

ANALISIS DEFORMASI LATERAL MSE WALL DENGAN PERKUATAN GEOGRID TERHADAP VARIASI JENIS MATERIAL TIMBUNAN

Charisma Aziza¹ dan Andryan Suhendra²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
charisma.325180085@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
andryans@dt.untar.ac.id

Masuk: 19-01-2022, revisi: 11-02-2022, diterima untuk diterbitkan: 22-02-2022

ABSTRACT

The advantages of MSE walls are simple construction techniques, have aesthetic value and material resistance and are more economical. In this study, analysis was carried out on variations in anchor length, tensile strength and vertical spacing of the reinforcement elements, namely the geogrid, which was then modeled with sand and clay reinforcement soil. The analysis is carried out with the help of a finite element program, which will result in the value of the lateral deformation of the wall. Based on the analysis, the anchor length and tensile strength of the geogrid, the greater the anchor length and tensile strength, the smaller the resulting lateral deformation. Whereas at vertical distance, the results obtained are just the opposite. The results also show that the use of clay soils tends to be more stable in resisting lateral forces than sandy soils. Then in an effort to reduce the value of lateral deformation that occurs, further considerations can be focused on the selection of tensile strength or vertical spacing rather than the length of the anchorage. The results also produce a correlation equation that can be used to predict and determine the value of horizontal deformation according to the desired variation value.

Keywords: MSE wall; finite element method; deformation; geogrids; reinforcement soil

ABSTRAK

Kelebihan dinding MSE ialah teknik konstruksi yang sederhana, punya nilai estetika dan ketahanan material serta lebih ekonomis. Pada penelitian ini, analisis dilakukan terhadap variasi panjang penjangkaran, kuat tarik dan spasi vertikal elemen perkuatannya yaitu geogrid, yang kemudian dimodelkan dengan tanah perkuatan pasir dan lempung. Analisis dilakukan dengan bantuan program metode elemen hingga, yang akan menghasilkan nilai deformasi lateral dari dinding MSE untuk dianalisis. Berdasarkan analisis, pada panjang penjangkaran dan kuat tarik geogrid, semakin besar nilai panjang penjangkaran dan kuat tariknya, maka semakin kecil deformasi lateral yang dihasilkan. Sedangkan pada jarak vertikal, hasil yang didapat justru sebaliknya. Perbandingan hasil juga didapat dari dua jenis tanah perkuatan yang berbeda, yang mana dapat disimpulkan bahwa penggunaan jenis tanah lempung cenderung lebih stabil dalam menahan gaya lateral dibandingkan dengan jenis tanah pasir. Kemudian untuk upaya mengurangi nilai deformasi lateral yang terjadi, pertimbangan lebih lanjut dapat difokuskan pada pemilihan kuat tarik ataupun spasi vertikalnya dibanding pada panjang penjangkarannya. Dari hasil analisis juga menghasilkan persamaan korelasi sehingga dapat digunakan untuk memprediksi dan menentukan nilai deformasi horizontal sesuai dengan nilai variasi yang diinginkan.

Kata kunci: dinding MSE; metode elemen hingga; deformasi; geogrid; tanah perkuatan

1. PENDAHULUAN

Wilayah lereng merupakan daerah yang rawan terhadap longsor. Tanah longsor terjadi karena kapasitas atau kekuatan geser dari suatu massa tanah tidak mampu menahan beban kerja yang terjadi. Dapat juga dikatakan sebagai meningkatnya tegangan geser atau menurunnya kekuatan geser suatu massa tanah. (Ganda & Roesyanto, 2012)

Struktur penahan tanah merupakan salah satu solusi dari masalah tanah longsor yang ada. Salah satu struktur penahan tanah yang diambil dalam penelitian ini ialah dinding *Mechanically Stabilized Earth (MSE wall)*. Pemilihan tersebut didasari karena dinding MSE ini terkenal fleksibel sebagai alternatif pengganti DPT konvensional seperti DPT tipe gravitasi atau DPT dinding kantilever. Dinding *MSE* dapat menawarkan teknik pembangunan konstruksi yang sederhana, memiliki nilai estetika, ketahanan material serta lebih ekonomis. (Leshchinsky & Han, 2004)

Penutup muka dinding MSE memiliki beberapa tipe antara lain beronjong, panel beton pracetak segmental, unit dinding blok modular cetak kering, penutup muka dengan geosintetik serta penutup muka dari logam. (Badan Standarisasi Nasional, 2017). Pada penelitian kali ini, dipilih jenis penutup muka unit blok modular cetak kering. Sedangkan untuk elemen perkuatan dari dinding MSE sendiri dipilih perkuatan dengan geogrid *biaxial*.

Analisis pada penelitian ini menghubungkan deformasi yang terjadi dengan panjang penjangkaran, kuat tarik, dan spasi vertikal elemen perkuatannya untuk divariasikan dalam dua jenis material timbunan yang berbeda, yaitu pasir dan lempung. Pemilihan analisis dilakukan terhadap variabel deformasi dikarenakan deformasi merupakan parameter penting yang berhubungan dengan berkurangnya tegangan atau kekuatan dari suatu massa tanah. Selain itu, deformasi dinding juga terjadi karena hilangnya kekakuan yang disebabkan oleh korosi. (Emmanuel et al., 2013). Hilangnya kekakuan dinding serta berkurangnya kekuatan suatu massa tanah memungkinkan terjadinya kegagalan pada struktur penahan tanah, sehingga deformasi merupakan suatu variabel yang penting untuk dianalisis.

Proses penelitian dilakukan dengan metode studi literatur serta penggunaan *software* pelengkap seperti program metode elemen hingga ataupun *software* pendukung lainnya. Hasil akhir dari penelitian akan berupa suatu korelasi dari beberapa variabel yang dihubungkan dalam grafik, yang kemudian dapat diambil kesimpulan setelahnya. Hasil penelitian tersebut diharapkan dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang khususnya dalam bidang konstruksi pembangunan Dinding MSE kedepannya.

Batasan masalah

Penulis membatasi masalah yang akan ditinjau pada hal-hal berikut ini:

1. Data parameter desain tanah timbunan mengacu pada parameter tanah yang umum yang bersumber dari buku dan sumber lainnya dengan dua jenis tanah timbunan yaitu lempung (*clay*) dan pasir (*sand*).
2. Analisis dilakukan tanpa memasukkan beban tambahan seperti beban luar dan beban gempa.
3. Analisis dilakukan tanpa memperhitungkan muka air tanah.
4. Umur rencana material geosintetik diasumsikan sebesar 120 tahun.
5. Tanah dasar diasumsikan stabil sehingga tidak terjadi kegagalan pada tanah dasar.
6. Perencanaan dinding MSE menggunakan facing dengan jenis unit dinding blok modular cetak kering.
7. Perencanaan dinding MSE mengikuti aturan yang terdapat pada SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik.
8. Analisis menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga.

