

---

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Tanah

##### 3.1.1 Umum

Dalam pengertian teknik secara umum, "tanah" didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan (Braja M. Das, 1988).

Istilah "tanah" dalam bidang mekanika tanah dimaksudkan adalah mencakup semua bahan/unsur tanah seperti lempung, pasir, kerikil dan batu-batuan yang besar (L. W. Wesley, 1977).

Pembentukan tanah dari bahan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yaitu proses yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil yang terjadi akibat adanya pengaruh erosi, air, angin, manusia atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Sedangkan pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen,

karbon dioksida, air yang mengandung asam atau alkali dan proses kimia lain (Hardiyatmo H. C , 1992)

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas yang telah ditentukan, walaupun istilah yang sama juga digunakan menggambarkan sifat tanah yang khusus. Misalnya lempung adalah jenis unsur tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedangkan pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis ( Hardiyatmo H. C , 1992).

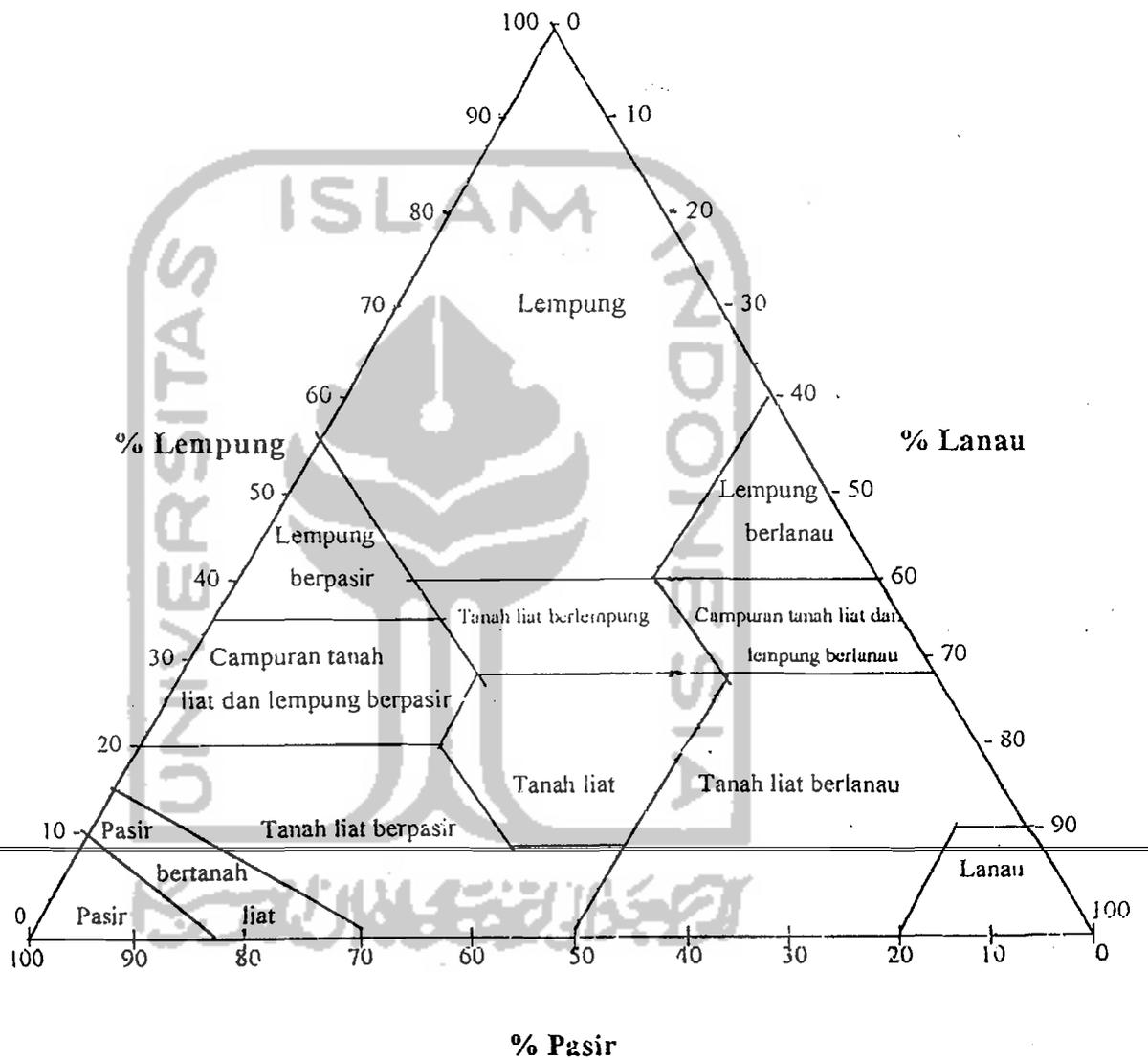
### 3.1.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitasnya.

#### a. Klasifikasi Berdasarkan Tekstur

Tekstur tanah merupakan keadaan permukaan tanah, dimana tekstur tanah ini dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada pada tanah. Dalam sistem klasifikasi ini tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya.

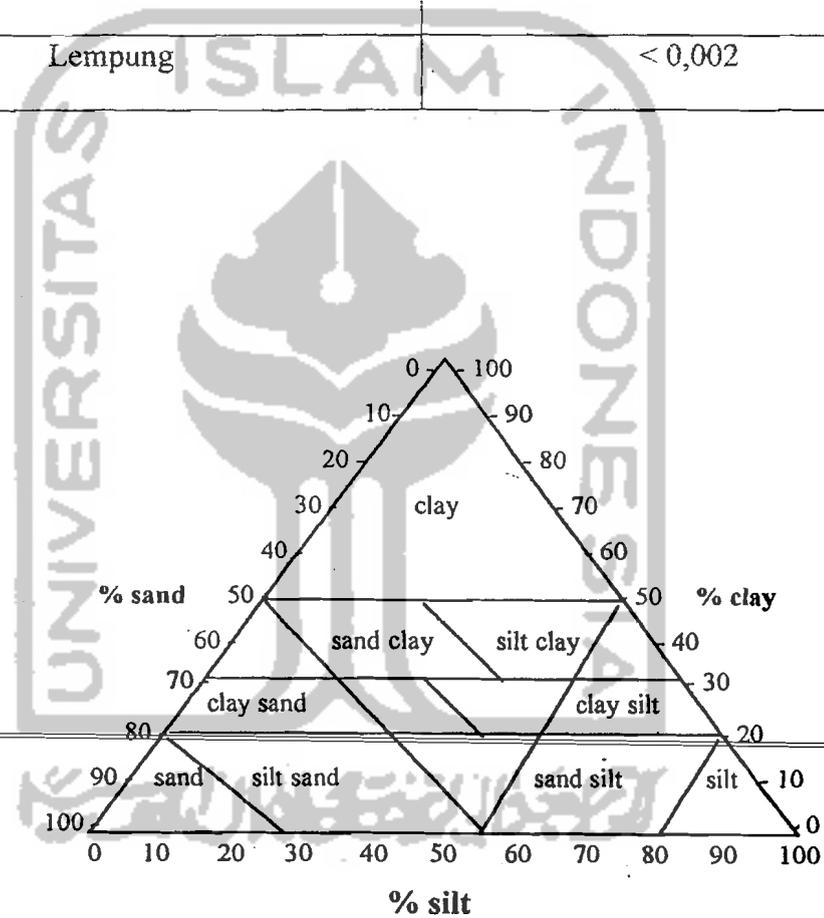
Klasifikasi tanah menurut USDA dapat dilihat pada gambar 5 dan pada tabel 1, sedangkan klasifikasi tanah menurut *Triangular Clasification Cent* (segitiga pedoman) didasarkan pada batas dari butiran tanah seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 5. Klasifikasi butiran tanah berdasarkan USDA

Tabel 1. Klasifikasi tekstur tanah berdasarkan USDA

Diameter Butiran Tanah (mm)	
Pasir	2,00-0,05
Lanau	0,05-0,002
Lempung	< 0,002

Gambar 6. *Triangular Classification Cent* (pedoman segitiga)

---

b. Klasifikasi berdasarkan Unified (USCS)

---

Sistem ini diperkenalkan oleh Cassagrande (1942) yang kemudian dimodifikasi oleh *United States Bureau of Reclamation* (1952).

Sistem klasifikasi *Unified* mengelompokkan tanah kedalam dua kelompok besar, seperti berikut ini.

1) Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*)

Kerikil dan pasir termasuk dalam golongan tanah ini dimana kurang dari 50% berat contoh tanah lolos ayakan no. 20. Simbol dari kelompok ini diawali dengan huruf G untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan huruf S untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.

2) Tanah berbutir halus (*fine grained soil*)

Merupakan tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no. 200. Simbol dari kelompok ini diawali huruf M untuk lanau (*silt*) anorganik, huruf C untuk lempung (*clay*) anorganik dan huruf O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*) dan tanah-tanah lain dengan kadar organik tinggi.

Simbol lain yang digunakan pada klasifikasi menurut USCS adalah:

W : *Well graded* (tanah dengan gradasi baik)

P : *Poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)

L : *Low plasticity* (plastisitas rendah)

H : *High plasticity* (plastisitas tinggi)

Tabel 2 Sistem Klasifikasi Unified

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama umum		
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil dengan butiran halus	GP Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
			GM Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		
			CC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
			SP Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Pasir dengan butiran halus	SM Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		
			SC Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
			Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
					CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)
OL Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah					
Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.				
	CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)				
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		OH Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
		PT Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi			

Tabel 3. (Lanjutan)

	Kriteria klasifikasi	
Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GW, GP, SW, SP Lebih dari 1% lolos ayakan No. 200 GM, GC, SM, SC 5% sampai 12% lolos ayakan No. 200 Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3.	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_f < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Atterberg di atas garis A dengan $P_f > 7$	
	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_f < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
Batas-batas atterberg di atas garis A dengan $P_f > 7$		
Indeks plastisitas	<p>                         Bagan Plastisitas                          Untuk klasifikasi tanah berbutir-halus dan fraksi halus dari tanah berbutir-kasar                          Batas Atterberg yang digambarkan di bawah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda                          Persamaan garis A  <math>PI = 0,73(LL - 20)</math> </p>	
	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM Designation D-2488	

### 3.1.3 Ukuran Partikel Tanah

Tanah secara umum dapat diklasifikasikan sebagai kerikil, pasir, lanau dan lempung tergantung dari ukuran partikel yang paling dominan. Pada tabel 4 diberikan batas rentang besar ukuran butiran tanah menurut beberapa spesifikasi.

Fraaksi yang sangat halus tersusun dari butiran yang berukuran lebih kecil dari satu  $\mu\text{m}$ . Untuk dapat melihat ukuran butiran tanah yang sedemikian kecilnya harus menggunakan mikroskop elektron.

Tabel 4. Batasan Ukuran Golongan Tanah

Klasifikasi	Ukuran Butiran Tanah (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
MIT	>2	2,0 - 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002
USDA	>2	2,0 - 0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
AASHTO	76,2 - 2,0	2,0 - 0,075	0,075 - 0,002	< 0,002
Unified (USCS)	7,62 - 4,75	4,74 - 0,075	< 0,075	< 0,0075

## 3.2 Tanah Lempung

### 3.2.1 Mineral Lempung

Lempung mempunyai diameter butir efektif lebih kecil dari 0,002 mm, sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopik dan submikroskopik yang berbentuk

---

lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung dan mineral lainnya.

Fraksi tanah yang mempunyai diameter butir lebih kecil dari 0,002 mm ini dapat menimbulkan pengertian yang berbeda. Hal ini berkenaan dengan mineral lempung yang merupakan substansi kristal, terutama dihasilkan dari proses pelapukan kimia pada pembentukan mineral batuan, biasanya tidak terdapat ukuran partikel besar (Young & Warkentin, 1975).

Sumber utama mineral lempung adalah pelapukan kimia dari batuan yang mengandung *felspar ortoklas*, *felspar plagioklas* dan *mika* yang semuanya disebut dengan silikat aluminium kompleks. Pelapukan batuan ini menghasilkan sejumlah besar mineral lempung dengan sifat daya gabung yang sama terhadap air, tetapi dalam jumlah yang sangat berbeda.

### 3.2.2 Sifat-sifat Umum Mineral Lempung

#### 1. Hidrasi

Partikel lempung selalu terhidrasi yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul yang disebut air terserap (*absorbed water*). Lapisan ini umumnya mempunyai tebal dua molekul dan disebut dengan difusi (*diffuse layer*) atau lapisan difusi ganda. Lapisan air ini dapat hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60°C sampai dengan 100°C dan akan mengurangi plastisitas tanah. Pada umumnya, jika lapisan ganda mengalami dehidrasi pada temperatur rendah, sifat plastisitasnya dapat

dikembalikan lagi dengan cara mencampurkan air yang cukup dan dicuring selama 24 jam hingga 48 jam.

## 2. Aktifitas

Tipe mineral lempung mempunyai muatan negatif, ini menyebabkan terjadinya usaha untuk menyeimbangkan muatan dengan tarikan kation. Aktifitas digunakan pula sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang (*swelling*) tanah lempung (tabel 5). Aktifitas berkaitan pula dengan perubahan volume yang mana dengan sifat aktifnya lempung akan menyerap air disekelilingnya yang menyebabkan lempung bersifat plastis.

Tabel 5. Aktifitas mineral lempung (Mitchell,1976)

Mineral	Aktifitas (A)
Montmorillonite	1-7
Illite	1,5-1
Kaolinite	0,5
Halloysite(2H <sub>2</sub> O)	0,5
Halloysite (4H <sub>2</sub> O)	0,1
Attapulgite	0,5-1,2
Allophane	0,5-1,2

## 3. Flokulasi dan Dispersi

Struktur lempung bersifat terdispersi yaitu terbentuk oleh partikel-partikel lempung yang mengendap secara individu. Lempung yang terdispersi ini partikelnya akan saling berjauhan. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya jarak antar

partikel-partikel, gaya tolak-menolak antara partikel akan lebih besar daripada tarik-menariknya (ikatan Van Der Waals). Apabila butiran lempung yang pada mulanya terdispersi dalam air kemudian posisinya berubah saling bedekatan karena adanya gerakan acak, butiran-butiran akan mengumpul dalam gumpalan besar. Apabila gumpalan besar ini mengendap akan membentuk struktur terflokulasi.

#### 4. Pengaruh Air

Air akan menentukan sifat plastisitas lempung. Fenomena utama dari lempung adalah bahwa massanya yang telah mengering dari suatu kadar air awal mempunyai kekuatan yang cukup besar. Apabila bongkahan ini dipecah menjadi partikel-partikel kecil, bahan tersebut akan berperilaku sebagai bahan yang tidak kohesif. Apabila air ditambahkan kembali, bahan tersebut akan menjadi plastis dengan kekuatan yang lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan yang lebih kering. Apabila lempung basah ini dikeringkan lagi, akan terbentuk bongkahan yang keras dan kuat. Terlihat bahwa kerapatan yang lebih tinggi akibat pemampatan, akan memberikan kekuatan yang sangat tinggi. Dengan demikian air akan mempunyai pengaruh yang penting terhadap mineral lempung.

### 3.2.3 Pengaruh Kandungan Air Terhadap Lempung

Perilaku tanah berbutir halus sangat dipengaruhi oleh kandungan airnya. Tingkatan plastis tanah dapat ditentukan apabila batas plastis dan batas cairnya telah diketahui. Dengan melihat perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah dapat ditentukan indeks plastisitasnya (PI) yaitu:

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(1)$$

Untuk tiap jenis lempung, batas cair dan batas plastis tanah bervariasi. Harga batas cair lebih besar daripada batas plastis. Besaran plastisitas menunjukkan bahwa semakin besar nilai numeriknya semakin besar terjadinya susut pada waktu proses menjadi kering. Pengelompokan sifat plastis tanah dapat dilihat pada tabel 6 dan tabel 7.

Berdasarkan nilai indeks plastisitasnya, Atterberg membagi tingkatan plastis tanah dalam selang antara 0% sampai lebih besar dari 17%, sedangkan menurut Burmsiter tingkat plastis tanah dibedakan dalam selang antara 0% sampai lebih besar dari 40% (tabel 6 dan tabel 7).

Tabel 6. Tingkat Plastisitas Tanah Menurut Atterberg (1911)

Indeks Plastisitas	Tingkat Plastisitas	Jenis Tanah
0	Non Plastis	Pasir
$0 < PI < 7$	Rendah	Lanau
$7 < PI < 17$	Sedang	Lempeng Berlanau
$PI > 17$	Sangat Plastis	Lempung/Tanah Liat

Tabel 7. Tingkat Plastisitas Tanah Menurut Burmsiter (1976)

Indeks Plastis	Tingkat Plastis
0	Tidak Plastis
1-5	Sedikit Plastis
5-10	Plastis Rendah
10-20	Plastis Sedang
20-40	Plastis Tinggi
>40	Sangat Plastis

### 3.2.4 Pengaruh Perubahan Volume pada Tanah Lempung

Setiap tanah kohesif akan mudah mengalami penyusutan sehingga menyebabkan terjadinya perubahan volume, terutama pada tanah yang mengandung mineral lempung *montmorillonite*. Lempung sebagai tanah ekspansif yaitu tanah yang mudah mengembang, mempunyai sifat sangat keras pada keadaan kering akibat tegangan penyusutan, bahkan pada kadar air yang lebih kecil tanah tersebut akan padat dan keras. Hal ini akan menyebabkan retakan-retakan akibat penyusutan, yang akan mempengaruhi tingkat kejenuhan tanah akibat infiltrasi dari permukaan.

Sifat pengembangan dan penyusutan tanah lempung yang menyebabkan perubahan volume pada umumnya tergantung pada sifat plastisitasnya. Semakin plastis mineral lempung akan semakin potensial untuk menyusut dan mengembang. Pada tabel 8 dapat dilihat hubungan antara potensi perubahan volume terhadap indeks plastisitasnya. Jika tanah mempunyai indeks plastis lebih besar dari 20 maka perlu adanya perbaikan-perbaikan tanah dimana salah satunya dengan stabilisasi tanah.

Tabel 8. Hubungan antara batas Atteberg dan potensi volume

(Holtz & Gibbs, 1956)

Indeks Plastisitas			
Potensi Perubahan Volume	Daerah Kering	Daerah Lembab	Batas Susut (SL)
Kecil	0 – 15	0 - 30	> 12
Sedang	15 – 30	30 -50	10 – 12
Tinggi	> 30	> 50	< 10

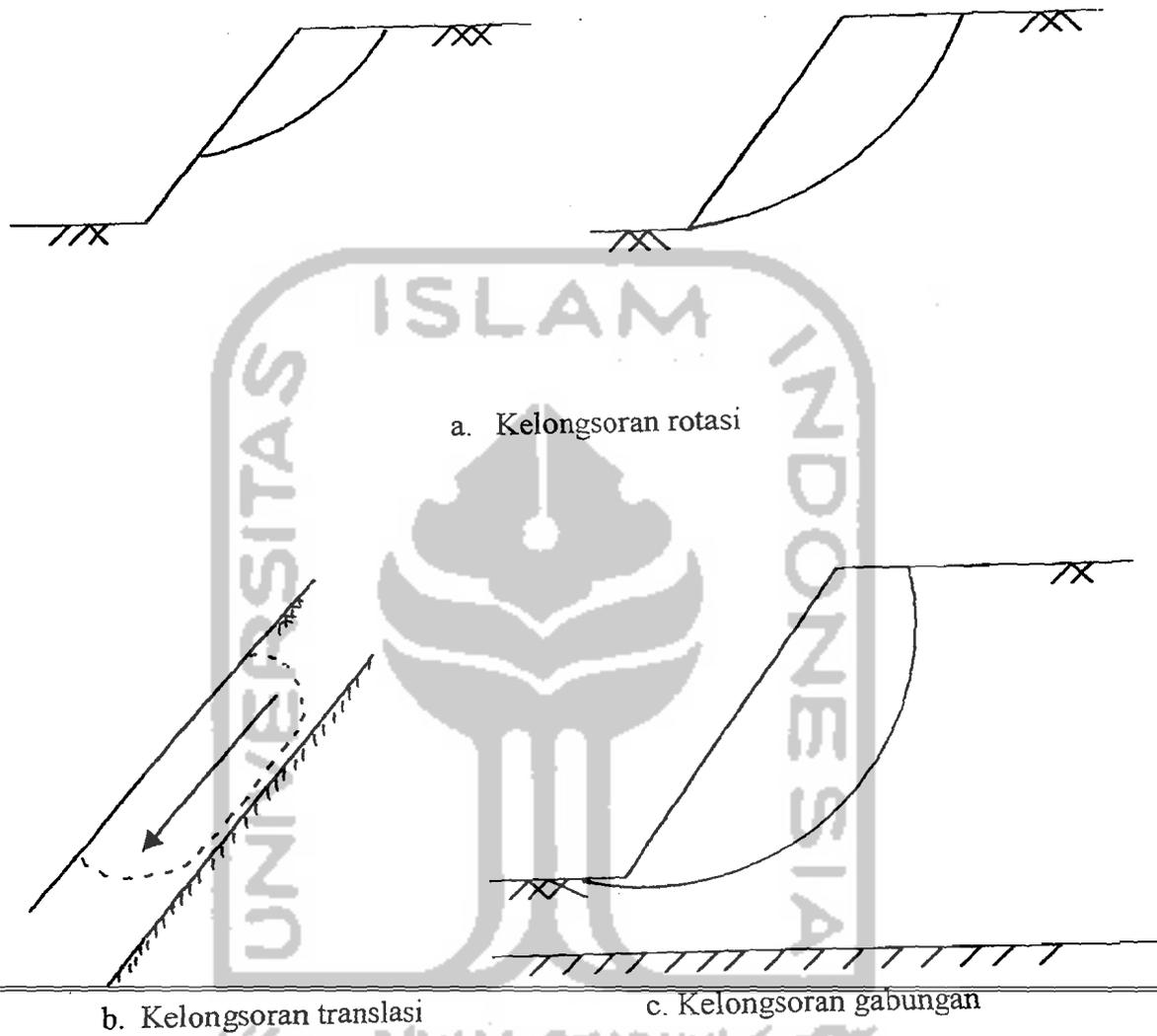
1. Faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan, yaitu:
  - a. naiknya berat jenis tanah karena pembasahan,
  - b. adanya tambahan beban eksternal seperti bangunan,
  - c. bertambahnya kecuraman lereng karena erosi alami atau karena penggalian
  - d. bekerjanya beban guncangan.
2. Faktor-faktor yang menyebabkan turunnya kekuatan, yaitu:
  - a. adanya absorpsi air,
  - b. adanya beban guncangan dan beban berulang,
  - c. pengaruh pembekuan atau pencairan,
  - d. berkurangnya daya ikat/ lekat material akibat naiknya tekanan pori secara berkala.

Berdasarkan pengamatan kelongsoran yang dilakukan oleh Collin (1946), menunjukkan bahwa peristiwa kelongsoran tanah yang sering terjadi cenderung dalam bentuk bidang longsor yang berupa lengkungan (*sirkuler*), dan hingga saat ini kebanyakan analisa kestabilan lereng didasarkan pada bentuk kelongsoran *sirkuler*.

### **3.3.3 Stabilitas Lereng (Slope Stability)**

Gaya-gaya gravitasi dan rembesan (*seepage*) cenderung menyebabkan ketidakstabilan pada lereng alami, lereng yang dibentuk dengan cara penggalian, pada lereng tanggul serta pada bendungan tanah.

Tipe keruntuhan lereng yang terjadi digambarkan sebagai berikut:



Gambar 7. Tipe-tipe keruntuhan lereng

Dalam keruntuhan rotasi (*rotational slip*) tanah akan bergerak menurut bidang gelincir yang mempunyai bentuk busur lingkaran. Longsoran tipe ini biasanya terjadi pada daerah dimana lapisan tanah keras atau lapisan yang bersifat lebih kedap air

didapati cukup dalam. Material longsorannya berupa tanah pelapuk, kadang-kadang juga batuan yang masih segar. Longsoran tipe ini sering juga terjadi pada tanah timbunan yang cukup tinggi yang terletak diatas lapisan lempung yang cukup tebal.

Kelongsoran translasi (*translational slip*) dan kelongsoran gabungan (*compound slip*) terjadi bila bentuk permukaan runtuh dipengaruhi oleh adanya kekutan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan. Kelongsoran translasi cenderung terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang relatif dangkal dibawah permukaan lereng, dimana permukaan runtuhnya akan berbentuk bidang dan hampir sejajar dengan lereng. Kelongsoran gabungan biasanya terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan pada kedalaman yang lebih besar, dan permukaan runtuhnya terdiri dari bagian-bagian lengkung dan bidang.

Untuk menganalisa stabilitas lereng ini ada beberapa metode, yaitu:

#### A. Bidang longsor bentuk rotasi

##### 1. Menurut Fellenius

Metode ini mengasumsikan bahwa, untuk setiap irisan gaya-gaya antar irisan adalah nol. Penyelesaian tersebut meliputi penyelesaian ulang untuk gaya-gaya pada setiap irisan yang tegak lurus terhadap dasar, yaitu:

$$N' = W \cos \alpha - u \cdot \ell \dots \dots \dots (1)$$

Faktor keamanan:

$$SF = \frac{c' \cdot La + \tan \phi' \sum N'}{\sum W \sin \alpha} \dots \dots \dots (2)$$

$$N' = W \cos \alpha - u \cdot \ell \dots \dots \dots (3)$$

## 2. Menurut Bishop

Bishop mengasumsikan bahwa resultan gaya pada sisi irisan adalah horisontal, yaitu  $X_1 - X_2 = 0$

Untuk keseimbangan gaya geser pada dasar setiap irisan adalah:

$$T = \frac{1}{SF} (c' + N' \tan \phi') \dots \dots \dots (4)$$

Dengan menyelesaikan kembali gaya-gaya ke arah vertikal,

$$W = N' \cdot \cos \alpha + u \cdot \cos \alpha + \frac{c'}{SF} \sin \alpha + \frac{N'}{SF} \tan \phi' \cdot \sin \alpha \dots \dots \dots (5)$$

$$N' = \frac{(W - \frac{c'}{SF} \sin \alpha - u \cdot \ell \cdot \cos \alpha)}{(\cos \alpha + \frac{\tan \phi' \cdot \sin \alpha}{SF})} \dots \dots \dots (6)$$

Dengan substitusi  $\ell = b \sec \alpha$ , didapat:

$$SF = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum \left[ (c' \cdot b + (W - u \cdot b) \tan \phi') \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi'}{SF}} \right] \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan :

$N'$  = gaya normal efektif

$W$  = berat total irisan =  $\gamma \cdot b \cdot h$

$N$  = gaya normal total pada dasar

$u$  = tekanan air pori pada pusat dasar

$l$  = panjang dasar

$T$  = gaya geser pada dasar

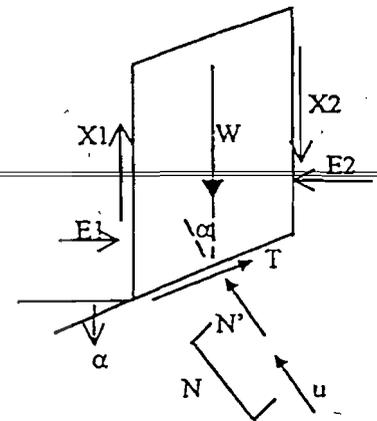
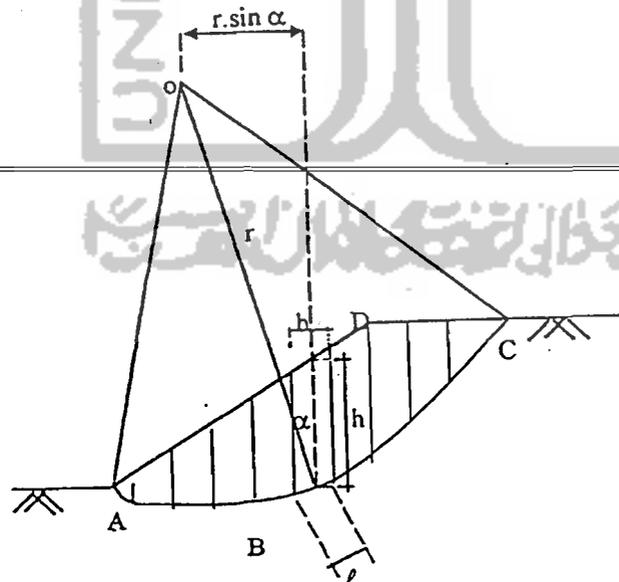
$X1$  dan  $X2$  = gaya geser pada sisi-sisi

$E1$  dan  $E2$  = gaya normal pada sisi-sisi

$\alpha$  = sudut geser singgung masing-masing irisan

$c'$  = kohesi tanah efektif

### 3. Metode Irisan



Gambar 8. Metode Irisan

Gaya-gaya yang bekerja pada irisan:

$W$  = berat total irisan =  $\gamma \cdot b \cdot h$

$N$  = gaya normal total pada dasar (sama dengan  $\sigma \cdot \ell$ )

$\ell$  = panjang dasar

$T$  = gaya geser pada dasar =  $\tau_m \cdot \ell$

$E$  = gaya normal pada sisi

$X$  = gaya geser total pada sisi

Faktor keamanan merupakan rasio kekuatan geser yang ada ( $\tau_f$ ) terhadap kekuatan geser ( $\tau_m$ ) yang harus dikerahkan untuk mempertahankan syarat batas keseimbangan.

$$SF = \frac{\tau_f}{\tau_m} \dots \dots \dots (7)$$

Dengan meninjau momen terhadap o, jumlah momen akibat gaya-gaya geser  $t$  pada busur keruntuhan AC harus sama dengan momen akibat massa tanah ABCD. Untuk setiap irisa, lengan momen  $W$  adalah  $r \cdot \sin \alpha$  sehingga:

$$\sum Tr = \sum W \cdot r \cdot \sin \alpha \dots \dots \dots (8)$$

$$T = \tau_m \cdot \ell = \frac{\tau_f}{SF} \cdot \ell \dots \dots \dots (9)$$

$$SF = \frac{\sum d \cdot l}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (10)$$

Untuk menganalisis yang menggunakan tegangan efektif,

$$SF = \frac{\sum (c' - \sigma' \cdot \tan \phi')}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (11)$$

atau

$$SF = \frac{c' \cdot La - \tan \phi' \sum N'}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (12)$$

La = panjang busur AC

### 3.4 Geosintetik

#### 3.4.1 Umum

Pengertian geosintetik menurut ICI Fibers (1986) adalah *a synthetic material used in soil (geo) environment*. Jadi semua bahan-bahan sintesis yang digunakan dalam pekerjaan teknik bangunan dan bahan tersebut berada dalam lingkungan tanah dapat disebut sebagai geosintetik.

Geosintetik merupakan produk modern karena penggunaan bahan geosintetik baru mulai dirintis pada dekade tahun 1960-an. Pada tahun 1970-an barulah dimulai penggunaan bahan-bahan geosintetik pada proyek-proyek sipil dan produksi

geosintetik dengan anyaman dan niranyam mulai dipasarkan. Perancis memperkenalkan geosintetik Afrika barat dan Indo Cina, sedangkan Inggris membuat percobaan awalnya di Malaysia dan Australia, yang kemudian Australia memasarkan ke Indonesia. Pada tahun 1977 untuk pertama kali diadakan seminar masalah geosintetik pada *International conference on the use of fabrics in Geotechnics* di Paris. Sejak itulah penggunaan geosintetik meluas ke seluruh dunia. Pada tahun 1983 barulah dibentuk *International Geotextile Society (IGS)*, sebagai hasil dari *the Second International Conference on Geotextile* di Las Vegas pada tahun 1982, yang di ikuti oleh wakil-wakil dari 42 negara di dunia.

#### **3.4.2 Bahan dan Karakteristik Geosintetik**

Geosintetik yang ada dengan bermacam-macam bentuk dan komposisi polimer dijumpai dalam berbagai aplikasi yang luas. Bahan geosintetik dibentuk dari bahan-bahan polimer yang kuat, tahan lama, tahan terhadap pengaruh kimiawi yang kesemuanya ini memberikan perlawanan yang tinggi (*highly resistant*) terhadap pengaruh kondisi tanah dan cuaca. Tergantung pada penerapannya, geosintetik dapat mempunyai syarat-syarat yang khusus antara lain seperti tahan terhadap rangkai, temperatur dan atau sinar ultraviolet.

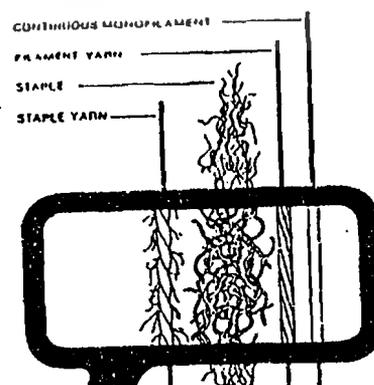
Bahan dasar geosintetik merupakan hasil polimerisasi dari bahan minyak dalam industri-industri kimia atau minyak bumi dengan sifatnya yang tahan terhadap senyawa-senyawa kimia, pelapukan, keausan, sinar ultraviolet dan mikro organisme. Polimer utama yang dipakai sebagai bahan geotekstil adalah *reinforcing agent* yang dicampur dengan bahan baku polimer.

Ada beberapa klasifikasi yang dikemukakan dalam ASTM (1986), IFAI (1990), ICI Fibers (1986), Koerner (1985) dan Rankilot (1981). Disini akan dikemukakan klasifikasi yang diusulkan oleh Koerner (1985) dan ICI Fibers (1986), yaitu Geosintetik untuk istilah umum tekstil sintetis, yaitu semua bahan sintetis yang digunakan dalam pekerjaan teknik bangunan dan bahan tersebut berada dalam lingkungan tanah.

Dalam pekerjaan-pekerjaan teknik sipil, fungsi dan peran geosintetik dibedakan berdasarkan karakteristik yang dimiliki.

Dari berbagai variasi bentuk geosintetik tersebut dapat digolongkan beberapa bentuk dasar yaitu (ICI Fibers, 1986):

1. **Geotextile**, yaitu berbentuk menyerupai bahan tekstil. Nama geotextile pertama kali dicetuskan oleh *Jean Piere Giroud* pada konferensi Internasional Geosintetik ke-1 tahun 1977, kemudian tercantum dalam *American Society for Testing Materials* (ASTM) 1986-D 4439-87, yaitu *any permeable textile material used with fondation, soil... etc.* Jadi pengertian pokok dari *geotextile* adalah sifat tembus air atau porous. Beberapa jenis benang penyusun geotekstil dapat dilihat pada gambar 9.

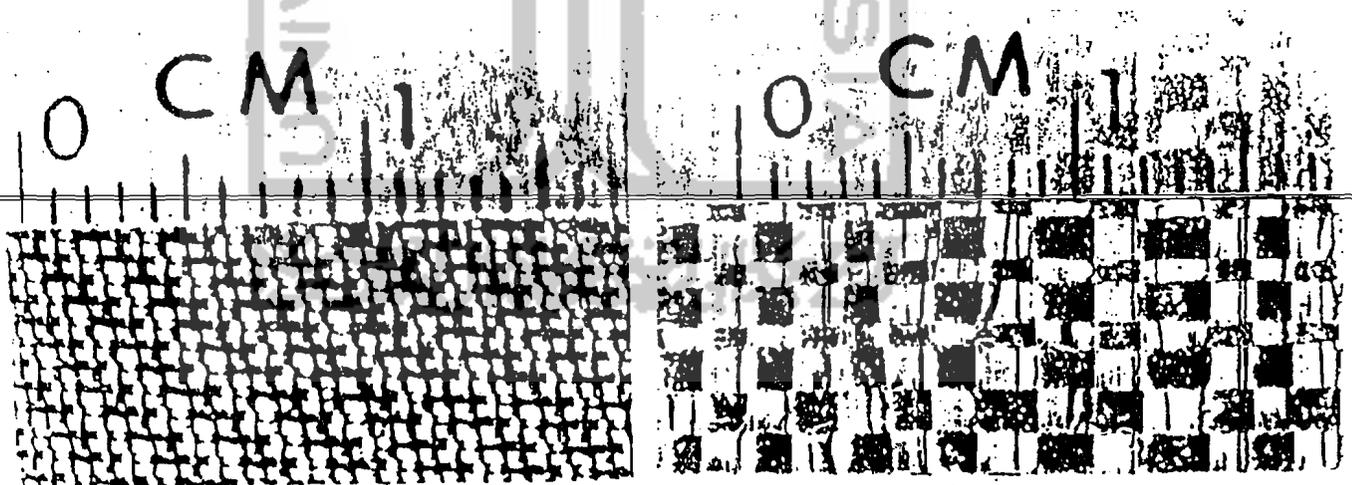


Gambar 9. Benang penyusun geotekstil (Koerner 1985)

Menurut J.P. Giroud berdasarkan pembuatannya, geotekstil dapat digolongkan menjadi beberapa jenis:

a. Geotekstil yang di tenun (*Woven*)

Yaitu geotekstil yang pembuatannya merupakan gabungan dari dua set benang-benang paralel yang dijalin sistematis untuk dapat membentuk suatu struktur bidang, dapat dilihat pada gambar 10 a dan b. Geotekstil yang ditenun dibuat dengan prinsip yang sederhana dari benang-benang hasil pintalan dalam proses persiapan (seperti: monofilamen, multifilamen, dsb) menjadi benang lungsin (*Warp*/sejajar arah pembuatan geotekstil) dan benang pakan (*Weft*/disisipkan tegak lurus *Warp*), yang digabungkan secara sistematis memanjang dan melintang untuk dapat membentuk struktur bidang.



(a)

(b)

Gambar 10. Gabungan dua set benang-benang paralel yang membentuk struktur bidang

---

b. Geotekstil yang tidak ditenun (*Non Woven*)

---

Yaitu geotekstil yang pembuatannya tidak dengan ditenun, tetapi jaringan atau serat-serat pembentuknya dilekatkan satu sama lain dengan diikat atau dengan bahan perekat. Ada beberapa cara produksi dari geotekstil *non woven*, antara lain:

1. *Needle Punch Process* (proses penjaruman)

Yaitu geotekstil yang dihasilkan dari proses penjaruman, dibuat dari serat web yang diletakkan dalam mesin yang dilengkapi jarum-jarum yang dirancang khusus. Saat serat web terletak diantara plat yang ditanam dan plat mesin pengupas, maka jarum akan menembus dan mengatur kembali arah serat, sehingga terjadi ikatan mekanik pada serat-serat tersebut. Hasilnya merupakan geotekstil dengan kepadatan tinggi.

2. *Melt (heat) Bonded* (proses ikatan leleh)

Geotekstil ini terdiri dari filamen-filamen menerus atau serat yang panjang dan terikat. Pengikatan dicapai dengan operasi kalendering temperatur tinggi dilakukan dengan melewati bahan tersebut diantara dua roller panas.

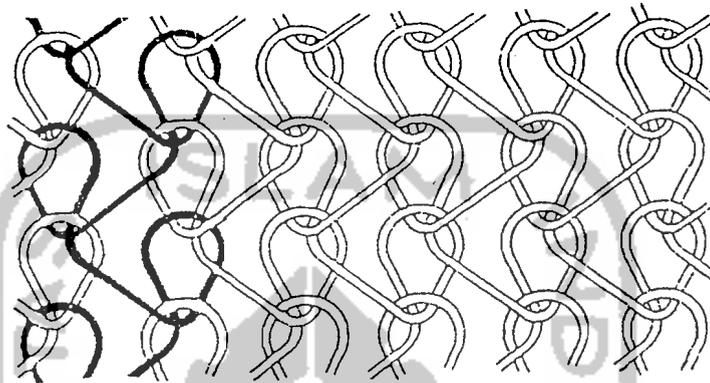
3. *Spun Bonded Process* (proses ikatan pintal).

4. *Resinbonding/ Chemicalbonding Process* (proses ikatan dengan bahan perekat).

c. Geotekstil yang dirajut (*Knitted*)

Geotekstil yang pembuatannya dari satu atau lebih benang yang membentuk serangkaian lubang-lubang yang saling berpegangan membentuk struktur

hidang. Benang-benang yang digunakan adalah monofilamen, multifilamen, spun dan fibrillated seperti yang terlihat pada gambar 11.



Gambar 11. Geotekstil yang dirajut

2. **Geomembrane**, yaitu berbentuk lapisan tipis yang kedap air dan berfungsi menyerupai membran. Yang dibuat umumnya dari lembaran plastik atau karet, tetapi dapat juga dibuat dari geotekstil yang dibungkus aspal. *Geomembrane* sesungguhnya tidak 100% tidak tembus air, tetapi relatif tidak tembus air jika dibandingkan geotekstil. Nilai dari permeabilitasnya diukur dengan *water vapor transmission test* yang memberikan nilai  $10^{-10}$ - $10^{-13}$  pt/min. Maka fungsi utamanya adalah sebagai penghalang tembusnya air atau penguapan.
3. **Geo-linier elements**, yaitu yang bentuknya berupa lajur-lajur tunggal berdiri sendiri, baik berwujud pipih maupun seperti pipa. Dibuat susunan serat polyester yang dilindungi oleh bahan "*heavy duty polyethylene*".

**4. Geogrid**, yaitu yang berbentuk seperti anyaman dalam grid besar-besar menyerupai

bentuk jaring (*net*). Berlawanan seperti geotekstil, *geogrid* relatif lebih kaku seperti bentuk jaring dengan spasi yang lebar pada daun-daunnya.

5. **Geocomposite**, yaitu bahan sintetis yang terdiri dari dua atau lebih kombinasi dari bahan-bahan geosintetik yang berbeda, atau juga bahan sintetis yang bentuknya tidak termasuk dalam empat bentuk *geocomposite* ini juga dikenal sebagai bentuk hibrid. Karena kombinasi dari bahan-bahan geosintetik, maka *geocomposite* mempunyai penggunaan yang lebih luas dalam bidang teknik sipil.

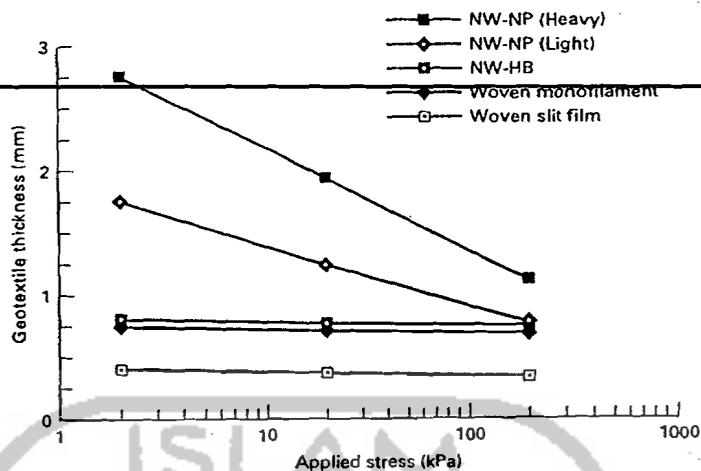
Untuk perencanaan perlu diketahui bagaimana memilih bahan geosintetik. Pilihan tersebut berdasarkan karakteristik teknik bahan geosintetik. Karakteristik teknik tersebut meliputi karakteristik fisik, mekanik, *hidrolik* dan ketahanan.

1. Karakteristik fisik geosintetik dapat dibedakan sebagai berikut:

- a. Massa per satuan volume (*specific gravity*), didefinisikan sebagai perbandingan antara massa bahan sintetis dengan volume bahan sintetis. Beberapa nilai massa per satuan volume polimer utama yang digunakan dalam pembuatan geotekstil adalah (Koerner, 1985):

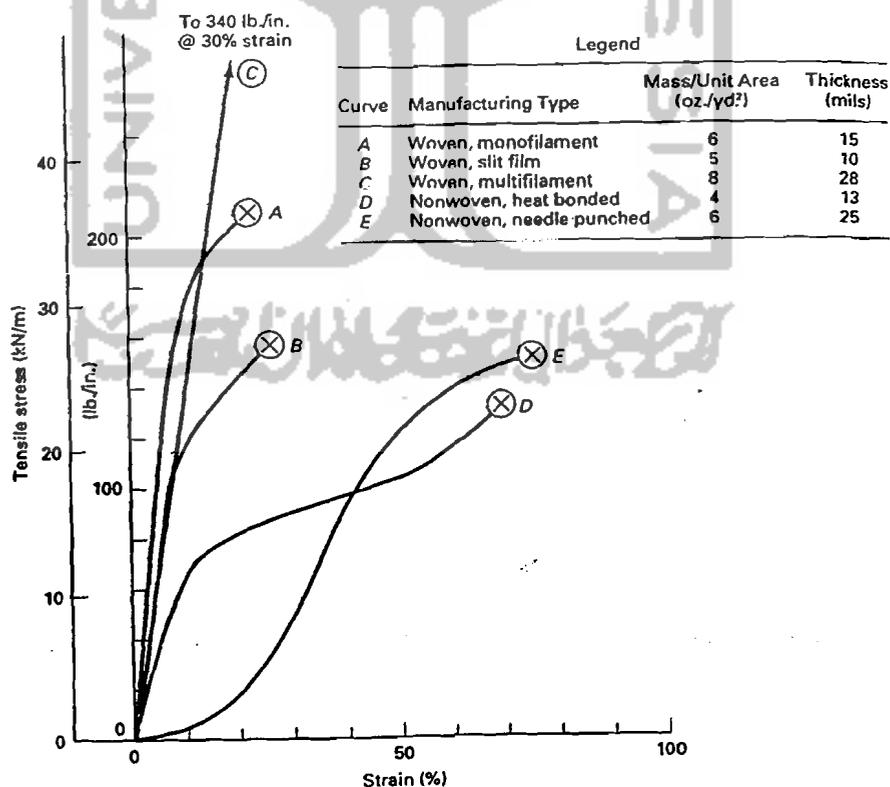
<i>Polypropylene</i>	: $0,91 \times 10^6 \text{ g/m}^3$
<i>Polyester</i>	: 1,22 sampai $1,38 \times 10^6 \text{ g/m}^3$
<i>Nylon</i>	: 1,05 sampai $1,14 \times 10^6 \text{ g/m}^3$
<i>Polyethylene</i>	: 0,92 sampai $0,95 \times 10^6 \text{ g/m}^3$
<i>Polyvinyl alkohol</i>	: 1,26 sampai $1,32 \times 10^6 \text{ g/m}^3$
<i>Galss</i>	: $2,54 \text{ g/m}^3$

- b. Massa per satuan luas (*mass per unit area*), adalah massa dari lembaran geosintetik per satuan luas dengan satuan yang digunakan  $\text{g/m}^2$ . Massa persatuan luas geotekstil umumnya berkisar 50-70  $\text{g/m}^2$  untuk kelas ringan dan bahkan sampai 700-800  $\text{g/m}^2$  untuk yang lebih berat. Untuk *geomembrane* berkisar 600-3000  $\text{g/m}^2$ , sedangkan untuk struktur komposit berkisar 400-3000  $\text{g/m}^2$ . (Suryolelono, 1991).
- c. Tebal (*thickness*), yaitu jarak antara permukaan ke bagian bawah geosintetik yang diukur dengan tekanan tertentu. ASTM D1777 menyatakan bahwa ketebalan diukur dengan ketelitian sekurang-kurangnya 0,001" (= 0,02mm) pada tekanan tertentu, dengan mengambil kecenderungan tekanan standar 0,29 Psi (= 2,0 Kpa). Geotekstil umumnya mempunyai ketebalan berkisar 10 sampai 300 mils (1 mils = 0,001"), (Koerner, 1985).
- d. Diameter serat (*df*), adalah diameter dari benang sintesis penyusun geosintetik yang umumnya mempunyai tampang berbentuk lingkaran atau elips. Satuan yang digunakan oleh industri-industri tekstil sintesis adalah desintaks (*d tex*) atau masa dari 10.000 m benang sintesis dalam gram massa. Diameter tersebut dinyatakan dalam  $\mu$ .
2. Karakteristik mekanik geosintetik merupakan karakteristik yang sangat penting untuk perencanaan. Karakteristik mekanik ini meliputi :
- a. Kompresibilitas (*compressibility*), merupakan fungsi ketebalan pada berbagai tekanan normal. Gambar 12 memperlihatkan kompresibilitas beberapa tipe geotekstil. Kemiringan (*slope*) dari bagian utama kurva merupakan modulus kompresibilitas (Koerner, 1985).



Gambar 12. Kompresibilitas dari beberapa tipe geotekstil (Koerner,1985).

- b. Kuat tarik (*tensile strength*), merupakan suatu sifat yang sangat penting pada geosintetik. Tegangan (*stress*) biasanya diukur dalam satuan gaya per unit lebar (lb/m, t/m, kg/cm dsb), sedangkan regangan (*strain*) adalah nilai deformasi dibagi dengan lebar awal.



Gambar 13. Diagram tegangan regangan berbagai tipe geotekstil (Koerner,1985)

Dari hubungan tegangan regangan seperti pada gambar 13. akan diperoleh :

1. Kuat tarik maksimum (*maximum tensile strength*), sebagai indikasi kuat bahan (*fabric strength*).
2. Regangan runtuh, biasanya diberikan dalam data perpanjangan maksimum (*maximum elongation*).
3. *Toughness*, yaitu luas bagian di bawah kurva tegangan regangan.
4. Modulus atau kekakuan (*modulus or stiffness*), yaitu kemiringan dari bagian awal kurva tegangan regangan.
- c. Kuat pecah (*burst strength*), yaitu kekuatan bahan dalam menerima beban terpusat dalam arah tegak lurus lembaran geosintetik. Beban terpusat ini dapat berupa beban pecah (*bursting load*) atau beban coblos (*puncturing load*). Beban pecah terjadi bila geotekstil menerima beban terpusat pada luasan yang relatif sempit, arah tegak lurus lembaran geotekstil.
- d. Kuat robek (*tear strength*), adalah ketahanan bahan terhadap menjalarnya robekan dalam kondisi menahan *tensile*. Juga *tear strength* diperlukan pada saat bahan menerima beban coblos (*puncture*).
- e. Kuat geser terhadap bahan butiran, Yang diukur disini adalah besarnya tegangan geser maksimum yang dapat terjadi antara bahan geosintetik dengan tanah. Biasanya yang diberikan adalah sudut geser dalam antara bahan tekstil dengan tanah.
- f. Kuat lelah (*fatigue strength*) yaitu sifat yang berkaitan dengan beban berulang (*cyclic loading*) dan kemampuan geotekstil memikul beban berulang tersebut.

### 3. Karakteristik Hidrolis Geosintetik, dapat dibedakan sebagai berikut :

- a. Porositas ( $n$ ), dari sekumpulan benang sintetis dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut :

$$n = 1 - \frac{m}{p \cdot t} \dots\dots\dots(13)$$

Notasi :

$n$  = porositas

$m$  = massa per satuan luas ( $\text{g}/\text{m}^2$ )

$t$  = tebal geosintetik (m)

$p$  = massa per satuan volume dari benang sintetis ( $\text{g}/\text{m}^3$ )

Keadaan diatas berlaku untuk geosintetik dengan struktur benang-benang sintetis. Porositas geosintetik umumnya sangat tinggi dibanding tanah tetapi tinggal 70% nya saja untuk tekanan sampai 500 Kpa dan 40% untuk tekanan 900 Kpa (Suryolelono,1991).

- b. *Apparent Opening Size (AOS)*, adalah sebuah ukuran yang menunjukkan diameter tertentu pada lubang-lubang geosintetik.
- c. *Percent open area (POA)*, yaitu perbandingan antara *total open area* (seluruh lubang antara benang) dengan *total specimen area* (seluruh permukaan). Penggunaan *POA* hanya berlaku untuk *monofilamen woven geotextile*.
- d. *Permeability*, adalah koefisien rembesan air tanah arah normal geosintetik tegak lurus bidang geosintetik.
- e. *Permittivity*, adalah harga koefisien *permeability* arah normal bidang untuk tiap satuan tebal geosintetik. Biasanya harga *permittivity* agak konstan.

f. *Transmitivity*, adalah koefisien rembesan air arah sejajar bidang geosintetik, untuk tebal tertentu dan geosintetik yang digunakan.

4. Karakteristik ketahanan (*Endurance properties*), yaitu sifat yang dimaksudkan untuk mengetahui perilaku geotekstil terhadap waktu. Biasanya dilakukan beberapa uji antara lain: *Creep test*, *Abration test*, *Long term flow test*, *Gradient ratio test*.

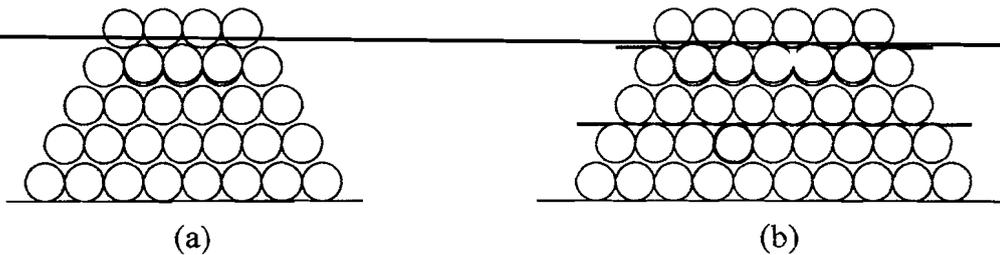
Selain dari 4 karakteristik teknik diatas diberikan juga hal-hal lain yang sering menjadi masalah pada penggunaan bahan polimer diantaranya ( Koerner,1986) :

- a. Ketahanan terhadap bahan kimia (ASTM D543)
- b. Ketahanan terhadap suhu tinggi (ASTM D794)
- c. Ketahanan terhadap cahaya dan iklim (ASTM D1435)
- d. Ketahanan terhadap bakteri
- e. Ketahanan terhadap pelapukan dalam tanah

### **3.5 Perkuatan Lereng**

#### **3.5.1 Latar Belakang Teori Perkuatan**

Pada tahun 1966, seorang ahli teknik dari Perancis bernama Henri Vidal mengadakan penelitian. Dari hasil penelitiannya ia menyimpulkan bahwa, tumpukan pasir alam yang mempunyai sudut lereng asli tertentu, dapat stabil dengan sudut kemiringan yang lebih besar, jika diberi material fleksibel yang mampu menahan tarikan di dalam tumpukan pasir tersebut (gambar 14)



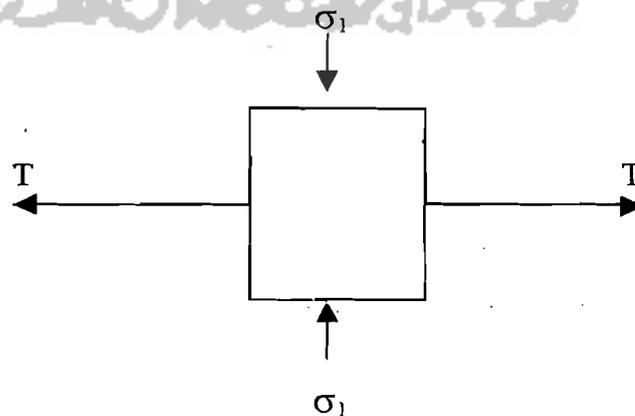
Gambar 14. (a) Tumpukan pasir dengan sudut lereng asli

(b) Tumpukan pasir dengan lereng yang diperkuat

Dari asumsi Henri Vidal tersebut, dapat dijelaskan beberapa hal sebagai berikut :

Tanah pasir alam (gambar 14 a), akan mengikuti hukum tersebut dan mempunyai sudut geser dalam ( $\phi$ ) jika tanah tersebut dibebani dengan tekanan vertikal  $\sigma_1$ , maka agar tidak terjadi keruntuhan, harus diberi tekanan lateral  $\sigma_3$  yang besarnya adalah  $K_a \cdot \sigma_1$ . Adanya pita/strip (gambar 14 b) akan menimbulkan geseran antara butir-butir pasir dengan pita tersebut, yang berarti timbul gaya tarik pada pita dan hal ini akan menginduksi timbulnya tekanan lateral.

Mekanisme dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Mekanisme perkuatan pada penelitian Henri Vidal (Tutut & Dedy, 1996)



Selanjutnya dari mekanisme tersebut di atas, dapat dibuat persamaan yaitu :

$$T_2 - T_1 = 2 \cdot \sigma_1 \cdot b \cdot f \cdot \Delta l \dots\dots\dots(14)$$

$$f = \frac{T_2 - T_1}{2 \cdot \sigma_1 \cdot b \cdot \Delta l} \dots\dots\dots(15)$$

Notasi :

$\sigma_1$  = tegangan vertikal

T = gaya tarik pada pita

f = koefisien gesekan antara pita dengan butiran tanah

b = lebar pita

l = lebar tanah uji

Akibat tegangan  $\sigma_1$ , timbul gaya tarik pada pita yang besarnya adalah

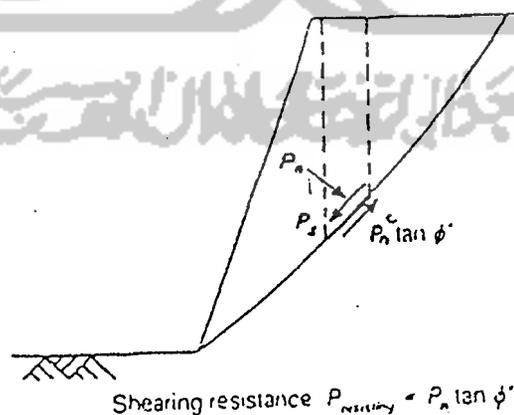
$T = (T_2 - T_1)$ . Agar tidak terjadi slip maka :

$$f \geq \frac{T}{2 \cdot \sigma_1 \cdot b \cdot \Delta l} \dots\dots\dots(16)$$

Teori yang dikembangkan oleh Hausmann (1976) mengemukakan bahwa adanya material penguat membantu tanah dalam menahan ekspansi lateralnya. Adanya gejala ekspansi kearah lateral akan menimbulkan gaya geser antara tanah dengan material tanah tersebut, yang besarnya akan ditentukan oleh kuat tarik dari material atau daya lekatnya dengan tanah.

### 3.6 Analisis Hitungan

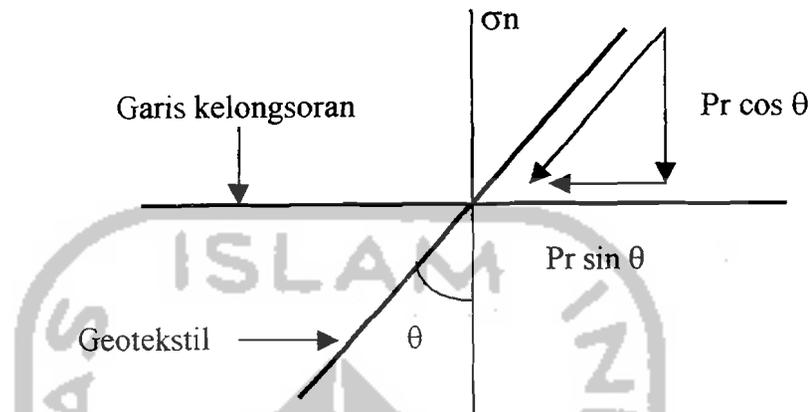
Pada dasarnya pemakaian geotekstil sebagai bahan perkuatan stabilitas lereng adalah untuk memperbesar kekuatan geser tanah sehingga tidak terjadi kelongsoran. Seperti terlihat pada gambar 16, beban sendiri tanah pada lereng akan menyebabkan pendistribusian gaya geser ( $P_s$ ) yang bekerja pada daerah permukaan geser. Jika tanah tidak diberi perkuatan maka gaya yang terjadi tersebut hanya ditahan oleh gaya pertahanan geser partikel tanah ( $P_n \tan \phi$ ). Pemakaian geotekstil sebagai perkuatan akan memberikan kekuatan tegangan ( $P_r$ ) dan juga memberikan dua komponen penahan pada permukaan geser. Komponen gaya tangensial perkuatan ( $P_r \sin \theta$ ) bekerja langsung untuk menahan gaya geser yang bekerja menambah pertahanan geser partikel tanah, seperti terlihat pada gambar 16.



Gambar 16. Lereng tanpa perkuatan ( Jewell, 1996)



Dari percobaan geser langsung pada tanah yang diberi perkuatan seperti yang diperlihatkan pada gambar 18, dapat dijelaskan sebagai berikut (gambar 19):



Gambar 19. Uraian gaya-gaya yang bekerja pada tanah dengan perkuatan geotekstil.

Dari gambar 18 dan 19 dapat dibuat suatu kesimpulan tentang gaya-gaya yang bekerja menahan kelongsoran pada tanah dengan perkuatan geotekstil :

1. Pada tanah tanpa perkuatan, beban yang mengakibatkan kelongsoran tanah akan ditahan oleh :

$$P_{\text{penahan}} = P_v \tan \varphi \dots \dots \dots (17)$$

Notasi :

$P_v$  = gaya normal

$\varphi$  = sudut gesek dalam

2. Pada tanah dengan perkuatan, beban yang mengakibatkan kelongsoran tanah akan ditahan oleh :

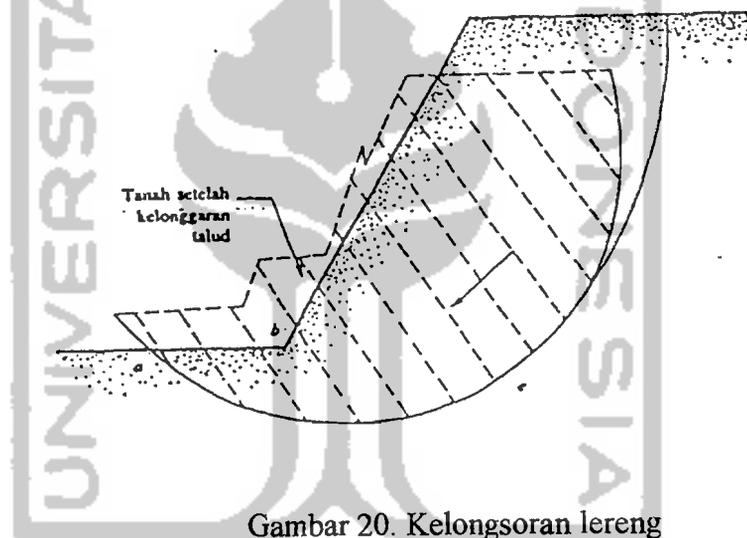
$$P_{\text{penahan}} = P_v \tan \varphi + Pr ( \sin \theta + \cos \theta \tan \varphi ) \dots \dots \dots (18)$$

Notasi :

$P_r$  = kuat tarik geotekstil

$\theta$  = sudut gesek antara geotekstil dengan gaya normal pada permukaan bidang kelongsoran

Perlu tidaknya penggunaan geotekstil sebagai perkuatan lereng didasarkan pada perhitungan faktor keamanan didefinisikan sebagai (Braja. M. Das)



Gambar 20. Kelongsoran lereng

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \dots \dots \dots (19)$$

Notasi :

$F_s$  = faktor keamanan

$\tau_f$  = tegangan geser

$\tau_d$  = tegangan geser disain yang bekerja sepanjang bidang longsor

Kuat geser tanah menurut Coulomb (1776) terdiri dari dua komponen, yaitu kohesi dan tegangan normal dan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots(20)$$

Keterangan :

$c$  = kohesi tanah

$\phi$  = sudut gesek dalam

$\sigma$  = tegangan normal pada bidang longsor.

Dengan cara yang sama dapat dituliskan :

$$\tau_d = cd + \sigma \tan \phi_d \dots\dots\dots(21)$$

Dimana  $cd$  adalah kohesi disain dan  $\phi_d$  sudut geser disain yang bekerja sepanjang bidang longsor. Dengan memasukkan persamaan (19) dan (20) kedalam persamaan (18), maka kita dapatkan :

$$FS = \frac{c + \sigma \tan \phi}{cd + \sigma \tan \phi_d} \dots\dots\dots(22)$$

$F_s = 1$ , maka lereng adalah dalam keadaan akan longsor. Umumnya nilai dari angka keamanan diambil 1,3 ~ 1,5.

Analisa perhitungan untuk geosintetik yang berfungsi sebagai perkuatan pada studi kasus ini pada dasarnya adalah metode batas keseimbangan (*Limit Equilibrium Concept*), yang meninjau keseimbangan lereng terhadap gaya-gaya luar yang bekerja dengan gaya yang ada di dalam konstruksi itu sendiri. Hanya pada analisis selanjutnya dilakukan dengan mengasumsikan bentuk-bentuk kelongsoran yang mungkin terjadi pada lereng buatan, dan merupakan analisis dari faktor keamanan (*safety factor*) terhadap stabilitas dari konstruksi, yang meliputi :

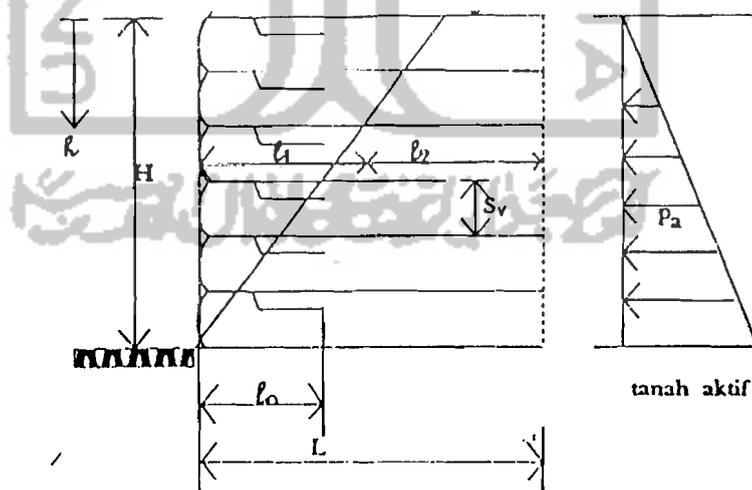
- a. stabilitas dalam (*internal stability*),
- b. stabilitas luar (*eksternal stability*),

### 3.6.1 Tinjauan Terhadap Stabilitas Dalam.

Pada analisis stabilitas dalam, dianggap bahwa tegangan geser pada tanah dibawah perkuatan tidak cukup kuat untuk menahan tekanan tanah aktif dan beban tambahan lainnya.

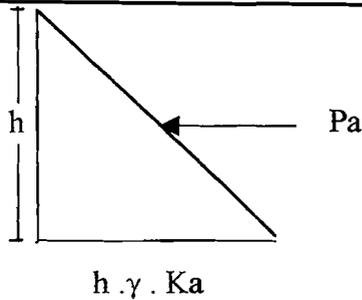
Kestabilan dalam dari lereng tanah yang diperkuat tergantung dari kekuatan geosintetik yang dipergunakan. Keruntuhan akan terjadi jika kekuatan tarik, atau ikatan antara tanah dengan elemen perkuatan tidak dapat lagi untuk menahan tegangan tarik yang timbul akibat tekanan tanah aktif, serta gaya-gaya luar yang bekerja ( Ingold, 1988).

Analisis hitungan stabilitas dalam yang dilakukan pertama kali adalah menghitung gaya-gaya horisontal yang bekerja dalam tanah yang terlihat pada gambar 21.



Gambar 21. Gaya-gaya yang bekerja pada perkuatan lereng dengan goesintetik (Suryolelono, 1990).

## 1. Tekanan tanah aktif.



$$Pa = \frac{1}{2} \cdot h^2 \cdot \gamma \cdot ka$$

Notasi :

$\gamma$  = berat volume tanah timbunan

$Ka$  = koefisien tekanan tanah aktif

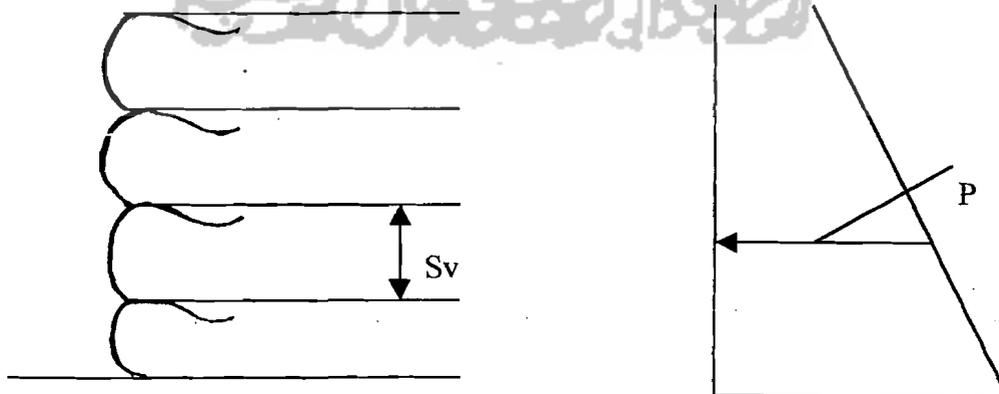
$$Ka = \frac{(1 - \sin \varphi)}{(1 + \sin \varphi)} = \text{tg}^2 (45 - \varphi/2)$$

$\varphi$  = sudut geser tanah

$h$  = tinggi lereng terhadap geotekstil  
tinjauan

a. Analisis Spasi vertikal geotekstil ( $S_v$ )

Dianggap lapisan geosintetik akan menahan setengah tebal tanah di atasnya dan setengah tebal tanah dibawahnya (gambar 22). Dalam hitungan ini diambil 1 meter panjang perkuatan tanah  $\perp$  bidang gambar.



Gambar 22. Menentukan spasi vertikal geotekstil (Suryolelono, 1990).

Spasi vertikal ( $S_v$ ) geosintetik dicari dengan persamaan :

$$S_v = \frac{\bar{T}_a}{p \cdot SF} \dots \dots \dots (26)$$

Keterangan :

$S_v$  = Spasi vertikal geosintetik

$T_a$  = beban tarik ijin geosintetik diambil dari  $\frac{1}{2}$  beban ultimit geosintetik

$p$  = total gaya horisontal yang ditinjau pada kedalaman  $h$

$SF$  = angka keamanan (1,3 ~ 1,5)

**b. Analisis panjang perkuatan geosintetik yang diperlukan.**

Dengan konsep dasar teori kelongsoran Coulomb bahwa bidang kelongsoran tanah berbentuk bidang rata, maka bentuk geosintetik sebagai perkuatan dapat ditentukan dengan persamaan :

$$L_1 = (H-h) \operatorname{tg} ((45^\circ - \varphi/2) - \operatorname{tg} (90^\circ - \beta)) \dots \dots \dots (27)$$

Keterangan :

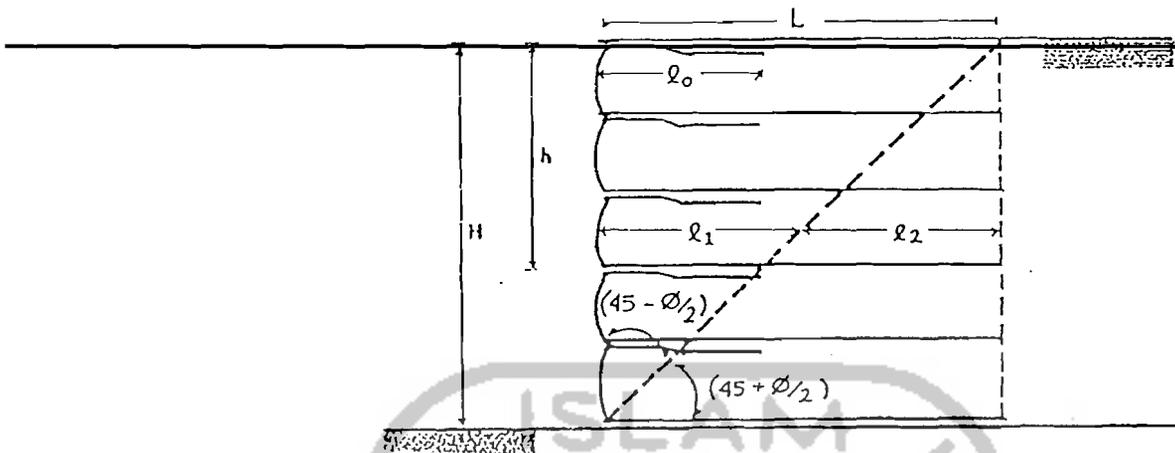
$L_1$  = panjang geosintetik diluar garis kelongsoran

$H$  = tinggi lereng

$h$  = tinggi lapisan geosintetik dari permukaan lereng

$\varphi$  = sudut gesek tanah

$\beta$  = sudut lereng desain



Gambar 23. Menentukan panjang geosintetik sebagai perkuatan. (Suryolelono,1990).

Bila lereng dalam keadaan seimbang, maka gaya tarik yang bekerja pada geosintetik ini akan di lawan oleh gaya gesek antara tanah dengan kedua sisi geosintetik.

$$F = 2 \cdot \tau_g \cdot L \dots\dots\dots(28)$$

Sedangkan menurut hukum Coulomb:

$$\tau_g = c + P_v \cdot \text{tg } \delta \dots\dots\dots(29)$$

Maka dengan mendistribusikan persamaan (28) ke persamaan (29), diperoleh :

$$\begin{aligned} F &= 2 (c + P_v \cdot \text{tg } \delta) \cdot L \\ &= 2 (c + (\gamma \cdot h) \cdot \text{tg } \delta) \dots\dots\dots(30) \end{aligned}$$

Untuk lereng keadaan seimbang:

$$T = F$$

Maka panjang geosintetik sebagai angkur dapat ditentukan dengan persamaan :

$$L_2 = \frac{(S_v \cdot P \cdot SF)}{2(c + (\gamma \cdot h) \cdot \text{tg } \delta)} \dots\dots\dots(31)$$

Notasi :

$L_2$  = panjang geosintetik sebagai angkur

$S_v$  = spasi vertikal

$P$  = tekanan tanah horisontal pada titik yang di tinjau

SF = angka keamanan

$c$  = kohesi tanah

$\gamma$  = berat volume tanah timbunan

$h$  = tinggi geosintetik tinjau dari permukaan lereng

$\delta$  = sudut gesek antara tanah dan geosintetik ( $\delta = 2/3\phi$ )

$\phi$  = sudut gesek tanah

$P_v$  = tekanan tanah horisontal pada ketinggian geotekstil

$L$  total untuk kebutuhan struktur =  $l_1 + l_2$

### c. Analisis panjang *over laping* geosintetik.

Tidak ada analisis khusus untuk menentukan panjang geosintetik sebagai *over laping* ( $l_o$ ) seperti terlihat pada gambar 23, karena secara teori tidak diperlukan. Tetapi dalam praktek agar konstruksi merupakan kesatuan (stabilitas terhadap gaya-gaya eksternal), maka diperkirakan panjang *over laping* diambil 50% dari  $l_1$  atau minimal 1 meter.

### 3.6.2 Tinjauan Terhadap Stabilitas Luar.

Analisis stabilitas dari lereng secara keseluruhan, dapat dilakukan dengan anggapan lereng merupakan struktur yang kuat dan kaku, sehingga dengan demikian dapat digunakan rumus-rumus yang sederhana sebagai dasar analisis. Walaupun kekuatan dari lereng tanah yang diperkuat lebih mengandalkan pada gesekan, tetapi kestabilan struktur secara keseluruhan antara tanah dan bahan perkuatan tetap harus

diselidiki. Analisis kestabilan luar lereng tanah dengan perkuatan meliputi stabilitas terhadap keruntuhan geser, keruntuhan guling dan daya dukung tanah dasar.

1. Stabilitas terhadap gaya geser.

Faktor keamanan terhadap gaya geser dapat ditentukan dengan persamaan :

a. Gaya yang menahan (Pt) :

$$P_t = \left[ c_g + \left( \frac{W_{\text{tot}}}{L_g} \right) \cdot \text{tg } \delta \right] \cdot L_g \dots \dots \dots (32)$$

Keterangan :

$L_g$  = panjang geosintetik pada lapisan terbawah

$c_g$  = lekatan antara geosintetik dan tanah dasar  
=  $0,8c$  ( $c$  = kohesi tanah dasar pondasi ).

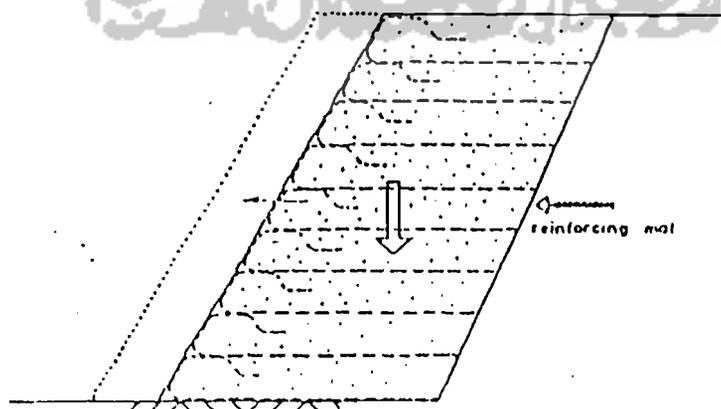
$W$  = berat lereng sepanjang  $L_g$

b. Gaya yang mendorong (Pd), adalah total gaya horisontal pada tanah

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_a \dots \dots \dots (33)$$

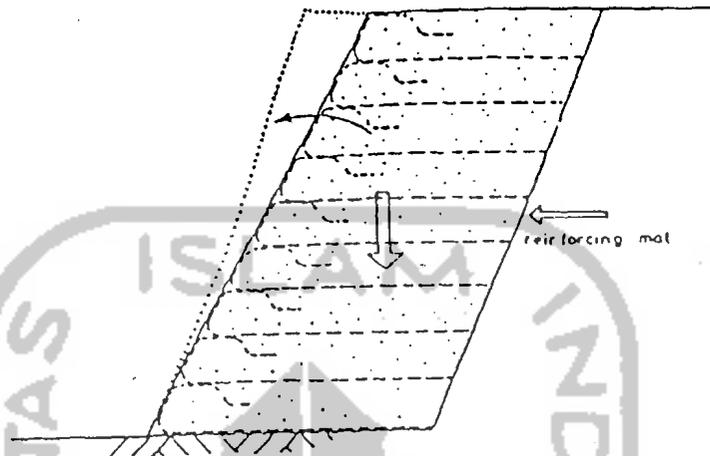
Dari kedua persamaan tersebut diatas, faktor keamanan diperoleh dengan persamaan:

$$SF = \frac{P_t}{P_d} > 1,5 \dots \dots \dots (34)$$



Gambar 24. Stabilitas lereng terhadap geser.

## 2. Stabilitas terhadap bahaya guling.



Gambar 25. Stabilitas lereng terhadap bahaya guling

Faktor keamanan ditentukan berdasarkan perbandingan antara momen penahan dan momen penyebab guling terhadap titik guling yang ditinjau.

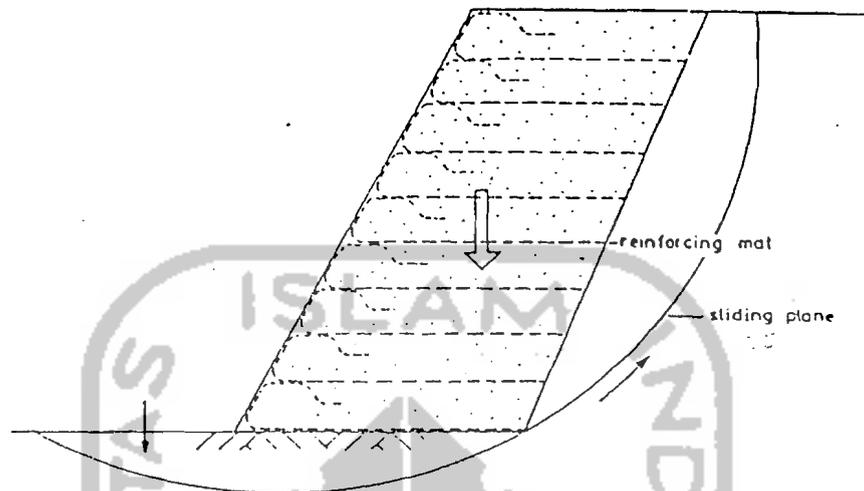
Momen penahan ( $M_p$ ) = perkalian antara berat lereng yang diperkuat geosintetik dengan lengan momen dari titik guling tinjauan.

Momen guling ( $M_g$ ) = perkalian antara gaya-gaya horisontal yang bekerja dalam tanah dan tinggi gaya-gaya tersebut terhadap titik guling tinjauan.

Faktor keamanan ditentukan sebagai :

$$SF = \frac{\sum M_p}{\sum M_g} \geq 1,5 \dots \dots \dots (35)$$

### 3. Stabilitas terhadap kuat dukung tanah.



Gambar 26. Stabilitas lereng terhadap kuat dukung tanah.

Pada dasarnya di dalam menentukan tinggi lereng perkuatan, harus diperhitungkan pula kemampuan daya dukung (*bearing capacity*) dari tanah dibawah perkuatan tersebut. Terzaghi dan Peck (1976) dengan teori daya dukungnya memberi rumusan daya dukung maksimum dari tanah sebagai berikut

$$\sigma_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \dots \dots \dots (36)$$

Keterangan :

$c$  = kohesi tanah

$N_c, N_q, N_\gamma$  = koefisien kuat dukung tanah

$q$  = beban merata

$B$  = lebar konstruksi bagian bawah

$\gamma$  = berat volume tanah dibawah konstruksi

Koefisien kuat dukung tanah dapat dicari dengan menggunakan tabel 9

Tabel 9. Koefisien kuat dukung tanah ( Sanglerat, 1983)

$\varphi^\circ$	$N_\gamma$	$N_q$	$N_c$
0	0	1	5,1
5	0,2	1,6	6,5
10	1,0	2,5	8,3
15	2,3	3,9	11,0
20	5,0	6,4	14,8
25	10,4	10,7	20,7
30	21,8	15,4	30,1
35	47,9	33,3	46,1
40	113	64,2	75,3
45	299	134,9	133,9

Faktor keamanan dicari dengan persamaan :

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{\sigma_{terjadi}} \geq 1,5 \dots \dots \dots (37)$$

$\sigma_{terjadi}$  = berat beban pada lereng termasuk berat sendiri

### 3.7 Penanggulangan Longsoran Pada Lereng Tanpa Perkuatan

Pada suatu lereng bekerja gaya-gaya yang terdiri dari gaya pendorong dan gaya penahan. Gaya pendorong adalah gaya tangensial dari berat massa tanah, sedangkan gaya penahan berupa tahanan geser tanah. Suatu lereng akan longsor bila keseimbangan gaya-gaya yang bekerja terganggu, yaitu gaya pendorong melampaui gaya penahan. Oleh karena itu prinsip penanggulangan longsoran adalah mengurangi gaya pendorong atau menambah gaya penahan.

Cara penanggulangan longsoran dengan mengurangi gaya pendorong dapat dilakukan antara lain dengan memotong dan pengendalian air permukaan, sedangkan penanggulangan yang menambah gaya penahan antara lain dengan pengendalian air rembesan, penambatan dan penimbunan pada kaki lereng.

### 3.7.1 Mengubah Geometri Lereng

Umumnya lereng alam menunjukkan kemantapan jangka panjang, tetapi pada beberapa kasus tidak demikian. Untuk itu perlu dilakukan perubahan geometri lereng dengan parameter geotekniknya.

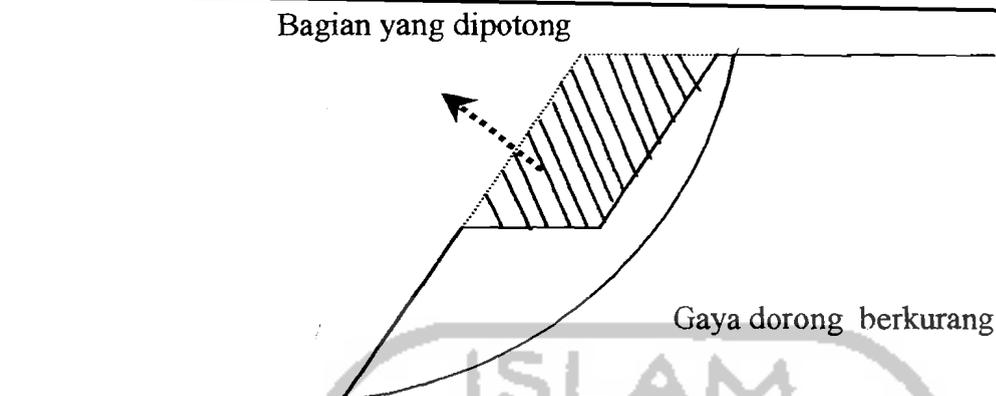
Mengubah geometri lereng dapat dilakukan dengan cara pemotongan dan penimbunan pada ujung kaki lereng. Metoda penanggulangan ini mempunyai prinsip mengurangi gaya dorong dari massa tanah yang longsor dan menambah gaya penahan dengan cara penimbunan pada ujung kaki lereng, sehingga faktor keamanan lereng dapat bertambah. Metoda ini umumnya dilakukan untuk tipe longoran rotasi.

Pada tugas akhir ini dilakukan analisis dengan mengurangi gaya pendorong dari massa tanah yang longsor dengan cara melakukan pemotongan pada bagian kepala bidang longoran (Gambar 27).

### 3.7.2 Mengendalikan Air Permukaan

Air permukaan merupakan salah satu faktor penyumbang ketidakmantapan lereng, karena akan meninggikan tekanan air pori. Genangan air permukaan juga akan menimbulkan penjenuhan, sehingga massa tanah akan menjadi lembek dan menambah berat massa longoran. Aliran air permukaan dapat juga menimbulkan erosi sehingga akan mengganggu kemantapan lereng yang ada. Oleh karena itu air permukaan perlu dikendalikan untuk mencegah masuknya atau mengurangi rembasan air permukaan ke daerah longoran.

Mengendalikan air permukaan dapat dilakukan dengan cara menanam tumbuhan, menutup rekahan, tata salir dan perbaikan permukaan lereng.



Gambar 27. Pemotongan Kepala Longsoran.

### 3.7.3 Mengendalikan Air Rembesan

Maksud dari mengendalikan air rembesan (drainase bawah permukaan) adalah untuk menurunkan muka air tanah di daerah longsor. Dalam memilih cara yang tepat perlu dipertimbangkan jenis dan letak muka air tanah. Usaha mengeringkan dan atau menurunkan air tanah dalam lereng dengan mengendalikan air rembesan, umumnya cukup sulit dan memerlukan penyelidikan yang cermat.

Metoda pengendalian air rembesan yang sering digunakan adalah sumur dalam, penyalir tegak, penyalir mendatar, pelantar, sumur pelega, penyalir parit pencegat, penyalir liput dan elektro osmosis.

### 3.7.4 Penambatan dan Tindakan Lain

Penambatan merupakan cara penanggulangan yang bersifat mengikat atau menahan massa tanah yang bergerak, sedangkan tindakan lain dilakukan bila penanggulangan dengan cara mengubah geometri lereng, mengendalikan air dan penambatan tidak dapat diterapkan.

Cara penambatan untuk penanggulangan dapat dibagi menjadi 2 (dua) jenis berdasarkan material yang bergerak yaitu:

#### 1. Penambatan tanah

Penambatan tanah umumnya dilakukan dengan bangunan penahan yang berfungsi sebagai penahan terhadap massa tanah yang bergerak, sehingga meningkatkan tahanan geser. Bangunan penahan dapat terdiri dari beberapa macam antara lain bronjong, tembok penahan, sumuran, tiang dan dinding penompang isian batu.

#### 2. Penambatan batuan

Penambatan batuan berfungsi sebagai penahan atau pengikat massa batuan yang akan bergerak terhadap massa batuan mantap. Tipe gerakan pada batuan terdiri dari tipe runtuh dan penjurukan yang bergerak melalui bidang lemahnya seperti kekar dan bidang perlapisan. Tipe gerakan jenis ini dapat ditanggulangi dengan tumpuan beton, baut batuan, pengikat beton, jala kawat, tembok penahan batu dan dinding tipis.

Tindakan lain meliputi cara penanggulangan antara lain dengan penggantian material stabilisasi, penggunaan bahan ringan dan relokasi.

### **3.8 Analisis Kelongsoran dengan Program Komputer**

Analisis berdasarkan bidang kelongsoran sirkuler juga disebut dengan metode irisan. Analisis ini pada dasarnya adalah untuk mengetahui faktor keamanan dari suatu lereng dengan atau tanpa perkuatan geotekstil menggunakan metode irisan, yaitu pembagian lereng pada daerah kelongsoran bidang sirkuler menjadi beberapa

irisasi. Angka keamanan didapatkan dari perbandingan antara gaya-gaya yang menahan kelongsoran dengan gaya-gaya yang menyebabkan kelongsoran (Braja, 1984).

Karena untuk itu mengetahui bentuk bidang kelongsoran kritis dengan metode kelongsoran sirkuler secara manual sulit dilakukan, maka analisis hitungan perkuatan lereng dengan metode kelongsoran sirkuler ini dibantu dengan perangkat komputer yang dalam hal ini penulis menggunakan program komputer *MRSS (Mirafi Reinforcement Stability Slope)*.

Dengan memasukkan data-data dari lereng akan diketahui faktor keamanan yang ada dapat diketahui perlu tidaknya lereng diberi perkuatan.

Dengan program ini dapat dilakukan pengontrolan faktor keamanan terhadap lereng dengan perkuatan geotekstil.

Dalam pengoperasian program *MRSS* diperlukan langkah sebagai berikut:

1. Input data

- a. Untuk lereng tanpa perkuatan geotekstil data yang diperlukan adalah:

tinggi lereng = m

berat volume tanah ( $\gamma_b$ ) = kN/m<sup>3</sup>

kohesi ( c ) = kN/m<sup>2</sup>

sudut gesek dalam ( $\phi$ ) = °

sudut kemiringan lereng ( $\beta$ ) = °

koefisien interaksi antara tanah dengan geotekstil ( $\delta$ )

- b. Untuk lereng dengan geotekstil data yang diperlukan adalah:

Tinggi lereng = m

Berat volume tanah ( $\gamma_b$ ) =  $\text{kN/m}^3$

Kohesi ( $c$ ) =  $\text{kN/m}^2$

Sudut gesek dalam ( $\phi$ ) =  $0$

Sudut kemiringan lereng ( $\beta$ ) =  $0$

Koefisien interaksi antara tanah dengan geotekstil ( $\delta$ )

Kuat tarik ijin geotekstil ( $T_a$ ) =  $\text{kN/m}$

Spasi vertikal ( $S_v$ ) = m

2. Operasi atau proses pengolahan data

3. Output atau hasil tampilan berupa:

- Lingkaran atau kelongsoran kritis
- Radius atau jari-jari kelongsoran
- Kelongsoran pusat lingkaran
- Faktor keamanan

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA