

## ANALISIS PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN GEOGRID YANG DIPERKUAT DENGAN RIGID INCLUSION DAN BORED PILE

Cakra Wicaksana Pahlawan<sup>1</sup> dan Andryan Suhendra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*cakra.pahlawan@gmail.com*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*mr.asuhendra@gmail.com*

Masuk: 04-01-2024, revisi: 12-01-2024, diterima untuk diterbitkan: 06-02-2024

### ABSTRACT

*Reinforced Slope Structure is a strengthening structure made on a slope using additional materials, usually using geogrid to increase the slope stability value. Geogrid is a polymer material that has strong elastic properties and is resistant to certain tensile forces. In this research, Reinforced Slope Structure modeling was carried out combined with Rigid Inclusion and Bored Pile as local soil reinforcement. In the Reinforced Slope Structure modeling, internal and external stability values were analyzed and variations in pseudostatic wave strength were carried out. Based on the analysis results, a safety factor value is obtained which refers to a standard. For the analysis of pseudostatic wave strength, it is assisted by the finite element method program, so that researchers can draw conclusions regarding the use of Reinforced Slope Structure on this slope embankment. Therefore, in this research, modeling of an earth embankment with a height of 14.56 meters was carried out to obtain the overturning safety factor value of 13.233, a sliding safety factor of 2.35, a static global safety factor of 1.506, and a dynamic global safety factor with different earthquake coefficient values. assisted using 2D finite element applications.*

*Keywords: Reinforced slope structure; geogrid; finite element method; rigid inclusion; bored pile*

### ABSTRAK

*Reinforced Slope Structure merupakan suatu struktur perkuatan yang dibuat pada lereng dengan menggunakan material tambahan, biasanya menggunakan geogrid untuk meningkatkan nilai stabilitas lereng. Geogrid merupakan bahan bermaterial polimer yang memiliki sifat elastis yang kuat dan tahan terhadap gaya tarik tertentu. Pada penelitian ini, dilakukan permodelan Struktur Reinforced Slope Structure yang dikombinasikan dengan Rigid Inclusion dan Bored Pile sebagai perkuatan tanah setempat. Pada permodelan Reinforced Slope Structure dilakukan analisis nilai stabilitas internal, eksternal, dan dilakukan analisis terhadap variasi kuat gelombang pseudostatic. Berdasarkan hasil analisis didapatkan suatu nilai faktor keamanan yang mengacu pada suatu standar. Untuk analisis kuat gelombang pseudostatic dibantu dengan program metode finite element, sehingga peneliti dapat membuat kesimpulan terhadap penggunaan Reinforced Slope Structure pada timbunan lereng ini. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan permodelan timbunan tanah dengan tinggi 14,53 meter didapatkan nilai faktor keamanan guling sebesar 13,233, faktor keamanan geser sebesar 2,35, faktor keamanan global statik sebesar 1,506, serta faktor keamanan global dinamik dengan nilai koefisien gempa yang berbeda-beda yang dibantu menggunakan aplikasi finite element 2D.*

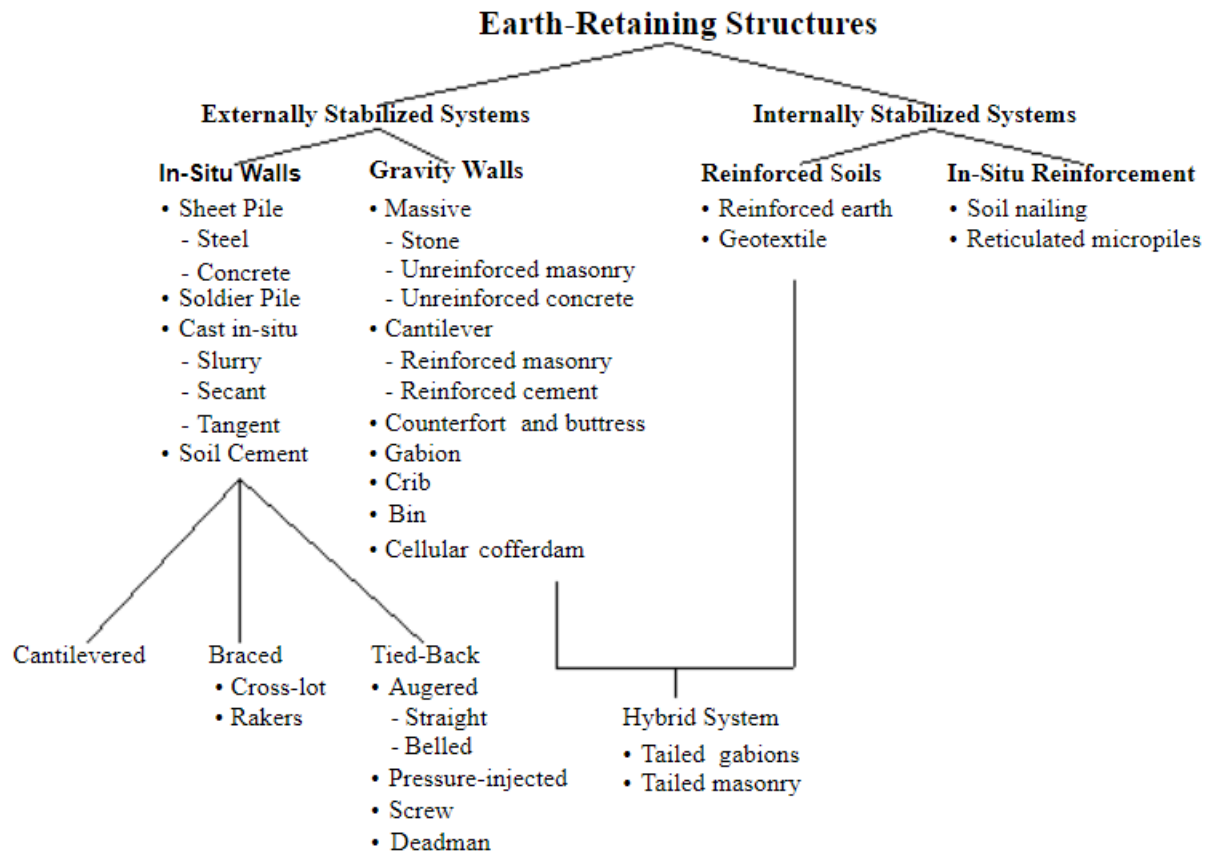
*Kata kunci: Reinforced slope structure; geogrid; metode finite element; rigid inclusion; bored pile*