Rumusan masalah

Rumusan masalah dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil korelasi deformasi dengan panjang penjangkaran elemen perkuatan geogrid yang divariasikan dengan 2 jenis timbunan berbeda?
2. Bagaimana hasil korelasi deformasi dengan kuat tarik elemen perkuatan geogrid yang divariasikan dengan 2 jenis timbunan berbeda?
3. Bagaimana hasil korelasi deformasi dengan spasi vertikal elemen perkuatan geogrid yang divariasikan dengan 2 jenis timbunan berbeda?

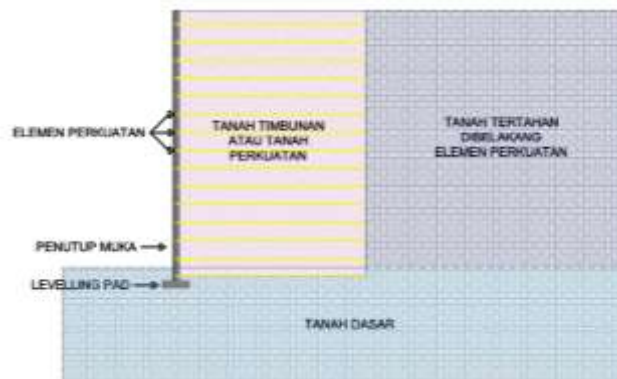
Tujuan penelitian

Tujuan penelitian ini ialah agar mengetahui atau mendapatkan korelasi antar variabel deformasi lateral dinding dengan panjang penjangkaran, kuat tarik, dan spasi vertikal elemen perkuatan yang divariasikan dengan dua jenis timbunan berbeda. Kemudian juga menjadi referensi dalam memanfaatkan penggunaan *software* metode elemen hingga sebagai penunjang dalam analisis struktur penahan tanah kedepannya.

Dinding *mechanically stabilized earth* (MSE wall)

Dinding penahan tanah yang distabilkan secara mekanis (*mechanically stabilized earth*) adalah struktur komposit yang terdiri dari lapisan-lapisan urugan yang dipadatkan dan elemen perkuatan tanah secara bergantian yang dipasang pada penutup muka dinding. Stabilitas sistem dinding berasal dari interaksi antara timbunan dan perkuatan tanah yang melibatkan gesekan dan tegangan. (The Reinforced Earth, 2021)

Penggunaan dinding penahan MSE telah mendapatkan popularitas sebagai alternatif untuk dinding beton cor di tempat yang konvensional. Konstruksi dinding MSE hemat biaya, membutuhkan persiapan lokasi yang lebih sedikit, dan secara teknis lebih layak dibandingkan dengan dinding penahan beton konvensional. (Elias et al., 2001) . Ilustrasi desain dinding MSE yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Typical* dinding MSE

Ketentuan perencanaan dinding MSE

Hal yang perlu diperhatikan saat perencanaan pada dinding MSE ialah sebagai berikut:

1. *Penutup muka (facing)*
Untuk unit dinding blok modular memiliki ukuran relatif kecil dengan berat per unit antara 15 kg sampai 50 kg. Tinggi per satuan unit sebesar 10 cm sampai 20 cm, lebar 20 cm sampai 40 cm, dan tebal 20 cm sampai 60 cm. (Badan Standarisasi Nasional, 2017). Unit muka MSE dinding blok modular (MBW) memiliki dimensi tipikal 4-5 inci (100 hingga 375 mm) untuk tinggi, 8-18 inci (200 hingga 450 mm) untuk panjang permukaan yang terbuka (lebar), dan 8-24 inci (200 hingga 600 mm) untuk panjang mendalamnya (tegak lurus dengan permukaan dinding). (FHWA, 2009)
2. *Leveling pad*
Mutu dan ketebalan beton harus mampu menahan beban sehingga dapat terjadi keretakan untuk mengurangi konsentrasi tegangan yang terjadi selama penurunan setempat atau lokal. (Salim & Suhendra, 2021)
Leveling pad atau alas perata umumnya terbuat dari material beton (dengan mutu biasanya 2500 psi atau 17,2 MPa). Ketebalan *leveling pad* biasanya sebesar 6 inci (150 mm), akan tetapi lebarnya harus memiliki ukuran lebih besar dan minimal 3 inci (150 mm). Toleransi untuk kerataan alas perata adalah 1/8 inci (3 mm) untuk setiap 10 kaki (3 m). (FHWA, 2009)
3. *Embedment*
Terdapat dua tipe *embedment* yaitu *embedment* dengan ketinggian tanah yang rata dan dengan kemiringan. Pada semua kemiringan, minimum terbenamnya penutup muka (D_m) ialah sebesar 2 feet (0,6 m) dan pada lereng di muka dinding MSE yang horizontal D_m memiliki ketentuan $H_e/20 > 0,35$ m, yang mana H_e adalah tinggi efektif dinding, dihitung dari permukaan *leveling pad*. (FHWA, 2009)
4. *Elemen perkuatan*
Syarat geometri perkuatan yang tertera pada SNI 8460 antara lain:
 - Linear satu arah: misal pita geosintetik dan pita baja polos atau pita baja berulir.
 - Komposit satu arah: misal *wire mesh*.
 - Bidang datar dua arah: misal geosintetik yaitu geotekstil ataupun geogrid.

Dinding MSE dengan perkuatan geogrid

Hal yang perlu diperhatikan untuk dinding MSE dengan perkuatan geogrid pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. *Panjang penjangkaran*
Nilai minimum panjang penjangkaran (L) ialah 0,7 tinggi struktur atau minimal 3 m, yang mana tinggi dari struktur merupakan tinggi dari *leveling pad* sampai ke bagian atas struktur. (FHWA, 2009)
2. *Kuat tarik*
Kuat tarik atau *tensile strength* adalah nilai ketahanan maksimum geogrid terhadap deformasi yang terjadi saat geogrid ketika terkena tegangan yang timbul disebabkan oleh gaya eksternal. Karena bentuk penampang melintang geogrid tidak beraturan (*irregular*), maka kuat tarik pada geogrid dinyatakan dalam satuan kN/m dan tidak dapat dinyatakan dalam satuan tegangan (kN/m^2). Satuan kN/m tersebut ialah beban maksimum yang dapat ditahan geogrid per satuan panjang penampang tepi geogrid. (Nuradi & Ilyas, 2013)

Karena geogrid harus tahan terhadap tegangan tarik, maka desain harus memperhitungkan modulus tarik geogridnya. Apabila menggunakan nilai kuat tarik yang ada pada brosur, untuk geosintetik tanpa daerah linier, maka saat analisis dibutuhkan nilai *secant modulus* pada regangan spesifik (5% atau 10%). Sehingga nilai *axial stiffness* (EA) diperoleh dari pembagian nilai *tensile strength* dengan *strain* pada kondisi elastisnya, yaitu pada *strain* 5%. (Nuradi & Ilyas, 2013)

3. Spasi vertikal

Berdasarkan FHWA (2009), spasi atau jarak vertikal elemen perkuatan untuk sistem dinding blok modular memiliki syarat tambahan tersendiri yaitu:

- Lapisan pertama (bawah) tidak boleh lebih dari 6 inci (15,24 cm) diatas permukaan dari leveling pad.
- Lapisan terakhir (atas) tidak boleh lebih dari rata-rata 20 inci (50,8 cm) dibawah permukaan dinding modular blok paling atas.
- Jarak vertikal maksimum antar lapisan tanah perkuatan tidak boleh melebihi 32 inci (81,28 cm). Untuk dinding yang menurunkan sebagian kapasitas sambungannya terhadap gesekan, nilai maksimum spasi vertikal tulangan harus dibatasi sampai dua kali kedalaman balok (dari bagian depan ke bagian belakang) agar dapat memastikan konstruksi dan stabilitas jangka panjang. Baris atas tulangan harus setengah jarak vertikal.

