

## PENGARUH JENIS TANAH TERHADAP KESTABILAN DINDING MSE DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL DI DAERAH REKLAMASI MALALAYANG

Roski R.I. Legrans

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi

### ABSTRAK

Kawasan reklamasi yang terletak di wilayah pesisir kecamatan Malalayang menggunakan 3 (tiga) macam tanah yang diambil dari 3 (tiga) lokasi berbeda. Hasil pemeriksaan laboratorium terhadap ketiga tanah tersebut menunjukkan bahwa ketiganya memiliki jenis tanah yang berbeda, yakni jenis tanah pasir, pasir berlanau dan lempung. Untuk menjaga struktur *embankment* pada reklamasi tetap stabil, digunakan konstruksi dinding MSE (*Mechanically Stabilized Earth*) dengan menggunakan perkuatan geotekstil. Pengaruh ketiga jenis tanah yang digunakan sebagai material timbunan terhadap kestabilan dinding MSE dengan perkuatan geotekstil dianalisa terhadap kestabilan eksternal (*gelincir, guling dan daya dukung*) dan internal (*tarik*) dengan menggunakan metode AASHTO 2012. Hasil analisa menunjukkan bahwa jenis tanah pasir yang diambil dari Kalasey adalah yang paling cocok dengan konstruksi dinding MSE dengan perkuatan geotekstil karena memberikan faktor keamanan yang memenuhi terhadap kegagalan tarik ( $>1,5$ ), terhadap kegagalan *gelincir* ( $>1,5$ ), terhadap kegagalan *guling* ( $>2,0$ ) dan terhadap kegagalan daya dukung ( $>2,5$ ).

Kata kunci : MSE, geotekstil, reklamasi

### 1. Latar Belakang

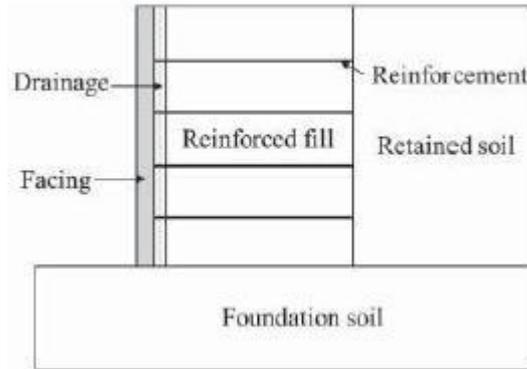
Pesatnya pertumbuhan ekonomi di kota Manado dan sekitarnya telah memicu terjadinya pembangunan infrastruktur yang berkesinambungan sehingga dapat menunjang jalannya perekonomian kota Manado. Kondisi topografi kota Manado yang berombak dengan kemiringan 8-15 % menyebabkan pusat perekonomian berpusat di pesisir pantai kota Manado. Sejak 20 tahun terakhir kondisi ini telah mendorong pengembangan kawasan pesisir kota Manado melalui konsep reklamasi pantai. Reklamasi pantai di kota Manado saat ini terbentang dari wilayah pesisir kecamatan Malalayang sampai dengan wilayah pesisir kecamatan Tuminting. Reklamasi pantai merupakan upaya menambah luas lahan dengan bentang pantai dan jarak tertentu ke arah perairan sesuai kebutuhan yang diinginkan. Reklamasi ditempuh dengan melakukan penimbunan pada wilayah perairan sehingga membentuk daratan yang baru. Daratan yang baru ini nantinya akan difungsikan sebagai tempat pembangunan infrastruktur gedung, jalan maupun jembatan, sehingga kapasitas daya dukung material timbunan menjadi salah satu faktor penentu kestabilan struktur gedung, jalan dan jembatan. Banyaknya situs pengambilan tanah maupun batuan untuk reklamasi pantai Manado menyebabkan bervariasinya sifat-sifat teknik maupun perilaku dari material tanah dan batuan kawasan reklamasi. Tidak semua situs pengambilan memberikan material tanah dengan sifat-sifat teknik serta perilakunya yang dapat menjadikan tanah tersebut memiliki daya dukung yang baik.

Selain itu, *embankment* yang merupakan struktur reklamasi harus stabil saat memikul beban kerja. Untuk menjaga struktur *embankment* tetap stabil, berbagai metode perkuatan dapat digunakan. Salah satu metode perkuatan tersebut adalah dinding *mechanically stabilized earth* atau dinding MSE dengan perkuatan geosintetik dan/atau perkuatan metalik.

Sa'pang (2015) telah melakukan penelitian studi kasus terhadap kestabilan struktur *embankment* pada kawasan reklamasi di wilayah kecamatan Malalayang dengan membandingkan 3 (tiga) macam tanah dari 3 (tiga) situs pengambilan sebagai tanah *embankment*. Dengan menggunakan 3 (tiga) macam tanah tersebut, dilakukan penulisan untuk mengetahui kestabilan *embankment* jika menggunakan dinding MSE dengan perkuatan geosintetik tipe geotekstil di daerah reklamasi wilayah pesisir kecamatan Malalayang.