## 1. PENDAHULUAN

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal dan tidak terlindungi (Das & Ramana, 1983). Lereng juga memiliki 2 jenis yaitu, lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami terbentuk dikarenakan kondisi alam, sedangkan lereng buatan biasanya terbentuk dikarenakan keperluan konstruksi (Ambramson, 1995). Pada penelitian, ini lereng buatan digunakan untuk keperluan konstruksi bandara yang bertempat pada kota Kediri. Pada lokasi ini dibutuhkan perkuatan lereng untuk menahan timbunan tinggi 14,53 meter yang dikombinasikan dengan perkuatan tanah setempat berupa Rigid Inclusion dan Bored Pile. Rigid Inclusion adalah metode untuk memperbaiki tanah lunak dimana konsep ini meningkatkan kekakuan tanah sekitar sehingga kekuatan tanah meningkat dengan bahan dari kolomnya (IREX, 2017) dan Bored Pile merupakan pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah terlebih dahulu (Hardiyatmo, 2014). Dari penjelasan metode Bored Pile dan Rigid Inclusion diperlukan untuk menambahkan kekuatan setempat pada struktur perkuatan lereng. Struktur perkuatan lereng merupakan salah satu opsi dalam menahan tanah yang miring atau lereng. Dalam menahan lereng

atau tanah timbunan yang miring diperlukan geogrid. Geogrid merupakan bahan geosintetik berupa lembaran sintesis yang terbuat dari bahan polimer berbentuk jaring-jaring kuat dengan lubang berukuran cukup untuk memungkinkan tembusnya material geoteknik di sekitarnya (Koerner, 1998).

Pada Gambar 1 dapat dilihat pada jenis struktur perkuatan lereng dapat dibagi menjadi dua tipe yaitu, sistem stabilisasi eksternal dan sistem stabilisasi internal (O'Rourke & Jones, 1990). Jenis-jenis dinding penahan tanah beraneka ragam, disesuaikan dengan keadaan lapangan dan aplikasi yang akan digunakan. Dalam sistem stabilitas eksternal merupakan sistem yang memanfaatkan berat dan kekakuan struktur sedangkan sistem stabilitas internal memanfaatkan memperkuat tanah untuk mencapai kestabilan yang dibutuhkan. Dalam penelitian ini dilakukan analisis struktur perkuatan lereng dengan geogrid menggunakan metode analisis manual dan aplikasi berbasis *finite element* 2D.



Gambar 1. Klasifikasi dinding penahan tanah (O'Rourke & Jones, 1990)

Pada penelitian ini, dilakukan analisis perkuatan lereng menggunakan geogrid sebagai perkuatan tanah timbunan untuk perkuatan tanah dasar digunakan *Rigid Inclusion* dan *Bored Pile*, menggunakan aplikasi elemen hingga 2D. Pada analisis hanya menggunakan data berasal dari hasil korelasi data *Boring Log* dan uji laboratorium yang didapat dari daerah proyek, anggaran biaya tidak diperhitungkan, serta perencanaan drainase tidak dirancang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan parameter eksternal dan internal pada struktur perkuatan lereng sehingga mendapatkan nilai stabilitas lereng yang aman untuk struktur. Dari parameter struktur perkuatan lereng dilakukan analisis lebih lanjut terhadap respon gaya statik dan dinamik yang bekerja di daerah dan sekitar dipasangnya struktur perkuatan lereng. Penelitian ini dibantu *software* metode *Finite Element* sebagai pihak yang membantu analisis struktur penahan tanah.

### Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal dan tidak terlindungi (Das, 1995). Lereng dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami biasanya terjadi atau terbentuk dari daerah perbukitan, sedangkan lereng buatan dibentuk oleh manusia yang biasanya memiliki keperluan-keperluan konstruksi. Lereng buatan dapat diartikan sebagai permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal yang dibuat oleh manusia untuk keperluan konstruksi. Pembuatan lereng dapat dilakukan dengan cara penggalian tanah atau penimbunan tanah

sehingga terbentuknya lereng buatan. Paramater desain tanah timbunan untuk perkuatan terbagi menjadi dua, yaitu tanah pasir dan tanah lempung (Aziza & Suhendra, 2022).

### Perkuatan tanah dengan Geogrid

Geosintetik adalah lembaran yang terbuat dari bahan polimer lentur yang digunakan pada berbagai material geoteknik sebagai bagian dari suatu pekerjaan, struktur atau sistem (ASTM D4439-20).

Fungsi utama pemakaian perkuatan geogrid untuk lereng tanah, adalah:

1. Meningkatkan stabilitas lereng, ketika geogrid digunakan pada lereng tanah dan menjadi satu kesatuan yang utuh, akan menghasilkan kekuatan tarik dan tekanan yang tinggi sehingga dapat menahan beban-beban yang bekerja. Pada tahap ini geogrid mengambil fungsi sebagai bagian yang menahan gaya tarik.
2. Memberikan tahanan lateral selama pembuatan lereng sehingga pekerjaan-pekerjaan alat berat di wilayah lereng dapat dilaksanakan lebih aman.

Geogrid merupakan bahan bermaterial polimer yang berbentuk seperti jaring, yang dikembangkan khusus untuk memperkuat tanah. Geogrid dapat dibedakan menjadi beberapa jenis (ASTM D4439-20):

1. *Extruded Geogrid*  
*Extruded Geogrid*, merupakan geogrid yang dibuat dari bahan polimer, biasanya menggunakan lembaran polimer dengan tebal sekitar 4-6 mm. Dalam pembuatan *Extruded Geogrid*, lembar polimer dimasukan ke dalam mesin pembuat pola, lalu lembaran polimer dilubangi kemudian diregangkan agar memanjang sehingga berbentuk seperti rusuk. Berdasarkan arah regangannya, *Extruded Geogrid* dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori, yaitu:
  - a. *Uniaxial Geogrid*  
*Geogrid* ini diproduksi dengan cara diregangkan secara memanjang, sehingga geogrid tipe ini memiliki kuat tarik yang besar pada arah memanjang dibandingkan dengan kekuatan tarik pada arah melintang.
  - b. *Biaxial Geogrid*  
*Geogrid* ini diproduksi dengan cara diregangkan secara memanjang dan melintang, sehingga geogrid tipe ini memiliki kekuatan yang sama kuat dari arah memanjang maupun arah melintang.
2. *Bonded Geogrid*  
*Bonded Geogrid*, merupakan geogrid yang dibuat dengan cara diikat saling tegak lurus menggunakan bahan polipropilen atau poliester yang disatukan secara bersilangan menggunakan laser atau pengelasan ultrasonik.
3. *Woven Geogrid*  
*Woven Geogrid*, merupakan geogrid yang dibuat dengan cara ditenun menggunakan bahan poliester multi-filamen. Pada proses menenun, bahan poliester multi-filamen bersilangan dengan benang, sehingga menghasilkan

### Reinforced slope structure

Pada pelaksanaan *reinforced slope structure* hal-hal yang ingin dicapai ialah *safety factor* tercapai sehingga lereng dapat bertahan untuk jangka panjang maupun pendek terhadap keruntuhan yang dapat terjadi. Tiga jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada lereng dengan perkuatan *reinforced slope*, adalah:

1. Keruntuhan Internal, dimana bidang keruntuhan memotong bagian perkuatan;
2. Keruntuhan Eksternal, dimana keruntuhan melewati bagian belakang dan di bawah massa tanah yang diperkuat;
3. Keruntuhan Gabungan, dimana bidang keruntuhan melewati bagian belakang dan juga memotong massa tanah yang diperkuat

Berikut ini merupakan tahapan bagaimana cara untuk perencanaan perkuatan lereng menurut Direktorat Bina Teknik (2021), yaitu:

1. Tetapkan persyaratan geometri, pembebanan dan kinerja untuk perencanaan, tinggi lereng, Sudut lereng, Beban luar yang terdiri dari beban mati, beban luar sementara, dan percepatan gempa. Pada persyaratan kinerja Stabilitas eksternal dan penurunan Geser horizontal massa tanah yang diperkuat terhadap tanah dasar  $FK \geq 1,3$ , Keruntuhan eksternal, keruntuhan daya dukung dalam,  $FK \geq 1,3$ , Keruntuhan daya dukung lokal (*squeezing lateral*),  $FK \geq 1,3$ , Pembebanan dinamik,  $FK \geq 1,1$ , mode keruntuhan gabungan,  $FK \geq 1,3$ , dan stabilitas internal,  $FK \geq 1,3$ .
2. Tentukan sifat-sifat teknis tanah di lapangan

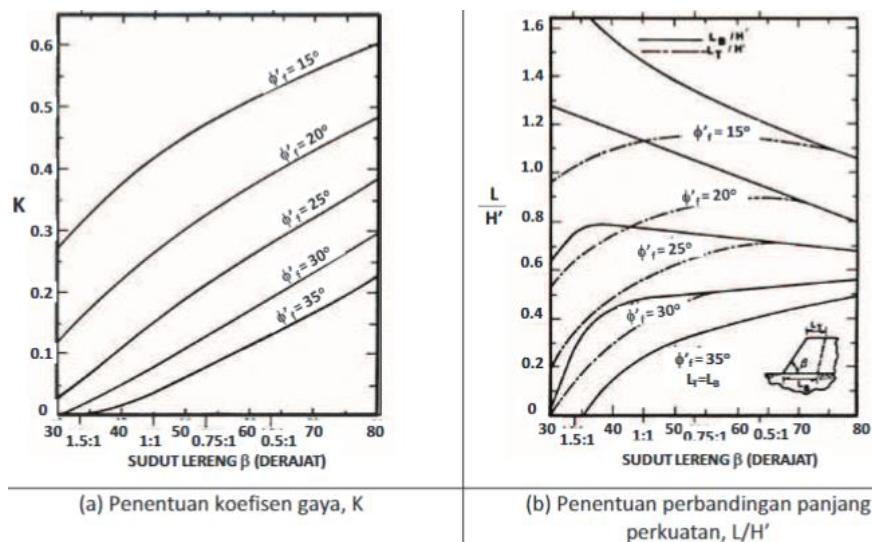
Tentukan profil tanah dasar dan tanah yang ditahan yaitu di bawah dan di belakang zona yang diperkuat di sepanjang lereng, agar tanah dapat dilakukan evaluasi terhadap setiap-setiap keruntuhan, Tentukan parameter kuat geser untuk tanah dasar dan tanah yang ditahan seperti nilai ( $c_u$ ,  $\phi_u$ , atau  $c'$  dan  $\phi'$ ); berat isi (basah dan kering); parameter konsolidasi  $C_c$ ,  $C_r$ , dan  $C_v$  serta  $\sigma_p'$ . Ukur muka air tanah,  $d_w$ , permukaan pisometrik (terutama untuk air yang keluar dari permukaan lereng, untuk perbaikan lereng dan lognsor, lakukan identifikasi penyebab ketidakstabilan serta lokasi bidang keruntuhan yang telah terjadi.

3. Tentukan sifat-sifat teknis timbunan yang diperkuat dan timbunan yang ditahan  
Gradasi ukuran butir dan indeks plastisitas, karakteristik pemadatan berdasarkan 95% berat isi kering maksimum  $\gamma_d$  berdasarkan SNI 03-1742-1989 metode pengujian kepadatan ringan untuk tanah dan  $\pm 2\%$  kadar air optimum, syarat tebal penghamparan, Parameter kuat geser,  $c_u$ ,  $\phi_u$  atau  $c'$ ,  $\phi'$ , dan Komposisi kimiawi tanah.
4. Lakukan evaluasi parameter rencana perkuatan
5. Cek Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan  
Lakukan evaluasi stabilitas tanpa perkuatan geogrid bertujuan untuk menentukan apakah dibutuhkan perkuatan, sifat kritis perencanaan (yaitu apakah *safety factor* tanpa perkuatan lebih besar atau kurang dari 1), masalah potensi keruntuhan dalam, dan panjang zona yang perlu diperkuat;
  - a. Lakukan analisis stabilitas untuk menentukan *safety factor* tanpa perkuatan ( $FK_U$ ) dan momen pendorong untuk bidang-bidang keruntuhan yang dapat terjadi;
  - b. Gunakan metode busur lingkaran dan bidang gelincir-baji, serta pertimbangkan keruntuhan pada kaki lereng, permukaan lereng, dan keruntuhan daya dukung dalam di bawah kaki lereng. Titik terminasi bidang keruntuhan harus berada di setiap zona keruntuhan potensial tersebut;Tentukan luas zona kritis yang perlu diperkuat lakukan analisis untuk seluruh bidang keruntuhan potensial dengan *safety factor* kurang atau sama dengan target *safety factor* lereng. Bidang keruntuhan kritis yang terjadi di bawah kaki lereng mengindikasikan terjadinya masalah keruntuhan daya dukung dalam. Untuk kasus ini, suatu analisis pondasi yang lebih rinci harus dilakukan.
6. Rencanakan perkuatan untuk mendapatkan lereng yang stabil (Gambar 2)  
Tentukan gaya tarik maksimum perkuatan per satuan lebar geosintetik, Nilai gaya tarik per satuan lebar geosintetik, dalam penentuan geogrid yang diperlukan dalam suatu struktur bangunan diperlukan analisis internal salah satunya menggunakan metode *two-part wedge analysis*.
7. Cek Stabilitas Eksternal  
Tahanan Gelincir, Stabilitas keruntuhan dalam global evaluasi keruntuhan global di bawah massa tanah yang diperkuat untuk menghasilkan, Tentukan besar penurunan dan kecepatan penurunan diferensial tanah dasar dengan menggunakan prosedur perhitungan penurunan yang biasa digunakan. Jika hasil perhitungan penurunan melebihi persyaratan proyek, maka tanah pondasi harus diperbaiki, dan Keruntuhan daya dukung lokal pada kaki timbunan (*squeezing lateral*) Jika tebal lapisan tanah lunak ( $D_s$ ) di bawah timbunan kurang dari panjang lereng  $b$ , maka *safety factor* terhadap keruntuhan akibat daya dukung lokal.
8. Stabilitas Gempa (stabilitas dinamik)  
Pada analisis beban dinamika dilakukan menggunakan analisis pseudo-statik dengan menggunakan koefisien gempa yang diperkolah dari PUSKIM.  $1,1 \leq FK_{dinamik}$  Stabilitas gempa ditentukan melalui penambahan gaya vertikal dan/atau horizontal ke titik tengah tiap irisan hingga menghasilkan persamaan kesetimbangan momen. Pelaksanaan perkuatan tanah dengan struktur *reinforced slope* digunakan untuk memperkuat struktur bagian atas dari suatu lereng, tanah dasar yang ada di bawah tanah timbunan haruslah diperhatikan juga karena perkuatan lereng dapat tercipta ketika tanah dasar mampu menahan tanah timbunan di atas. Jika tanah dasar tidak mampu menahan tanah timbunan diperlukannya analisis lanjutan untuk melakukan perkuatan tanah dasar.

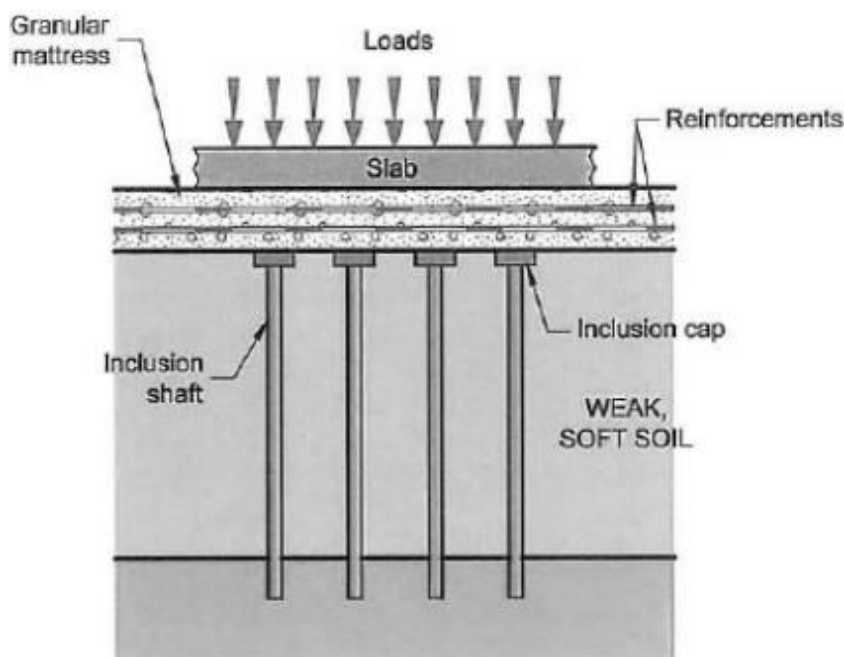
## Perbaikan tanah

Metode *Rigid Inclusion* populer di sekitar tahun 2004 (Briaçon dkk, 2004), Metode *Rigid Inclusion* sudah ada di tahun 1990-an. Bagian-bagian penting dalam metode *Rigid Inclusion* ada 2 yaitu LTP (*Load Transfer Platform*) dan tiang/kolom yang dapat dilihat di Gambar 3.

Pada konsepnya, *Rigid Inclusion* adalah metode untuk memperbaiki tanah bertipe lunak dimana konsep ini meningkatkan kekakuan tanah sehingga kekuatan tanah meningkat dengan bahan dari kolomnya berupa bisa dengan Mortar, *Gravel – Fly Ash*, atau Beton, ukuran diameter dari kolom mulai dari 25 cm sampai 40 cm. Untuk material biasa yang dipakai untuk LTP biasanya menggunakan pasir atau *gravel*, ketebalan dari LTP juga biasanya di kisaran 40 cm hingga 80 cm. Dalam pelaksanaan pemasangan kolom atau tiang *Rigid Inclusion*, kolom atau tiang yang akan dipasang ditambah dengan *Pile cap* dibentuk menjadi dengan pola segitiga atau dibentuk menjadi pola persegi.



Gambar 2. Grafik untuk menentukan besarnya kekuatan perkuatan (Direktorat Bina Teknik, 2021)

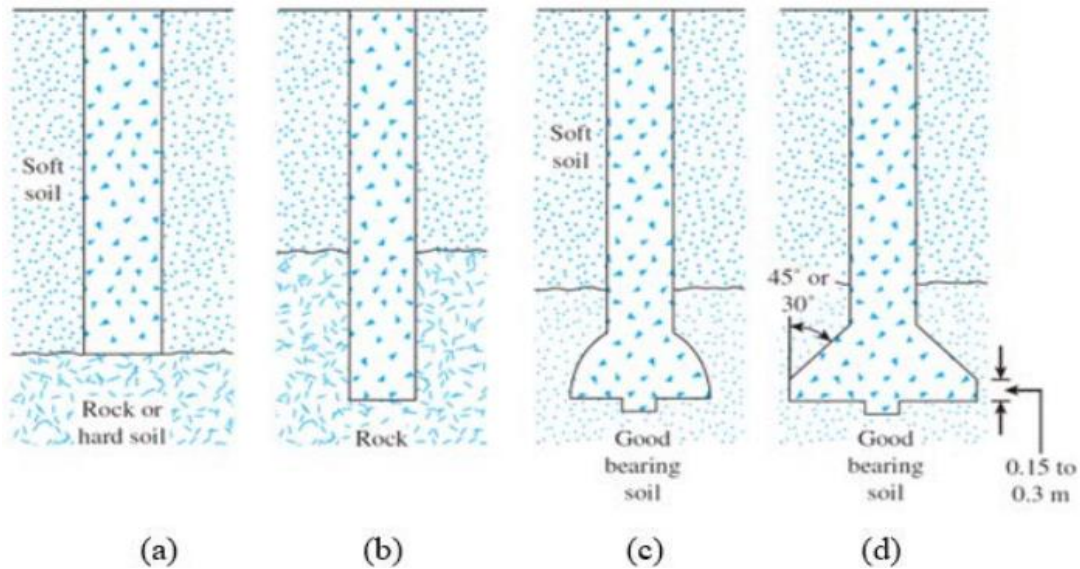


Gambar 3. Komponen *rigid inclusion* (ASIRI National Project, 2011)

Metode *Bored Pile* merupakan metode perbaikan tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu kemudian dimasukan tulangan besi lalu dimasukkan lagi campuran beton sehingga menjadi kolom atau tiang yang diinginkan. Fondasi *Bored Pile* adalah pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu (Hardiyatmo, 2014). *Bored Pile* juga memiliki beberapa jenis dapat dilihat pada Gambar 4.

### Metode *finite element*

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*) merupakan metode yang sudah sangat umum dalam bidang teknik sipil. Dalam perkembangan metode ini sangatlah membantu dalam menganalisis berbagai permasalahan yang ada dalam bidang rekayasa maupun di luar itu. Metode *Finite Element* memiliki prinsip yaitu prinsip diskritisasi, prinsip ini bertujuan untuk membagi suatu benda menjadi benda-benda yang lebih berukuran kecil agar lebih mudah dalam pengelolanya. Dalam penulisan analisis ini menggunakan metode *Finite Element*.



Gambar 4. Jenis-jenis fondasi *bored pile* (Huang & Shafique, 2019)

## 2. METODE PENELITIAN

### Prosedur penelitian

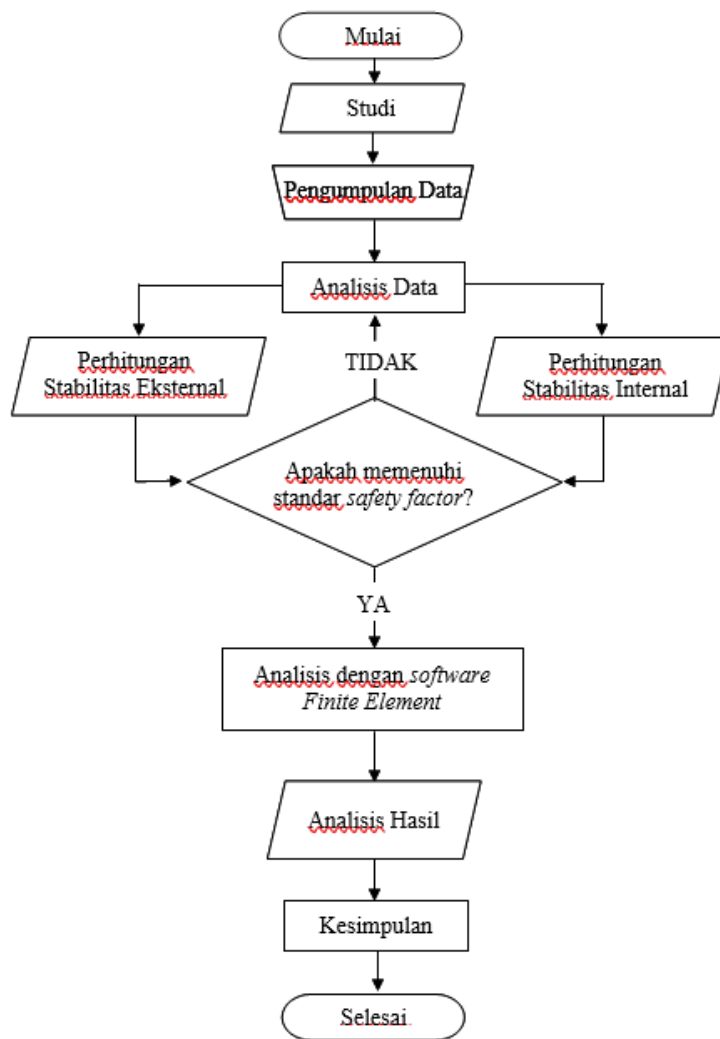
1. Melakukan tahapan studi literatur mengenai lereng kemudian lereng mengalami pergerakan tanah serta penanggulangan yang dapat dilakukan dengan struktur perkuatan lereng atau *Reinforced Reinforced slope structure*.
2. Dalam Penelitian ini seperti di bahas di identifikasi masalah dan Rumusan masalah, dibutuhkan data-data pembantu untuk pembuatan penelitian ini, maka dari ini dibutuhkan data-data parameter tanah, dimensi untuk struktur perkuatan lereng, perkuatan tanah setempat serta parameter geogrid yang digunakan.
3. Langkah berikutnya data-data diatas sudah didapatkan maka dapat dilakukan analisis pada perkuatan lereng untuk mendapatkan suatu nilai faktor keamanan.
4. Setelah data di identifikasi, dilakukan analisis lebih lanjut untuk mendapatkan respon gaya statik dan dinamik pada struktur perkuatan lereng menggunakan metode manual dan software metode elemen hingga.
5. Dari metode elemen hingga ini didapatkan nilai-nilai dan respon struktur perkuatan lereng ini mampu untuk menahan timbunan tanah bertipe granular setinggi lebih dari 14,53 meter, struktur perkuatan lereng tidak mengalami kerusakan yang fatal akibat faktor eksternal maupun akibat internal. Serta didapatkan respon struktur perkuatan lereng dari gelombang gempa menggunakan metode pseudostatic yang bervariasi.

