v gabungan

$$C_v = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{\left[\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}} \right]}$$

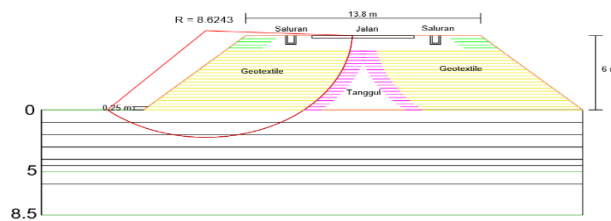
2. Menghitung lama waktu pemampatan

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

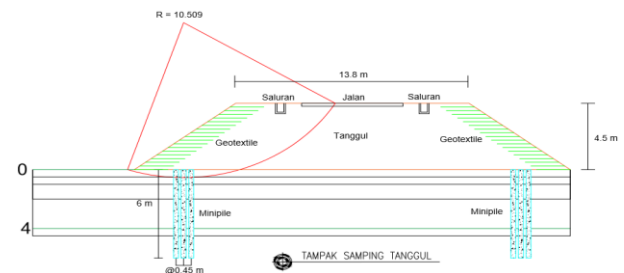
F. Kurva Hubungan Pemampatan (S_c) dengan Waktu Pemampatan (t)

Pada Gambar 5, tanggul setinggi 3.5m pemampatan yang terjadi hingga 0.25m, untuk tanggul setinggi 4.5m pemampatan yang terjadi hingga 0.28m, dan untuk tanggul setinggi 6.7m pemampatan yang terjadi hingga 0.32m [3].

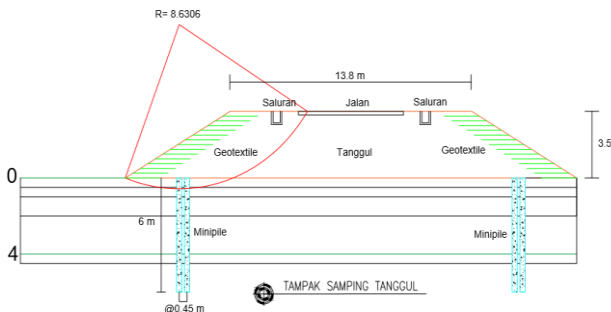
Pada Gambar 6 tanggul setinggi 6m pemampatan yang terjadi hingga 0.94m. Pada Gambar 7, timbunan sampah setinggi 11.8m pemampatan yang terjadi hingga 0.34m, untuk timbunan sampah setinggi 12.9m pemampatan yang terjadi hingga 0.35m, dan untuk tanggul setinggi 15m pemampatan yang terjadi hingga 0.37m. Pada Gambar 8, timbunan sampah setinggi 15m pemampatan yang terjadi hingga 1.2m.



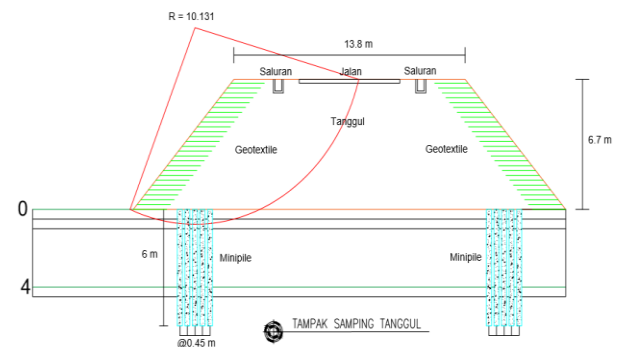
Gambar 14. Pemasangan geotextile pada tanggul setinggi 6m.



Gambar 16. Pemasangan cerucuk pada tanggul setinggi 4.5m.



Gambar 15. Pemasangan cerucuk pada tanggul setinggi 3.5m.



Gambar 17. Pemasangan cerucuk pada tanggul setinggi 6.7m.

G. Analisa Stabilitas Tanggul

1) Pengecekan Stabilitas Lereng Akibat Daya Dukung Tanah

Nilai faktor keamanan dihitung akibat daya dukung tanah dasar supaya dapat mengetahui daya dukung tanah dasar TPA Lubuk Binjai terhadap stabilitas timbunan. Untuk perhitungan stabilitas timbunan menggunakan rumus dari Terzaghi dan menggunakan nilai N_c , N_q , dan N_γ dari Terzaghi [4].

$$q_{ult} = 0.5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma + C \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q$$

$$q_{ijin} = \text{Tinggi timbunan} \times \gamma_{tanggul}$$

Pada Sel D tinggi tanggul aman untuk dibangun dengan angka keamanannya sebesar 1 yaitu setinggi 4m. Pada Sel C tinggi tanggul aman untuk dibangun dengan angka keamanannya sebesar 1 yaitu setinggi 3m.

2) Pengecekan Stabilitas Lereng Akibat Overall Stability

Pengecekan *overall stability* menggunakan program bantu Geostudio yaitu Geoslope. Terdapat beberapa macam kondisi dalam menganalisa stabilitas tanggul, diantaranya: Tanggul, Tanggul + Lift 1 dan 2, Tanggul + Lift 1, Tanggul + Lift 1, 2, dan 3.

1. Tanggul setinggi 3.5m pada Sel D memiliki angka keamanan sebesar 0.983
2. Tanggul setinggi 4.5m pada Sel D memiliki angka keamanan sebesar 0.845
3. Tanggul setinggi 6.7m pada Sel D memiliki angka keamanan sebesar 0.737
4. Tanggul setinggi 6m pada Sel C memiliki angka keamanan sebesar 0.737

H. Analisa Stabilitas Timbunan Sampah

Dalam penimbunan sampah, diperlukan pengecekan stabilitas agar timbunan sampah dapat diketahui mengalami kelongsoran atau tidak. Apabila analisis menunjukkan adanya kelongsoran, maka diperlukan perkuatan untuk meningkatkan daya dukung yang dibebani oleh timbunan sampah.

1) Timbunan Bertahap Sampah

Tinggi penimbunan harus memperhatikan tinggi timbunan kritis (H_{cr}) yang masih mampu dipikul oleh tanah dasar. Pengecekan tinggi kritis menggunakan program bantu Geoslope. Dari data yang ada volume sampah perharinya 482.04 m³/hari dan dengan luas lahan sebesar 60239 m² maka setiap minggunya TPA Lubuk Linggau akan terjadi penambahan timbunan sampah sebesar 0.055 m/minggu. Maka kecepatan penimbunan yang digunakan adalah 0,055 m/ minggu. Maka untuk mencapai tinggi timbunan 15 m dibutuhkan 281 tahap atau minggu untuk Sel D dan 298 tahap atau minggu untuk Sel C.

Pemampatan akibat beban timbunan bertahap dapat diperkirakan setelah mendapat nilai perubahan tegangan tiap minggu. Kemudian hasil pemampatan dikali dengan derajat konsolidasi tiap minggu sehingga mendapat hasil pemampatan akibat beban timbunan bertahap untuk Sel D (Gambar 9) sebesar 1.75m dan untuk Sel C (Gambar 10) sebesar 0.85m.

2) Perubahan Parameter Tanah Akibat Timbunan Sampah

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), berat jenis (γ), dan nilai C_u , angka pori ($e_{baru} = e - \Delta e$), $\Delta e = (1+e) \times (S_c/H)$, berat volume ($\gamma_{baru} = [(Gs(1+wc)) / (1+ e_{baru})] \times \gamma_w$), kohesi ($C_{baru} = 0.0737+(0.1899-0.0016 \times PI) \sigma$)

3) Pengecekan Stabilitas Lereng Akibat Daya Dukung Tanah

Timbunan sampah pada Sel D aman untuk dibangun dengan angka keamanannya sebesar 1 yaitu setinggi 8m. Pada Gambar 12 tinggi timbunan sampah pada Sel C aman untuk dibangun dengan angka keamanannya sebesar 1 yaitu setinggi 4m.

4) Pengecekan Stabilitas Lereng Akibat Internal dan Overall Stability

a. Timbunan Sampah 15m

Internal Stability Lift 2 SF = 3.251, Internal Stability Lift 3 SF = 3.275, Internal Stability Lift 2 + Lift 3 SF = 3.5, Overall Stability Lift 2 SF = 1.536, Overall Stability Lift 3 SF = 1.5.

b. Timbunan Sampah 12,9m

Internal Stability Lift 2 SF = 3.2, Internal Stability Lift 3 SF = 3.235, Internal Stability Lift 2 + Lift 3 SF = 3.6, Overall Stability Lift 2 SF = 2.417, Overall Stability Lift 3 SF = 1.893.

c. Timbunan Sampah 11,8m

Internal Stability Lift 2 SF = 3.264, Internal Stability Lift 3 SF = 3.261, Internal Stability Lift 2 + Lift 3 SF = 3.641, Overall Stability Lift 2 SF = 3.174, Overall Stability Lift 3 SF = 2.267.