### 2. Konsep Dinding MSE (*Mechanically Stabilized Earth*)

Dinding MSE mulai digunakan sejak tahun 1960an pada pekerjaan infrastruktur transportasi. Dinding MSE memiliki kemiringan pada sisi depan yang lebih besar dari 70°, serta memiliki sistem drainase di belakang dinding, dengan situasi tanah di sekitar dinding yakni tanah dasar (*foundation soil*), tanah timbunan yang diberi perkuatan (*reinforced fill*) dan tanah yang ditahan (*retained soil*). Komponen-komponen dinding MSE dengan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Komponen-komponen Dinding MSE (Han, 2015)

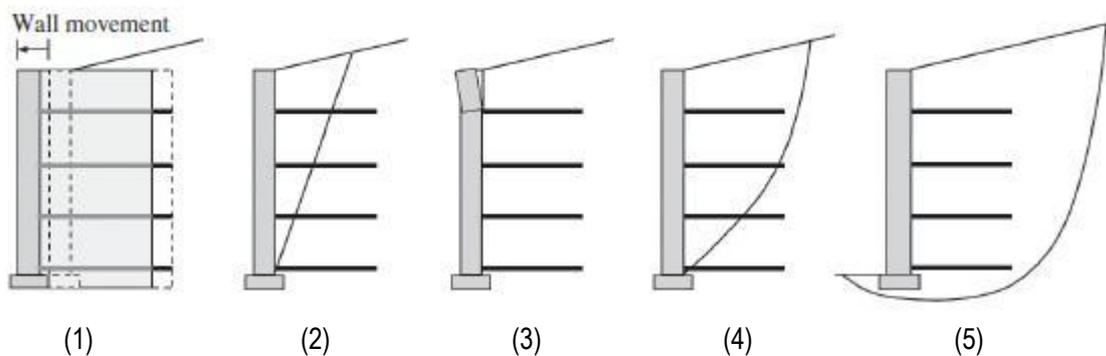
Dinding MSE dapat berupa konstruksi bronjong, blok modul dan panel beton. Perkuatannya dapat berupa perkuatan dari bahan geosintetik (geogrid atau getekstil) atau dari bahan metalik (baja batangan atau jaring baja), dimana perkuatan ini memiliki fungsi utama yakni menghasilkan tegangan tarik untuk memperkecil pergerakan aktif tanah timbunan dan menjaga kestabilan dinding. Lapisan drainase dapat pula dipasang di belakang tanah timbunan untuk mengurangi penambahan tekanan air pori agar sehingga kestabilan eksternal dinding MSE tetap terjaga. Sebagai material tanah timbunan yakni tanah berbutir kasar dengan nilai  $IP < 6$ . Han (2015) mengemukakan bahwa dinding MSE memiliki performans yang baik terhadap gempa karena fleksibilitasnya.

Dinding MSE memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya yakni dinding MSE mudah dikerjakan dan tidak membutuhkan alat berat yang besar, efektif terhadap biaya, serta memiliki penurunan diferensial yang lebih kecil dibanding dengan konstruksi dinding penahan tipe *gravity walls*. Kekurangan dinding MSE yakni durabilitas material perkuatan (tipe geosintetik dan

tipe metalik) terhadap sifat kimia tanah timbunan dapat mengurangi umur layan dinding MSE. Selain itu, kegagalan dinding MSE disebabkan oleh buruknya sistem drainase yang dipasang dan ketidakstabilan dinding MSE secara global.

### 3. Prinsip Dinding MSE

Dinding MSE memiliki 5 (lima) tipe kegagalan, yakni (1) kegagalan eksternal; (2) kegagalan internal; (3) kegagalan lokal; (4) kegagalan kombinasi (kombinasi antara tipe 1, 2 dan 3), dan (5) kegagalan global. Kegagalan eksternal yakni kegagalan terhadap geser, guling dan daya dukung. Kegagalan internal disebabkan oleh kegagalan akibat retak, kegagalan tarik dan kegagalan sambungan pada perkuatan. Kegagalan lokal disebabkan oleh besarnya jarak antar perkuatan yang dipasang sehingga menyebabkan terjadinya kegagalan guling dan kerusakan dinding MSE. Kegagalan kombinasi dan kegagalan global berkaitan dengan keruntuhan lereng, dimana bidang keruntuhan berada sebagian pada zona perkuatan atau di luar zona perkuatan.

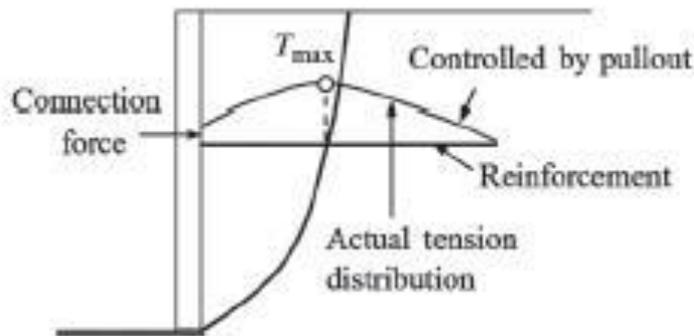


Gambar 2. Tipe Kegagalan Dinding MSE : (1) Eksternal; (2) Internal; (3) Lokal; (4) Kombinasi; (5) Global (Han, 2015)

Tanah timbunan yang diberi perkuatan memiliki zona aktif dan zona stabil, dimana keduanya dipisahkan oleh bidang gelincir. Zona aktif cenderung untuk bergeser ke bawah, disebabkan oleh berat sendiri dinding MSE. Perkuatan yang berada pada zona stabil memberikan tegangan tarik yang dapat menstabilkan zona aktif. Perkuatan tipe metalik memiliki kekakuan tarik yang lebih besar dari tipe geosintetik. Kekakuan tarik yang besar meminimalisir pergerakan dinding MSE, sebaliknya kekakuan tarik yang kecil (pada tipe geosintetik) menyebabkan tingginya pergerakan dinding

MSE. Lebih jauh lagi, kekakuan tarik yang besar menyebabkan bidang gelincir berada semakin dekat pada dinding MSE, dan kekakuan tarik yang kecil menyebabkan bidang gelincir lebih jauh berada pada tanah timbunan.

Han dan Leschinsky (2006) mengemukakan bahwa hasil eksperimen dan teori menunjukkan bahwa tegangan tarik maksimum yang dihasilkan dari tiap perkuatan terjadi pada sepanjang bidang gelincir dan tegangan tarik semakin mengecil pada zona stabil dan pada bagian belakang dinding MSE.



Gambar 3. Potensi Bidang Gelincir dan Tegangan Tarik pada Perkuatan (Han, 2015)

Untuk menganalisa dinding MSE dengan perkuatan tipe geosintetik terhadap kestabilan eksternal, teori tekanan tanah aktif dari Rankine atau Coulomb digunakan untuk menghitung distribusi tekanan tanah lateral aktif. Koefisien tekanan tanah aktif dari Coulomb yakni :

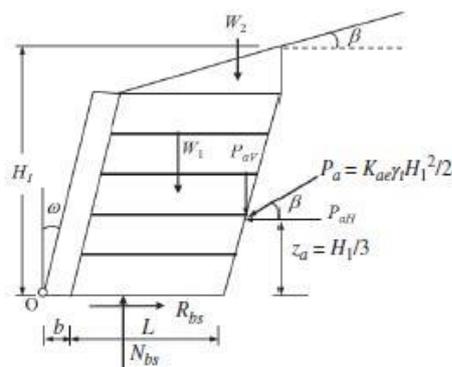
$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\varphi_t + \omega)}{\cos^2\omega \cdot \cos(\omega - \delta) \left[ 1 + \frac{\sin(\varphi_t + \delta) \cdot \sin(\varphi_t - \beta)}{\cos(\omega - \delta) \cdot \cos(\omega + \beta)} \right]^2} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :  $\omega$  = kemiringan dinding ;  $\beta$  = sudut kemiringan lereng di atas dinding MSE;  $\varphi_t$  = sudut geser dalam tanah yang ditahan;  $\delta$  = sudut geser pada bidang kontak antara tanah timbunan dan tanah yang ditahan.

AASHTO (2012) mengasumsi bahwa tekanan tanah aktif terhadap dinding MSE membentuk sudut yang sama dengan kemiringan lereng di atas dinding MSE. Selain itu, AASHTO (2012) menyarankan untuk menggunakan nilai  $\delta = \beta$  atau  $\delta \leq 2/3$  dari nilai sudut geser dalam (terkecil antara  $\varphi_t$  dan  $\varphi_r$ ) untuk menghitung koefisien tekanan tanah dari Coulomb.

Jika kemiringan dinding lebih kecil dari  $10^\circ$ , perhitungan tekanan tanah aktif menggunakan koefisien tekanan tanah dari Rankine, yakni :

$$K_{ae} = \cos\beta \cdot \left[ \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi_t}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi_t}} \right] \dots (2)$$



Gambar 4. Diagram Tekanan Tanah Aktif untuk Analisa Kestabilan Eksternal (Han, 2015)

Untuk kestabilan internal, tanah timbunan yang diberi perkuatan dibagi menjadi 2 (dua) zona. Perkuatan yang berada pada zona stabil memberikan tegangan tarik terhadap zona aktif. Bidang keruntuhan, yang membagi

zona aktif dan zona stabil, membentuk sudut  $\psi$  terhadap bidang horizontal. Dengan menggunakan teori Coulomb, sudut  $\psi$  dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\tan(\psi - \varphi_r) = \frac{-\tan(\varphi_r - \beta) + \sqrt{\tan(\varphi_r - \beta) \cdot [\tan(\varphi_r - \beta) + \cot(\varphi_r + \omega)] \cdot [1 + \tan(\delta - \omega) \cdot \cot(\varphi_r + \omega)]}}{1 + \tan(\delta - \omega) \cdot [\tan(\varphi_r - \beta) + \cot(\varphi_r + \omega)]} \dots\dots\dots (3)$$

Untuk kemiringan dinding MSE yang lebih kecil dari  $10^\circ$ , sudut  $\psi$  dihitung dengan teori Rankine yakni :

$$\psi = 45^\circ + \frac{\varphi_r}{2} \dots\dots\dots (4)$$

Jika menggunakan perkuatan tipe metalik, bidang keruntuhan berubah menjadi vertikal pada pertengahan dinding MSE.

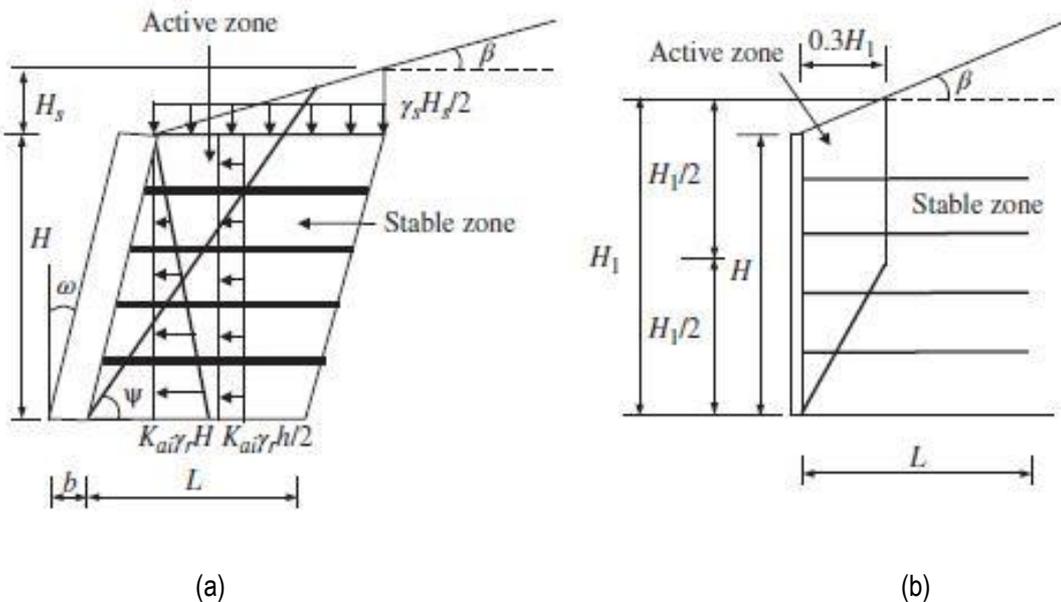
$$K_{ai} = \frac{\cos^2(\omega + \varphi_r)}{\cos^3 \omega \cdot \left[1 + \frac{\sin \varphi_r}{\cos \omega}\right]^2} \dots\dots\dots (5)$$