Sistematika pengerjaan penelitian ini dapat disederhanakan dalam bentuk diagram alir terlihat pada Gambar 5.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengumpulan data

1. Data parameter tanah dasar  
Pada analisis posisi muka air tanah berada pada 9,8 meter dari permukaan tanah. Pada penelitian ini data parameter tanah dasar didapatkan dari proyek. Parameter tanah dasar untuk penelitian ini ada pada Tabel 1.
2. Data parameter tanah timbunan  
Pada analisis ini digunakan perkuatan geogrid untuk memperkuat tanah timbunan setinggi 14,53 meter. Data tanah timbunan pada Tabel 2.
3. Data spesifikasi geogrid  
Pada perhitungan analisis perkuatan geogrid diperlukan kuat tarik izin setiap spesifikasi geogrid, berikut ini merupakan perhitungan kuat tarik izin untuk setiap geogrid pada Tabel 3-4.
4. Data spesifikasi *load transform platform* (LTP) seperti yang ditunjukkan Tabel 5.
5. Data spesifikasi *Rigid Inclusion* ditunjukkan pada Tabel 6.
6. Data spesifikasi *Bored pile* pada Tabel 7.



Gambar 5. Diagram alir penelitian

Tabel 1. Parameter tanah dasar

Jenis Tanah	Kohesi (c) kPa	Sudut Geser (φ) °	Berat Volume (γ) kN/m <sup>3</sup>	Berat Volume Tersaturasi (γ <sub>sat</sub> ) kN/m <sup>3</sup>	Modulus Elastisitas (E) kN/m <sup>2</sup>	Poisson Ratio (ν)
Fat Clay	36,4	15,6	17,13	17,546	35928,8	0,25
Sandy Silt	7,35	28,75	17,23	17,37	7386,75	0,3
Silty Sand	5	29,88	18,18	18,76	24600	0,25
Sandy Silt	21,98	14,1	17,75	18,28	22089,9	0,2
Silty Sand	5,8	39,3	17,5	18	50000	0,25
Sandy Silt	41,82	22	17,5	18	64772	0,2
Sandy Silt	41,82	22	17,5	18	30250,5	0,2
Silty Sand	5	40	17,5	18	33193,3	0,25
Briccia Volcanic	70	41	19	21	60000	0,35

**Analisis stabilitas internal**

Pada Tabel 8 merupakan analisis perkuatan geogrid diperlukan kuat tarik izin setiap spesifikasi geogrid, dan berikut ini merupakan perhitungan salah satu kuat tarik izin untuk setiap geogrid:

$$\text{Kuat Tarik Izin} = \frac{\text{Tensile Strength}}{\text{Creep Reduction} \times \text{Installation Damage Partial} \times \text{Environmental Effects partial}}$$

Contoh perhitungan ReGrid-Uxpet 40

$$\text{Kuat Tarik Izin} = \frac{40}{1,44 \times 1,19 \times 1,10}$$

$$\text{Kuat Tarik Izin} = 21,22 \text{ kN/m}$$

Tabel 2. Parameter tanah timbunan

Parameter	Nilai	Satuan
Jenis Tanah	Tanah Berpasir	
Kohesi (c)	5	kPa
Sudut Geser ( $\phi$ )	30	derajat
Berat Volume ( $\gamma$ )	18	kN/m <sup>3</sup>
Berat Volume Tersaturasi ( $\gamma_{sat}$ )	20	kN/m <sup>3</sup>
Modulus Elastisitas (E)	100000	kN/m <sup>2</sup>
<i>Poisson Ratio</i> (v)	0.25	-

Tabel 3. Spesifikasi ReGrid-UXpet

	Unit	40	60	80	100	
<b>Mechanical properties</b>						
<b>Tensile strength</b>	MD	kN/m	40	60	80	100
(ASTM D 6637 – Method $\beta$ )	CMD	kN/m	20	20	30	30
<b>Creep reduction factor</b>						
(at 30°C, 100 years design life)			1,44	1,44	1,44	1,44
<b>Creep limited strength</b>	MD	kN/m	28,8	4,2	57,6	71,9
<b>Installation damage partial factor</b>						
(ASTM D 5818)						
In aggregate $\leq 75$ mm in size			1,19	1,19	1,16	1,16
<b>Environmental effects partial factor</b>						
(GRI-GG7, GRI-GG8)						
Environment, $4 \leq \text{pH} \leq 8$			1,10	1,10	1,10	1,10
<b>Kuat Tarik Izin</b>		kN/m	21,22	31,83	43,53	54,42

Tabel 4. Spesifikasi tensar geogrid

Properti	Unit	Tensar RE 580
Long term strength at 10°C		
ULS T <sub>CR</sub> for 120 yrs	kN/m	71,09
SLS T <sub>CS</sub> for 1 month to 120 yrs	kN/m	30,86

Tabel 5. Parameter *load transform platform*

Parameter	Nilai	Satuan
Jenis Tanah	<i>LTP</i>	
Kohesi (c)	1	kPa
Sudut Geser ( $\phi$ )	36	derajat
Berat Volume ( $\gamma$ )	17,5	kN/m <sup>3</sup>
Berat Volume Tersaturasi ( $\gamma_{sat}$ )	18	kN/m <sup>3</sup>
Modulus Elastisitas (E)	30250,5	kN/m <sup>2</sup>
<i>Poisson Ratio</i> (v)	0,2	-

Tabel 6. Data spesifikasi *rigid inclusion*

Parameter	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas (E)	$2,78 \times 10^7$	kN/m <sup>2</sup>
Diameter	0,6	meter
Panjang	19	meter

Tabel 7. Data spesifikasi *bored pile*

Parameter	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas (E)	$2,78 \times 10^7$	kN/m <sup>2</sup>
Diameter	0,6	meter
Panjang	19	meter

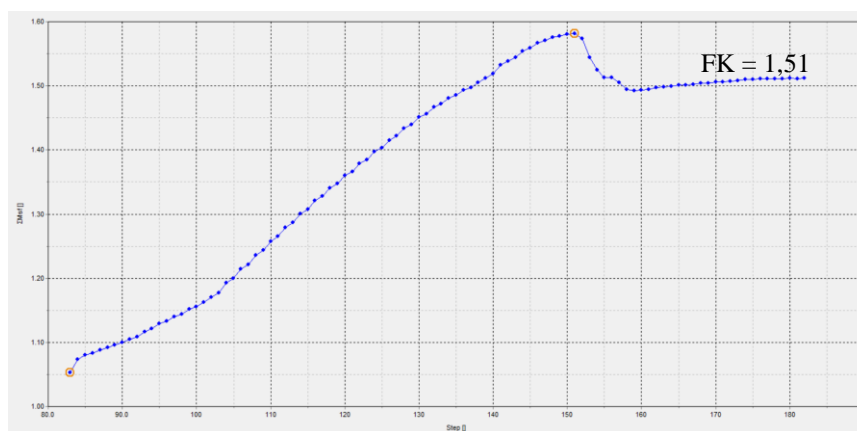


Tabel 8. Penggunaan spesifikasi geogrid berdasarkan kedalaman tanah

z (m)	F (kN/m)		Kuat Tarik Izin (kN/m)	Ok/Not Ok	Spesifikasi Geogrid
0	0	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
0,5	0,765	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
1	1,53	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
1,5	2,295	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
2	3,06	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
2,5	3,825	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
3	4,59	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
3,5	5,355	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
4	6,12	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
4,5	6,885	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
5	7,65	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
5,5	8,415	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
6	9,18	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
6,5	9,945	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
7	10,71	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
7,5	11,475	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
8	12,24	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
8,5	13,005	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
9	13,77	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
9,5	14,535	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
10	15,3	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
10,5	16,065	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
11	16,83	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
11,5	17,595	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
12	18,36	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
12,5	19,125	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
13	19,89	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
13,5	20,655	<	21,22	OK	ReGrid-Uxpet 40
14	21,42	<	31,83	OK	ReGrid-Uxpet 60
14,5	22,185	<	31,83	OK	ReGrid-Uxpet 60

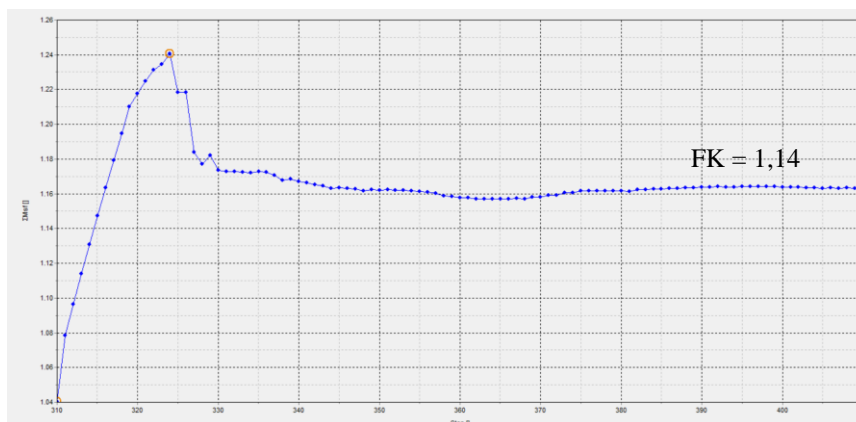
### Analisis stabilitas external

Pada tahap selanjutnya dilakukan perhitungan ulang dengan panjang penjangkaran geogrid yang sudah diubah menjadi berm 1 dengan panjang 10 meter, berm 2 dengan panjang 12 meter, dan berm 3 dengan panjang 14 meter. Dihitung *safety factor* Guling dan Geser didapatkan nilai sebesar 13,233 dan 2,35, Kemudian dilakukan analisis stabilitas global dengan panjang penjangkaran yang sudah berubah didapatkan *safety factor* global terhadap beban statik senilai 1,51  $\geq 1,5$  dapat di lihat pada Gambar 6



Gambar 6. Grafik faktor keamanan stabilitas global statik

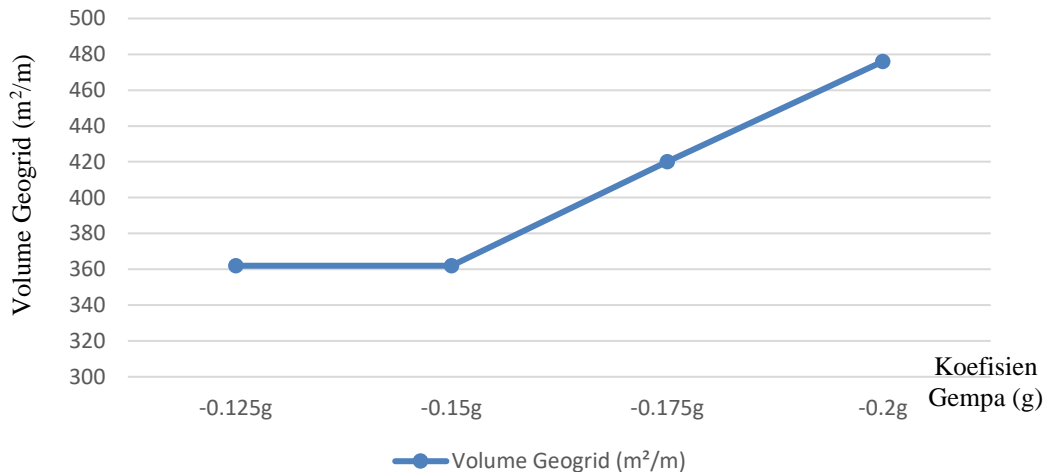
Setelah Nilai Stabilitas Global akibat beban statik telah memenuhi syarat, dilanjutkan analisis stabilitas global akibat beban dinamik. Analisis stabilitas global akibat beban dinamik menggunakan gelombang pseudostatik 0,125g. Menggunakan bantuan aplikasi *finite element* untuk mencari nilai *safety factor* pada struktur perkuatan lereng, didapatkan nilai *safety factor* untuk stabilitas global akibat beban dinamik sebesar  $1,14 \geq 1,1$  dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik faktor keamanan stabilitas global dinamik

### Analisis variasi koefisien gempa

Gambar 8, pada sumbu X merupakan peningkatan koefisien gempa (g) dan untuk sumbu Y merupakan nilai volume geogrid ( $m^2/m$ ) bahwa penambahan volume geogrid pada setiap koefisien gempa mengalami peningkatan, besarnya volume geogrid pada koefisien gempa 0,15g sebesar  $360m^2/m$ , untuk memenuhi *safety factor* pada koefisien gempa yang meningkat sebesar 0,175g volume geogrid juga mengalami peningkatan sebesar 16%. Pada koefisien gempa 0,2g volume geogrid mengalami peningkatan sebesar 32% dari volume geogrid yang dipakai pada koefisien gempa 0,15g.



Gambar 8. Koefisien gempa vs volume geogrid

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari perhitungan dan analisis perkuatan lereng menggunakan geogrid dengan perkuatan tanah *Rigid Inclusion* dan *Bored pile* adalah:

1. Struktur perkuatan geogrid yang dikombinasikan dengan 12 tiang *Bored pile* dan 3 tiang *Rigid Inclusion* mampu menahan timbunan tanah setinggi 14,53 meter
2. Tipe geogrid yang memenuhi persyaratan pada struktur adalah yang memiliki kuat tarik izin 21,22 kN dan 31,83 kN.
3. Faktor keamanan struktur terhadap beban statik yaitu sebagai berikut:

- a. Stabilitas terhadap guling = 13,23
- b. Stabilitas terhadap geser = 2,35
- c. Stabilitas terhadap global = 1,51

Telah memenuhi syarat faktor keamanan sesuai dengan SNI 8460:2017

4. Faktor keamanan struktur terhadap beban dinamik 0,15g sebesar 1,14 untuk panjang penjangkaran geogrid minimum 10 meter.
5. Kenaikan koefisien gempa berbanding lurus dengan panjang penjangkaran geogrid akan meningkat, yaitu untuk koefisien gempa 0,15g dibutuhkan material geogrid sebesar 360 m<sup>2</sup>/m dan pada koefisien gempa 0,2g volume geogrid ini akan meningkat sebesar 32%.

### **Saran**

1. Dalam penggunaan gaya dinamika tanah disarankan untuk Menggunakan *Time History* pada analisis stabilitas global akibat beban dinamik karena gaya dinamika menggunakan *Time History* pada spektrum gelombang dapat di kreasikan dan dapat di samakan dengan spektrum gempa pada lokasi proyek
2. Pada saat mengidentifikasi tanah timbunan dapat menggunakan spesifikasi tanah yang berbeda untuk mendapatkan analisis yang berbeda.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Ambramson, B. M. (1995). *Slope stability and stabilization methods* (edisi ke 2). John Wiley & Sons Inc.
- American Society for Testing and Materials International. (2020). *Standard terminology for geosynthetics* (ASTM D4439-20).
- Aziza, C., & Suhendra, A. (2022). Analisis deformasi lateral MSE WALL dengan perkuatan geogrid terhadap variasi jenis material timbunan. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 5(1), 153-168  
<https://doi.org/10.24912/jmts.v5i1.16652>
- Das, B. M. (1995). *Mekanika tanah (prinsip-prinsip rekayasa geoteknis)*. Erlangga.
- Das, B., & Ramana, G. (1983). *Principles of soil dynamics* (edisi ke 2). Elsevier Science.
- Direktorat Bina Teknik. (2021). *Modul pelatihan geosintetik volume 1. Klasifikasi & fungsi geosintetik*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Direktorat Bina Teknik. (2021). *Modul pelatihan geosintetik volume 3. Klasifikasi dan fungsi geosintetik*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). *Analisis dan perancangan fondasi I*. Gajah Mada University Press
- Huang, J., & Shafique, S. (2019). Performance of drilled shaft under combination of complicated loads under hurricane event. *Tran-SET*, 58. [https://repository.lsu.edu/transet\\_pubs/58](https://repository.lsu.edu/transet_pubs/58)
- IREX's Soil Specialist Cluster. (2017). *Recommendations for the design, construction and control of rigid: Inclusion ground improvements*. Ponts Chaussees.
- Koerner, R. M. (1998). *Designing with geosynthetics*. Prentice Hall.
- O'Rourke, T. D., & Jones, C. (1990). Overview of earth retaining systems: 1970-1990. Dalam *Design and performance of earth retaining structures*, 22-51. ASCE.