I. Perencanaan Perkuatan Tanggul dan Timbunan Sampah

1) Perencanaan Geotextile

Geotekstile dapat digunakan sebagai perkuatan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar di bawah timbunan. Tinggi Tanggul 3.5 m (Sel D), kebutuhan geotextile yang didapat sebanyak 4 lapis dengan panjang geotextile di depan bidang longsor adalah 6.17 m untuk lapis pertama, dan total panjang geotextile yang dibutuhkan adalah 62.58 m (Gambar 11). Tinggi Tanggul 4.5 m (Sel D), kebutuhan geotextile yang didapat sebanyak 7 lapis dengan panjang geotextile di depan bidang longsor adalah 6.24 m untuk lapis pertama, dan total panjang geotextile yang dibutuhkan adalah 116.8 m (Gambar 12). Tinggi Tanggul 6.7 m (Sel D), kebutuhan geotextile yang didapat sebanyak 13 lapis dengan panjang geotextile di depan bidang longsor adalah 7.55 m untuk lapis pertama, dan total panjang geotextile yang dibutuhkan adalah 260.98 m (Gambar 13). Tinggi Tanggul 6 m (Sel C), kebutuhan geotextile yang didapat sebanyak 20 lapis dengan panjang geotextile di depan bidang longsor adalah 9.42 m untuk lapis pertama, dan total panjang geotextile yang dibutuhkan adalah 603.59 m (Gambar 14).

2) Perencanaan Cerucuk

Penggunaan cerucuk dimaksudkan untuk menaikkan tahanan geser tanah. Bila tahanan tanah terhadap geser meningkat, daya dukung tanah juga meningkat. Tinggi Tanggul 3.5 m (Sel D), diameter, jumlah cerucuk dan jarak pemasangan yang digunakan untuk minipile dengan tinggi tanggul 3.5 m adalah 300 mm, 2 buah cerucuk dan 0.45 m (Gambar 15). Tinggi Tanggul 4.5 m (Sel D), diameter, jumlah cerucuk dan jarak pemasangan yang digunakan untuk minipile dengan tinggi tanggul 4.5 m adalah 300 mm, 3 buah cerucuk dan 0.45 m (Gambar 16). Tinggi Tanggul 6.7 m (Sel D), diameter, jumlah cerucuk dan jarak pemasangan yang digunakan untuk minipile dengan tinggi tanggul 6.7 m adalah 300 mm, 5 buah cerucuk dan 0.45 m (Gambar 17). Tinggi Tanggul 6 m (Sel C), diameter, jumlah cerucuk dan jarak pemasangan yang digunakan untuk minipile dengan tinggi tanggul 6 m adalah 300 mm, 7 buah cerucuk dan 0.45 m. Tinggi Timbunan Sampah 10 m (Sel C), diameter, jumlah cerucuk dan jarak pemasangan yang digunakan untuk minipile dengan tinggi timbunan sampah setinggi 10 m

adalah 300 mm, 5 buah cerucuk dan 0.45 m. Tinggi Timbunan Sampah 15 m (Sel C), diameter, jumlah cerucuk dan jarak pemasangan yang digunakan untuk minipile dengan tinggi timbunan sampah setinggi 15 m adalah 300 mm, 7 buah cerucuk dan 0.45 m.