dan

$$K_{ai} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_r}{2}\right) \dots\dots\dots (6)$$

Untuk perkuatan dengan geosintetik, nilai  $K_{ai}$  adalah konstan pada setiap kedalaman (AASHTO, 2012).

AASHTO (2012) mengasumsi bahwa permukaan bidang kontak antara dinding MSE dengan tanah timbunan yang diberi perkuatan adalah licin, sehingga persamaan (1) dan (2) dapat disederhanakan menjadi :



Gambar 5. Diagram Tekanan Tanah Aktif dan Bidang Keruntuhan untuk Analisa Kestabilan Internal :  
(a) Perkuatan Tipe Geosintetik ; (b) Perkuatan Tipe Metalik (Han, 2015)

**4. Kestabilan Dinding MSE**

Untuk mendapatkan dinding MSE dengan perkuatan tipe geosintetik yang memenuhi persyaratan kestabilan, Holtz dkk (2008) menyarankan nilai-nilai faktor keamanan (Tabel 1) yang umumnya digunakan dalam perencanaan dinding MSE. AASHTO (2012) mensyaratkan bahwa panjang perkuatan yang dipasang harus memiliki panjang minimal 70% tinggi dinding MSE pada kondisi normal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akan mengalami deformasi yang besar apabila

panjang perkuatan lebih kecil dari 60% tinggi dinding MSE.

Analisa kestabilan eksternal dinding MSE meliputi kestabilan terhadap gelincir, terhadap guling dan terhadap daya dukung. Untuk kestabilan terhadap geser, tanah timbunan berperilaku sebagai satu massa yang menahan tekanan lateral oleh tanah yang ditahan. Faktor keamanan terhadap gelincir adalah perbandingan antara gaya yang menahan gelincir terhadap gaya yang

menyebabkan gelincir, dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$FS_{bs} = \frac{c_b \cdot L + (W_1 + W_2 + P_{av}) \cdot \tan \delta}{P_{aH}} \dots (7)$$

Dimana :  $c_b$  = kohesi tanah dasar;  $\delta$  = sudut geser antara dinding MSE dan tanah dasar. Faktor keamanan terhadap guling adalah perbandingan antara momen penahan guling terhadap momen yang menyebabkan guling, dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$FS_{ot} = \frac{W_1 \cdot x_1 + W_2 \cdot x_2 + P_{av} \cdot L}{P_{aH} \cdot z_a} \dots (8)$$

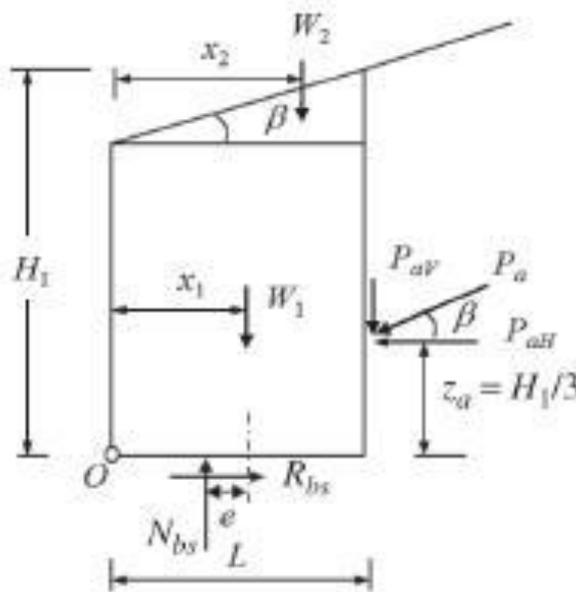
Guling yang terjadi dapat dikontrol dengan cara membatasi eksentrisitas pada dasar zona perkuatan menjadi lebih kecil dari  $1/6 \cdot L$  untuk material tanah, dan  $1/4 \cdot L$  untuk material batuan. Eksentrisitas,  $e$ , dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$e = \frac{L}{2} - \frac{W_1 \cdot x_1 + W_2 \cdot x_2 + P_{av} \cdot L - P_{aH} \cdot (H_1/3)}{W_1 + W_2 + P_{av}} \dots (9)$$

Tabel 1. Faktor Keamanan untuk Perencanaan Dinding MSE dengan Perkuatan Tipe Geosintetik

Location	Failure Mode	Requirement
External	Base sliding	FS > 1.5
	Bearing failure	FS > 2.0–2.5
	Overturning	FS > 2.0
Internal	Geosynthetic rupture	FS > 1.5
	Pullout	FS > 1.5 with 1.0 m embedment length
	Connection	FS > 1.5
Overall	Deep-seated Settlement and differential settlement	FS > 1.3
		Project-dependent
Seismic	All failure modes	FS > 75% static FS

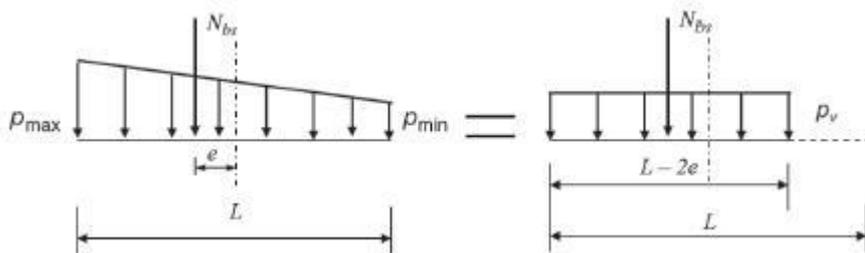
(sumber : Holtz dkk, 2008)



Gambar 6. Diagram Gaya untuk Analisa Kestabilan Eksternal (Han, 2015)

Momen yang terjadi akibat tekanan tanah aktif menyebabkan distribusi tegangan pada dasar dinding MSE menjadi tidak seragam, sehingga berakibat pada kegagalan daya dukung. Faktor keamanan untuk kestabilan terhadap daya dukung adalah perbandingan antara daya dukung tanah dasar terhadap tegangan vertikal pada dasar perkuatan tanah timbunan. Tegangan vertikal yang terjadi berupa tegangan vertikal maksimum dan minimum. Untuk memudahkan perhitungan, dapat diambil nilai ekuivalen tegangan vertikal yang dihitung dengan persamaan :

$$p_v = \frac{N_{bs}}{L - 2e} = \frac{W_1 + W_2 + P_{av}}{L - 2e} \dots\dots\dots(10)$$



Gambar 7. Ekuivalen Tegangan Vertikal (Han, 2015)

Untuk analisa kestabilan internal, setiap perkuatan memberikan gaya tarik maksimum yang dihitung melalui persamaan :

$$T_{i,max} = \frac{1}{2} \cdot (p_{ai} + p_{a(i+1)}) \cdot s_{vi}, i = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :  $s_{vi}$  = panjang distribusi tekanan lateral aktif setiap perkuatan pada dinding MSE, dapat dilihat pada Gambar 8.

Kapasitas tarik,  $T_{po}$ , dari setiap perkuatan pada tanah timbunan dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$T_{po} = 2 \cdot F^* \cdot R_c \cdot \alpha_{se} \cdot \sigma_z \cdot L_a = 2 \cdot C_i \cdot R_c \cdot \sigma_z \cdot L_a \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :  $\alpha_{se}$  = faktor tipe perkuatan (1,0 untuk perkuatan baja, 0,8 untuk perkuatan geogrid, 0,6 untuk perkuatan geotekstil);  $R_c$  = persentase cakupan perkuatan;  $\sigma_z$  = tegangan vertikal perkuatan pada kedalaman z dari permukaan;  $L_a$  = panjang perkuatan pada tanah timbunan;  $F^*$  = faktor gesekan tarik. Nilai  $F^*$  diambil berdasarkan Gambar 9;  $C_i$  = koefisien interaksi antara perkuatan dan tanah timbunan yang diperkuat =  $F^* \cdot \alpha_{se}$ .

Kestabilan internal terhadap kegagalan geosintetik dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$FS_{rp} = \frac{T_a}{T_{max}} \dots\dots\dots(15)$$

Dimana :  $T_a$  = kuat izin rencana material perkuatan, dengan mempertimbangkan faktor reduksi akibat

Daya dukung ultimit tanah dasar di bawah dinding MSE dengan lebar dasar ekuivalen sebesar  $L - 2e$  adalah :

$$q_{ult} = c_f \cdot N_c + 0,5 \cdot (L - 2e) \cdot \gamma_f \cdot N_f \dots\dots\dots(11)$$

Dengan demikian faktor keamanan terhadap daya dukung adalah :

$$F_{bc} = \frac{q_{ult}}{p_v} = \frac{c_f \cdot N_c + 0,5 \cdot (L - 2e) \gamma_f \cdot N_f}{W_1 + W_2 + P_{av}} (L - 2e) \dots\dots\dots(12)$$

rangkai (*creep*), pemasangan perkuatan, umur perkuatan geosintetik atau koreksi luas penampang terhadap korosi untuk perkuatan tipe metalik. Elias dkk (2001) mengemukakan nilai  $T_a$  dipengaruhi oleh faktor-faktor yang berkaitan dengan material perkuatan yang dipakai.

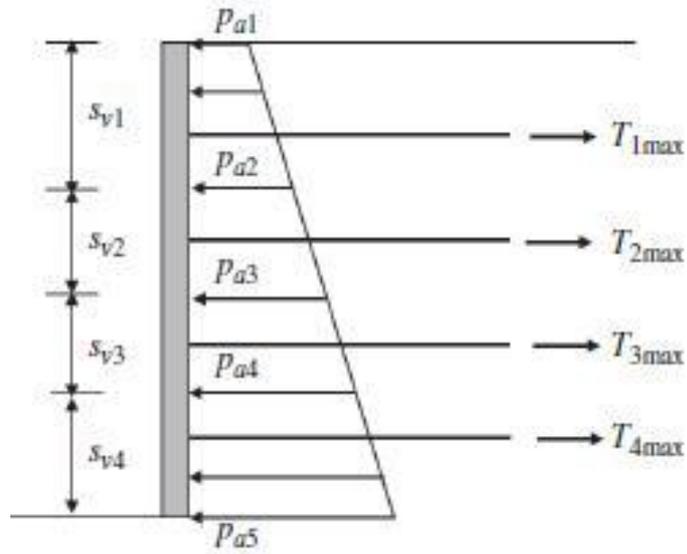
Kestabilan internal terhadap kegagalan tarik dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$FS_{po} = \frac{T_{po}}{T_{max}} \dots\dots\dots(16)$$