Metode elemen hingga

Metode elemen hingga (*finite element method*) adalah salah satu metode numerik yang menciptakan persamaan matematis menggunakan aneka macam pendekatan & rangkaian persamaan aljabar yang melibatkan nilai-nilai dalam titik-titik diskrit dalam bagian yang dievaluasi. Pada metode elemen hingga, wilayah yg dianalisis dibagi sebagai beberapa elemen. (Hamdhan & Pratiwi, 2017)

Program elemen hingga adalah *software* atau perangkat lunak yang dapat digunakan dalam rekayasa geoteknik untuk menganalisis konsolidasi, deformasi, stabilitas dan aliran air tanah. Prinsip operasi elemen hingga terdiri dari mempartisi (membedakan) model objek dengan membagi objek menjadi elemen yang lebih kecil (*finite element*), yang dihubungkan oleh titik-titik (*nodes*) yang digunakan oleh elemen-elemen tersebut dan sebagai batas dari elemen hingganya. (Stevens & Tediando, 2018)

2. METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian dengan jenis studi literatur (*literature review*). Menurut Nazir (1998), studi literatur adalah tahapan penting dimana seorang peneliti mengidentifikasi atau menentukan suatu topik penelitian, yang mana tahapan berikutnya ialah melaksanakan penelitian atau analisis yang berkaitan dengan teori topik penelitian tersebut. Prosedur penelitian yang dilakukan dalam penulisan artikel ini adalah sebagai berikut:

- Tahap awal dari penelitian dimulai dengan studi literatur mengenai *MSE Wall* seperti mengumpulkan teori-teori yang digunakan untuk melakukan analisis berupa buku-buku, jurnal, artikel, penelitian terdahulu, tutorial dan lain sebagainya.
- Tahap berikutnya adalah pengumpulan referensi serta data sekunder seperti parameter desain yang digunakan untuk pemodelan. Penentuan parameter desain ini tentunya sambil memperhatikan syarat-syarat perencanaan *MSE Wall* itu sendiri.
- Langkah berikutnya adalah pemodelan untuk tahapan-tahapan perencanaan *MSE Wall* dengan berbagai variasi panjang penjangkaran, kuat tarik elemen perkuatan dan spasi vertikalnya terhadap dua jenis tanah timbunan yaitu pasir (*sand*) dan lempung (*clay*). Pemodelan ini dilakukan dengan program metode elemen hingga.
- Tahap berikutnya adalah analisis hasil dari deformasi lateral pada tiap variasi panjang penjangkaran, kuat tarik elemen perkuatan dan spasi vertikalnya terhadap dua jenis tanah timbunan yaitu pasir (*sand*) dan lempung (*clay*).
- Tahapan terakhir pada penelitian ini ialah menyimpulkan hasil penelitian yang dapat bermanfaat untuk rencana dikemudian hari.

Alur penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan dengan diagram alir pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Pengumpulan data

Data yang dibutuhkan saat perencanaan ialah:

1. Data tanah dasar
Pada penelitian ini, posisi muka air tanah diabaikan. Tanah dasar pada penelitian ini diasumsikan tanah keras yang stabil jenis *clay*, sehingga tidak terjadi kegagalan pada tanah dasarnya. Parameter desain yang diambil beracu pada parameter tanah umum yang biasa ada pada peraturan. Data parameter tanah dasar dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Parameter tanah dasar *MSE wall*

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Kohesi (c)	100	kPa
2.	Sudut Geser (ϕ)	20	derajat
3.	Berat Volume (γ)	18	kN/m ³
4.	Berat Volume Tersaturasi (γ_{sat})	18	kN/m ³
5.	N-SPT	≥ 20	-
6.	Modulus Elastisitas (E)	52650	kN/m ²
7.	<i>Poisson Ratio</i> (ν)	0,35	-
8.	Sudut Dilatasi (ψ)	0	derajat
9.	Permeabilitas (k)	$8,64 \times 10^{-5}$	m/day
10.	Warna saat pemodelan		<i>clay</i>

2. Data tanah tertahan dibelakang elemen perkuatan
 Untuk tanah tertahan dibelakang elemen perkuatan, pada penelitian ini diasumsikan lempung (*clay*), dengan parameter desain terangkum dalam Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter tanah tertahan lempung

Parameter	Nilai	Referensi
Model	<i>Mohr Coulomb - drained</i>	
Jenis <i>Backfill Soil</i>	Lempung (<i>clay</i>)	
Kohesi (c)	20 kPa	(Awwad & Kods, 2017)
Sudut Geser (ϕ)	20°	(Bowles, 1997)
Berat Volume (γ)	14 kN/m ³	(Coduto, 1994)
Berat Volume Tersaturasi (γ_{sat})	17 kN/m ³	(Coduto, 1994)
Modulus Elastisitas (E)	25000 kN/m ²	(Bowles, 1996)
<i>Poisson Ratio</i> (ν)	0,3	(Bowles, 1996)
Sudut Dilatasi (ψ)	0°	-
Permeabilitas (k)	8,64x10 ⁻⁵ m/day	(Terzaghi et al., 1996)
Warna saat pemodelan		<i>clay</i>

3. Data tanah timbunan
 Parameter desain tanah timbunan untuk perkuatan terbagi menjadi dua, yaitu tanah pasir (*sand*) dan tanah lempung (*clay*). Parameter desain tanah perkuatan diambil dari berbagai sumber yang disesuaikan dengan pertimbangan parameter tanah yang umum biasa ditemukan pada ketentuan, dengan parameter desain terangkum dalam Tabel 3 & 4 dibawah ini:

Tabel 3. Parameter tanah timbunan pasir

Parameter	Nilai	Referensi
Model	<i>Mohr Coulomb - drained</i>	
Jenis <i>Backfill Soil</i>	Pasir (<i>sand</i>)	
Kohesi (c)	1 kPa	-
Sudut Geser (ϕ)	33°	(Das, 2006)
Berat Volume (γ)	16 kN/m ³	(Coduto, 1994)
Berat Volume Tersaturasi (γ_{sat})	19 kN/m ³	(Coduto, 1994)
Modulus Elastisitas (E)	35000 kN/m ²	(Coduto, 1994)
<i>Poisson Ratio</i> (ν)	0,3	(Bowles, 1996)
Sudut Dilatasi (ψ)	3°	Bergantung dari kepadatan dan sudut geser tanah pasiran ($\psi = \phi - 30^\circ$)
Permeabilitas (k)	0,8640 m/day	(Verruijt, 2001)
Warna saat pemodelan		<i>sand</i>