V. KESIMPULAN

Dari analisa yang didapatkan, maka hasilnya adalah sebagai berikut: (1) Kondisi eksisting sel C dan D dibandingkan dengan Per.Men PU No 3 Tahun 2013 akan jadi pertimbangan dalam perencanaan TPA. Kemiringan lahan untuk sel diisyaratkan kurang dari 20%. Pada sel C kemiringan lahan adalah 12-20%, pada sel D 6.5-23%. Jarak terhadap badan air lebih dari 100 m. Untuk sel C memiliki jarak sejauh 15 m dan sel D sejauh 300 m. Jarak terhadap pemukiman lebih dari 1000 m. Jarak sel C sejauh 900 m dan untuk sel D sejauh 500 m. Kondisi geologi yang diisyaratkan tidak berada di daerah sesar atau patahan yang masih aktif seperti gunung berapi. Sel C dan sel D tidak berada di daerah gunung berapi; (2) Tanggul Sel D memiliki beberapa ketinggian. Tinggi tanggul yang dianalisis adalah 3.5 m, 4.5 m, dan 6.7 m. Tanggul Sel C memiliki ketinggian 6m. Kedua sel memiliki tanggul dengan lebar atas yaitu 13.8 m dan lebar bawah tanggul yaitu 25.8 m. Timbunan sampah sel D variasi ketinggian sampah, yaitu dengan tinggi 11.8 m, 12.9 m, dan 15 m. Untuk sampah dengan tinggi 11.8 m, lift 1 memiliki tinggi 1.8m dan lift 2 serta 3 memiliki tinggi 5 m. Untuk sampah setinggi 12.9 m, lift 1 memiliki tinggi 2.9m dan lift 2 serta 3 memiliki tinggi 5 m. Untuk sampah dengan tinggi 15 m, lift 1, 2, dan 3 memiliki tinggi 5m. Timbunan sampah sel C memiliki tinggi timbunan sampah 15 m dengan tinggi tiap lift nya adalah 5 m; (3) Pemampatan tanah dasar pada sel D akibat tanggul setinggi 3.5 m sebesar 0.276 m. Akibat tanggul setinggi 4.5 m sebesar 0.311 m dan untuk tanggul setinggi 6.7 m sebesar 0.367 m. Pemampatan tanah dasar pada sel C akibat tanggul setinggi 6 m sebesar 1.053 m. Pemampatan tanah dasar pada sel D akibat timbunan sampah setinggi 11.8 m sebesar 0.379 m. Akibat timbunan sampah setinggi 12.9 m sebesar 0.391 m dan untuk tanggul setinggi 15 m sebesar 0.412 m. Pemampatan tanah dasar pada sel C akibat timbunan sampah setinggi 15 m sebesar 1.288 m. (4) Tanggul dengan tinggi 3.5 m memiliki SF sebesar 0.983. Perkuatan tanah dengan geotextile digunakan tensile 55.79 kN/m dengan jumlah 4 lapis dengan panjang total 62.584 m. Perkuatan dengan minipile membutuhkan 2 buah cerucuk dengan panjang 6 m dan jarak pemasangannya 0.45 m. Tanggul dengan tinggi 4.5 m memiliki SF sebesar 0.845. Perkuatan tanah dengan geotextile berjumlah 7 lapis dengan panjang total 116.8 m. Perkuatan dengan minipile membutuhkan 3 buah cerucuk dengan panjang 6 m dan jarak pemasangannya 0.45 m. Tanggul dengan tinggi 6.7 m memiliki SF sebesar 0.737. Perkuatan tanah dengan geotextile berjumlah 13 lapis dengan panjang total 260.98 m. Perkuatan dengan minipile membutuhkan 5 buah cerucuk dengan panjang 6 m dan jarak pemasangannya 0.45 m 20 lapis dengan panjang total 603.59 m. Perkuatan minipile membutuhkan 7 buah cerucuk dengan panjang 7 m dan jarak pemasangannya 0.45 m; (4) Tanggul Sel C memiliki ketinggian 6 m. Tanggul dengan tinggi 6 m memiliki SF sebesar 0.436 Perkuatan tanah dengan geotextile berjumlah 20 lapis dengan panjang total 603.59 m. Perkuatan

dengan minipile membutuhkan 7 buah cerucuk dengan panjang 7 m dan jarak pemasangannya 0.45 m. Hasil analisis timbunan sampah sel D baik *internal stability* maupun *overall stability* nya menghasilkan $SF > 1.5$. Maka timbunan sampah dianggap aman. Hasil analisis timbunan sampah sel C memiliki nilai $SF > 1.5$ untuk pengecekan *internal stability* nya. Untuk *overall stability* nya dibutuhkan perkuatan menggunakan minipile. Terdapat 2 kondisi *overall stability* yang pertama *overall stability* akibat penimbunan *lift* 1 dan 2 sampah serta yang kedua *overall stability* akibat penimbunan *lift* 1, 2 dan 3. Pada kondisi pertama, timbunan sampah memiliki SF sebesar 1.008. Perkuatan dengan minipile membutuhkan 5 buah cerucuk dengan panjang 9 m dan jarak pemasangannya 0.45 m. . Pada kondisi kedua, timbunan sampah memiliki SF sebesar 1.014. Perkuatan dengan

minipile membutuhkan 7 buah cerucuk dengan panjang 8 m dan jarak pemasangannya 0.45 m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. A. C. Tarigan, I. B. Mochtar, and others, "Rekomendasi solusi untuk mengatasi kelongsoran pada lereng jalan akses PLTA Musi (KM 5 dan KM 8) dengan pendekatan Cracked Soil," *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 2, pp. C265--C271, 2021.
- [2] Menteri Pekerjaan Umum, "PerMen Pekerjaan Umum No. 3 Tahun 2013 Tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga." Menteri Pekerjaan Umum, Jakarta, 2013.
- [3] M. Das Braja, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, 1st ed. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1988.
- [4] A. R. Mohammad, "Analisis Penilaian Stabilitas Timbunan dan Perkuatan Tanah pada TPA Ngipik Gresik," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020.