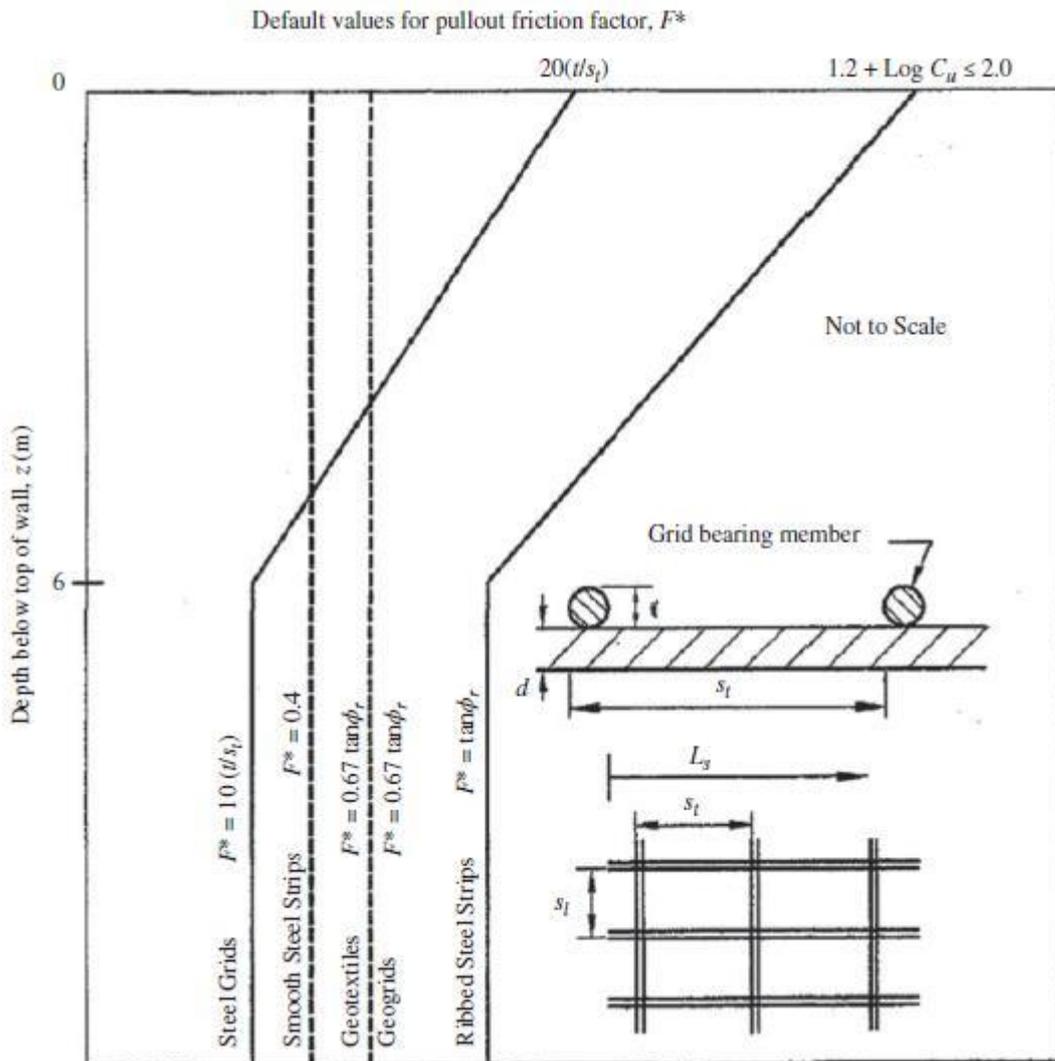
Kestabilan internal terhadap kegagalan sambungan berkaitan dengan ikatan antara perkuatan dengan dinding, dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$FS_{cn} = \frac{T_{cn}}{T_{max}} \dots\dots\dots(17)$$

Dimana :  $T_{cn}$  = kuat izin sambungan, yang diperoleh dari pengujian-pengujian sambungan (Elias dkk, 2001)



Gambar 8. Distribusi Kuat Tarik Maksimum pada Setiap Perkuatan (Han, 2015)



Gambar 9. Nilai-nilai Faktor Gesekan Tarik,  $F^*$ , berdasarkan Material Perkuatan (Elias dkk, 2001)

**5. Metode Penulisan**

Sa'pang (2015) melakukan penelitian terhadap kestabilan struktur *embankment* di daerah reklamasi wilayah kecamatan Malalayang. Tanah yang digunakan sebagai material timbunan reklamasi diambil dari 3 (tiga)

lokasi yang berbeda, yakni dari Kalasey dan 2 (dua) lokasi berbeda di Manado Ring Road I. Hasil pemeriksaan parameter-parameter tanah disajikan pada tabel berikut :