Tabel 4. Parameter tanah timbunan lempung

Parameter	Nilai	Referensi
Model	<i>Mohr Coulomb - drained</i>	
Jenis <i>Backfill Soil</i>	Lempung (<i>clay</i>)	
Kohesi (c)	25 kPa	-
Sudut Geser (ϕ)	0°	(Das, 2006)
Berat Volume (γ)	14 kN/m ³	(Coduto, 1994)
Berat Volume Tersaturasi (γ_{sat})	17 kN/m ³	(Coduto, 1994)
Modulus Elastisitas (E)	25000 kN/m ²	(Coduto, 1994)
<i>Poisson Ratio</i> (ν)	0,3	(Bowles, 1996)
Sudut Dilatasi (ψ)	3°	Bergantung dari kepadatan dan sudut geser tanah pasiran

$$(\psi = \phi - 30^\circ)$$

Permeabilitas (k)	8,64x10 ⁻⁵ m/day	(Verruijt, 2001)
Warna saat pemodelan		clay

4. Data geometri dinding atau *facing*

Mengikuti dari ketentuan yang ada, perencanaan dinding didesain setinggi 12 meter dikarenakan minimal terbenamnya penutup muka ialah sebesar 0,6 meter atau He/20. (Badan Standarisasi Nasional, 2017) Sehingga dinding dengan tinggi 12 meter telah memenuhi persyaratan tersebut. Parameter desain penutup muka yang digunakan saat perencanaan terlampir pada Tabel 5 dan ilustrasi penutup muka yang digunakan pada desain dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Unit blok modular yang digunakan (Sumber: Tileco Inc., 2021)

Tabel 5. Parameter desain dinding atau *facing*

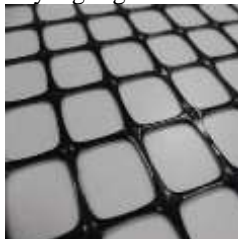
No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Tinggi dinding	12	meter
2.	Jenis <i>facing</i>	Unit blok modular	-
3.	Ketebalan facing	0,3	meter
4.	fc'	21	MPa
5.	W	7,2	kN/m/m
6.	EA	6461431,73	kN/m
7.	EI	48460,738	kNm ² /m
8.	Dimensi <i>leveling pad</i>	Tebal: 0,3; Lebar: 1,2	meter

5. Data elemen perkuatan geogrid

Pada elemen perkuatan, jenis elemen perkuatan yang digunakan merupakan tipe geogrid *biaxial*. Kuat tarik elemen perkuatan yang digunakan merupakan kuat tarik pada regangan 5% yang telah tercantum pada brosur yang dikeluarkan oleh *shanghai yingfan engineering material co*. Sehingga pada pemodelan dibutuhkan nilai EA dari elemen perkuatan yang dapat dihitung dengan cara berikut ini (diambil salah satu contoh perhitungan):

- Geogrid TGSG3030
Tensile Strength @ 5% strain = 21 kN/m
 $EA = \frac{21}{5\%} = 420 \text{ kN/m}$

Untuk spasi vertikal mengikuti tinggi dari *facing* yaitu kelipatan 0,2 meter. Untuk panjang penjangkaran mengikuti peraturan yaitu minimal 0,7H atau minimal 3 meter. Ilustrasi geogrid yang digunakan saat desain dapat dilihat pada Gambar 4 dan data geogrid yang digunakan terdapat pada Tabel 6 sebagai berikut:



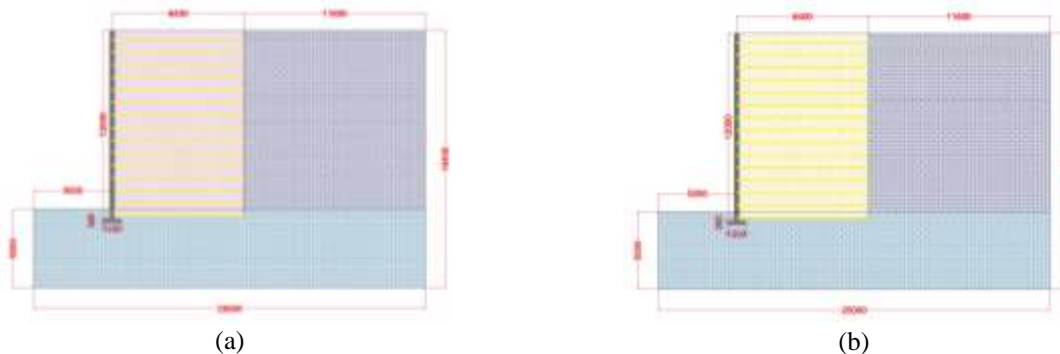
Gambar 4. Geogrid *biaxial* yang digunakan (Sumber: Shanghai Yingfan Engineering Material, 2019)

Tabel 6. Parameter desain geogrid yang digunakan

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Jenis Perkuatan	Geogrid <i>Biaxial</i>	-
2.	Bahan Perkuatan	<i>Polypropylene</i>	-
3.	Tipe Geogrid	TGSG3030, TGSG3535, TGSG4040, TGSG4545, TGSG5050	-
4.	Kekuatan tarik @ 5% <i>strain</i>	21, 24, 28, 32, 35	kN/m
5.	EA geogrid	420, 480, 560, 640, 700	kN/m
6.	Panjang penjangkaran	0,7H, 0,8 H, 0,9H, 1H, 1,1H	-
7.	Panjang penjangkaran dalam meter	8,4, 9,6, 10,8, 12, 13,2	m
8.	Spasi vertikal elemen perkuatan	0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1	m

5. *Data base design*

Pada tahap ini, dengan berbagai variasi pemodelan yang nantinya dilakukan, perlu ditetapkan *base design* yang menjadi acuan dalam perencanaan. *Base design* pada perencanaan *MSE wall* ini berada pada penentuan panjang penjangkaran disemua variasi sebesar 8,4 m (0,7H), penentuan kuat tarik @5% *strain* disemua variasi sebesar 28 kN/m, dan penentuan spasi vertikal disemua variasi sebesar 0,8 m. Berikut ilustrasi dinding MSE pada *base design* dengan dua jenis tanah timbunan berbeda pada Gambar 5:

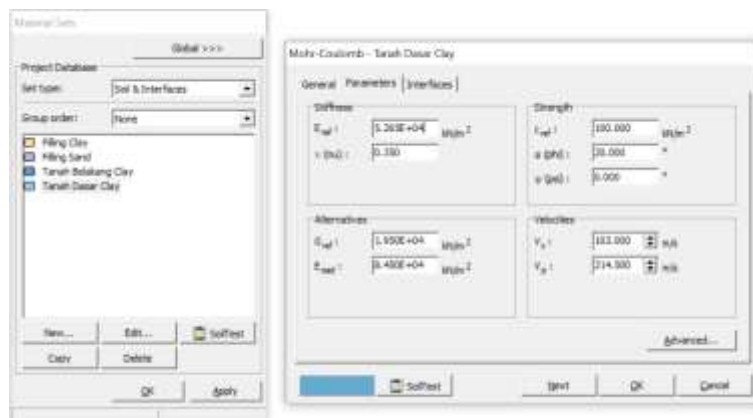


Gambar 5. Ilustrasi dinding MSE saat perencanaan; (a) desain untuk tanah pasir, (b) desain untuk tanah lempung

Tahap pemodelan dengan program

Tahap-tahap yang dilakukan secara garis besar saat penelitian ialah sebagai berikut:

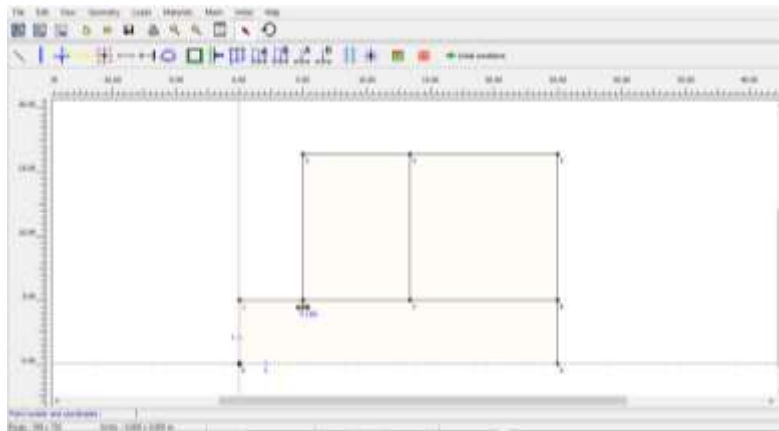
1. Pengaturan satuan atau *system unit*, jenis model, ukuran *ruler*, ukuran *grid* dan lain sebagainya. Periksa *system unit* yang akan di-*apply* pada analisis. *System unit*, *ruler*, dan *grid* dapat diubah baik selama proses pemodelan dan setelah melakukan analisis.
2. Meng-*input* material *soil & interfaces*, material *facing* dan *leveling pad*, dan material geogrid. Material tanah yang di-*input* mengikuti data perencanaan yang ada. Berikut gambar *project tab* saat *input* material pada Gambar 6:



Gambar 6. *Project tab* saat *input* material

3. Pembuatan Model Geometri

Pembuatan model geometri dilakukan langsung pada program dengan memilih material yang terdapat pada *toolbar geometry*. Berikut gambar pembuatan geometri struktur MSE pada Gambar 7:



Gambar 7. Proses saat pembuatan geometri struktur MSE

4. Define Tiap Material yang Dibuat

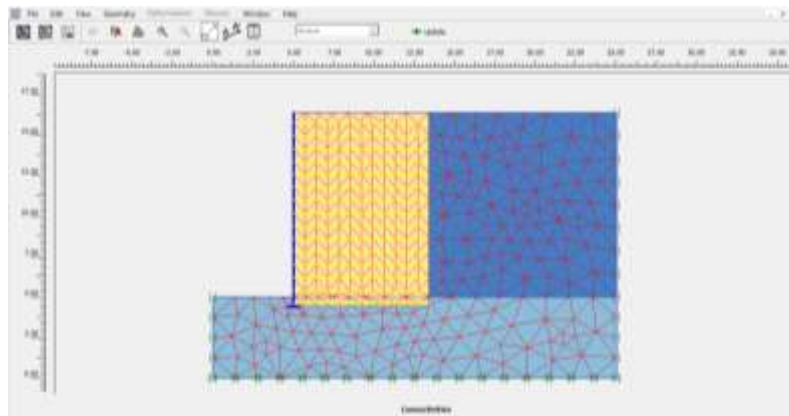
Pada tahap ini material tanah yang sudah diinput pada tahap sebelumnya hanya tinggal didefinisikan atau diplot pada pemodelan geometri yang telah dibuat.

5. Penetapan *Boundary Conditions*

Boundary yang dipilih pada perencanaan ini ialah *standard fixities*. *Standard fixities* dipilih agar *prescribed displacement* disisi terluar dari pemodelan bernilai nol karena yang akan ditinjau merupakan nilai deformasi yang terjadi pada struktur dinding MSE-nya.

6. Pembuatan *Mesh*

Ketelitian analisis dapat ditentukan dari jenis *mesh* yang dibuat. Pada analisis ini dipilih mesh berjenis *fine*. Berikut gambar hasil *output mesh* berjenis *fine* pada Gambar 8:



Gambar 8. *Output mesh* jenis *fine*

7. Menentukan *Water Pressure* dan *Initial Conditions* Struktur

Pada analisis ini, *water pressure* dalam perencanaan diasumsikan diabaikan, sehingga saat pemodelan *phreatic level* diletakkan pada sisi terluar tanah dasar atau elevasi $\pm 0,0$ m, sehingga tekanan air tidak mempengaruhi struktur tanah dasar maupun dinding MSE.

8. Tahap *Calculations* dan *Staged Construction*

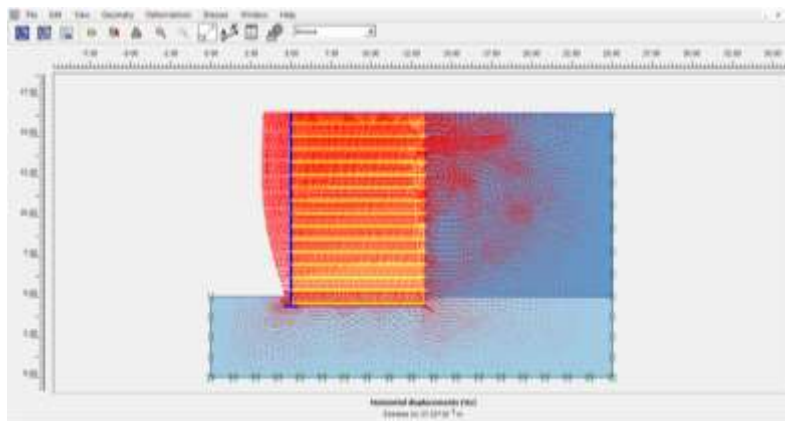
Pada tahap ini, akan dilakukan perhitungan sebagai tahapan akhir untuk dapat mengetahui berapa besar deformasi yang terjadi pada struktur Dinding MSE yang telah direncanakan. Pada tahap ini, perhitungan sedang berjalan, jenis perhitungan yang dipilih ialah *plastic analysis*. Tanda bahwa perhitungan telah selesai dan struktur berhasil ialah pada *log info* terdapat kalimat bertuliskan "*Prescribed ultimate state fully reached*". Berikut gambar saat *plastic analysis* dalam *staged construction* berlangsung pada Gambar 9:



Gambar 9. Proses saat *plastic analysis* dalam *staged construction* berlangsung

9. Menganalisis *Deformation Horizontal*

Nilai deformasi dapat dilihat dengan cara memilih output pada menu *toolbar* dan pada tampilan akan berubah pada *window* Program output > *Deformations* > *Horizontal displacements (x)*. Berikut hasil deformasi dalam program dapat terlihat pada Gambar 10:



Gambar 10. Hasil deformasi horizontal pada program

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis variasi panjang penjangkaran geogrid

Hasil dari seluruh nilai deformasi dinding MSE dengan berbagai panjang penjangkaran geogrid terhadap dua variasi tanah timbunan terangkum dalam tabel 7 berikut ini:

Tabel 7. Hasil deformasi dengan variasi panjang penjangkaran geogrid

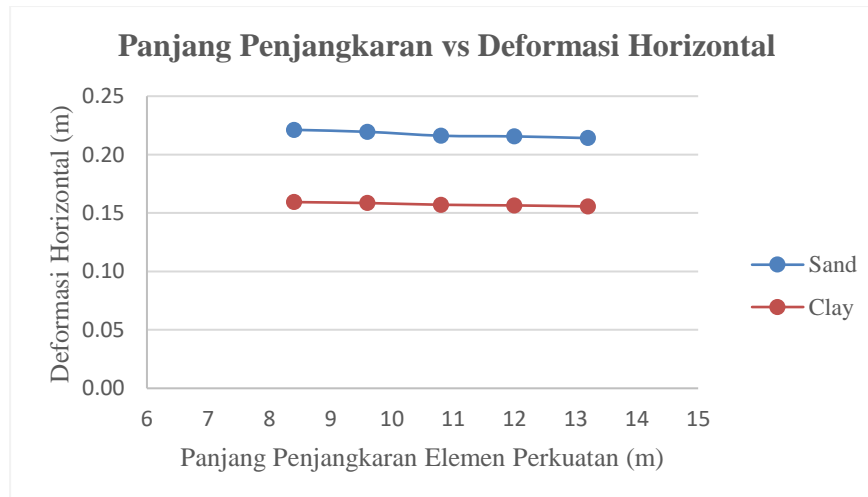
No.	Panjang Penjangkaran (m)	Deformasi Lateral (m)	
		Tanah Pasir	Tanah Lempung
1.	0,7H (8,4 m)	0,2212	0,1594
2.	0,8H (9,6 m)	0,2195	0,1586
3.	0,9H (10,8 m)	0,2162	0,1571
4.	1H (12 m)	0,2156	0,1565
5.	1,1H (13,2 m)	0,2141	0,1557

Ilustrasi variasi panjang penjangkaran geogrid pada desain dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini:



Gambar 11. Ilustrasi panjang penjangkaran dinding MSE tampak atas

Dalam grafik, deformasi masing-masing variasi akan digambarkan pada Gambar 12 sebagai berikut:



Gambar 12. Grafik hasil deformasi horizontal dengan variasi panjang penjangkaran geogrid pada tanah pasir (*sand*) dan lempung (*clay*)

Berdasarkan kurva pada grafik gambar 12, dapat dianalisis bahwa seiring dengan bertambahnya panjang penjangkaran dari elemen perkuatan geogrid, maka nilai deformasi horizontal atau lateral yang dihasilkan akan semakin mengecil. Hal ini dibuktikan dengan kurva yang bergerak turun dari kiri ke kanan, yaitu dari panjang penjangkaran dengan nilai 0,7H sampai dengan 1,1H. Penyebab hal tersebut terjadi ialah ketika panjang penjangkaran bertambah, maka luas daerah yang ditumpu atau ditahan juga semakin besar, maka dari itu tentunya nilai deformasi yang didapat akan lebih kecil karena daerah perkuatannya semakin luas.

Pada gambar 12 juga dapat dilihat, bahwa nilai deformasi lateral atau horizontal yang terjadi pada struktur dinding MSE dengan panjang penjangkaran yang bervariasi memiliki range perubahan nilai yang sangat kecil, baik untuk tanah pasir maupun tanah lempung. Dari grafik juga dapat dilihat, kelengkungan yang terjadi dikedua jenis tanah timbunan tidak banyak perbedaan, deformasi yang dihasilkan hanya memiliki nilai perubahan yang sangat kecil yang terjadi pada $\pm 0,001$ meter. Sehingga sebagai saran pada perencanaan dinding MSE dikemudian hari, pertimbangan untuk mengurangi deformasi lateral dinding dapat lebih difokuskan pada kuat tarik ataupun spasi vertikalnya, dikarenakan pengaruh pada dua variasi tersebut dapat lebih terlihat, tergambar dari bagaimana kurva memiliki kelengkungan akibat perubahan nilai deformasi yang lebih besar.

Analisis variasi kuat tarik geogrid

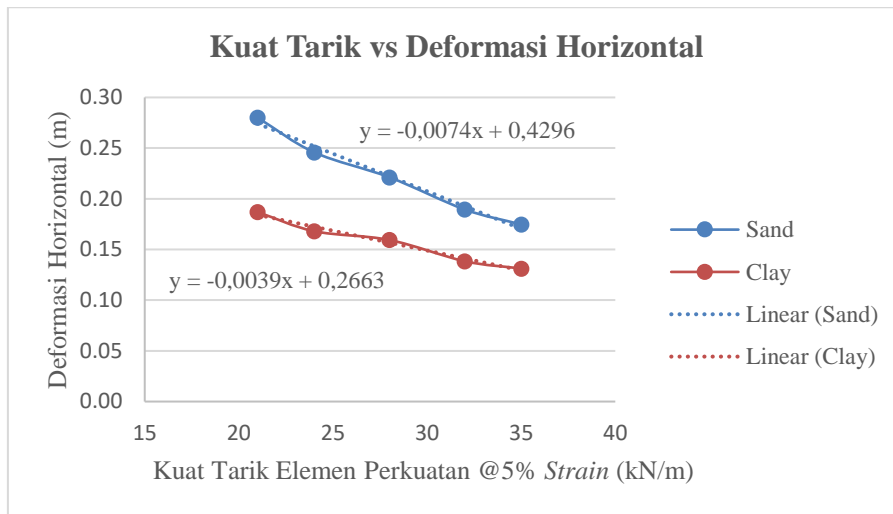
Hasil dari seluruh nilai deformasi dinding MSE dengan berbagai kuat tarik geogrid terhadap dua variasi tanah timbunan terangkum dalam tabel 8 berikut ini:

Tabel 8. Hasil deformasi dengan variasi kuat tarik geogrid

No.	Kuat Tarik @5% strain (kN/m)	Deformasi Lateral (m)	
		Tanah Pasir	Tanah Lempung
1.	TGSG3030 (21 kN/m)	0,2800	0,1869
2.	TGSG3535 (24 kN/m)	0,2459	0,1680
3.	TGSG4040 (28 kN/m)	0,2212	0,1594
4.	TGSG4545 (32 kN/m)	0,1895	0,1384

5. TGSG5050 (35 kN/m) 0,1747 0,1312

Dalam grafik, deformasi masing-masing variasi akan digambarkan pada Gambar 13 sebagai berikut:



Gambar 13. Grafik hasil deformasi horizontal dengan variasi kuat tarik geogrid pada tanah pasir (*sand*) dan lempung (*clay*)

Berdasarkan Gambar 13 dapat dianalisis bahwa semakin besar nilai kuat tarik elemen perkuatan geogridnya, maka deformasi horizontal atau lateral yang dihasilkan oleh struktur akan semakin kecil. Hal tersebut ditandai dengan kurva yang semakin ke kanan semakin menurun, yang mana nilai kuat tarik pada grafik (sumbu x) dari kiri ke kanan semakin besar. Penyebab hal tersebut dapat terjadi ialah kuat tarik menandakan nilai tegangan tarik yang mampu ditahan sampai pada titik keruntuhan atau titik ketahanannya (putus), sehingga apabila suatu material geogrid memiliki kuat tarik dengan nilai yang besar, dapat dikatakan bahwa semakin tinggi pula tegangan tarik yang mampu ditahan oleh material tersebut. Dalam hal ini menyebabkan nilai deformasi yang ada dengan kuat tarik yang tinggi akan semakin kecil.

Selanjutnya, berbeda dengan kurva milik variasi panjang penjangkaran, kurva dari variasi kuat tarik memiliki jangkauan perubahan nilai deformasi yang lebih besar, yang mana hal tersebut hanya terjadi pada jenis tanah pasir dan lempung. Hal tersebut dibuktikan dengan kurva yang jauh lebih melengkung dibandingkan dengan kurva variasi panjang penjangkaran. Dan juga menandakan *range* nilai deformasi milik variasi kuat tarik jauh lebih luas dibandingkan dengan panjang penjangkaran yang hanya berbeda $\pm 0,001$ meter. Sehingga dari analisis tersebut dapat disimpulkan, apabila dalam perencanaan dinding MSE dikemudian hari diperlukan upaya dalam mengurangi nilai deformasi, maka pertimbangan dalam menentukan besar kuat tarik yang akan direncanakan dapat digunakan saat perencanaan.

Kemudian pada analisis didapat nilai deformasi milik tanah pasir cenderung lebih besar dari milik tanah lempung sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan jenis tanah timbunan lempung, struktur dinding MSE yang dihasilkan dapat jauh lebih stabil. Melihat dari nilai deformasi milik jenis tanah lempung mayoritas lebih kecil dibanding tanah pasir pada tiap variasi.

Pada Gambar 13, karena perubahan nilai yang cukup terlihat pada kurva, maka dari kurva tersebut dapat diambil suatu korelasi yang dapat menghasilkan suatu persamaan. Sehingga dari hasil analisis didapatkan bahwa dengan variasi kuat tarik elemen perkuatannya, nilai deformasi dapat dicari dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) berikut:

$$y = -0,0074x + 0,4296 \tag{1}$$

untuk tanah pasir, dan

$$y = -0,0039x + 0,2663 \tag{2}$$

untuk tanah lempung.

dengan y = nilai deformasi lateral atau horizontalnya (m) dan x = nilai kuat tarik geogridnya (kN/m).

Disesuaikan dengan sumbu x dan sumbu y pada grafik.

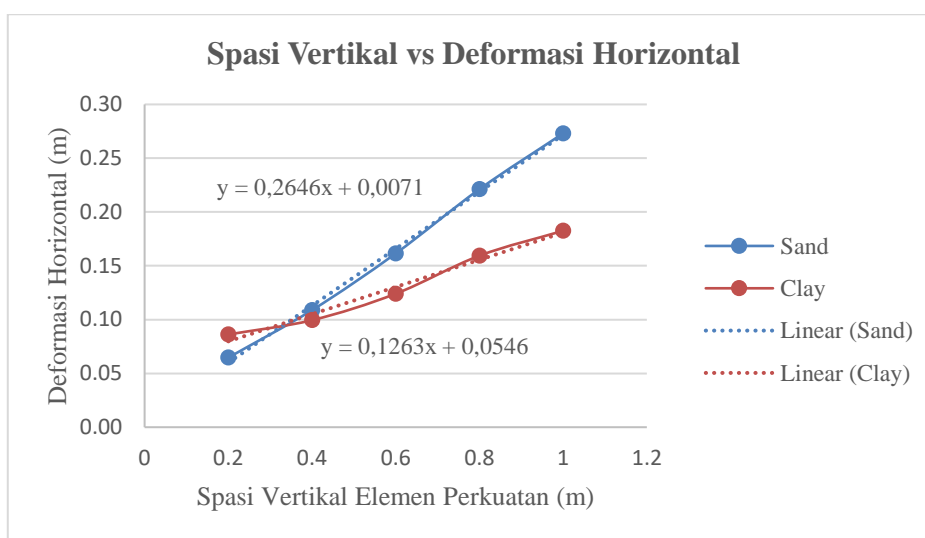
Analisis variasi spasi vertikal geogrid

Hasil dari seluruh nilai deformasi dinding MSE dengan berbagai spasi vertikal geogrid terhadap dua variasi tanah timbunan terangkum dalam tabel 9 berikut ini:

Tabel 9. Hasil deformasi dengan variasi spasi vertikal geogrid

No.	Spasi Vertikal (m)	Deformasi Lateral (m)	
		Tanah Pasir	Tanah Lempung
1.	0,2 m	0,0647	0,0862
2.	0,4 m	0,1088	0,0995
3.	0,6 m	0,1615	0,1241
4.	0,8 m	0,2212	0,1594
5.	1 m	0,2731	0,1825

Dalam grafik, deformasi masing-masing variasi akan digambarkan pada Gambar 14 sebagai berikut:



Gambar 14. Grafik hasil deformasi horizontal dengan variasi spasi vertikal geogrid pada tanah pasir (*sand*) dan lempung (*clay*)

Berdasarkan kurva pada Gambar 14, dapat dianalisis bahwa semakin besar nilai spasi vertikal elemen perkuatan geogridnya, maka akan semakin besar pula deformasi horizontal atau lateral yang dihasilkan oleh struktur. Hal tersebut ditandai dengan kurva yang semakin ke kanan semakin naik, yang mana nilai spasi vertikal pada grafik (sumbu x) dari kiri ke kanan semakin besar. Penyebab hal tersebut dapat terjadi ialah semakin kecil spasi vertikal yang digunakan dalam perencanaan, maka akan semakin banyak jumlah lapisan geogrid yang terdapat pada struktur. Sehingga hal tersebut dapat membuat suatu struktur dinding MSE akan menjadi lebih kaku dan menyebabkan nilai deformasi menjadi lebih sedikit.

Kemudian, sama seperti kurva milik variasi kuat tarik, kurva dari variasi spasi vertikal memiliki jangkauan perubahan nilai deformasi yang lebih besar, yang mana hal tersebut terjadi pada jenis tanah pasir dan jenis tanah lempung. Hal tersebut dibuktikan dengan kurva yang jauh lebih melengkung dibandingkan dengan kurva milik panjang penjangkaran yang cenderung datar. Sehingga menandakan *range* nilai deformasi jauh lebih luas dibandingkan dengan panjang penjangkaran yang hanya berbeda $\pm 0,001$ meter. Kemudian melihat dari perubahan nilai deformasi yang cukup terlihat, dapat disimpulkan bahwa apabila dalam perencanaan dinding MSE dikemudian hari diperlukan upaya dalam mengurangi nilai deformasi, maka pertimbangan dalam menentukan besar spasi vertikal yang akan direncanakan dapat digunakan.

Kemudian, dapat disimpulkan juga bahwa tanah perkuatan lempung cenderung lebih stabil menahan gaya lateral dibanding dengan tanah perkuatan pasir. Melihat dari nilai deformasi milik jenis tanah lempung rata-rata lebih kecil dibanding tanah pasir pada tiap variasi. Hal tersebut ditandai dengan letak kurva tanah lempung yang berada dibawah tanah pasir pada tiap variasi, baik panjang penjangkaran, kuat tarik, maupun spasi vertikal. Untuk persamaan korelasinya berdasarkan Gambar 14, deformasi dapat dicari dengan menggunakan rumus hasil analisis yaitu persamaan (3) dan (4) sebagai berikut:

$$y = 0,2646x + 0,0071 \quad (3)$$

untuk tanah pasir, dan

$$y = 0,1263x + 0,0546 \quad (4)$$

untuk tanah lempung.

dengan y = nilai deformasi lateral atau horizontalnya (m) dan x = nilai spasi vertikal geogridnya (m).
Disesuaikan dengan sumbu x dan sumbu y pada grafik.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain:

1. Semakin besar nilai panjang penjangkaran atau kuat tarik elemen perkuatan yang digunakan, maka semakin kecil nilai deformasi horizontal atau lateral yang akan didapatkan.
2. Semakin besar spasi vertikal elemen perkuatan geogrid yang diaplikasikan, maka semakin besar pula nilai deformasi horizontal atau lateral yang didapatkan.
3. Pengaplikasian jenis tanah lempung sebagai tanah perkuatan cenderung lebih stabil dalam menahan gaya lateral dibandingkan dengan jenis tanah pasir.
4. Untuk upaya mengurangi nilai deformasi lateral yang terjadi, pertimbangan lebih lanjut dapat difokuskan pada pemilihan kuat tarik ataupun spasi vertikalnya dibandingkan panjang penjangkarannya.
5. Pada variasi kuat tarik, dari hasil analisis dapat digunakan persamaan untuk mendapatkan nilai deformasi horizontalnya, yaitu $y = -0,0074x + 0,4296$ (untuk tanah pasir) dan $y = -0,0039x + 0,2663$ (untuk tanah lempung).
6. Pada variasi spasi vertikal, dari hasil analisis dapat digunakan persamaan untuk mendapatkan nilai deformasi horizontalnya, yaitu $y = 0,2646x + 0,0071$ (untuk tanah pasir) dan $y = 0,1263x + 0,0546$ (untuk tanah lempung).

Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, adapun saran yang dapat dijadikan masukan untuk melengkapi penelitian ini ialah:

1. Penggunaan software atau program yang dipilih untuk analisis alangkah lebih baik apabila menggunakan program dengan versi terbaru. Hal tersebut dikarenakan agar hasil yang didapat akan jauh lebih kompatibel untuk penggunaan dimasa sekarang.
2. Agar penelitian dapat lebih sempurna, alangkah lebih baiknya jika beban gempa dan tekanan air atau hidrostatis pada saat analisis juga diikutsertakan, mengingat keadaan pada lapangan biasanya mengharuskan perencanaan Dinding MSE melakukan peninjauan terhadap hal-hal tersebut.
3. Dengan penggunaan *software* metode elemen hingga, penelitian dibatasi hanya dapat menggunakan jenis geogrid yang *extensible* atau *extension only*, sehingga penggunaan jenis lain seperti strip besi tidak dapat diaplikasikan pada program. Alangkah lebih baiknya apabila dalam penelitian yang lebih lanjut dapat menganalisis dari berbagai jenis elemen lain mulai dari strip besi, geotekstil, anyaman kawat ataupun jenis geogrid lainnya sehingga diperoleh berbagai perbandingan hasil analisis.
4. Pada penelitian ini belum dibandingkan hubungan antara spasi vertikal dan kuat tariknya, padahal hal tersebut juga memiliki korelasi, sehingga sebagai saran di penelitian berikutnya hal tersebut dapat diikutsertakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Awwad, T., & Kodsı, S. Al. (2017). *A comparison of Numerical Simulation Models to Determine the Location of Neutral Plane*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standarisasi Nasional.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill.
- Bowles, J. E. (1997). *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 2*. Penerbit Erlangga.
- Coduto, & P., D. (1994). *Foundation Design Principles and Practices*. Prentice – Hall.
- Das, B. M. (2006). *Principles of Geotechnical Engineering 7th*. PWS Publishers.
- Elias, V., Barry R., C., & R. Berg, R. (2001). *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design & Construction Guidelines*. U.S. Departement of Transportation Federal Highway Administration.
- Emmanuel, B., Alain, C., & Truong Linh, C. (2013). Analysis of Long-term Deformations of MSE walls based on

- Various Corrosion Scenarios. *Soils and Foundations*, 259–271. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2013.02.006>
- FHWA. (2009). Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes. In *Federal High Way Administration (FHWA): Vol. I*. U.S. Departement of Transportation Federal Highway Administration. <https://doi.org/FHWA-NHI-10-024> & [FHWA-NHI-10-025](https://doi.org/FHWA-NHI-10-025)
- Ganda, I., & Roesyanto. (2012). Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Geogrid (Studi Kasus Jalan Medan – Berastagi, Desa Sugo). *Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara*.
- Hamdhan, I. N., & Pratiwi, D. S. (2017). Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsoran di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600 Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM). *Jurnal Rekayasa Hijau ISSN 2550-1070*, 100–111.
- Leshchinsky, D., & Han, J. (2004). Geosynthetic Reinforced Multitiered Walls. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.
- Nazir, M. (1998). *Metode Penelitian*. Ghalia Indonesia.
- Nuradi, A. P., & Ilyas, T. (2013). Analisis Perilaku Geogrid Terhadap Beban Dinamik (Gempa) dengan Metode Finite Element. *Studi Kasus : Lereng Cipularang KM 96 + 900*.
- Salim, Y., & Suhendra, A. (2021). Analisis Stabilitas Back-To-Back Mechanically Stabilized Earth Walls (Studi Kasus Jalan Layang Di Sulawesi Selatan). *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 657. <https://doi.org/10.24912/jmts.v0i0.12582>
- Shanghai Yingfan Engineering Material. (2019). *PP Biaxial Geogrid*. <https://www.yingfangeo.com/geogrid/biaxial-geogrid/pp-biaxial-geogrid.html>
- Stevens, D., & Tediando, L. S. (2018). Analisis Pengaruh Panjang Elemen Terhadap Kuat Tekan Dari Baja Ringan Profil Kanal Dengan Metode Elemen Hingga. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 159. <https://doi.org/10.24912/jmts.v1i1.2253>
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice 3rd Edition*. John Wiley and Sons Inc.
- The Reinforced Earth. (2021). *Mechanically Stabilized Earth Retaining Walls*. The Reinforced Earth Company. <https://reinforcedearth.com/products/retaining-walls/mechanically-stabilized-earth-mse-retaining-walls>
- Tileco Inc. (2021). *Tileco Keystone Brochure*. Tileco Inc. https://www.tilecoinc.com/New/tileco_keystone.pdf
- Verruijt, A. (2001). *Soil Mechanics*. Delft University of Technology - the Netherlands.

