

BAB III

LANDASAN TEORI

1.1 Tanah

Tanah merupakan lapisan tipis kulit bumi yang terletak paling luar dan merupakan hasil pelapukan atau erosi batuan anorganik yang bercampur dengan bahan organik. Mineral merupakan unsur utama pada tanah dan terbentuk dari padatan anorganik. Pada proses pembentukannya, tanah melalui proses alami yang berlangsung sangat lama, selain itu jenis tanah yang berada antara satu tempat dan tempat yang lainnya berbeda. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh jenis batuan, bahan induk, penyinaran matahari, bentuk permukaan bumi serta organisme yang ada pada tanah. Tanah memiliki peranan yang penting bagi kehidupan semua makhluk hidup yang ada di bumi yaitu sebagai tempat pendukung kehidupan tanaman, tempat hidup berbagai mikroorganisme yang ada di bumi, tempat berpijak bagi makhluk hidup di darat serta sebagai penopang struktur atau bangunan yang berada di atasnya.

Hardiyatmo (2006) menjelaskan bahwa dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan – endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya.. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat misalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*).

3.1.1 Klasifikasi Tanah

Sebelum dilakukannya perencanaan sebuah pembangunan baik itu gedung, jalan raya maupun bangunan air dan sebagainya, hal pertama yang harus dilakukan yaitu pemeriksaan kondisi tanah untuk mengetahui apakah struktur yang dibangun mampu ditahan oleh tanah itu sendiri. Pemeriksaan kondisi tanah juga dilakukan untuk mengetahui apakah tanah tersebut sesuai dengan klasifikasi yang telah ditentukan. Jika belum sesuai dengan klasifikasi, dilakukan upaya seperti perkuatan tanah agar tanah tersebut mampu menopang struktur yang ada di atasnya.

Sistem klasifikasi tanah dibuat dengan tujuan untuk memberikan informasi karakteristik dan sifat-sifat fisik tanah, karena sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam maka sistem klasifikasi mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisik. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya.

Salah satu sistem klasifikasi tanah yang paling umum digunakan yaitu USCS (*Unified Soil Classification System*). Metode klasifikasi tanah dengan sistem USCS (*Unified Soil Classification System*) merupakan metode klasifikasi yang paling sering digunakan dalam bidang geoteknik. Klasifikasi ini diusulkan oleh Cassagrande pada tahun 1942 yang kemudian direvisi oleh *The Corps of Engineers and The US Bureau of Reclamation* pada tahun 1952.

Sistem ini mengklasifikasikan tanah menjadi dua kategori yaitu tanah kasar dengan syarat kurang dari 50% tanah lolos melalui saringan No. 200 dan tanah halus dengan syarat lebih dari 50% tanah lolos melalui saringan No. 200. Beberapa simbol berikut ini sering digunakan dalam klasifikasi metode USCS.

1. Jenis tanah

- G : *gravel* (kerikil)
- S : *sand* (pasir)
- M : *silt* (lanau)
- C : *clay* (lempung)

2. Jenis gradasi

W : *well graded* (bergradasi baik)

P : *poorly graded* (bergradasi buruk)

3. Konsistensi plastisitas

H : *high plasticity* (plastisitas tinggi)

L : *low plasticity* (plastisitas rendah)

Tabel klasifikasi tanah dengan sistem USCS (*Unified Soil Classification System*) dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama jenis	
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi		P _t	Gambut dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Sumber: Hardiyatmo (2010)

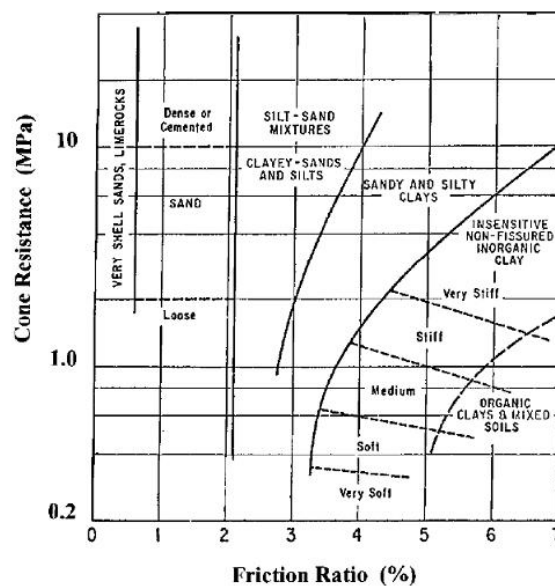
3.1.2 Jenis Tanah Berdasarkan Data Sondir

Tes sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) merupakan salah satu pengujian dalam bidang teknik sipil yang berfungsi untuk mengetahui karakteristik tanah pada lokasi yang akan dilakukan konstruksi. Data yang diperoleh dari hasil pengujian sondir berupa besaran gaya perlawanan dari tanah terhadap konus serta hambatan pelekat dari tanah yang dimaksud. Hambatan pelekat adalah perlawanan geser dari tanah yang bekerja pada selubung bikonus alat sondir dalam gaya per satuan panjang.

Uji sondir dilakukan guna untuk:

1. identifikasi, stratigrafi, klasifikasi lapisan tanah, kekuatan lapisan tanah,
2. kontrol pemadatan tanah timbunan,
3. perencanaan pondasi dan *settlement*, dan
4. perencanaan stabilitas lereng galian/timbunan.

Dari nilai q_c dan FR yang didapatkan dari hasil uji sondir, kemudian dapat dikorelasikan menggunakan grafik sehingga diketahui jenis tanah pada lokasi uji. Hubungan antara tekanan konus (q_c), *Friction Ratio* (FR) dan jenis tanah dapat dilihat dalam grafik Schmertmann pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Tekanan Konus (q_c), *Friction Ratio* (FR) dengan Jenis Tanah

(Sumber: Schmertmann, 1978)

3.1.3 Pemadatan Tanah

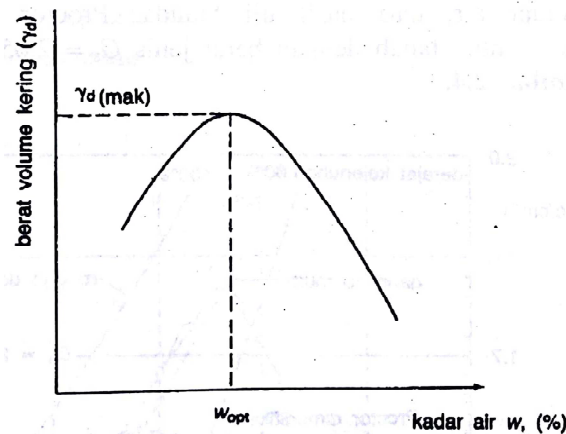
Peristiwa bertambahnya berat volume tanah kering oleh beban dinamis disebut dengan pemadatan. Beban dinamis mengakibatkan butir-butir tanah merapat satu sama lain karena berkurangnya rongga udara dalam tanah. Pada pemadatan dengan beban dinamis, proses bertambahnya berat volume tanah kering sebagai akibat dari pemadatan partikel tanah yang diikuti oleh pengurangan volume udara dengan volume air tetap tidak berubah. Ketika air ditambahkan pada proses pemadatan, air tersebut melunakkan partikel-partikel tanah yang menyebabkan partikel-partikel tersebut menggelincir satu sama lain dan bergerak pada posisi yang lebih rapat.

Pada awal proses pemadatan, berat volume tanah kering bertambah ketika kadar air bertambah. Saat kadar air lebih besar dari kadar air tertentu (saat kadar air optimum), kenaikan kadar air justru mengurangi berat volume tanah keringnya. Hal tersebut dikarenakan air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat. Kadar air saat berat volume tanah kering mencapai maksimum (γ_{dmaks}) disebut dengan kadar air optimum (w_{opt}).

Hubungan kadar air dan berat volume tanah kering ditentukan dengan melakukan uji pemadatan tanah. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut dengan uji *Proctor*. Alat pemadatan yang digunakan berupa silinder *mould*. Tanah di dalam *mould* dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm. Tanah dipadatkan dalam 3 lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali pukulan. Pada uji *Proctor* yang dimodifikasi (*Modified Proctor*), *mould* yang digunakan masih tetap sama, namun berat penumbuknya diganti dengan yang memiliki berat 4,54 kg dengan tinggi jatuh penumbuk 45,72 cm. Pengujian *Modified Proctor* melakukan penumbukan tanah di dalam *mould* dalam 5 lapisan.

Pada uji pemadatan, percobaan dilakukan beberapa kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Hasil dari pengujian kemudian digambarkan dalam sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume tanah keringnya. Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik (w_{opt}) untuk mencapai berat volume tanah kering terbesar atau kepadatan maksimum. Pada nilai

kadar air rendah, untuk kebanyakan tanah cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan. Saat kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak. Kurva hubungan antara kadar air dengan berat volume tanah kering dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Kurva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Tanah Kering
(Sumber:Hardiyatmo, 2006)

Hubungan berat volume tanah kering (γ_d) dengan berat volume tanah basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam Persamaan 3.1 berikut.

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (3.1)$$

dengan:

- γ_d = berat volume tanah kering (kN/m^3),
- γ = berat volume tanah basah (kN/m^3), dan
- w = kadar air (%)

3.1.4 Propertis Tanah

Propertis tanah yang digunakan dalam proses penelitian meliputi berat volume tanah basah (γ), sudut geser dalam (ϕ), serta kohesi (c).

1. Berat volume tanah basah (γ)

Berat volume tanah basah (γ) adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume tanah (V), yang dapat dilihat pada Persamaan 3.2 berikut.

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (3.2)$$

Nilai dari berat volume tanah basah (γ) sesuai dengan jenis tanahnya dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Korelasi Berat Volume (γ) Untuk Tanah Kohesif dan Non Kohesif

	<i>Cohesionless Soil</i>				
N	0-10	11-30	31-50	>50	
<i>Unit Weight (γ),</i> kN/m ³	12-16	14-18	16-20	18-23	
<i>Angle of Friction (ϕ)</i>	25-32	28-36	30-40	>35	
<i>State</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>	
	<i>Cohesive</i>				
N	<4	4-6	6-15	16-25	>25
<i>Unit Weight (γ),</i> kN/m ³	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
q _u , kPa	<25	20-50	30-60	40-200	>100
<i>Consistency</i>	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

Sumber: Lambe dan Whitman (1969)

2. Sudut geser dalam (ϕ)

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam juga dapat disebut sebagai sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material diberikan tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang diberikan terhadapnya. Nilai dari sudut geser dalam (ϕ) sesuai dengan jenis tanahnya ditunjukkan pada Tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Kerikil kepasiran	$35^\circ - 40^\circ$
Kerikil kerakal	$35^\circ - 40^\circ$
Pasir padat	$35^\circ - 40^\circ$
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	$25^\circ - 30^\circ$
Lempung	$20^\circ - 25^\circ$

Sumber: Das (1995)

3. Kohesi (c)

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Aspek yang mempengaruhi nilai kohesi adalah kerapatan dan jarak antar molekul dalam suatu tanah. Kohesi berbanding lurus dengan kerapatan suatu tanah, sehingga apabila kerapatan semakin besar maka kohesi yg akan dimiliki juga semakin besar. Nilai kohesi dapat ditentukan berdasarkan jenis tanahnya. Pada Tabel 3.4 dan 3.5 di bawah ini merupakan nilai kohesi berdasarkan jenis tanah menurut klasifikasi sistem USCS dan berdasarkan nilai berat volume tanah yang dimiliki.

Tabel 3.4 Nilai Kohesi Berdasarkan Jenis Tanah

<i>Description</i>	USCS	<i>Cohesion [kPa]</i>		
		Min	Max	<i>Specific value</i>
<i>Well graded gravel, sandy gravel, with little or no fines</i>	GW	-	-	0
<i>Poorly graded gravel, sandy gravel, with little or no fines</i>	GP	-	-	0
<i>Silty gravels, silty sandy gravels</i>	GM	-	-	0
<i>Clayey gravels, clayey sandy gravels</i>	GC	-	-	20
<i>Well graded sands, gravelly sands, with little or no fines</i>	SW	-	-	0
<i>Poorly graded sands, gravelly sands, with little or no fines</i>	SP	-	-	0
<i>Silty sands</i>	SM	-	-	22

Lanjutan Tabel 3.4 Nilai Kohesi Berdasarkan Jenis Tanah

<i>Silty sands - Saturated compacted</i>	SM	-	-	50
<i>Silty sands – Compacted</i>	SM	-	-	20
<i>Clayey sands</i>	SC	-	-	5
<i>Clayey sands – Compacted</i>	SC	-	-	74
<i>Clayey sands -Saturated compacted</i>	SC	-	-	11
<i>Loamy sand, sandy clay Loam – compacted</i>	SM, SC	50	75	
<i>Loamy sand, sandy clay Loam – saturated</i>	SM, SC	10	20	
<i>Sand silt clay with slightly plastic fines – compacted</i>	SM, SC	-	-	50
<i>Sand silt clay with slightly plastic fines - saturated compacted</i>	SM, SC	-	-	14
<i>Inorganic silts, silty or clayey fine sands, with slight plasticity</i>	ML	-	-	7
<i>Inorganic silts and clayey silts – compacted</i>	ML	-	-	67
<i>Inorganic silts and clayey silts - saturated compacted</i>	ML	-	-	9
<i>Inorganic clays, silty clays, sandy clays of low plasticity</i>	CL	-	-	4
<i>Inorganic clays, silty clays, sandy clays of low plasticity – compacted</i>	CL	-	-	86
<i>Inorganic clays, silty clays, sandy clays of low plasticity - saturated compacted</i>	CL	-	-	13
<i>Mixture if inorganic silt and clay – compacted</i>	ML-CL	-	-	65
<i>Mixture if inorganic silt and clay - saturated compacted</i>	ML-CL	-	-	22
<i>Organic silts and organic silty clays of low plasticity</i>	OL	-	-	5
<i>Inorganic silts of high plasticity - compactd</i>	MH	-	-	10
<i>Inorganic silts of high plasticity - saturated compacted</i>	MH	-	-	72
<i>Inorganic silts of high plasticity</i>	MH	-	-	20

Lanjutan Tabel 3.4 Nilai Kohesi Berdasarkan Jenis Tanah

<i>Inorganic clays of high plasticity</i>	CH	-	-	25
<i>Inorganic clays of high plasticity – compacted</i>	CH	-	-	103
<i>Inorganic clays of high plasticity - saturated compacted</i>	CH	-	-	11
<i>Organic clays of high plasticity</i>	OH	-	-	10
<i>Loam – Compacted</i>	ML, OL, MH, OH	60	90	
<i>Loam – Saturated</i>	ML, OL, MH, OH	10	20	
<i>Silt Loam – Compacted</i>	ML, OL, MH, OH	60	90	
<i>Silt Loam – Saturated</i>	ML, OL, MH, OH	10	20	
<i>Clay Loam, Silty Clay Loam – Compacted</i>	ML, OL, CL, MH, OH, CH	60	105	
<i>Clay Loam, Silty Clay Loam – Saturated</i>	ML, OL, CL, MH, OH, CH	10	20	
<i>Silty clay, clay – compacted</i>	OL, CL, OH, CH	90	105	
<i>Silty clay, clay – saturated</i>	OL, CL, OH, CH	10	20	
<i>Peat and other highly organic soils</i>	Pt	-	-	

Sumber: Geotechdata (2013)

Tabel 3.5 Nilai Kohesi Tanah Berdasarkan Nilai Berat Volume (γ)

<i>Cohesive Soil</i>					
<i>N-SPT</i>	<4	4 - 6	6 - 15	16 - 30	31 – 50
<i>State</i>	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>
<i>Cohesion</i>	0 – 10	10 - 25	25 - 45	45 - 95	>100
<i>Unit Weight</i>	14 – 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	20 – 23

Sumber: Lambe dan Whitman (1969)

3.2 Beban Pada Timbunan Jalan Raya

3.2.1 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas yang diberikan dalam proses analisis dimodelkan sebagai beban merata yang harus diperhitungkan pada seluruh lebar permukaan timbunan. Penentuan besarnya beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Data Beban Lalu Lintas Sesuai Fungsi dan Sistem Jaringan Jalan

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m ²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	>10.000	15
		<10.000	12
Sekunder	Arteri	>20.000	15
		<20.000	12
	Kolektor	>6.000	12
		<6.000	10
	Lokal	>500	10
		<500	10

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

3.2.2 Beban Perkerasan

Perkerasan jalan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk memikul beban lalu lintas secara aman dan nyaman yang kemudian beban tersebut diteruskan ke tanah dasar (*subgrade*), sehingga tanah dasar tidak menerima tekanan yang lebih besar dari daya dukungnya. Secara umum konstruksi perkerasan jalan dibagi menjadi dua jenis, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*).

Perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan ikatnya. Lapis perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar, sedangkan perkerasan kaku yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*Portland Cement*) sebagai bahan ikat atau bahan utama dalam pengerjaannya. Perkerasan kaku umumnya digunakan pada jalan yang memiliki

kondisi lalu lintas yang cukup padat serta memikul beban lalu lintas yang besar, seperti pada jalan-jalan lintas antar provinsi, jembatan layang (*fly over*), jalan tol maupun pada persimpangan bersinyal. Jalan-jalan tersebut menggunakan beton sebagai bahan perkerasannya dan untuk meningkatkan kenyamanan biasanya dilapisi aspal di atas permukaan perkerasan kaku tersebut.

Beban perkerasan yang dimasukkan dalam proses analisis dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.3 berikut.

$$\text{Berat perkerasan rigid per m}^2 = \text{tebal perkerasan} \times \gamma \text{ beton} \quad (3.3)$$

3.2.3 Beban Gempa

Gempa bumi adalah guncangan di permukaan bumi disebabkan oleh pergerakan yang cepat pada lapisan batuan terluar bumi atau dapat dikatakan gempa bumi merupakan gerakan tiba-tiba atau suatu rentetan gerakan tanah yang berasal dari suatu daerah terbatas dan menyebar dari titik tersebut ke segala arah. Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur konstruksi yang merupakan akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan oleh adanya gempa bumi yang mempengaruhi struktur tersebut.

Secara garis besar, tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi bergantung dari kekuatan struktur konstruksi, kondisi geologi dan geotektonik konstruksi serta percepatan tanah di lokasi konstruksi akibat dari getaran gempa bumi. Faktor yang menyebabkan kerusakan dinyatakan dalam parameter percepatan tanah disebut PGA (*Peak Ground Acceleration*) yang menggambarkan tingkat bahaya gempa bumi di suatu lokasi tertentu.

Peak Ground Acceleration (PGA) atau percepatan getaran tanah maksimum yaitu nilai percepatan getaran tanah yang terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gempa bumi. Semakin besar nilai PGA yang terjadi di suatu tempat maka semakin besar bahaya dan risiko gempa bumi yang mungkin terjadi. Efek primer gempa bumi adalah kerusakan struktur konstruksi.

3.3 Stabilitas Lereng

Lereng merupakan permukaan bumi yang tidak datar dan membentuk suatu sudut kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alamiah akibat dari proses geologi atau karena buatan manusia, oleh sebab itu terdapat dua jenis lereng yang disebut lereng alami dan lereng buatan. Lereng yang terbentuk secara alamiah yaitu seperti bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia terdiri dari struktur timbunan atau urugan dan galian untuk pembangunan bangunan gedung, jalan raya, tanggul sungai dan lain-lain.

3.3.1 Longsor

Longsor adalah gerakan material tanah pembentuk lereng yang dapat diakibatkan oleh kegagalan geser yang terjadi di sepanjang satu atau lebih bidang longsor. Massa tanah yang bergerak bisa menyatu sekaligus maupun secara terpisah-pisah. Penting untuk mengetahui atau menentukan tipe dan penyebab dari kelongsoran untuk proses identifikasi sehingga tindakan perbaikan maupun pencegahan yang tepat dapat segera dilakukan. Tanda-tanda awal dari gerakan tanah yang berdekatan dengan jalan raya yaitu adanya penurunan jalan, mengembungnya perkerasan jalan serta adanya retakan.

Berdasarkan geometri bidang gelincirnya, longsor dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu longsor rotasional dan longsor translasional. Longsor rotasional (*rotational slides*) yaitu longsor dengan bidang longsor melengkung ke atas dan sering terjadi dengan gerakan massa tanah yang merupakan satu kesatuan. Longsor rotasional murni terjadi pada material yang relatif homogen seperti timbunan buatan. Longsor translasional (*translational slides*) memiliki bidang longsor berbentuk gelincir datar. Longsor translasional adalah gerakan di sepanjang diskontinuitas atau bidang lemah yang secara pendekatan sejajar dengan permukaan lereng, yang akhirnya mengakibatkan gerakan tanah secara translasi.

3.3.2 Penyebab Longsor

Penyebab terjadinya longsor dapat disebabkan oleh banyak hal atau kondisi baik kondisi geologi, hidrologi, topografi, iklim dan perubahan cuaca. Hal-

hal tersebut dapat mempengaruhi stabilitas dari sebuah lereng sehingga dapat menyebabkan terjadinya longsor. Menurut Haridyatmo (2006) adapun sebab-sebab longsor yang terjadi adalah sebagai berikut.

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenangi di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuhan yang tertiuang angin dan lain-lain.
2. Penggalan atau pemotongan tanah pada kaki lereng.
3. Penggalan yang mempertajam kemiringan lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) pada bendungan, sungai dan lain-lain.
5. Kenaikan tekanan tanah lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral).
6. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.
7. Gempa bumi.

3.4 Analisis Stabilitas Lereng

3.4.1 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Tujuan dari analisis stabilitas lereng yaitu untuk mendukung perancangan yang aman dan ekonomis dari timbunan, galian, bendungan urugan dan lain-lain sehingga fungsi dari sebuah struktur atau konstruksi yang ada di atasnya maupun di dekatnya dapat bekerja secara optimal. Menurut Hardiyatmo (2006), maksud dari dilakukannya analisis stabilitas lereng yaitu:

1. untuk memahami perkembangan dan bentuk dari lereng alam, dan proses-proses yang menyebabkan perubahan karakteristiknya,
2. untuk menilai stabilitas lereng saat kondisi waktu jangka pendek (saat pembangunan) dan waktu jangka panjang,

3. untuk menilai kemungkinan terjadinya kelongsoran lereng alam maupun lereng buatan,
4. untuk menganalisis dan memahami mekanisme keruntuhan dan pengaruh lingkungan,
5. untuk melakukan perancangan ulang lereng yang telah longsor dan melakukan tindakan-tindakan pencegahan maupun perbaikan bila diperlukan, dan
6. untuk mempelajari pengaruh beban gempa pada lereng alam dan timbunan.

Analisis stabilitas lereng pada umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*). Maksud dari dilakukannya analisis stabilitas lereng yaitu untuk menentukan faktor keamanan dari bidang longsor yang potensial. Faktor aman didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, yang dapat dilihat pada Persamaan 3.4.

$$F = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (3.4)$$

dengan:

- τ = tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah (kN/m^2),
- τ_d = tegangan geser akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m^2), dan
- F = faktor keamanan.

Pada umumnya, nilai faktor keamanan stabilitas lereng atau faktor aman terhadap kuat geser tanah diambil lebih besar atau sama dengan 1,2 – 1,5. Nilai angka keamanan terhadap intensitas longsohnya dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor

Nilai Faktor Keamanan	Kemungkinan Longsor
$F < 1,07$	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
$1,07 < F < 1,25$	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
$F > 1,25$	Longsor jarang terjadi (lereng stabil)

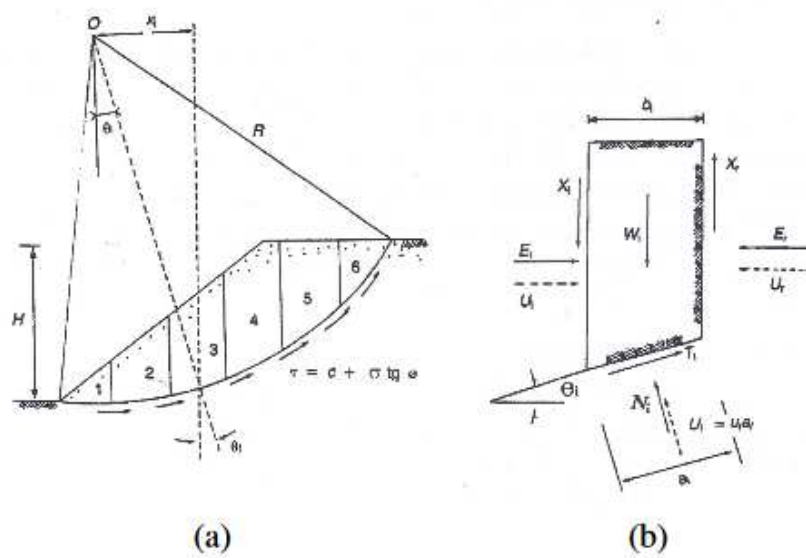
Sumber: Bowles (1984)

Nilai faktor keamanan yang digunakan sebagai syarat untuk perencanaan lereng yang stabil dalam penelitian yaitu sebesar 1,30.

3.4.2 Metode Irisan (*Fellenius*)

Metode Fellenius (*Ordinary Method of Slice*) diperkenalkan pertama kali oleh Fellenius yang menyatakan gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan faktor keamanan dihitung dengan keseimbangan momen. Analisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode Fellenius menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor.

Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja ditengah-tengah irisan. Diasumsikan pula bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisan adalah sama dengan nol atau dengan kata lain bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan dengan menggunakan metode Fellenius dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Gaya-gaya yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber:Hardiyatmo, 2010)

dengan:

X_l, X_r = gaya geser efektif disepanjang sisi irisan,

E_l, E_r = gaya normal efektif disepanjang sisi irisan,

T_i = resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan,

N_i = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan,

U_l, U_r = tekanan air pori yang bekerja dikedua sisi irisan, dan

U_i = tekanan air pori di dasar irisan.

Berdasarkan anggapan di atas maka keseimbangan arah vertikal dari gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori dapat dilihat pada Persamaan 3.5 berikut.

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i$$

atau

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\ &= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \end{aligned}$$

(3.5)

Faktor aman (F) didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor (ΣM_R) dengan jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor (ΣM_D) yang dapat dilihat pada Persamaan 3.6.

$$F = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_D} \quad (3.6)$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, sehingga dapat dijadikan seperti Persamaan 3.7.

$$\Sigma M_D = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (3.7)$$

keterangan:

R = jari-jari lingkaran bidang longsor (m),

n = jumlah irisan,

W_i = berat massa tanah irisan ke- i (kN), dan

θ_i = sudut yang didefinisikan ($^\circ$)

Melalui cara yang sama, momen yang menahan tanah yang akan longsor dapat dilihat pada Persamaan 3.8.

$$\Sigma M_R = R \sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \phi) \quad (3.8)$$

Persamaan untuk faktor amannya menjadi seperti Persamaan 3.9.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \phi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.9)$$

Bila terdapat air pada lerengnya, tekanan air pori pada bidang longsor tidak berpengaruh pada M_D , karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi Persamaan 3.7 ke Persamaan 3.9, diperoleh Persamaan 3.10.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.10)$$

keterangan:

F = faktor aman,

c = kohesi tanah (kN/m²),

ϕ = sudut gesek dalam tanah (derajat),

a_i = panjang bagian lingkaran pada irisan ke-i (m),

W_i = berat irisan tanah ke-i (kN),

u_i = tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m²), dan

θ_i = sudut yang didefinisikan (°).

Pada proses perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan metode irisan *Fellenius*, berat setiap irisan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.11 untuk irisan yang hanya dibebani berat tanah serta Persamaan 3.12 untuk irisan yang juga terdapat beban seperti beban perkerasan dan beban lalu lintas di atasnya.

$$W_i = \gamma \times A_i \quad (3.11)$$

$$W_i = (\gamma \times A_i) + (q \times L) \quad (3.12)$$

dengan:

W_i = berat irisan tanah (kN),

γ = berat volume tanah (kN/m³),

A_i = luas irisan tanah (m²),

q = beban (kN/m²), dan

L = lebar irisan yang terkena beban (m).

Jika terdapat gaya-gaya selain berat lereng tanahnya sendiri, seperti beban bangunan di atas lereng, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai M_D . Pada metode Fellenius batas-batas nilai kesalahan dapat mencapai kira-kira 5 sampai 40% tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih dan

besarnya tekanan air pori, walaupun analisisnya ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahannya masih merupakan fungsi dari faktor aman dan sudut pusat dari lingkarannya.

3.5 Geotekstil

Geotekstil merupakan salah satu jenis geosintetik atau produk buatan dari bahan polimer yang berfungsi untuk memperbaiki kinerja tanah dan berbentuk seperti karpet atau kain. Umumnya material geotekstil terbuat dari bahan polimer *polyester (PET)* atau *polypropylene (PP)*. Geotekstil secara garis besar dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan metode yang digunakan untuk mengkombinasikan filamen atau pita menjadi struktur lembaran atau dapat dikatakan pada cara pembuatannya, adapun jenis geotekstil yang dimaksud yaitu geotekstil *woven* dan geotekstil *non woven*. Geotekstil *woven* dibuat dengan cara dianyam sedangkan geotekstil *nonwoven* proses pembuatannya tidak dengan cara dianyam sehingga tekstur dari geotekstil *woven* terlihat lebih teratur dibandingkan dengan geotekstil *nonwoven*.

3.5.1 Geotekstil Woven

Geotekstil *woven* merupakan salah satu jenis geotekstil yang diproduksi dengan mengadopsi teknik seperti tenun tekstil pakaian biasa. Geotekstil jenis ini berbentuk anyaman, biasanya dua arah atas dan bawah serta terbuat dari serat atau benang *polymer* yang berbahan dasar *polypropylene* atau *polyester*. Geotekstil *woven* memberikan kuat tarik maksimal pada berat tahanan minimal. Hal ini memberikan keuntungan ekonomis yang besar untuk mendapatkan tingkat keamanan struktur yang diharapkan. Geotekstil *woven* bersifat *permeable* dan memiliki kuat tarik yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan geotekstil jenis *non woven*.

Beberapa keuntungan dari material geotekstil *woven* adalah yaitu:

1. bentuknya teratur dan teranyam sehingga memiliki kuat tarik yang besar dibandingkan geotekstil *non woven* sehingga sangat cocok sebagai lapis perkuatan, dan

2. *permeable* (tembus air) sehingga bisa digunakan sebagai lapisan penyaring.

Beberapa kekurangan dari geotekstil *woven* yaitu:

1. tidak tahan terhadap sinar matahari, hal ini dikarenakan sinar matahari mengandung sinar ultraviolet yang dapat menyebabkan degradasi yang cepat, dan
2. rentan terhadap tusukan benda tajam.

Geotekstil jenis *woven* dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Geotekstil Woven

(Sumber: Geogen Inc, 2013)

3.5.2 Geotekstil *Non Woven*

Geotekstil *non woven* adalah salah satu jenis geotekstil yang terbuat dari bahan *polypropylene* dan *polyester*. Bentuk dari geotekstil *non woven* tidak teranyam seperti karpet kain dan geotekstil jenis ini dirancang untuk memberikan kinerja yang optimal per satuan berat. Ketahanan mekanik dan hidrolis yang sangat baik menjadikan geotekstil *non woven* sebagai pilihan yang tepat untuk lapisan pemisah dan penyaring karena memiliki kekuatan jebol (*puncture resistance*) yang tinggi untuk menjamin material tidak rusak pada saat pelaksanaan.

Terdapat beberapa kelebihan dari geotekstil *non woven* yaitu:

1. memiliki permeabilitas yang cukup besar, sehingga cocok untuk aplikasi pada tanah dasar yang banyak mengandung sisa-sisa tanaman,

2. memiliki sifat properti hidrolis yang lebih bagus sehingga bisa sekaligus berfungsi sebagai lapisan penyaring yang hanya melarutkan air tanpa membawa partikel tanah, dan
3. ketahanan terhadap tusukan benda tajam lebih baik dibandingkan dengan geotekstil *woven*.

Kekurangan dari geotekstil *non woven* yaitu memiliki nilai kuat tarik yang lebih kecil dibandingkan dengan geotekstil *woven* sehingga kurang baik bila digunakan untuk stabilisasi tanah dasar.

Geotekstil jenis *non woven* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Geotekstil Non Woven
(Sumber: Indiamart, 2018)

3.6 Geotekstil untuk Perkuatan Lereng

Pada sebuah pembangunan jalan baru, dengan mempertimbangkan alasan tertentu seperti biaya urugan, ruang pembebasan tanah dan lain-lain, mengharuskan pembangunan timbunan dengan sudut kemiringan lereng tertentu. Christopher, et al (1990) dalam Hardiyatmo (2008) mengklasifikasikan seperti berikut:

1. struktur timbunan dengan kemiringan lereng $< 70^\circ$ yang lerengnya diperkuat, disebut lereng tanah bertulang (*Reinforced Soil Slope*), dan
2. struktur timbunan dengan kemiringan lereng $> 70^\circ$ yang lerengnya diperkuat, disebut struktur dinding tanah distabilisasi secara mekanis (*Mechanically Stabilized Earth Wall*).

Timbunan yang diberi perkuatan menggunakan geotekstil dapat memberikan penghematan yang signifikan dibandingkan apabila menggunakan metode konvensional seperti metode stabilisasi dengan pembangunan *berm*. Geotekstil yang digunakan untuk perkuatan timbunan dapat berupa geotekstil *woven* maupun geotekstil *non woven*. Fungsi geotekstil yang dipasang dapat sebagai tulangan, pemisah ataupun drainase. Untuk hal tersebut, perancangan biasanya didasarkan pada analisis stabilitas lereng.

3.6.1 Perancangan Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil

Syarat perancangan lereng yang diperkuat menggunakan geotekstil pada prinsipnya sama dengan lereng tanpa perkuatan. Faktor keamanan yang dimiliki harus memenuhi baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang untuk semua kemungkinan model keruntuhan.

Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan terdiri dari analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Stabilitas eksternal terdiri dari stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas dan kapasitas dukung tanah, sedangkan stabilitas internal berupa stabilitas terhadap putus tulangan dan cabut tulangan. Stabilitas internal merupakan stabilitas terhadap gaya-gaya internal yang diperhitungkan terhadap panjang *overlap* geotekstil dan panjang efektif geotekstil.

3.6.1.1 Stabilitas Eksternal

Pada perancangan perkuatan lereng dengan menggunakan geotekstil, untuk memperkirakan panjang geotekstil (L) yang dibutuhkan agar lereng mencapai faktor keamanan (SF) yang disyaratkan maka dihitung berdasarkan analisis stabilitas eksternal lereng. Perhitungan berdasarkan analisis stabilitas eksternal lereng terdiri dari stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas dan kapasitas dukung tanah.

1. Stabilitas Terhadap Geser

Faktor keamanan terhadap geser dinyatakan oleh Persamaan 3.13.

$$SF = \frac{L H \gamma \operatorname{tg} \frac{2}{3} \phi}{(0.5 H^2 \gamma K a) + (q K a H) - (2 c \sqrt{K a} H)} \quad (3.13)$$

2. Stabilitas Terhadap Guling

Faktor keamanan terhadap guling dinyatakan oleh Persamaan 3.14.

$$SF = \frac{0.5 \gamma H L^2}{\left(\frac{1}{3} H 0.5 H^2 \gamma Ka\right) + \left(q Ka \frac{1}{2} H^2\right) - (2 c \sqrt{Ka} \frac{1}{2} H^2)} \quad (3.14)$$

3. Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

Nilai $L/6$ harus lebih besar dari nilai eksentrisitas yang dinyatakan dalam Persamaan 3.15 dan Persamaan 3.16 berikut.

$$\frac{1}{6} L \geq e \quad (3.15)$$

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{\left(q Ka \frac{1}{2} H^2\right) + \left(\frac{1}{3} H 0.5 H^2 \gamma Ka\right) - (2 c \sqrt{Ka} \frac{1}{2} H^2)}{(H \times \gamma \times L) + (q \times L)} \quad (3.16)$$

4. Stabilitas Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Kebutuhan panjang geotekstil berdasarkan stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah dapat diperkirakan dengan cara menghitung menggunakan Persamaan 3.17, 3.18 dan 3.19 berikut.

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \times \gamma + q} \quad (3.17)$$

$$q_{ult} = c \cdot N_c + 0,5 \cdot L \cdot \gamma \cdot N_\gamma \quad (3.18)$$

$$\sigma_{ult} = q_{ult} \times SF \quad (3.19)$$

Keterangan untuk semua persamaan stabilitas eksternal di atas:

SF = faktor keamanan,

L = panjang geotekstil (m),

H = tinggi timbunan (m),

γ = berat volume tanah (kN/m³),

ϕ = sudut geser tanah timbunan (°),

Ka = koefisien tekanan tanah aktif,

q = beban (kN/m²),

c = kohesi tanah timbunan (kN/m²), dan

N_c, N_γ = koefisien kapasitas dukung tanah.

Nilai koefisien kapasitas dukung tanah yang dibutuhkan dalam menghitung kapasitas dukung tanah batas (q_{ult}) dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Koefisien Kapasitas Dukung Tanah

ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5,14	1,00	0,00	26	22,25	11,85	12,54
1	5,38	1,09	0,07	27	23,94	13,20	14,47
2	5,63	1,20	0,15	28	25,80	14,72	16,72
3	5,90	1,31	0,24	29	27,86	16,44	19,34
4	6,19	1,43	0,34	30	30,14	18,40	22,40
5	6,49	1,57	0,45	31	32,67	20,63	25,90
6	6,81	1,72	0,57	32	35,49	23,18	30,22
7	7,16	1,88	0,71	33	38,64	26,09	35,19
8	7,53	2,06	0,86	34	42,16	29,44	41,06
9	7,92	2,25	1,03	35	46,12	33,30	48,03
10	8,85	2,47	1,22	36	50,59	37,75	56,31
11	8,80	2,71	1,44	37	55,63	42,92	66,19
12	9,28	2,97	1,69	38	61,35	48,93	78,03
13	9,81	3,26	1,97	39	67,87	55,96	92,25
14	10,37	3,59	2,29	40	75,31	64,20	109,41
15	10,98	3,94	2,65	41	83,86	73,90	130,22
16	11,63	4,34	3,06	42	93,71	85,38	155,55
17	12,34	4,77	3,53	43	105,11	99,02	186,54
18	13,10	5,26	4,07	44	118,37	115,31	224,64
19	13,93	5,80	4,68	45	133,88	134,88	271,76
20	14,83	6,40	5,39	46	152,10	158,51	330,35
21	15,82	7,07	6,20	47	173,64	187,21	403,67
22	16,88	7,82	7,13	48	199,26	222,31	496,01
23	18,05	8,66	8,20	49	229,93	265,51	613,16
24	19,32	9,60	9,44	50	266,89	319,07	762,89
25	20,72	10,66	10,88	-	-	-	-

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

3.6.1.2 Stabilitas Internal

1. Panjang *overlapping*

Panjang *overlapping* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.20 berikut.

$$L_o = \frac{\sigma h \times S_v \times SF}{2 \times \gamma \times z_i \times t g \phi} \quad (3.20)$$

dengan:

- L_o = panjang geotekstil *overlapping* (m),
 σ_h = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m^2),
 SF = faktor aman,
 S_v = jarak tulangan arah vertikal (m),
 γ = berat volume tanah (kN/m^3),
 ϕ = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$), dan
 z_i = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah (m).

2. Panjang efektif

Panjang efektif dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.21 berikut.

$$L_e = \frac{SF \times S_v \times K_a \times \gamma b \times z_i}{2 \times \gamma b \times z_i \times \tan \phi} \quad (3.21)$$

dengan:

- L_e = panjang efektif geotekstil (m),
 SF = faktor aman,
 S_v = jarak tulangan arah vertikal (m),
 γ = berat volume tanah (kN/m^3),
 Φ = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$),
 z_i = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah (m), dan
 K_a = koefisien tanah aktif.

Menentukan jarak vertikal antar geotekstil yang dibutuhkan dalam perancangan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.24, dengan sebelumnya menghitung koefisien tekanan tanah aktif untuk lereng dengan sudut kemiringan tertentu serta menghitung tekanan horizontal menggunakan Persamaan 3.22 dan 3.23.

$$K_a = \cos \beta \left(\frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \right) \quad (3.22)$$

$$\sigma h = (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \quad (3.23)$$

$$S_v = \frac{Ta}{\sigma h \times SF} \quad (3.24)$$

dengan:

Ka = koefisien tanah aktif,

β = sudut kemiringan lereng ($^\circ$),

Φ = sudut geser tanah timbunan ($^\circ$),

σh = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m^2),

q = beban merata (kN/m^2),

SF = faktor aman,

Sv = jarak tulangan arah vertikal (m),

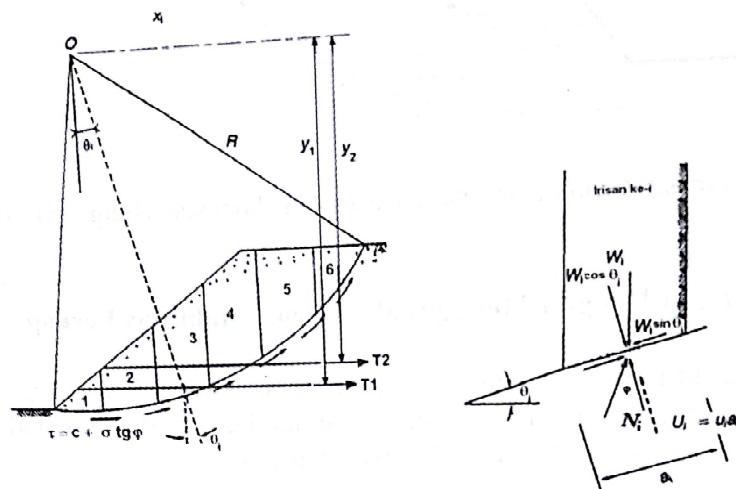
γ = berat volume tanah (kN/m^3),

c = kohesi (kN/m^2), dan

Ta = kuat tarik geotekstil (kN/m).

3.6.2 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode *Fellenius*

Lereng yang telah diperkuat geotekstil dengan bidang longsor potensial berbentuk lingkaran dan berpusat di titik O dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Analisis Stabilitas Lereng Tanah Bertulang

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

Pada analisis lereng bertulang, faktor aman didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah tahanan momen dari tahanan geser tanah disepanjang bidang longsor dan tahanan geotekstil dari tulangan (M_R), dan jumlah momen menggerakkan dari berat massa tanah yang akan longsor (M_D) yang dapat dilihat pada Persamaan 3.25.

$$SF = \frac{M_R}{M_D} \quad (3.25)$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta_i$, sehingga jumlah momen menggerakkan dari berat massa tanah yang akan longsor (M_D) seperti pada Persamaan 3.26.

$$M_D = \sum (W_i \sin \theta_i) R \quad (3.26)$$

dengan:

R = jari-jari lingkaran bidang longsor (m),

W_i = berat massa tanah irisan ke-i (kN), dan

θ_i = sudut yang didefinisikan ($^\circ$).

Menggunakan cara yang sama, momen yang menahan tanah akan longsor (M_R) dapat dilihat pada Persamaan 3.27.

$$M_R = \sum (ca_i + N_i \operatorname{tg} \phi) R + \sum T_i y_i \quad (3.27)$$

Persamaan faktor keamanan untuk kondisi yang tidak dipengaruhi muka air tanah menjadi seperti pada Persamaan 3.28 berikut.

$$SF = \frac{\sum (ca_i + N_i \operatorname{tg} \phi) R + \sum T_i y_i}{\sum (W_i \sin \theta_i) R} \quad (3.28)$$

dengan:

SF = faktor aman,

- c = kohesi tanah (kN/m^2),
 Φ = sudut gesek dalam ($^\circ$),
 R = jari-jari lingkaran longsor (m),
 α_i = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke- i (m),
 W_i = berat massa tanah irisan ke- i (kN),
 θ_i = sudut yang didefinisikan ($^\circ$),
 T_i = kuat tarik ijin geotekstil pada tulangan geotekstil ke- i (kN), dan
 y_i = lengan momen tulangan geosintetik ke- i (m).

3.7 Program *Geoslope*

Geoslope Office merupakan sebuah paket aplikasi untuk pemodelan geoteknik dan geo-lingkungan. Software ini melingkupi *SLOPE / W*, *SEEP / W*, *SIGMA / W*, *QUAKE / W*, *TEMP / W* dan *CTRAN / W* yang sifatnya terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke dalam produk yang lain.

SLOPE / W merupakan produk perangkat lunak yang berfungsi untuk menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan serta dapat menganalisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekanan pori-air, sifat tanah dan beban terkonsentrasi. *SLOPE / W* juga dapat menggunakan elemen tekanan pori air yang terbatas, tegangan statis, atau tekanan dinamik pada analisis kestabilan lereng dan dapat melakukan analisis probabilistik.

Pada proses analisisnya, *SLOPE / W* merupakan program yang menggunakan teori kesetimbangan batas untuk menghitung nilai faktor keamanan lereng. Teori-teori kesetimbangan batas yang ada pada program *SLOPE / W* di antaranya yaitu metode *Ordinary* atau yang dapat disebut metode *Fellenius*, metode *Bishop* yang disederhanakan, metode *Janbu* yang disederhanakan, metode *Spenser*,

metode *Morgenstern-Price*, metode *Corps of Engineers*, metode *Lowe-Karafiath* dan metode *Genealized Equilibrium*. Metode yang digunakan dapat dipilih sesuai dengan keinginan dan kebutuhan.

SLOPE / W define merupakan program yang digunakan untuk pemodelan permasalahan lereng dalam bentuk penggambaran pada layar komputer. Perhitungan dilakukan dengan *input* data material *properties* tanah dan pengaturan analisis sesuai kebutuhan, setelah memasukkan data-data yang dibutuhkan dalam analisis, maka tahap selanjutnya yaitu data yang telah dimodelkan dianalisis dengan menggunakan *SLOPE / W solve*. Hasil analisis kemudian menampilkan grafis seluruh bidang longsor yang berbentuk lingkaran. Nilai faktor keamanan (SF) ditampilkan bersamaan dengan seluruh bidang longsor potensial hingga yang paling kritis.