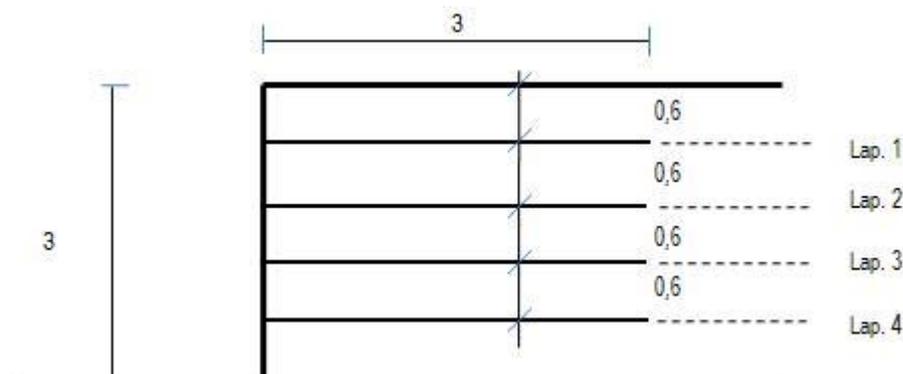
Tabel 2. Parameter-parameter Tanah

Parameter Tanah	Sumber		
	Kalasey	Ring Road - 1	Ring Road - 2
Jenis tanah	Pasir	Pasir Berlanau	Lempung
Kohesi, $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	0,7	5,8	24,1
Sudut geser dalam, $\phi$ (°)	36,14	22	23,9
Modulus Elastisitas, $E$ (kN/m <sup>2</sup> )	10000	5000	30000
Angka Poisson, $\nu$	0,1	0,1	0,3
Berat isi tanah kering, $\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> )	17	13,63	13,5
Berat isi tanah jenuh, $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	20	16,42	18,5
Permeabilitas, $k$ (m/det)	$10^{-1}$	$10^{-4}$	$10^{-8}$

(sumber : Sa'pang, 2015)

Dari Tabel 2 terlihat bahwa ketiga lokasi pengambilan ini memberikan jenis tanah yang berbeda yakni tanah pasir, pasir berlanau dan lempung. Dalam penulisan ini, ketiga macam tanah tersebut masing-masing digunakan sebagai material tanah timbunan reklamasi. Setiap tanah berfungsi sekaligus sebagai tanah dasar, tanah timbunan yang diberi perkuatan dan tanah yang ditahan. Perkuatan yang dipakai adalah geotekstil dan dinding penahan terbuat dari konstruksi bronjong. Dinding MSE direncanakan setinggi 3 m dan selebar 3 m. Perkuatan

geotekstil dipasang sebanyak 4 (empat) lapisan, dengan jarak antar lapisan yakni 0,6 m. Dinding dipasang vertikal lurus ( $\beta = 0^\circ$ ), persentase cakupan geotekstil,  $R_c = 100\%$  dan sudut gesekan antara dinding dan tanah dasar,  $\delta = \phi$ . Skema dinding MSE dengan perkuatan geotekstil di daerah reklamasi Malalayang adalah sebagai berikut :



Gambar 10. Skema Rencana Dinding MSE dengan Perkuatan Geotekstil di Daerah Reklamasi Malalayang

Beban tambahan di atas timbunan adalah beban lalu lintas sebesar 15 kN/m<sup>2</sup>. Pengaruh jenis tanah dilihat dari hasil analisa kestabilan dinding MSE dengan perkuatan geotekstil terhadap kestabilan eksternal dan kestabilan internal. Tidak tersedianya data-data pendukung untuk menghitung kuat izin rencana material perkuatan dan kuat izin rencana sambungan, menyebabkan analisa kestabilan internal hanya terbatas ditinjau pada kestabilan terhadap kegagalan tarik.

Prosedur perhitungan faktor keamanan terhadap kegagalan gelincir, guling, daya dukung dan kegagalan tarik adalah sebagai berikut :

1. Parameter kuat geser tanah seperti sudut geser dalam,  $\phi$ , dan kohesi,  $c$ , dan berat volume tanah kering,  $\gamma_{dry}$ , untuk tanah dasar, tanah timbunan dan tanah yang ditahan diambil sama untuk setiap macam tanah.
2. Perhitungan koefisien tekanan tanah aktif Rankine dengan persamaan (6).
3. Perhitungan tegangan horizontal pada setiap layer.
4. Perhitungan panjang distribusi tegangan aktif dari setiap perkuatan,  $s_{vi}$ , menurut skema rencana berdasarkan Gambar 8.
5. Perhitungan gaya tarik maksimum pada setiap lapisan perkuatan dengan menggunakan persamaan (13).
6. Perhitungan sudut bidang gelincir dengan menggunakan persamaan (4).
7. Perhitungan panjang perkuatan pada zona stabil,  $L_{ar}$ , pada setiap lapisan perkuatan berdasarkan Gambar 5.
8. Penentuan faktor gesekan tarik,  $F^*$ , menurut Gambar 9 untuk tipe geotekstil.
9. Perhitungan kapasitas tarik setiap lapisan perkuatan dengan menggunakan persamaan (14).
10. Perhitungan faktor keamanan terhadap kegagalan tarik dengan menggunakan persamaan (16).
11. Perhitungan koefisien tekanan tanah aktif Rankine dengan persamaan (2).
12. Perhitungan tekanan lateral aktif akibat tanah timbunan dan beban tambahan (beban lalu lintas).
13. Perhitungan gaya vertikal akibat berat tanah dan beban tambahan.
14. Perhitungan gaya-gaya penahan gelincir, gaya-gaya penyebab gelincir dan faktor keamanan terhadap kegagalan gelincir dengan menggunakan persamaan (7).
15. Perhitungan momen penahan guling, momen guling dan faktor keamanan terhadap kegagalan guling dengan menggunakan persamaan (8).
16. Perhitungan eksentrisitas dengan menggunakan persamaan (9), ekuivalen tegangan vertikal dengan persamaan (10), daya dukung ultimit tanah dasar dengan persamaan (11), dan faktor keamanan terhadap kegagalan daya dukung dengan persamaan (12).

## 6. Hasil dan Pembahasan

Hasil perhitungan gaya tarik maksimum, kapasitas tarik dan faktor-faktor keamanan dari setiap tanah yang digunakan pada konstruksi dinding MSE disajikan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 3. Gaya Tarik Maksimum,  $T_{max}$ , setiap Lapisan Perkuatan (kN/m)

Tanah	Lapisan			
	1	2	3	4
Kalasey	5,26	5,48	7,06	13,55
Ring Road - 1	8,65	8,56	10,79	20,37
Ring Road - 2	8,03	7,93	14,74	28,94

(sumber : hasil analisa)

Tabel 4. Kapasitas Tarik,  $T_{po}$ , setiap Lapisan Perkuatan (kN/m)

Tanah	Lapisan			
	1	2	3	4
Kalasey	7,79	18,24	31,36	47,15
Ring Road - 1	1,48	3,83	7,05	6,69
Ring Road - 2	1,84	4,68	8,51	13,35

(sumber : hasil analisa)

Tabel 5. Faktor-faktor Keamanan terhadap Kegagalan Eksternal dan Internal

Tanah	Faktor Keamanan						
	FS <sub>po</sub> pada Lapisan :				FS <sub>bs</sub>	FS <sub>ot</sub>	FS <sub>bc</sub>
	1	2	3	4			
Kalasey	1,48	3,33	4,44	3,48	3,56	6,18	17,52
Ring Road - 1	0,17	0,45	0,65	0,33	1,02	3,14	2,88
Ring Road - 2	0,23	0,59	0,58	0,46	1,20	3,36	8,61

(sumber : hasil analisa)

Hasil analisa gaya tarik maksimum menunjukkan bahwa jenis tanah lempung (Ring Road – 2) memberikan gaya tarik maksimum terbesar dibandingkan jenis tanah pasir berlanau (Ring Road – 1) dan pasir (Kalasey). Nilai sudut geser dalam,  $\phi$ , yang kecil memberikan nilai koefisien tekanan tanah aktif yang besar, sehingga tegangan horizontal pada setiap lapisan semakin besar dengan bertambahnya kedalaman. Tegangan horizontal yang besar memberikan nilai gaya tarik maksimum yang besar. Hasil analisa kapasitas tarik,  $T_{po}$ , menunjukkan bahwa jenis tanah pasir (Kalasey) memberikan kapasitas tarik terbesar dibandingkan jenis tanah pasir berlanau dan lempung. Nilai sudut geser dalam,  $\phi$ , yang besar memberikan nilai faktor gesekan tarik yang besar. Ini disebabkan tipe perkuatan geotekstil memiliki nilai faktor gesekan tarik yang bergantung pada nilai sudut geser dalam. Semakin besar nilai sudut geser dalam maka semakin besar nilai faktor gesekan tarik,  $F^*$ , sehingga memungkinkan untuk mendapatkan kapasitas tarik yang besar. Untuk kestabilan terhadap kegagalan tarik, hasil analisa faktor kermanan terhadap kegagalan tarik, FS<sub>po</sub>, pada Tabel 5 menunjukkan bahwa jenis tanah pasir yang berasal dari Kalasey lebih tepat digunakan sebagai material tanah timbunan yang diberi perkuatan geotekstil karena memiliki faktor keamanan yang besar (>1,5).

Hasil analisa kestabilan terhadap kegagalan gelincir menunjukkan bahwa jenis tanah pasir (Kalasey) memiliki

nilai faktor keamanan yang memenuhi (>1,5). Meskipun pada situasi perencanaan yang sama, tetapi parameter tanah yang berbeda memberikan hasil yang berbeda untuk kestabilan terhadap kegagalan gelincir. Berat volume tanah kering pada tanah Kalasey yang terbesar dari ketiga jenis tanah yang digunakan, serta nilai  $\delta$  yang terbesar memberikan kontribusi yang baik pada perlawanan terhadap gelincir.

Pada kegagalan terhadap guling, ketiga jenis tanah ini memberikan nilai faktor keamanan yang memenuhi (>2,0). Perencanaan dinding MSE dengan lebar perkuatan yang ada memberikan nilai perlawanan terhadap guling yang besar, sehingga menghasilkan faktor keamanan yang memenuhi. Untuk kestabilan terhadap kegagalan daya dukung, semua jenis tanah mampu memberikan nilai daya dukung yang tinggi ketika digunakan sebagai tanah dasar. Dengan demikian, faktor keamanan terhadap kegagalan daya dukung dapat memenuhi persyaratan (>2,5).

Secara keseluruhan, hasil analisa menunjukan bahwa material tanah yang cocok digunakan sebagai timbunan pada kawasan reklamasi di wilayah Malalayang dengan menggunakan dinding MSE dengan perkuatan geotekstil sebagai pengaman *embankment*, adalah jenis tanah pasir yang berasal dari Kalasey.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (2012). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. Section 11: Walls, Abutments, and Piers. America Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- Elias, V., Christopher, B.R., and Berg, R.R. (2001). *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines*, FHWA-NHI-00-043. Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Han, J. (2015). *Principles and Practice of Ground Improvement*. John Wiley and Sons, Canada.
- Han, J. and Leshchinsky, D. (2006). *General analytical framework for design of flexible reinforced earth structures*. J. Geotech. Geoenviron. Eng.,132(11): 1427–1435.
- Holtz, R.D., Christopher, B.R., and Berg, R.R. (2008). *Geosynthetic Design and Construction Guidelines—Reference Manual*. Publication No. FHWA NHI-07-092, National Highway Institute, Washington, DC.
- Sa'pang, R.O. (2015). *Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Kestabilan Struktur Embankment Di Daerah Reklamasi (Studi Kasus : Malalayang)*. Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado.