

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir

2.1.1 Pengertian Pasir

Pasir dan kerikil merupakan agregat tak terkohesi yang tersusun dari fragmen-fragmen sub-angulir atau angulir yang berasal dari batuan atau mineral yang belum mengalami perubahan (Terzaghi & Peck, 1987:5). Fraksi kasar yang ditunjukkan oleh pasir dibentuk oleh butiran yang biasanya terutama tersusun dari kuarsa. Masing-masing butiran mungkin berbentuk angulir, subangulir, atau bulat. Sebagian pasir mengandung persentase sangat tinggi serpihan-serpihan mika yang membuatnya sangat elastis atau lenting (Terzaghi & Peck, 1987:8).

Pasir adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan no. 4 (4,75 mm) dan tinggal dalam saringan no. 200 (0,075 mm), dengan pembagian sebagai berikut:

1. Pasir kasar: butirannya lolos saringan no. 4 (4,75 mm) dan tertahan dalam saringan no. 10 (2 mm).
2. Pasir sedang: butirannya lolos saringan no. 10 (2 mm) dan tertahan dalam saringan no. 40 (0,425 mm).
3. Pasir halus: butirannya lolos saringan no. 40 (0,425 mm) dan tertahan dalam saringan no. 200 (0,075 mm) (Hardiyatmo, H.C., 2011:2).

2.1.2 Klasifikasi Pasir Berdasarkan *Unified* (U.S.C.S.)

Sistem klasifikasi tanah *Unified* awalnya diusulkan oleh A. Casagrande pada tahun 1948 dan kemudian direvisi pada tahun 1952 oleh *Corps of Engineers* dan *U.S. Bureau of Reclamation*. Dalam bentuknya yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi dan insinyur geoteknik dalam bisnis konsultasi pribadi. Pada awalnya terdapat dua divisi utama dalam sistem ini. Tanah diklasifikasikan sebagai tanah kasar (kerikil dan pasir) jika lebih dari 50% tertahan pada saringan no. 200 dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (Das, B.M., 2007:40-41).

Klasifikasi *Unified* (U.S.C.S.) untuk tanah pasir ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi *Unified* untuk Pasir

PROSEDUR KLASIFIKASI			SYMBOL	NAMA JENIS	IDENTIFIKASI LAB
Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan no. 200 (Φ 0,075 mm))	Kerikil (lebih dari 50 % tertahan pada ayakan no. 4 (Φ 4,75 mm))	Kerikil Murni	GW	Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa ada butiran halus	CU = D60/D10 = 1-4 CC= D30 ² /D10=1-3
			GP	Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butiran halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW
	Kerikil Berbutir Halus	Kerikil Berbutir Halus	GM	Kerikil berlanau, kerikil mengandung pasir-lanau bergradasi buruk	IP < 7
			GC	Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	IP > 7
	Kerikil (lebih dari 50 % lolos pada ayakan no. 4 (Φ 4,75 mm))	Pasir bersih	SW	Pasir bergradasi baik, pasir dengan sedikit pasir tanpa butiran halus	CU = D60/D10 \geq 6 CC= D30 ² /D10=1-3
			SP	Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk SW
		Pasir berbutir halus	SM	Pasir berlanau, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk	IP > 7 serta PI, LL < 2,25
			SC	Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk	IP > 7, PI, LL > 2,25

(Sumber : ASTM 1982)

2.1.3 Kepadatan Relatif Pasir

Kepadatan relatif lapisan pasir memiliki pengaruh yang menentukan terhadap sudut gesekan dalam pasir, terhadap daya dukung akhir, serta terhadap penurunan telapak bangunan yang bertumpu di atas pasir. Jika pasir yang terbenam berada dalam keadaan sangat lepas, maka sebuah kejutan mendadak bisa mengubahnya secara temporer menjadi suspensi pasir yang memiliki sifat-sifat seperti cairan viskous. Dalam keadaan padat, pasir yang sama seperti di atas bersifat tidak peka terhadap kejutan dan cukup sempurna sebagai dasar pondasi untuk struktur yang sangat berat sekalipun. Karena alasan ini, kepadatan relatif suatu pasir akan jauh lebih penting daripada sifat-sifatnya yang lain, kecuali (mungkin) permeabilitasnya. (Terzaghi & Peck, 1987:281).

Tanah tak kohesif cenderung membentuk suatu struktur berbutir tunggal yang dapat dalam keadaan lepas atau padat. Tanah yang benar-benar tidak kohesif hanya dapat dijumpai dalam deposit tanah yang diangkut, dimana angin atau air telah

memisahkan kontaminan koloidal dan atau mineral lempung. Contoh deposit yang tidak kohesif diantaranya adalah kerikil di sungai. Deposit dalam kondisi tertentu dapat menghasilkan tanah yang sangat lepas (*metastabil*). Dimana struktur yang seperti ini mungkin mampu mendukung beban statis yang cukup besar tetapi dapat runtuh akibat beban dinamis atau getaran yang relatif kecil (*Bowles, 1993:147*).

Dalam operasi pemadatan di lapangan dimana penambahan air tidak akan merusak tanah disekitarnya, pasir yang dilimpahi air (untuk memberikan keadaan $S_r = 100\%$) akan sangat membantu dalam menambah berat isi tanah. Kepadatan optimum dari tanah berbutir akan menghasilkan berat isi yang terbesar dan angka pori yang minimum. Sebaliknya, kepadatan minimum akan menghasilkan keadaan yang paling lepas, berat isi minimum, dan angka pori (e) maksimum. Kepadatan relatif dapat juga dinyatakan sebagai perbandingan antara $\gamma_{d \text{ lap}}$ yang dihasilkan dari *sand cone test* dengan $\gamma_{d \text{ lab}}$ yang dihasilkan dari uji proktor standar pada uji laboratorium (ASTM D1556-90). Untuk mencapai suatu nilai D_r , kita dapat menggunakan rumus berikut:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (2-1)$$

Berikut adalah Tabel 2.2 yang menjelaskan identifikasi lapangan untuk kepadatan relatif.

Tabel 2.2 Istilah dan Identifikasi lapangan untuk kepadatan relatif

Keadaan Tanah	D_r (%)	Identifikasi Lapangan
Sangat Lepas	0-20	Mudah ditandai dengan jari
Lepas	20-40	Mudah disekop
Agak padat (kompak)	40-70	cukup sukar untuk disekop
Padat	70-90	Membutuhkan garpu untuk memisahkan tanah sehingga dapat disekop
Sangat padat	90-100	Memerlukan ledakan atau alat berat untuk memisahkan

(Sumber : *Bowles (1993:149)*)

2.1.4 Pengujian Tanah Pasir pada Laboratorium

Pengujian pasir pada laboratorium sangat perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik pasir tersebut sebagai data pendukung dalam pengujian yang lainnya.

2.1.4.1 Ukuran Butir

Ukuran partikel tanah sangat beragam dan bervariasi. Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*) tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah yang telah dikembangkan salah satunya *Unified Soil Classification System (USCS)*. Pada pengujian di laboratorium dapat menggunakan *Mechanical Grain Size* untuk mengklasifikasikan ukuran butiran.

Tabel 2.3 Batasan – batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	<0,002
U.S. Departement of Agriculture (USDA)	>2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	<0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 - 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	<0,002
Unified Soil Classification System (USCS)	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075	Halus (lanau dan lempung) <0,0075	

2.1.4.2 Berat Isi Butiran (γ)

Menurut Lembaga Penelitian Tanah (1979), definisi berat isi tanah adalah berat tanah utuh (*undisturbed*) dalam keadaan kering dibagi dengan volume tanah, dinyatakan dalam g/cm^3 (g/cc). Nilai berat isi tanah sangat bervariasi antara satu titik dengan titik lainnya karena perbedaan kandungan bahan organik, tekstur tanah, kedalaman tanah, jenis fauna tanah, dan kadar air tanah (Agus *et al.* 2006).

Tabel 2.4 Nilai W_c untuk tanah keadaan asli di lapangan

Macam Tanah	W_c %
Pasirseragam	19-32
Pasirberbutircampuran	16-25
Tanah liatlunak	70-110

(Sumber: HaryChristiady, Mekanika Tanah 1, 1992)

Bobot isi tanah (*Bulk Density*) adalah ukuran pengepakan atau kompresi partikel-partikel tanah (pasir, debu, dan liat). Bobot isi tanah bervariasi bergantung pada kerekatan partikel-partikel tanah itu. Bobot isi tanah dapat digunakan untuk menunjukkan nilai batas tanah dalam membatasi kemampuan akar untuk menembus (penetrasi) tanah, dan untuk pertumbuhan akar tersebut (Pearson et al., 1995).

Berat isi merupakan suatu sifat tanah yang menggambarkan taraf kemampuan tanah. Tanah dengan kemampuan tinggi dapat mempersulit perkembangan perakaran tanaman, pori makro terbatas dan penetrasi air terhambat (Darmawijaya, 1997).

2.1.4.3 *Specific Gravity*

Bobot jenis partikel (*particle density*) dari suatu tanah menunjukkan kepadatan dari partikel dapat secara keseluruhan. Hal ini ditunjukkan sebagai perbandingan massa total dari partikel padatan dengan total volume tidak termasuk ruang pori antarpartikel. Berat jenis partikel ini penting dalam penentuan laju sedimentasi, pergerakan partikel oleh air dan angin.

Specific Gravity adalah angka perbandingan antara berat butir tanah dan berat isi air suling dengan isi sama pada suhu 40C. Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain piknometer atau botol ukur, saringan, termometer, oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu, alat pendingin dll. Prosedur pengujian meliputi tahapan pengeringan benda uji di dalam oven selama 24 jam dan penimbangan, selanjutnya benda uji dimasukkan kedalam piknometer lalu timbang lagi

dan seterusnya. Berat jenis adalah perbandingan relative antara massa jenis sebuah zat dengan massa jenis air murni. Air murni bermassa jenis 1 g/cm^3 atau 1000 kg/m^3 . Berikut ini tabel berat jenis tanah.

Tabel 2.5 *Specific Gravity*

Macam Tanah	Specific Gravity
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber: HaryChristiady, Mekanika Tanah 1, 1992)

2.2 Pondasi Dangkal

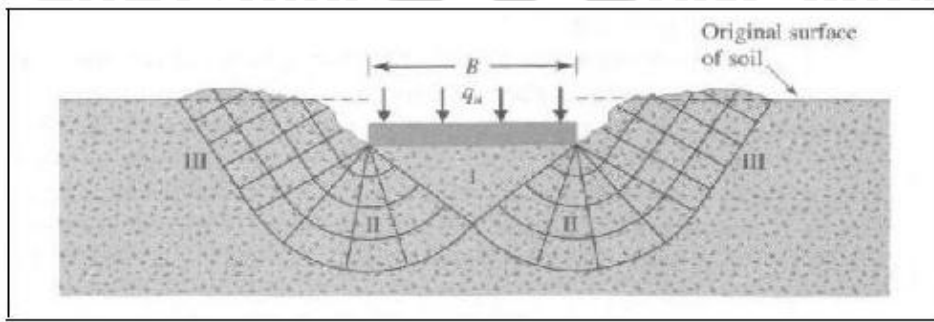
Pondasi dangkal adalah pondasi dimana dari struktur ke tanah terjadi dekat dengan permukaan, (Coduto, 1994). Menurut Terzaghi(1943), dianggap pondasi dangkal apabila letak dasar pondasi dari muka tanah (d) kurang atau sama dengan lebar dasar pondasi (B). (Das, 1994).

2.2.1 Pola Keruntuhan

Berdasarkan dengan apa yang telah dibuktikan dilapangan, sebuah pondasi apabila dibebani maka pondasi tersebut akan meneruskan beban kelapisan tanah yang ada dibawahnya, sehingga menyebabkan tanah akan mengalami deformasi vertikal dan horizontal. Apabila tanah mengalami pembebanan seperti beban pondasi, maka tanah akan mengalami distorsi dan penurunan. Jika beban ini bertambah terus maka penurunan juga akan bertambah dan akan menyebabkan deformasi plastis pada tanah. Berdasarkan hasil uji model, Vesic (1963) mengelompokkan mekanisme keruntuhan pondasi menjadi tiga, yaitu :

2.2.1.1 Keruntuhan Geser Umum (*General Shear Failure*)

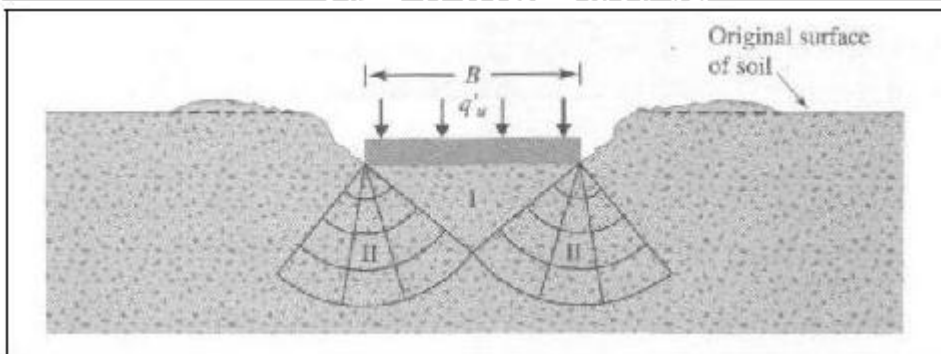
Keruntuhan geser umum merupakan keruntuhan pondasi yang terjadi menurut bidang runtuh yang dapat diidentifikasi dengan jelas karena bidang longsor, berupa lengkung dan garis lurus, yang terbentuk berkembang hingga mencapai permukaan tanah. Tipe keruntuhan ini terjadi pada pasir padat (*dense sand*) yang memiliki $D_r > 67\%$



Gambar 2.1 Keruntuhan Geser Umum
(Sumber : *Braja M. Das 2005.*)

2.2.1.2 Keruntuhan Geser Lokal (*Local Shear Failure*)

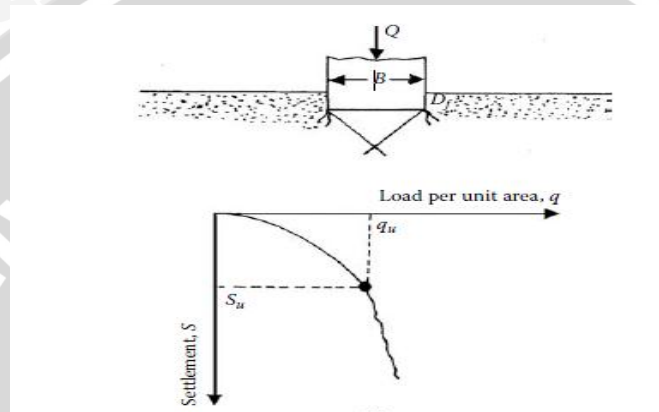
Tipe keruntuhannya hampir sama dengan keruntuhan geser umum. Akan tetapi bidang runtuh yang terbentuk tidak berkembang sehingga tidak mencapai permukaan tanah. Pada keruntuhan geser lokal ini terjadi sedikit penggembungan tanah di sekitar pondasi tetapi tidak sampai terjadi penggulingan pondasi. Tipe keruntuhan ini terjadi pada pasir medium *dense sand* yaitu pasir dengan $30\% < D_r < 67\%$



Gambar 2.2 Keruntuhan Geser Lokal
(Sumber : *Braja M. Das 2005*)

2.2.1.3 Keruntuhan Penetrasi (*Punching Shear Failure*)

Keruntuhan penetrasi merupakan kondisi dimana pondasi hanya menembus dan menekan tanah ke samping yang menyebabkan pemampatan tanah di dekat pondasi. Penurunan pondasi bertambah secara linier dengan penambahan bebannya. Penurunan yang terjadi tidak menghasilkan cukup getaran arah lateral yang menuju kedudukan kritis keruntuhan tanah sehingga kuat geser ultimit tanah tidak dapat berkembang. Pada saat terjadi keruntuhan, bidang runtuh tidak terlihat sama sekali. Tipe keruntuhan ini terjadi pada pasir lepas dengan $D_r < 30\%$



Gambar 2.3 *Punching Shear Failure*
(Sumber : Suroso dkk)

Berdasarkan pada apa yang telah didapatkan di lapangan, keruntuhan sangat dipengaruhi oleh *density* dari tanah dan juga dipengaruhi oleh rasio kedalaman-lebar pondasi D/B seperti yang ditunjukkan oleh Vesic (1973).

2.3 Geosintetik

Ditinjau dari kata Geosintetik (*Geosynthetic*) dimana *Geo* berarti *earth* (tanah atau bumi) *Synthetic* berarti *human-made product / material* (produk atau bahan buatan manusia). Oleh *The American Society for Testing and Materials* (ASTM) mendefinisikan *Geosynthetic* dalam terminologi D4439 sebagai produk planar yang dibuat dari bahan polimer, yang digunakan pada tanah, batuan, atau materi geoteknik lainnya, sebagai pelengkap dalam sebuah proyek, struktur maupun sistem buatan.

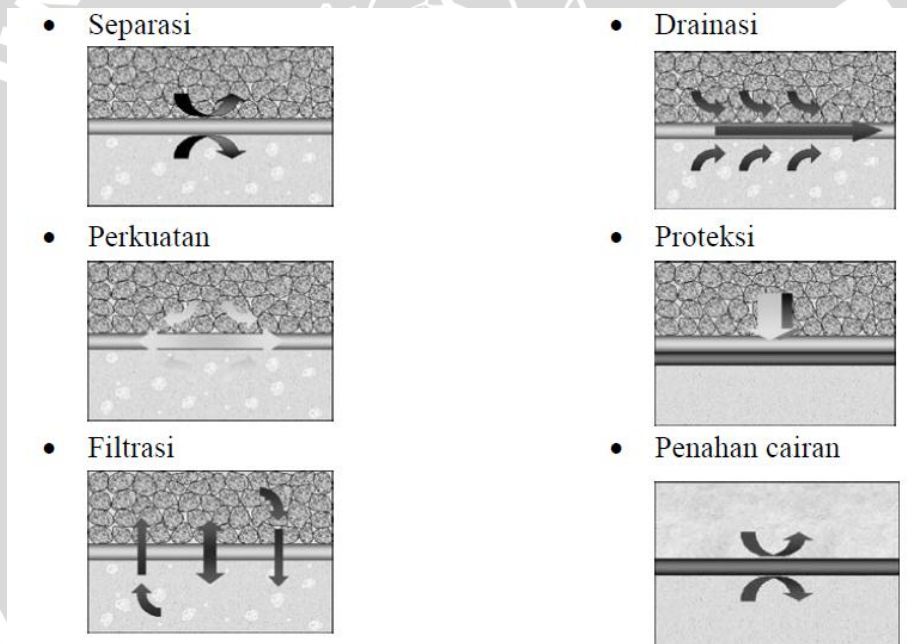
Secara sederhana, geosintetik didefinisikan sebagai produk buatan dari bahan polimer yang berfungsi untuk memperbaiki perilaku tanah. Hingga saat ini beberapa jenis Geosintetik telah dikembangkan sesuai dengan kebutuhan. Berikut adalah beberapa jenis Geosintetik yang dapat kita temui:

- *Geotextile / Geotekstil*
- *Geopipe*
- *Geocomposites / Geokomposit*
- *Geofoam*
- *Geonet*
- *Geosynthetics Clay Liner*
- *Geotekstil*
- *Geomembrane / Geomembran*
- *Geo-other*
- *Geocell*

2.3.1 Fungsi Geosintetik

Geosintetik berfungsi sebagai elemen penguat di dalam suatu massa tanah atau kombinasi berbagai macam tanah untuk menghasilkan suatu komposit yang meningkatkan kekuatan dan sifat deformasi tanah tanpa tulangan atau perkuatan lain. Pada intinya geotekstil ini digunakan untuk mengurangi erosi tanah yang disebabkan oleh pengaruh curah hujan dan limpasan air permukaan.

Material geosintetik dalam struktur dirancang untuk berfungsi sebagai :



Berikut fungsi-fungsi dari bermacam jenis Geosintetik yang dijelaskan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.6 Fungsi - fungsi bermacam jenis Geosintetik

Tipe Geosintetik	Fungsi Dasar					
	Separasi	Proteksi	Perkuatan	Filtrasi	Drainasi	Lapisan Kedap
Geotekstil	✓	✓	✓	✓	✓	
Geogrid			✓			
Geonet					✓	
Geomembran						✓
Geosynthetic						✓
Clay Liner						
Geocell		✓				
Geopipe					✓	
Geofoam	✓					
Geocomposite	✓	✓	✓	✓	✓	✓

(Sumber : www.geosistem.com)

2.3.2 Geotekstil

Geotekstil merupakan bagian dari geosintetik yang berupa bahan sintetis menyerupai bahan tekstil berupa lembaran serat buatan (*syntetic fibres*) tenunan anti ultraviolet yang dibuat untuk menanggulangi masalah pembuatan jalan, timbunan, tanah pondasi, dan sebagainya pada tanah lunak atau pasir lepas. Untuk memenuhi persyaratan dan pengolahan bahan yang mudah dipakai, maka serat buatan yang umum dikembangkan akhir-akhir ini dibuat dari bahan *polypropylene*, *polyethylene*, *polyster*, *nylon*, dan lain-lain.

2.3.2.1 Geotekstil Sintetik

Geotekstil sintetik ada tiga macam, yaitu:

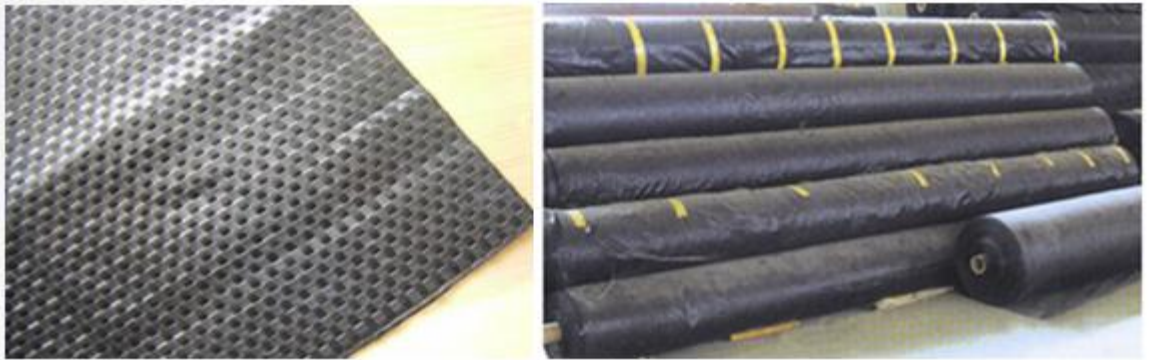
1. NonWoven

Nonwoven geotekstil dibuat dengan menyebarkan serat-serat pada sebuah *platform* yang bergerak. Serat-serat itu kemudian menjadi pokok untuk beberapa pengikat. Hasil dari geotekstil ini pada umumnya mempunyai sifat isotropis pada bidangnya.

2. Woven

Geotekstil ini terbuat dari anyaman dua buah serat saling tegak lurus. Hasil anyaman tersebut menimbulkan sifat mekanis material dalam dua arah berbeda yaitu arah *warp* dan *welf*. Arah *warp* yaitu serat yang dianyam dalam geotekstil parallel dengan arah pembuatannya. Arah *welf* yaitu serat yang dianyam dalam geotekstil

tegak lurus dengan arah pembuatannya.



Gambar 2.4. Geotekstil Woven

3. DSF Knitted

Geotekstil dibentuk dengan memutarakan serat-serat membrane atau benang-benang mengelilingi satu dengan lainnya sehingga membentuk rajutan.

2.3.2.2 Karakteristik Geotekstil

1. Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik geotekstil meliputi *specific gravity*, massa per unit luas, ketebalan dan kekakuan. Nilai *specific gravity* dari geotekstil sebagian besar menggunakan nilai G_s bahan polymer. Sifat fisik geotekstil lebih dipengaruhi oleh temperature dan kelembaban daripada oleh masa tanah dan batuan.

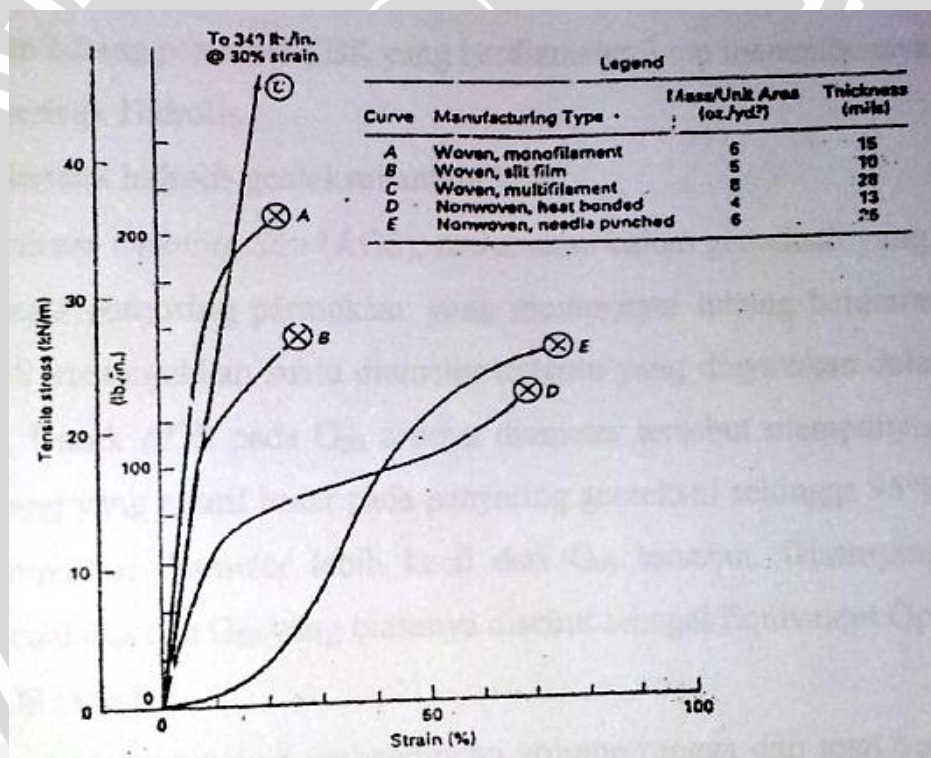
2. Karakteristik Mekanis

Karakteristik mekanis menjadi dasar mengevaluasi daya tahan geotekstil terhadap kerusakan selama proses konstruksi (*geotextile survivability*) dan kemampuan geotekstil untuk mendukung pekerja dan peralatan konstruksi sebelum penimbunan dan operasional struktur dilakukan (*geotextile workability*). Daya tahan mekanis berkaitan dengan kehilangan kekuatan dalam fungsi waktu akibat pengaruh lingkungan secara khusus, rangkai, dan abrasi. Faktor luar yang mempengaruhi durabilitas geotekstil adalah radiasi ultraviolet yang mendegradasi geotekstil ini dalam hitungan bulan. Geotekstil memiliki ketahanan cukup baik terhadap pelapukan biologis.

2.3.2.3 Sifat Mekanis Geotekstil

1. Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik adalah besarnya gaya yang diperlukan untuk menarik bahan geotekstil sampai putus. Sifat ini berhubungan dengan kekuatan puncak (*peak strength*) dan modulus tegangan regangan, yang diperlukan untuk mengetahui kekuatan geotekstil terhadap tarik. Struktur geotekstil dan partikel tanah akan saling mengunci (*interlocking*) sehingga akan memberi efek yang berarti terhadap karakteristik tegangan regangan seperti yang dikemukakan oleh **Koener (1998)** dalam designing with geotextile menunjukkan karakteristik modulus tegangan regangan berbagai tipe geotekstil seperti tampak pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.5. Kurva Modulus Tegangan Regangan Berbagai Tipe Geotekstil
(Koerner R.M., *Design and Application With Geosynthetics*, 1998)

2. Kekuatan Tekan (*Compressibility*)

Kekuatan tekan geotekstil dipengaruhi oleh ketebalan. Sebagian besar geotekstil mempunyai kekuatan tekan yang rendah, tetapi penting untuk memenuhi fungsi filtrasi.

3. Kekuatan pecah (*burst*), sobek (*Tear*) dan kuat kejut (*impact strength*)

Kekuatan pecah merupakan kekuatan bahan geotekstil dalam menerima beban terpusat dengan arah tegak lurus, yang dapat berupa beban pecah atau beban coblos. Beban pecah terjadi apabila bahan geotekstil harus menerima beban terpusat pada luasan yang relatif sempit dengan arah tegak lurus. Beban coblos terjadi apabila ada beban tegak lurus lembaran produk akibat beban yang bersudut runcing yang cenderung mencoblos lembaran bahan geotekstil. Keruntuhan geotekstil akibat sobek yang merambat (*tear propagation*) setelah tusukan awal diperkirakan merupakan metode runtuh yang lebih sering terjadi pada aplikasi geotekstil, khususnya selama masa konstruksi atau saat terjadi pembebanan berulang (*cyclic loading*). Kekuatan pecah dapat ditentukan dengan beberapa cara, antara lain:

- *Mullen Bursting Test*, tes ini dilakukan dengan memaksa sebuah bola tertentu menekan permukaan bahan geotekstil sampai pecah.
- *CBR Plunger Test*, yaitu menekan batan penetrasi CBR secara tegak lurus ke permukaan geotekstil yang dijepit disisinya sampai pecah dan batang penetrasi CBR yang berdiameter 3 cm menembusnya.

2.3.3 Geotekstil Sebagai Bahan Perbaikan Tanah Pasir

Dalam struktur yang berkaitan dengan tanah, geotekstil mempunyai 4 fungsi utama yaitu:

1. Filtrasi dan Drainase

Geotekstil berfungsi menyaring gradasi butiran tanah dan membantu sistem mengalirkan air sekaligus menahan butiran tanah yang mengikutinya.

2. Proteksi (*Erosion Control*)

Geotekstil membantu melindungi masa tanah baik digunakan sendiri maupun bersama dengan bahan pelindung lain.

3. Separator

Geotekstil mencegah tercampurnya masa tanah yang sengaja dipisahkan baik ukuran dan distribusi butirannya maupun mutu dan sifatnya. Misalnya geotekstil diletakkan diantara lapisan agregat dan lapisan tanah dasar, maka geotekstil akan menjaga agar butiran tanah dasar tidak mengisi rongga-rongga pada lapisan agregat yang dapat mengurangi kemampuan drainasi tanah.

4. Perkuatan (*Reinforcement*)

Geotekstil meningkatkan stabilitas tanah (daya dukung dan stabilitas lereng) dan mengurangi deformasinya (penurunan dan deformasi lateral).

Geotekstil sebagai salah satu geosintetik digunakan untuk memperbaiki subgrade yang mendukung pondasi telapak atau menerus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak lapis, jumlah lapis, luasan dan *density* geotekstil pada tanah pasir mempunyai pengaruh terhadap perbaikan daya dukung dan pengurangan penurunannya. Pengaruh pemakaian geotekstil pada tanah antara lain:

1. Dapat mempengaruhi mode runtuh, penempatan geotekstil pada tanah mempunyai efek memperkuat subgrade dan memperkecil keruntuhan.
2. Geotekstil dapat menyediakan tahanan (*restrain*) dari agregat dan subgrade jika ditempatkan pada batas keduanya (*interface*). Hal ini menimbulkan peningkatan kapasitas distribusi beban yang terkadang memiliki efek sebagaimana pelat.
3. Akan timbul aksi membrane ketika terjadi friksi antara *subgrade* dan geotekstil disekitar daerah yang dibebani cukup besar hingga dapat berperan sebagai anker. Resultan keatas gaya tarik yang timbul tersebut mendukung beban dan mengurangi tegangan yang terjadi pada *subgrade*

Berdasarkan Mitchell dan Villet (1987), dalam suatu perkuatan tanah kombinasi antara material tanah dan perkuatan harus sedemikian rupa sehingga interaksi antara keduanya menghasilkan material komposit yang perilakunya jauh lebih baik. Tanah yang umumnya memiliki kekuatan tekan yang baik dan

kemampuan tarik yang sangat lemah dapat diperbaiki perilakunya dengan menambahkan perkuatan yang memiliki kekuatan tarik. Kerjasama kedua material ini dapat menghasilkan material koheren dan memperbaiki perilaku teknis tanah asli. Perbaikan perilaku teknis tanah asli ini terjadi karena adanya transfer beban antara perkuatan dan tanah.

Mitchell dan Villet (1987) selanjutnya membagi perkuatan kedalam dua golongan, yaitu *extensible* (dapat memanjang) dan *inextensible* (tidak dapat memanjang). Pada dasarnya, hampir semua material perkuatan adalah *inextensible* kecuali *geotextile*. Oleh karena material perkuatan ini mempunyai modulus yang jauh lebih tinggi dibanding tanah, maka mampu menahan deformasi tanah dalam arah sejajar perkuatan. Sehingga keberadaan perkuatan ini dapat dianggap menaikkan kohesi tanah atau menambah *confining pressure*. Transfer tegangan antara tanah dan perkuatan dapat terjadi melalui dua mekanisme, yaitu tahanan friksi dan tahanan pasif. Umumnya kedua mekanisme transfer beban ini bekerja bersama secara aktif. Perkuatan yang tergolong kedalam kategori friksi antara lainnya adalah :

1. *Reinforced Earth*
2. *Plastic Strip*
3. *Geotextile*

Meskipun demikian, hanya geotekstil yang bidang permukaannya halus. Sehingga hanya *geotextile* sajalah yang transfer bebannya terjadi melalui friksi murni. Oleh karena sistem perkuatan yang lainnya tidak mempunyai permukaan yang rata dan halus, maka koefisien friksinya didapat dari pengukuran langsung (Zaika, Yulvi dkk, 2010: 94-95).

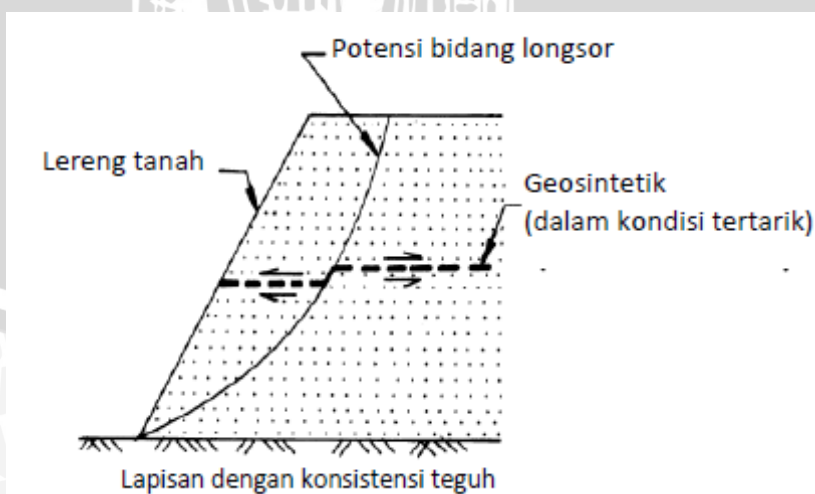
Geosintetik memiliki banyak kegunaan dalam rekayasa sipil. Salah satunya adalah sebagai fungsi stabilisasi tanah untuk meningkatkan sifat mekanis massa tanah, meningkatkan faktor keamanan lereng dan menstabilkan lereng dengan kemiringan curam (kurang dari 70°). Lereng tanah yang diperkuat umumnya terdiri dari timbunan padat yang digabungkan dengan perkuatan geosintetik yang disusun kearah horisontal. Ketika tanah dan geosintetik digabungkan, material komposit (tanah yang diperkuat) tersebut menghasilkan kekuatan tekan dan tarik tinggi sehingga dapat menahan gaya yang bekerja dan deformasi. Pada tahapan tersebut, geosintetik berlaku sebagai bagian tahanan tarik (gesekan, adhesi, saling mengikat (*interlocking*) atau pengurangan

(*confinement*) yang digabungkan ke tanah/timbunan dan menjaga stabilitas massa tanah (Kementerian Pekerjaan Umum, 2009:1)

2.3.4 Cara Kerja Geotekstil

Pada dasarnya fungsi *geotextile* woven memiliki fungsi sebagai bahan stabilisasi tanah dasar (terutama tanah dasar lunak) karena *Geotextile* jenis ini mempunyai *tensile strength* (kuat tarik) yang lebih tinggi dibandingkan dengan *geotextile* nonwoven. Cara kerja *geotextile* woven adalah *membrane effect*, yang hanya mengandalkan tensile strength, sehingga tidak mereduksi terjadinya penurunan setempat (*differential settlement*) akibat tanah dasar yang lunak atau jelek. Ketika tanah dan geosintetik digabungkan, material komposit (tanah yang diperkuat) tersebut menghasilkan kekuatan tekan dan tarik tinggi sehingga dapat menahan gaya yang bekerja dan deformasi. Pada tahapan tersebut, geosintetik berlaku sebagai bagian tahanan tarik (gesekan, adhesi, saling mengikat (*interlocking*) atau pengurungan (*confinement*)) yang digabungkan ke tanah/timbunan dan menjaga stabilitas massa tanah.

Untuk mempermudah pemahaman geosintetik sebagai perkuatan lereng tanah, **Gambar 2.6.** memperlihatkan dasar mekanisme perkuatan lereng tanah dengan geosintetik untuk mengatasi permasalahan longsor.



Gambar 2.6 Dasar mekanisme perkuatan lereng tanah dengan geosintetik (Kementerian Pekerjaan Umum Bina Marga 2009)

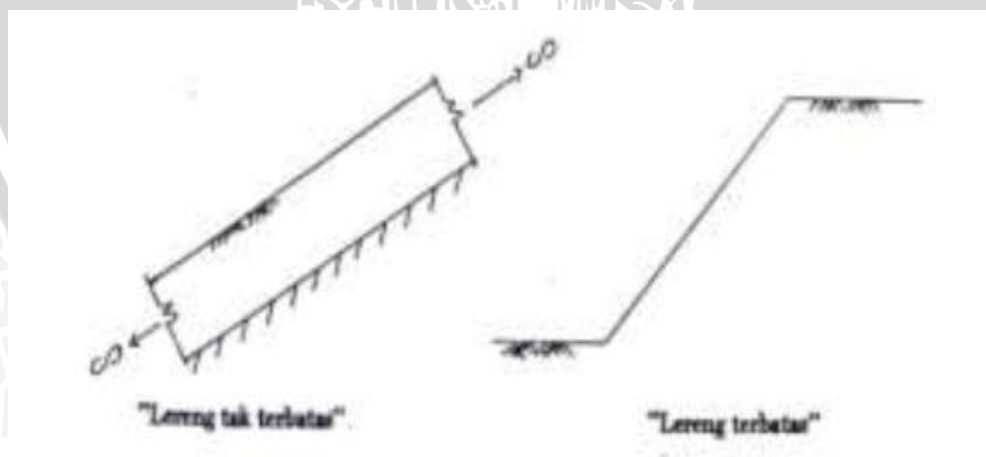
2.4 Lereng

2.4.1 Pengertian Lereng

Lereng merupakan suatu kondisi dimana terdapat dua permukaan tanah dengan ketinggian yang berbeda. Lereng dapat digolongkan dalam dua tipe yaitu lereng tak terbatas dan lereng terbatas. (Sunggono, 1984)

Menurut Cristady (1994) lereng tak terbatas merupakan kondisi di mana tanah yang mempunyai kedalaman tertentu dengan permukaan miring, terletak di atas lapisan batu dengan kemiringan permukaan yang sama. Disebut tak terbatas karena mempunyai panjang yang sangat besar dibanding kedalamannya. Jika diambil elemen tanah dengan lebar tertentu, gaya-gaya yang bekerja pada dua bidang vertikalnya akan sama karena pada lereng tak terbatas gaya-gaya yang bekerja di setiap sisi bidangnya dapat dianggap sama. Sifat-sifat tanah dan tegangan lereng tak terbatas pada salah satu bidang yang sejajar dengan lereng adalah sama maka kelongsoran pada lereng tak terbatas biasanya terletak dalam satu bidang yang sejajar dengan bidang lereng (Sunggono, 1984).

Lereng terbatas menurut Cristady (1994) merupakan kondisi di mana suatu timbunan terletak di atas tanah asli yang miring. Akibatnya timbunan akan longsor di sepanjang bidang gelincir. Contoh kondisi ini adalah jika tanah timbunan diletakkan pada tanah asli yang miring dimana pada lapisan tanah asli masih terdapat lapisan lemah yang berada didasar timbunannya.



Gambar 2.7 Tipe Lereng (Sumber : Sunggono, 1984)

2.4.2 Pemodelan Fisik Lereng

Seperti kebanyakan tipe lereng yang biasa kita temui di perbukitan atau didaerah dengan ketinggian tertentu, lereng yang sebenarnya merupakan suatu model fisik yang

sanagt besar jika harus digunakan sebagai variabel utama dalam penelitian. Oleh sebab itu sangat perlu dibuat pendekatan pemodelan suatu lereng yaitu model fisik hidraulik.

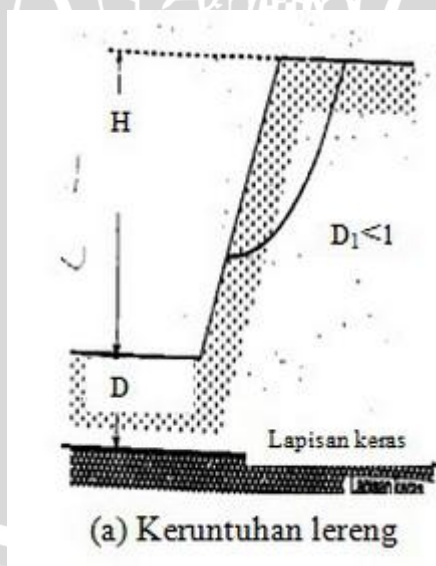
Model fisik hidraulik merupakan suatu bentuk miniature atau pengecilan dari suatu bentuk sebenarnya. Pengecilan ini bertujuan untuk memperkecil volume sampel penelitian, sehingga biaya akan lebih ekonomis dan pembatasan masalah juga tidak terlalu melebar.

2.4.3 Tipe Keruntuhan Lereng

Seperti yang kita ketahui, keruntuhan pada lereng dapat terjadi pada tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak kearah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor atau keruntuhan.

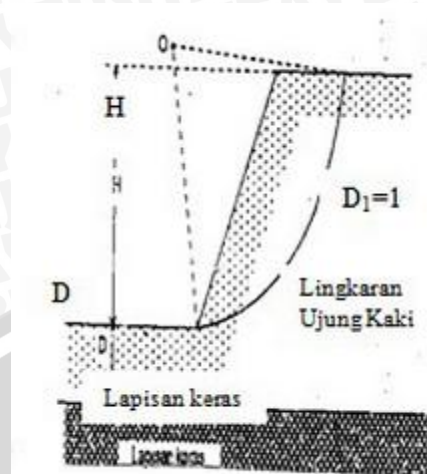
Pengamatan longoran atau keruntuhan pada lereng yang dilakukan oleh *Collin* (1846) menunjukkan bahwa kebanyakan peristiwa kelongsoran tanah terjadi dengan bentuk bidang longsor yang berupa lengkungan. Adapun tipe keruntuhan normal pada lereng adalah sebagai berikut :

1. Keruntuhan pada lereng (*slope failure*)



Gambar 2.8 Tipe keruntuhan pada lereng
(Sumber : Ir. G. Djatmiko S dkk)

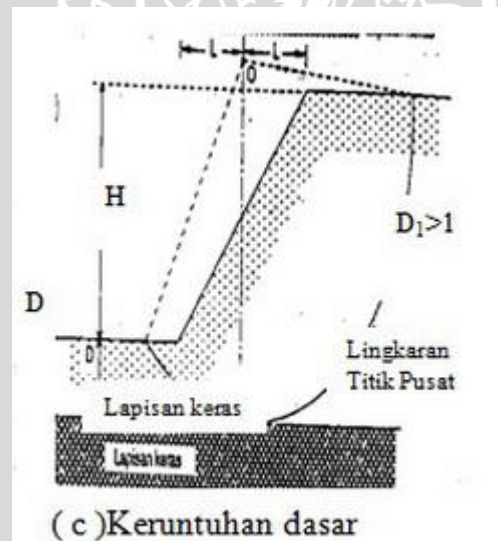
2. Keruntuhan pada kaki lereng (*toe failure*)



(b) Keruntuhan Kaki Lereng

Gambar 2.9 Tipe keruntuhan pada kaki lereng
(Sumber : Ir. G. Djatmiko S dkk)

3. Keruntuhan dibawah kaki lereng (*base failure*)



(c)Keruntuhan dasar

Gambar 2.10 Tipe keruntuhan di bawah kaki lereng
(Sumber : Ir. G. Djatmiko S dkk)

Keruntuhan pada lereng terjadi karena sudut lereng sangat besar dan tanah yang dekat dengan kaki lereng tersebut memiliki kekuatan yang tinggi. Keruntuhan pada kaki lereng terjadi ketika tanah yang berada di atas dan di bawah kaki lereng bersifat homogen. Sedangkan keruntuhan dasar lereng terutama diakibatkan sudut lereng yang kecil dan tanah yang berada di bawah kaki lereng lebih halus dan lebih plastis daripada

tanah di atasnya. Secara umum, longsor pada lereng disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

1. Bertambahnya tegangan yang bekerja
2. Berkurangnya kuat geser material

2.5 Teori Daya Dukung

2.5.1 Pengertian Daya Dukung

Analisis daya dukung (*bearing capacity*) mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi dari struktur yang terletak di atasnya. Daya dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang-bidang gesernya. Analisis-analisis daya dukung dilakukan dengan cara pendekatan untuk memudahkan hitungan. Persamaan yang dibuat dikaitkan dengan sifat-sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan. Analisisnya dilakukan dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai bahan yang bersifat plastis. Konsep ini pertama kali dikenalkan oleh Prandtl (1921), yang kemudian dikembangkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhof (1955) dan lainnya (*Hardiyatmo, H.C., 2011:110-111*).

2.5.2 Analisis *Bearing Capacity Improvement* (BCI)

Bearing Capacity Improvement merupakan perbandingan antara daya dukung dengan perkuatan dan tanpa perkuatan. BCI dapat ditentukan dua hal yaitu penurunan dan daya dukung. BCI penurunan yaitu perbandingan penurunan dengan perkuatan dan tanpa perkuatan dimana hasilnya dapat di tampilkan kedalam grafik. Sedangkan BCI daya dukung yaitu perbandingan daya dukung tanah dengan perkuatan dan tanpa perkuatan dimana hasilnya dapat di tampilkan kedalam grafik. BCI dapat ditulis sebagai berikut:

$$BCI = \frac{q_u^{(R)}}{q_u}, BCI = \frac{q^{(R)}}{q} \quad \dots (2.3)$$

Dengan:

q_u (R) : Batas daya dukung dengan perkuatan

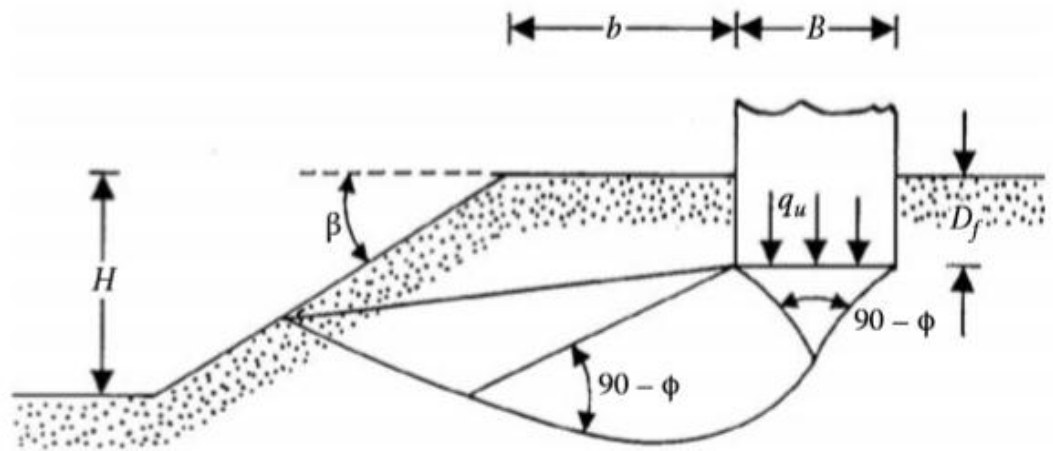
q_u : Batas daya dukung tanpa perkuatan

q (R) : Penurunan akibat beban dengan perkuatan

q : Penurunan akibat beban tanpa perkuatan

2.5.3 Daya Dukung Pondasi Dangkal di Atas Lereng Tanpa Perkuatan

2.5.3.1 Solusi Meyerhof



Gambar 2.11 Pondasi menerus di atas lereng
(Sumber : Das, B.M. 2009)

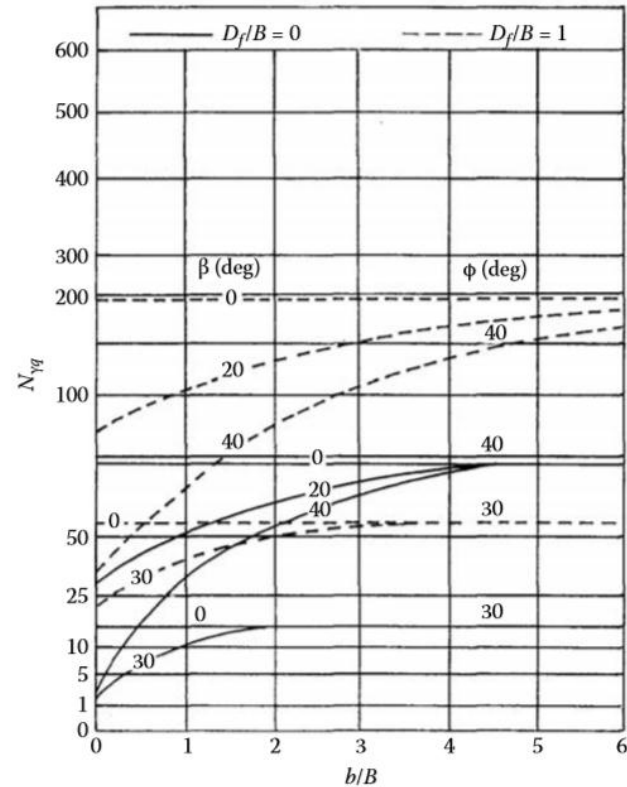
Gambar di atas menunjukkan sebuah pondasi menerus dengan lebar B yang diletakkan pada sebuah lereng dengan tinggi H . Pondasi tersebut diletakkan dengan jarak b dari tepi lereng. Adapun daya dukung batas dari pondasi tersebut dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_u = cN_{cq} + \frac{1}{2}\gamma B N_{\gamma q} \quad \dots (2.4)$$

Untuk tanah pasir, Meyerhof menyatakan daya dukung pondasi menerus di atas lereng dengan persamaan:

$$q_u = \frac{1}{2}\gamma B N_{\gamma q} \quad \dots (2.5)$$

Meyerhof telah mengembangkan variasi teoritis terhadap nilai $N_{\gamma q}$ untuk tanah pasir ($c=0$) yang dinyatakan pada grafik berikut:



Grafik 2.12 Faktor $N_{\gamma q}$ untuk daya dukung pondasi menerus di atas lereng tanah pasir
(Sumber : Das, B.M. 2009: 153-155)

2.5.3.2 Solusi Hansen dan Vesic

Untuk kondisi $b = 0$ (pondasi tepat berada di tepi lereng), Hansen menyatakan daya dukung batas dari pondasi menerus tersebut dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_u = cN_c\lambda_{c\beta} + qN_q\lambda_{q\beta} + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma\lambda_{\gamma\beta}$$

... (2.6)

dimana,

N_c, N_q, N_γ = Faktor-faktor daya dukung Hansen

$\lambda_{c\beta}, \lambda_{q\beta}, \lambda_{\gamma\beta}$ = Faktor-faktor lereng

$q = \gamma D_f$

Menurut Hansen,

$$\lambda_{q\beta} = \lambda_{\gamma\beta} = (1 - \tan\beta)^2$$

... (2.7)

Untuk $\phi > 0$, $\lambda_{c\beta} = \frac{N_q\lambda_{q\beta}-1}{N_q-1}$

Untuk $\phi = 0$, $\lambda_{c\beta} = 1 - \frac{2\beta}{\pi+2}$

Pada kondisi $\phi = 0$, Vesic menyatakan nilai N_γ sebagai berikut:

$$N_\gamma = -2\sin\beta$$

Selanjutnya, ia menyatakan pada kondisi $\phi = 0$ dengan $N_c = 5,14$ dan $N_q = 1$ persamaan daya dukung menjadi sebagai berikut:

$$q_u = (5,14 - 2\beta)c + \gamma D_f(1 - \tan\beta)^2 - \gamma\beta\sin\beta(1 - \tan\beta)^2 \quad \dots (2.8)$$

(Sumber : Das, B.M. 2009: 155-156)

2.5.3.3 Metode Shields (1990)

Shields bersama dengan peneliti lainnya telah mencoba melakukan penelitian terhadap faktor daya dukung $N_{\gamma q}$ untuk sebuah pondasi pada lereng yang memiliki sudut geser yang rendah. Pada penelitian yang dilakukan oleh *Shields* ia menggunakan pemodelan box pasir berukuran besar dengan panjang 15 m dan lebar 2 m dan tinggi 2,2 m. Sebuah lereng dengan perbandingan H : V yaitu 2 : 1 dipilih sebagai pemodelan karena dianggap ukuran tersebut adalah uluran standar dari sebuah lereng, lereng dibuat dengan faktor-faktor penentu yang ada. Dari percobaan tersebut *Shields* melaporkan prosentase daya dukung tanah datar yang ia temukan dengan menggunakan persamaan *Gemperline* untuk menghitung nilai $N_{\gamma q}$ dan menggunakan persamaan daya dukung Meyerhof untuk tanah datar.

Adapun persamaan *Gemperline* adalah sebagai berikut :

$$N_{\gamma q} = f_\phi \times f_B \times f_{D/B} \times f_{B/L} \times f_{D/B, B/L} \times f_{\beta, b/B} \times f_{\beta, b/D, D/B} \times f_{\beta, b/B, B/L} \quad \dots (2.9)$$

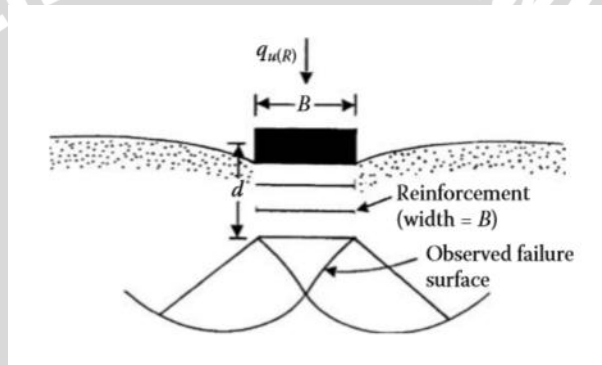
Dengan :

- ϕ = sudut geser dalam tanah ($^\circ$)
- β = sudut kemiringan lereng ($^\circ$)
- B = lebar pondasi (inchi)
- D = kedalaman pondasi (inchi)
- L = panjang pondasi (inchi)
- b = jarak pondasi ke puncak lereng (inchi)
- $f_\phi = 10^{(0,1159\phi - 2,386)}$
- $f_B = 10^{(0,34 - 0,2 \log B)}$
- $f_{D/B} = 1 + 0,65 (D/B)$

$$\begin{aligned}
 f_{B/L} &= 1 - 0,27 (B/L) \\
 f_{D/B, B/L} &= 1 + 0,39 (D/L) \\
 f_{\beta, b/B} &= 1 - 0,8 [1 - (1 - \tan \beta)^2] \{ 2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta] \} \\
 f_{\beta, b/D, D/B} &= 1 + 0,6 (B/L) [1 - (1 - \tan \beta)^2] \{ 2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta] \} \\
 f_{\beta, b/B, B/L} &= 1 + 0,33 (D/B) \tan \beta \{ 2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta] \}
 \end{aligned}$$

2.5.4. Daya Dukung Pondasi Dangkal pada Tanah yang Diperkuat Geotekstil

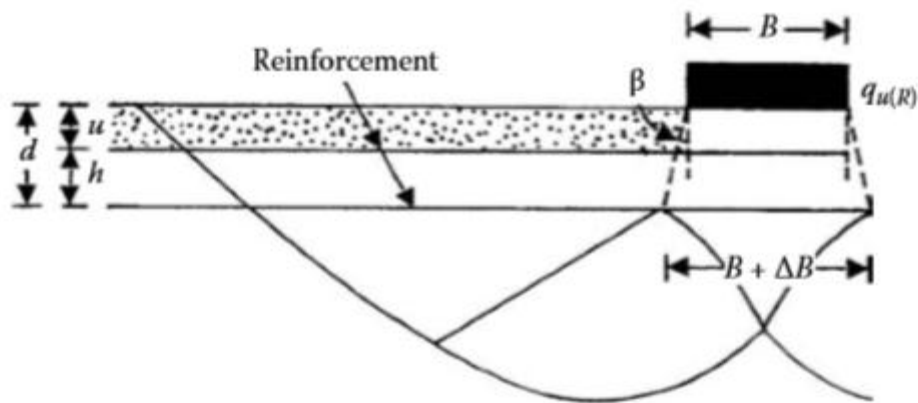
Huang dan Tatsuoka mengusulkan mekanisme kegagalan bagi pondasi lajur yang didukung dengan perkuatan tanah, dimana lebar perkuatan b adalah sama dengan lebar dasar pondasi B seperti yang ditunjukkan gambar di bawah ini:



Gambar 2.13 Skema keruntuhan yang diamati Huang dan Tatsuoka
(Sumber : Das, B.M. 2009: 280-281)

Hal ini disebut *deep foundation mechanism* dimana *quasi-rigid zone* berada di bawah pondasi.

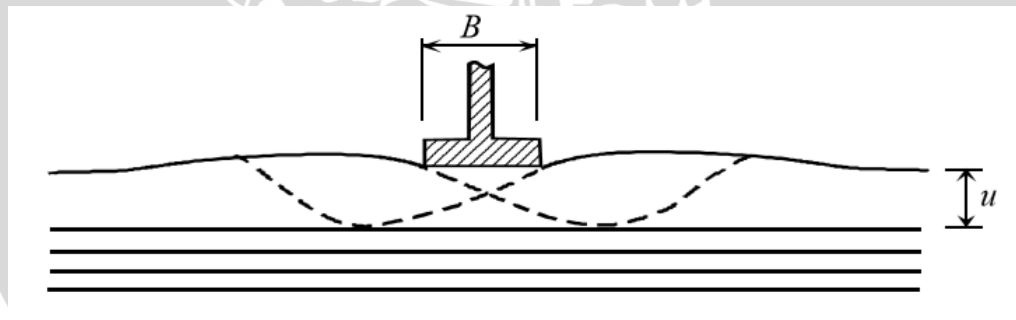
Schlosser mengusulkan *wide slab mechanism* untuk keruntuhan tanah pada pembebanan batas untuk kondisi $b > B$, yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.14 Skema keruntuhan pada tanah yang diperkuat yang dinyatakan oleh Schlosser
(Sumber : Das, B.M. 2009: 280-281)

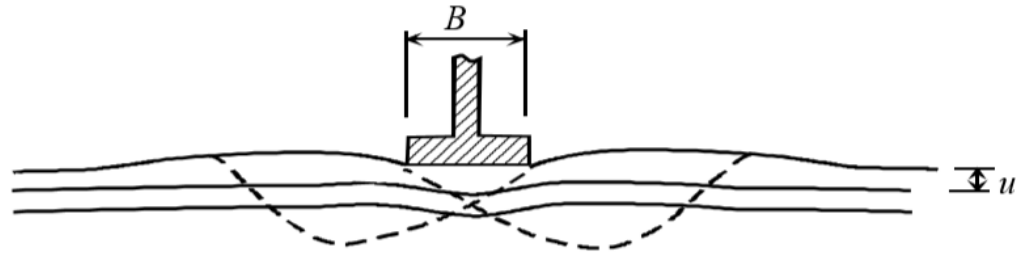
Berdasarkan hasil observasi pemodelan laboratorium yang dilakukan oleh Binquet dan Lee (1975), disimpulkan bahwa terdapat tiga kemungkinan mekanisme keruntuhan pondasi pada tanah yang diperkuat berdasarkan kekuatan tarik dan konfigurasi perkuatan yaitu:

1. *Shear failure* terjadi saat jarak lapis perkuatan teratas (u) lebih besar dari $2B/3$.



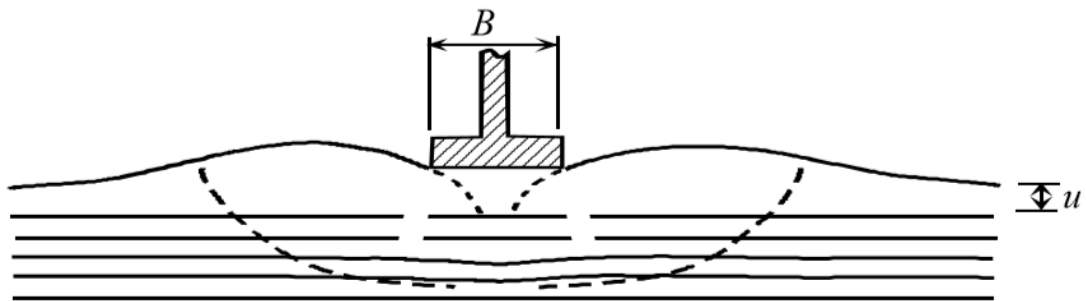
Gambar 2.15 Keruntuhan saat $u = 2B/3$
(Sumber: Qiming Chen.2007:23)

2. *Pull-out failure (ties pullout)* terjadi saat jarak lapis perkuatan teratas kurang dari $2B/3$ dengan jumlah lapis perkuatan yang digunakan kurang atau sama dengan 3 lapis dan panjang perkuatan yang digunakan terlalu pendek.



Gambar 2.16 Keruntuhan saat $u < 2B/3$, $N < 2$ atau 3
(Sumber: *Qiming Chen.2007:23*)

3. *Tension failure (ties break)* terjadi saat jarak lapisan perkuatan kurang dari $2B/3$, dengan jumlah lapis perkuatan yang digunakan lebih dari 4 lapis dan panjang perkuatan yang digunakan cukup panjang.



Gambar 2.17 Keruntuhan saat $u < 2B/3$, $N > 4$
(Sumber: *Qiming Chen.2007:23*)

2.5.5 Pengaruh Jumlah Lapisan Geotekstil terhadap Peningkatan Daya Dukung

Hubungan mengenai jumlah lapisan geotekstil dan pengaruhnya terhadap peningkatan daya dukung dijelaskan pada penelitian yang dilakukan oleh **Anita Widianti (2012)** yang ditulis dalam jurnalnya yang berjudul *Pengaruh Jumlah Lapisan dan Spasi Perkuatan Geosintetik terhadap Kuat Dukung dan Penurunan Tanah Lempung Lunak*.

Dalam bagian kesimpulan dijelaskan bahwa tanah yang diperkuat dengan geosintetik sebanyak 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis berturut-turut akan mengalami peningkatan kekuatan sebesar 60,57%, 213,00% dan 402,64% dari kekuatan tanah tanpa perkuatan. Sementara itu dalam hal penurunan, tanah yang diperkuat dengan geosintetik sebanyak 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis berturut-turut akan mengalami pengurangan penurunan sebesar 40 %, 60% dan 70 % dari penurunan pada tanah tanpa perkuatan (Widianti, A. 2012: 96). Dapat

disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah lapisan perkuatan yang diberikan maka tingkat penurunan akan semakin kecil.

2.5.6 Pengaruh Panjang Perkuatan Geotekstil Terhadap Peningkatan Daya Dukung

Panjang perkuatan geotekstil memiliki pengaruh besar dalam peningkatan daya dukung pada lereng. Pada penelitian **Yun Hu, Ga Zhang*, Jian-Min Zhang, C.F. Lee (2009)** pada jurnal Dalam jurnalnya yang berjudul “*Centrifuge Modeling of Geotextile-Reinforced Cohesive Slopes*” mengemukakan bahwa pengaruh panjang perkuatan pada lereng dengan perbandingan 9:1 menunjukkan bahwa perpindahan horisontal pada titik dekat permukaan dengan spasi perkuatan sama yaitu 50 mm dan panjang perkuatan yang berbeda dengan rasio 0.22 H, 0.42 H dan 0.83 H dengan tinggi (H) lereng sebesar 520 mm. Sehingga menghasilkan daya dukung pada rasio panjang perkuatan 0.42 H relatif cukup bagus jika di bandingkan dengan rasio 0,22 H. Begitu pula terlihat pada daya dukung yang dihasilkan pada rasio panjang perkuatan 0,83 H, daya dukung yang dihasilkan lebih bagus daripada yang lain. Dapat disimpulkan bahwa penambahan panjang perkuatan sangat berpengaruh terhadap daya dukung yang dihasilkan. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa salah satu parameter yang mempengaruhi kinerja geotekstil sebagai perkuatan adalah panjang geotekstil. Adapun panjang lipatan diambil 22% dari H sesuai jurnal A.N. Sommers dan B.V.S. Viswanadham yang berjudul “*Centrifuge Model Test on The Behavior of Strip Footing on Geotextile-Reinforced Slope*”.