

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Umum

Istilah tanah dalam pengertian teknik secara umum 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 pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. (Das B. M., 1994)

Pembentukan tanah dari bahan induknya 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, es, angin, manusia atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan cuaca atau suhu. Sedangkan pelapukan akibat proses kimia terjadi karena pengaruh oksigen, karbondioksida, air yang mengandung asam atau alkali dan proses kimia yang lain. (Hardiyatmo H. C., 1994)

Pengertian tanah dalam bidang mekanika tanah dimaksudkan adalah mencakup semua bahan/unsur tanah dari tanah lempung (*clay*) sampai berangkal (batu-batu yang besar), jadi semua endapan alam yang ada bersangkutan dengan Teknik Sipil kecuali batuan tetap. Semua macam tanah ini secara umum terdiri dari tiga bahan, yaitu butiran tanahnya sendiri, air, dan udara yang terdapat dalam ruang antara butir-butir tersebut. (Wesley L. D., 1977)

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas yang telah ditentukan, tetapi juga digunakan untuk 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., 1994)

2.1.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai dengan perilaku umum dari tanah pada kondisi fisik tertentu. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasar satu kondisi-kondisi fisik tertentu bisa saja mempunyai urutan yang tidak sama jika didasarkan kondisi-kondisi fisik tertentu lainnya. Oleh karena itu, sejumlah sistem klasifikasi telah dikembangkan disesuaikan dengan maksud yang diinginkan oleh sistem itu. Selanjutnya mengenai klasifikasi tanah dapat dilihat dalam tabel 2.1, Sistem Klasifikasi Tanah ASTM D 2487-66T sebagai berikut.

rentang ukuran butiran tanah menurut beberapa spesifikasi dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Batas ukuran golongan tanah

Klasifikasi	Ukuran Butiran Tanah (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lempau	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
USCS	7,62 - 4,75	4,74 - 0,075	< 0,075	< 0,0075

2.2 Tanah kohefif (Lempung)

2.2.1 Karakteristik Mineral Lempung

Proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya, salah satu penyebab adalah air yang mengandung asam alkali, oksigen, dan karbondioksida. Pelapukan kimiawi menghasilkan pembentukan kelompok-kelompok partikel berukuran koloid ($< 0,002$ mm) yang dikenal sebagai mineral lempung.

Dari segi mineralnya, tanah lempung dipakai untuk menyebutkan partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat plastis pada tanah bila bercampur dengan air (Grim, 1953). Mineral lempung menunjukkan karakteristik gaya tarik menarik dengan air dan menghasilkan plastisitas yang tidak ditunjukkan oleh material lainnya walaupun material tersebut berukuran lempung.

Sumber utama mineral lempung adalah akibat pelapukan kimiawi dari batuan yang mengandung felsfar ortoklas $[K(Al)Si_3O_8]$, felsfar plagioklas

[Na(Al)Si₃O₈], dan mika [K(Al₂)Si₃Al(O₁₀)(OH)₄], yang semuanya dapat disebut silikat aluminium kompleks. Mineral lempung juga dapat terbentuk dari hampir setiap batuan selama terdapat cukup alkali tanah dan tanah alkalin untuk dapat membentuk reaksi kimia (Bowles J. E., 1983).

2.2.2 Sifat-Sifat Umum Mineral Lempung

1. Hidrasi

Partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut air yang mengembun (*adsorbed water*). Permukaan mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga akan menarik kation-kation yang bermuatan positif. Air pori juga akan tertarik oleh mineral lempung karena air merupakan molekul dipole. Lapisan molekul air dengan permukaan lempung membentuk lapisan listrik ganda yang disebut difusi, lapisan ini mempunyai tebal dua molekul yaitu lapisan difusi (*diffuse layer*) dan difusi ganda (*double diffuse*).

Lapisan difusi ini dapat menarik molekul air atau kation disekitarnya sehingga partikel mineral lempung dapat menyerap air dalam jumlah besar (hidrasi). Gaya tarik antara partikel lempung dengan molekul air dan kation positif lainnya relatif kuat sehingga kohesif (Bowles J. E., 1983).

2. Sifat kembang susut

Pada umumnya mengenai sifat kembang susut dari mineral lempung sangat tergantung dari sifat-sifat plastisitasnya, semakin plastis mineral lempung akan

semakin mudah untuk mengembang dan menyusut. Sifat dari kembang susut mineral lempung sendiri adalah :

a. *Swelling pressure*

Swelling pressure adalah besar tekanan yang diperlukan untuk menahan pemuaian tanah sehubungan dengan pengaruh air, juga merupakan tekan yang diperlukan untuk memanfaatkan tanah yang mengalami suatu pemuaian hingga kembali pada keadaan kadar air mula-mula (Chen, 1975). *Swelling pressure* merupakan bentuk energi kinetik yang akan menyebabkan pengembangan pada tanah lempung, sedang tingkat *swelling pressure* sangat dipengaruhi oleh kandungan air dan kepadatan (Kerb, 1971), semakin padat tanahnya tingkat *swelling pressure* akan meningkat.

Tabel 2.3 Tingkat *swelling pressure* (Chen, 1975)

Persentase Saringan no. 200	Liquid Limit (%)	Tekanan Swelling (ksf)	Tekanan Swelling (kg/cm ²)	Tingkat Swelling
> 95	> 60	> 20	> 9,78	very high
60 - 90	40 - 60	5 - 20	2,445 - 9,78	high
30 - 60	30 - 40	3 - 5	1,467 - 2,445	medium
< 30	< 30	1	0,484	low

b. *Swelling potensial*

Mendefinisikan *swelling potensial* sebagai prosentase pemindahan ke arah lateral dimana sampel harus direndam dalam air dengan beban/tekanan yang lebih besar dari satu psi. *Swelling potensial* merupakan bentuk energi potensial yang menyebabkan pengembangan pada tanah lempung akibat pengaruh kadar air yang dikandungnya (Seed, 1975).

3. Aktifitas

Pengembangan tepi mineral lempung mempunyai daya netto negatif, ini mengakibatkan terjadinya usaha untuk menyeimbangkan muatan dengan tarikan kation (ion-ion positif). Aktifitas dapat digunakan pula untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang (*swelling*) dari tanah lempung. Pada sifat tanah lempung yang aktif akan berkaitan dengan perubahan volume sehingga akan menyerap air disekelilingnya menjadikan lempung bersifat plastis.

Tabel 2.4 Aktifitas mineral lempung (Mitchel, 1987)

Mineral	Aktifitas (A)
Montmorillonite	1 - 7
Illite	1,5 - 1
Kaolinite	0,5
Halloysite (2H ₂ O)	0,5
Halloysite (4H ₂ O)	0,1
Attapulgate	0,5 - 1,2
Allophane	0,5 - 1,2

4. Flokulasi dan Dispersi

Partikel lempung berbentuk lempeng-lempeng yang pipih, bulat dan memanjang akan mengendap secara individu. Lempung akan terdispersi apabila muatan negatif pada bagian permukaan lempung dan muatan positif pada bagian tepi (ujung) akan membentuk koloid dalam air, sehingga akan bekerja gaya tolak menolak antara partikel, gaya tarik menarik antara partikel-partikel (ikatan Van Der Waals) dan gaya gravitasi bumi. Gaya-gaya tersebut menyebabkan sebagian partikel mengendap dalam susunan terdispersi yang partikel-partikelnya

berorientasi sejajar, sebagian lainnya akan tinggal dalam larutan dan mengalami gerakan acak dari butiran koloid (gerakan Brown).

Gerakan Brown mengakibatkan beberapa partikel akan saling menempel antara bagian tepi yang bermuatan positif dan bagian permukaan yang bermuatan negatif sehingga partikel-partikel akan mengumpul dalam gumpalan besar. Keadaan ini menyebabkan gumpalan besar akan mengendap dan membentuk struktur terflokulasi.

5. Pengaruh Air

Air selain berpengaruh pada konsistensi mineral lempung juga berpengaruh pada sifat kohesi dan kekuatannya. Pada kadar air mula-mula keadaan kering tanah tanah lempung berbentuk padat dengan kekuatan yang tinggi. Apabila tanah lempung dipecah menjadi butiran-butiran yang kecil maka perilakunya akan bersifat tidak kohesif dan bila lempung tersebut ditambah dengan air kembali akan menjadi plastis sehingga kekuatannya akan lebih kecil bila dibandingkan dengan lempung dalam keadaan kering. Fenomena ini hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar, dan tidak terjadi pada cairan yang tidak bersifat dipolar. Dengan demikian air akan mempunyai pengaruh yang penting terhadap mineral lempung.

2.2.3 Kadar Air dalam Lempung

Konsistensi dari lempung dan tanah-tanah kohesif lainnya sangat dipengaruhi oleh kadar air dari tanah. Tingkatan plastisitas tanah dapat ditentukan apabila batas plastis dan batas cairnya telah diketahui. Tanah dianggap dalam

keadaan plastis apabila dapat dibentuk atau diolah menjadi bentuk baru tanpa retak-retak. Kadar air terendah di mana tanah dianggap dalam keadaan plastis disebut batas plastis dari tanah itu. Perbedaan antara batas plastis dan batas cair dapat ditentukan dengan indeks plastisitasnya (PI) yaitu:

$$PI = LL - PL \quad (2.1)$$

Harga batas cair lebih besar dari batas plastisnya, untuk tanah lempung harga batas cair maupun batas plastis tanah bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa harga-harga dari batas tersebut memungkinkan terjadinya susut pada proses menjadi kering. Harga plastis dari tanah dapat dilihat pada tabel 2.5 dan 2.6.

Tabel 2.5 Tingkatan plastisitas tanah menurut Burmsiter

Indeks Plastisitas	Tingkat Plastisitas
0	tidak plastis
1 - 5	sedikit plastis
5 - 10	plastis rendah
10 - 20	plastis sedang
20 - 40	plastis tinggi
> 40	sangat plastis

Tabel 2.6 Tingkatan plastisitas tanah menurut Atterberg

Indeks Plastisitas	Tingkat Plastisitas	Jenis Tanah
0	non plastis	pasir
$0 < PI < 7$	rendah	lanau
$7 < PI < 17$	sedang	lempung berlanau
$PI > 17$	sangat plastis	lempung/tanah liat

Keadaan konsistensi dari tanah alamiah (*natural*) dapat ditentukan dengan harga indeks kecairannya (*liquidity index*), yaitu dengan hubungan berikut :

$$LI = \frac{LN - LL}{PI} \quad (2.2)$$

Hubungan lain yang terkadang dipergunakan juga yaitu *indeks konsistensi* yang dinyatakan sebagai :

$$IC = \frac{LL - LN}{PI} \quad (2.3)$$

Harga LI mempunyai kadar air natural lebih besar dari batas cair di lapangan bila dibandingkan dengan harga IC, dimana kadar air lebih kecil dari batas cair. Tanah dalam keadaan plastis apabila harganya $0 < LI < 1,0$ dan tanah dalam keadaan cair atau hampir cair bila harga $IL \geq 1,0$ (Bowles, 1983).

Kekuatan kompresi (q_u) dari tanah lempung untuk menentukan harga-harga konsistensinya terdapat dalam tabel 2.7.

Tabel 2.7 Diskripsi konsistensi lempung berdasarkan kompresi (Terzaghi, 1967)

q_u (kg/cm ²)	Konsistensi
< 0,25	sangat lunak
0,25 - 0,50	lunak
0,50 - 1,00	sedang
1,00 - 2,00	kaku
2,00 - 4,00	sangat lunak
> 4,00	keras

2.3 Kuat Geser Tanah

Tanah dapat dianggap sebagai suatu bahan konstruksi teknik maka tanah diperhitungkan terhadap kuat gesernya untuk menahan semua beban yang bekerja di atasnya. Kuat geser tanah adalah kemampuan ultimit tanah melawan tegangan geser yang timbul akibat beban yang bekerja pada tanah tersebut.

Tanah dapat melawan geser dengan dua komponen, yaitu gesekan intern dan kohesi tanah. Menurut Coulomb kuat geser tanah dinyatakan :

$$\tau = C + \sigma \tan \varphi \quad (2.4)$$

Notasi :

τ = tegangan geser, C = kohesi tanah,
 φ = sudut gesek dalam, σ = tegangan/tekanan normal.

Tanah lempung didefinisikan sebagai tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya, sehingga dianggap tidak mempunyai gesekan intern ($\varphi=0$) kuat gesernya menjadi :

$$\tau = C \quad (2.5)$$

Untuk tanah non kohesif seperti pasir, kerikil tidak ada kohesi ($C=0$) sehingga kuat geser tanahnya :

$$\tau = \sigma \tan \varphi \quad (2.6)$$

Kuat geser menurut Coulomb ini disempurnakan oleh Hvorslev (1937) yang kemudian lebih dikenal dengan persamaan Coulomb-Hvorslev.

$$\tau = c' + \sigma' \tan \varphi' \quad (2.7)$$

Notasi :

τ = tegangan geser,

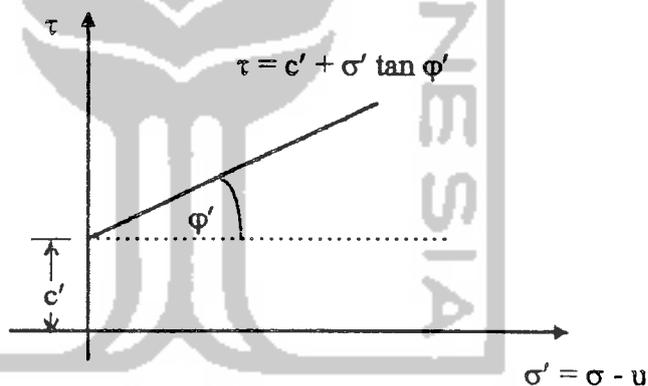
c' = kohesi tanah dalam kondisi tekanan efektif,

σ' = tekanan efektif

= $\sigma - u$, dengan u adalah tekanan air pori,

ϕ' = sudut gesek dalam tanah kondisi efektif.

Hubungan antara tegangan geser tanah (τ), kohesi (C) dan tekanan efektif (σ') tampak seperti grafik 2.1.



Grafik 2.1 Kekuatan geser tanah (Soedarmo & Purnomo, 1997)

2.4 Konsolidasi Tanah Lempung

Bilamana lapisan tanah jenuh yang berpermeabilitas rendah mengalami tambahan beban di atasnya, maka air pori akan mengalir dari lapisan tersebut dan volumenya akan menjadi lebih kecil, yakni akan terjadi konsolidasi (Wesley, 1977). Pada umumnya konsolidasi dapat terjadi dalam dua arah yaitu arah vertikal dan arah horisontal. Arah horisontal terjadi apabila beban yang bekerja pada tanah

pondasi tersebut dapat memberikan lintasan air pori ke arah horisontal, sedangkan arah vertikal terjadi dikarenakan tanah yang terkena beban tidak dapat bergerak dalam arah horisontal (ditahan oleh tanah sekelilingnya).

Pada waktu konsolidasi berlangsung, gedung atau bangunan di atas lapisan tersebut akan menurun (*settle*). Dalam bidang Teknik Sipil ada dua hal yang perlu diketahui mengenai penurunan itu, yaitu :

- a. Besarnya penurunan yang akan terjadi.
- b. Kecepatan penurunan tersebut.

Bilamana tanah terdiri dari lempung maka penurunan akan agak besar, karena itu lempung dikatakan mempunyai *high compressibility*. Penurunan pada lempung biasanya memakan waktu cukup lama, karena daya rembesan air sangat rendah. Menurut Dunn, Anderson, Kiefer (1992) penyebab utama dari lambatnya waktu penurunan dari tanah lempung adalah:

a. Keterlambatan hidrodinamik

Meskipun lapisan lempung mempunyai sedikit sifat kompresi elastis berupa sedikit perubahan volume pada partikel-partikel tanah dan air secara pasti bagian yang lebih besar dari penurunan harus terjadi karena diperasnya air keluar dari rongga pori. Beban statis menghasilkan suatu gradien tekanan dalam air pori dan menyebabkan aliran menuju permukaan drainasi. Akan tetapi aliran ini lambat karena rendahnya permeabilitas dari tanah lempung, sehingga laju penurunan merupakan fungsi dari permeabilitas. Keterlambatan waktu penurunan disebabkan oleh fenomena ini disebut sebagai keterlambatan hidrodinamik.

b. Keterlambatan kekentalan

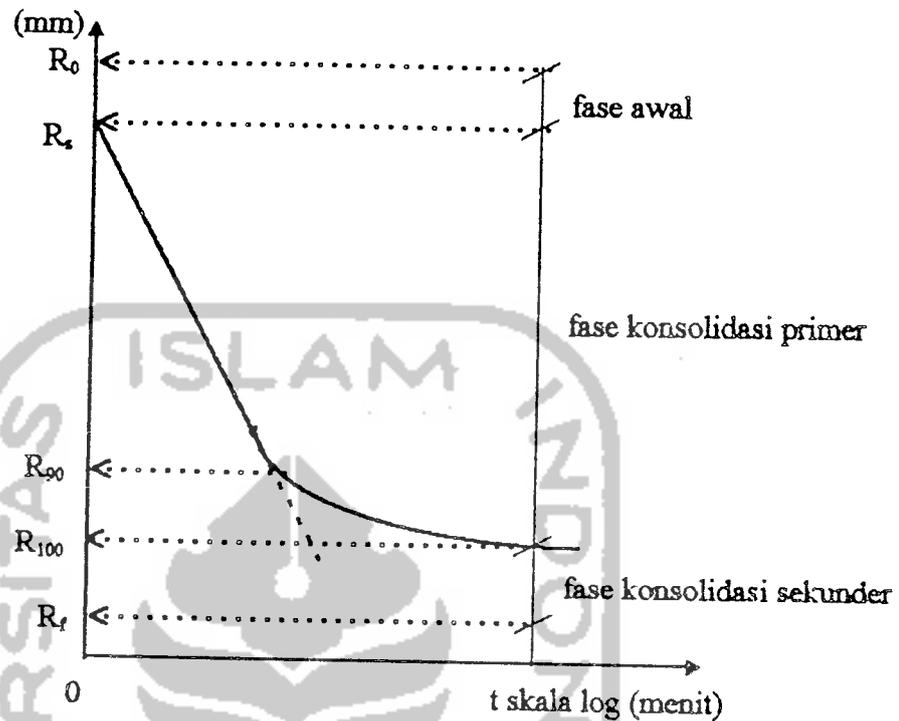
Partikel lempung agar bergerak saling mendekat bersamaan sebagai akibat suatu beban, maka air lapis ganda yang tersusun mengelilingi partikel-partikel lempung harus mengalami deformasi. Deformasi ini bisa disebabkan oleh beban-beban yang dapat cenderung memaksa keluar air lapis ganda atau oleh beban-beban geser yang menyebabkan suatu deformasi geser dalam air yang mengelilingi partikel tersebut. Keterlambatan waktu yang berkaitan dengan perlawanan kekentalan disebut keterlambatan kekentalan.

Proses konsolidasi dapat dikategorikan dalam 3 fase (Hardiyatmo, 1994) yaitu :

a. *Fase awal*, yaitu fase di mana penurunan terjadi dengan segera sesudah beban bekerja. Disini, penurunan terjadi akibat proses penekanan udara keluar dari dalam pori tanahnya. Fase ini disebut penurunan seketika.

b. *Fase konsolidasi primer atau konsolidasi hidrodinamis*, yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan tanahnya akibat adanya tekanan. Proses konsolidasi primer sangat dipengaruhi oleh sifat tanahnya seperti permeabilitas, kompresibilitas, angka pori, bentuk geometri tanah termasuk tebal lapisan mampat, pengembangan arah horisontal dari zona mampat dan batas lapisan lolos air, dimana air keluar menuju lapisan yang lolos air ini.

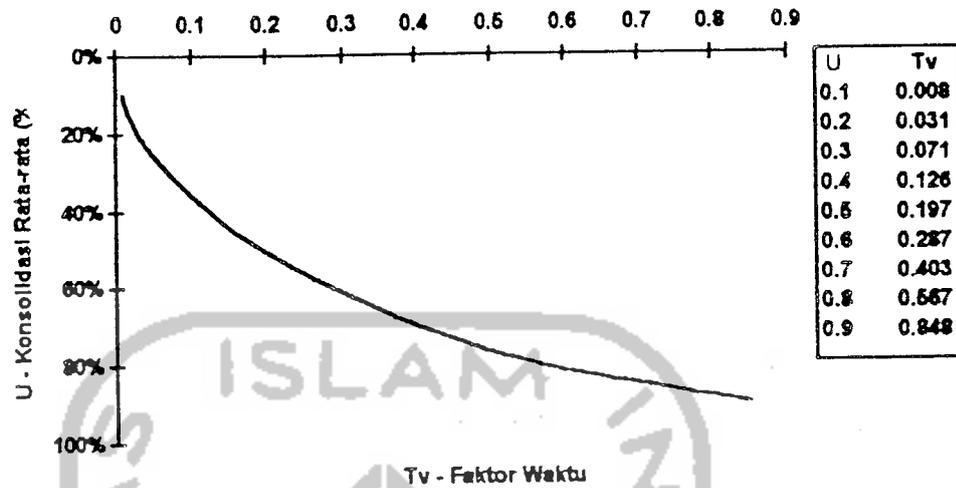
c. *Fase konsolidasi sekunder* merupakan proses lanjutan dari konsolidasi primer, dimana prosesnya berjalan sangat lambat. Penurunannya jarang diperhitungkan karena pengaruhnya biasanya sangat kecil, kecuali pada jenis tanah organik tinggi dan beberapa lempung tak organik yang sangat mudah mampat.



Grafik 2.2 Fase proses konsolidasi (Daruslan, 1994)

Tambahan tegangan di dalam lapisan tanah akibat beban yang bekerja pada pondasi bangunan akan selalu diikuti oleh regangan yang akan mengakibatkan penurunan pada strukturnya. Masalah yang perlu diperhatikan dalam analisis penurunan adalah sifat-sifat mekanis tanah di bawah beban, terutama pada jenis-jenis tanah dengan beban yang direncanakan akan mengalami penurunan yang besar sebagai akibat konsolidasi yang terjadi.

Hubungan antara derajat konsolidasi rata-rata dan faktor waktu bagi tanah dengan beban rata dapat di lihat dalam grafik 2.3 berikut :



Grafik 2.3 Hubungan antara derajat konsolidasi rata-rata dan faktor waktu (Dunn, Anderson, Kiefer, 1992)

2.5 Drainasi Pasir Vertikal

2.5.1 Metode Drainasi Pasir

Drainasi vertikal dapat berupa tiang-tiang kolom pasir yang dibungkus bahan geotekstil yang dibuat secara vertikal dalam lapisan tanah lempung. Menurut Sosrodarsono (1983) metode ini dibagi dalam beberapa jenis sesuai dengan metode pelaksanaannya yaitu :

a. Jenis dorongan (*driven type*)

Metode ini dilakukan dengan cara tanah dibuat semacam lubang dengan suatu alat *casing* untuk mendapatkan bentuk kolom sebagai tempat dari pasir, selanjutnya pasir didorong ke dalam lapisan tanah untuk dibentuk kolom pasir, dengan suatu alat tumbuk. Untuk mendapatkan kepadatan dan kerapatan yang cukup maka pasir ditumbuk untuk setiap lapisan tertentu.

b. Jenis vibroflotasi (*vibrofloatation type*)

Pada metode ini air disemprotkan ke dalam lapisan tanah dengan bantuan suatu vibrator silinder. Air yang disemprotkan dan bergetar itu dapat memadatkan tanah pondasi yang terdiri dari tanah berpasir. Faktor utama pada pemadatan dalam metode ini adalah gradasi dari pasir yang bersamaan dengan penyemprotan air ke dalam lapisan tanah.

c. Jenis jet air (*water jet type*)

Metode jenis ini pada prinsipnya hampir sama dengan jenis vibroflotasi hanya pada metode ini dibutuhkan bantuan air untuk menyemprotkan dan memadatkan tanah pondasi yang terdiri dari lapisan tanah berpasir.

Metode yang paling tepat untuk pondasi kolom pasir vertikal yang dibungkus dengan bahan geotekstil yaitu dengan metode dorongan (*driven type*). Pada pondasi ini geotekstil dipasang bersamaan dengan pasir saat dibentuk kolom pasir vertikal yang padat. Untuk mendapatkan kepadatan dan kerapatan pasir yang cukup maka pemadatan dilakukan untuk setiap lapisan pasir dengan cermat.

2.5.2 Susunan Drainasi Vertikal

Pada metode drainasi pasir vertikal ini diperlukan suatu pengaturan jarak antara kolom dan susunan dari kolom-kolom pasir vertikal tersebut. Adapun susunan drainasi pasir vertikal tersebut adalah :

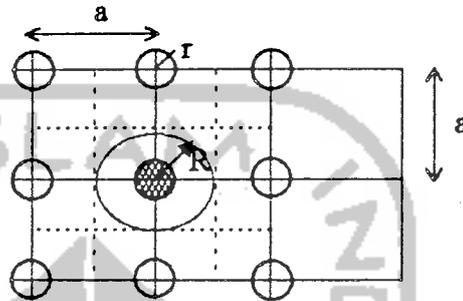
a. Susunan bujur sangkar

Pada drainasi pasir vertikal bentuk susunan bujur sangkar (*gambar 2.1*) dengan jarak antara kolom (a) akan berpengaruh jari-jari sebesar :

$$\pi R^2 = a \times a, \quad (2.8)$$

dengan nilai $\pi = 3,14159$ maka didapatkan harga jari-jari pengaruh (R),

$$R = 0,564 a \quad (2.9)$$



Gambar 2.1 Susunan bujur sangkar drainasi vertikal (Daruslan, 1994)

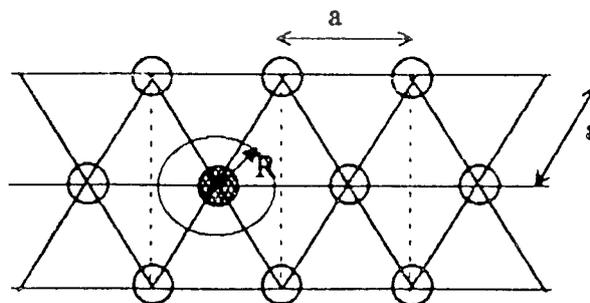
b. Susunan segi tiga sama sisi

Untuk susunan segi tiga sama sisi seperti pada gambar 2.2, persamaannya adalah :

$$\pi R^2 = 1/2 a^2 \sqrt{3} \quad (2.10)$$

selanjutnya harga jari-jari pengaruh sebesar,

$$R = 0,525 a \quad (2.11)$$



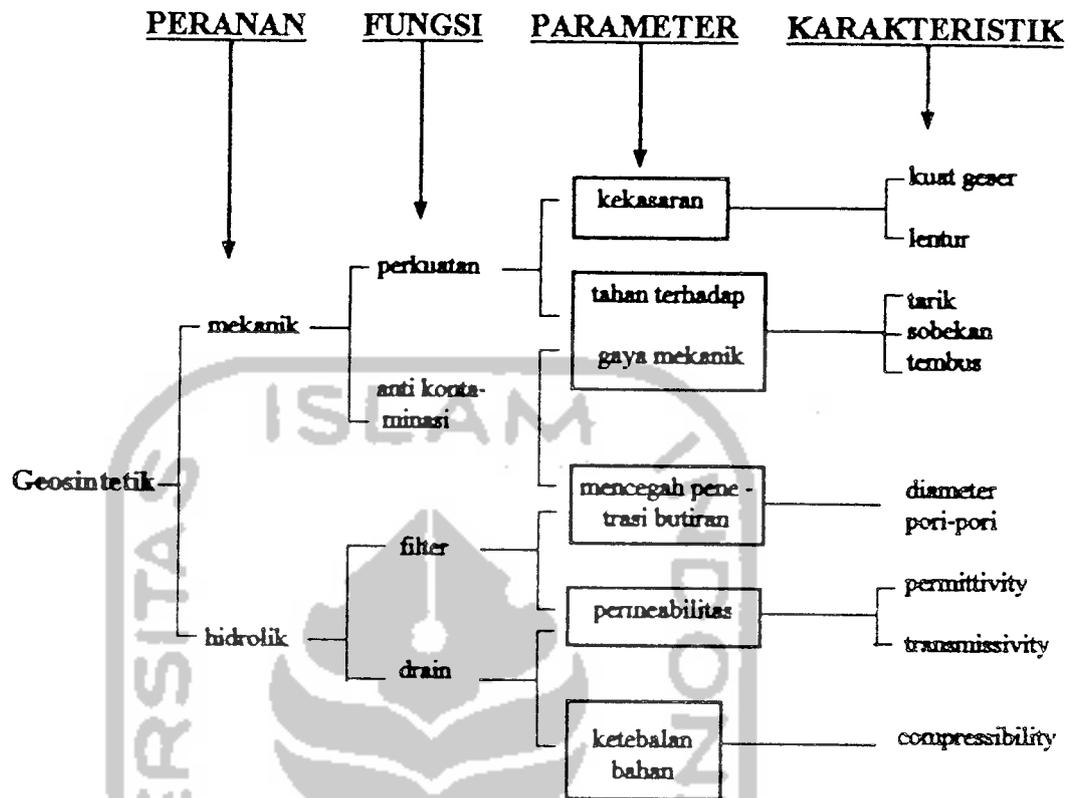
Gambar 2.2 Susunan segi tiga sama sisi drainasi vertikal (Daruslan, 1994)

2.6 Geosintetik

2.6.1 Umum

A synthetic material used in soil (geo) environment didefinisikan oleh ICI Fibers (1986) sebagai geosintetik. Dapat juga dikatakan bahwa semua bahan sintetik yang digunakan dalam pekerjaan teknik bangunan dan bahan tersebut berada dalam lingkungan tanah disebut geosintetik. Meskipun untuk tujuan yang hampir sama dengan salah satu fungsi geosintetik, anyaman bambu atau rerumputan sebagai lapisan perkuatan di bawah timbunan tanah atau di bawah badan jalan tidak dapat disebut sebagai geosintetik karena tidak terbuat dari material sintesis (tiruan/buatan).

Fungsi dan peranan geosintetik dapat dibedakan berdasarkan jenis dan karakteristiknya. Hal itu dapat dijelaskan dengan diagram yang menggambarkan peran serta fungsi geosintetik secara umum (**gambar 2.3**).

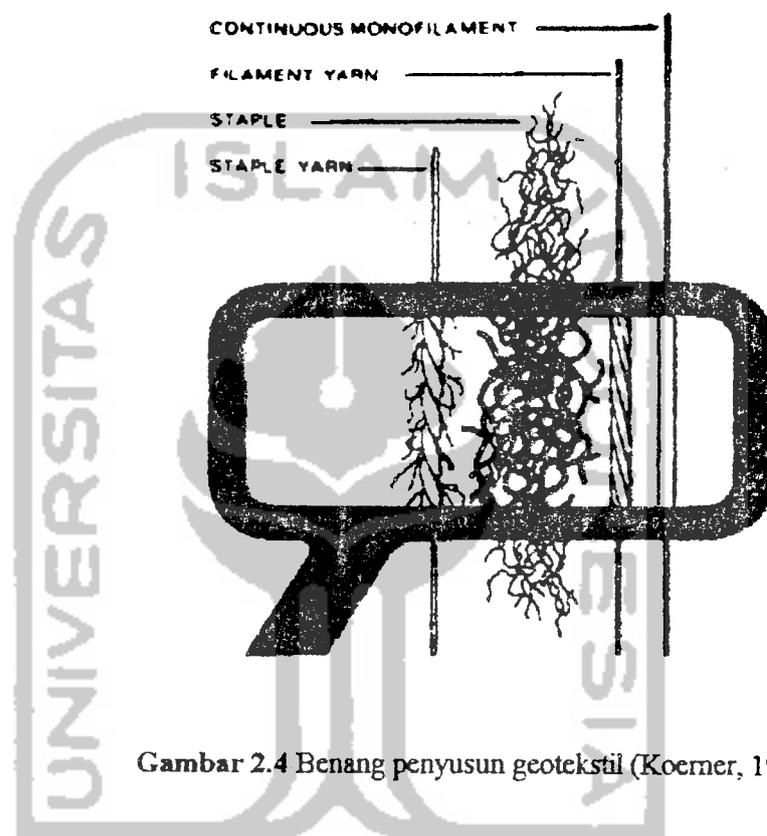


Gambar 2.3 Peran dan fungsi geosintetik ditinjau dari segi teknik sipil (Suryolelono,1991)

Beberapa bentuk dasar yang dapat digolongkan dari berbagai variasi bentuk geosintetik tersebut adalah (ICI Fibers,1992):

1. *Geotextile*, yaitu bahan geosintetik yang bentuknya menyerupai bahan tekstil. Jean Pierre Giroud untuk pertama kalinya mencetuskan nama *geotextile* pada Konferensi Internasional Geosintetik ke-1 tahun 1977, kemudian tercantum dalam *American Society for Testing Materials* (ASTM, 1989-D 4439-87), yaitu "any permeable textile material used with foundation, soil ... etc". Pengertian pokok dari geotekstil adalah sifat tembus air atau *porous*. Jenis-jenis benang

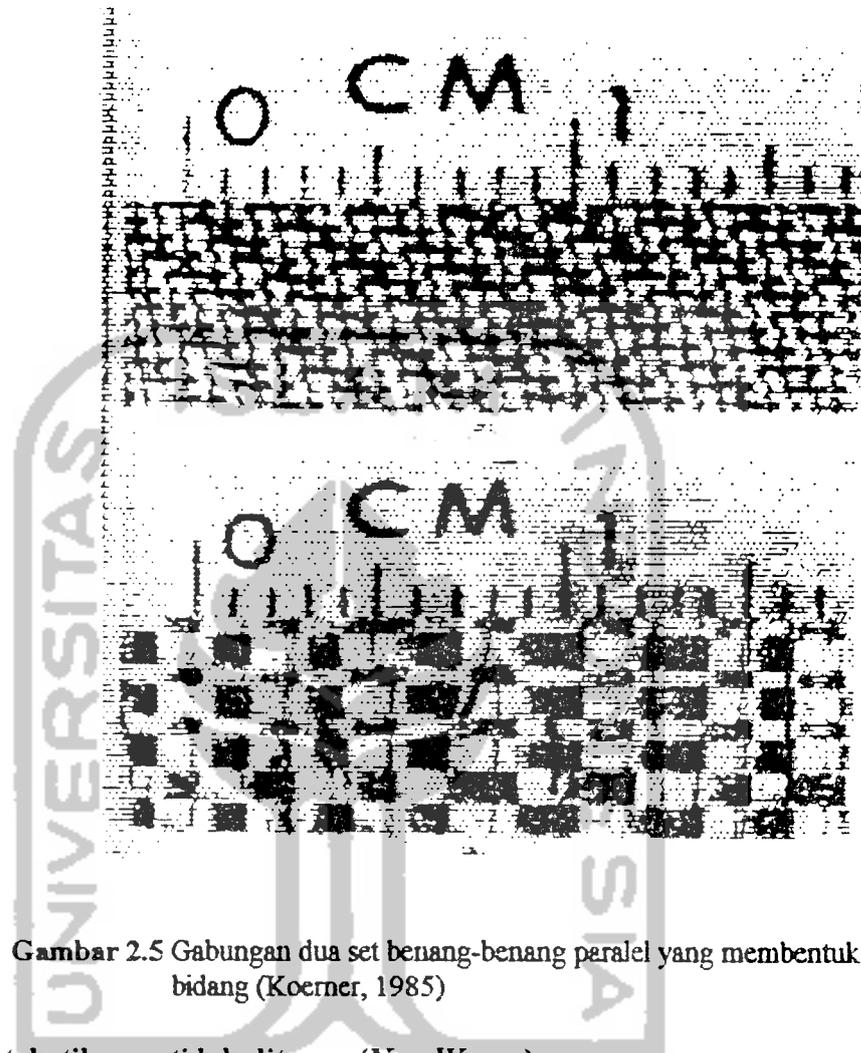
penyusun geotekstil dapat dilihat pada **gambar 2.4**. Menurut J.P. Giroud geotekstil digolongkan menjadi beberapa jenis berdasarkan pembuatannya, yaitu :



Gambar 2.4 Benang penyusun geotekstil (Koerner, 1985)

a. Geotekstil yang ditenun (*Woven*)

Geotekstil yang pembuatannya merupakan gabungan dari dua set benang-benang paralel yang dijalin secara sistematis untuk dapat membentuk suatu struktur bidang (**gambar 2.5**). Geotekstil dibuat dari benang-benang hasil pintalan (*monofilamen, multifilamen, pita* dan lain sebagainya), menjadi benang lungsin (*Warp*/sejajar arah pembuatan geotekstil) dan benang pakan (*Weft*/disisipkan tegak lurus *Warp*) yang digabungkan secara sistematis memanjang dan melintang untuk membentuk struktur bidang.



Gambar 2.5 Gabungan dua set benang-benang paralel yang membentuk struktur bidang (Koerner, 1985)

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

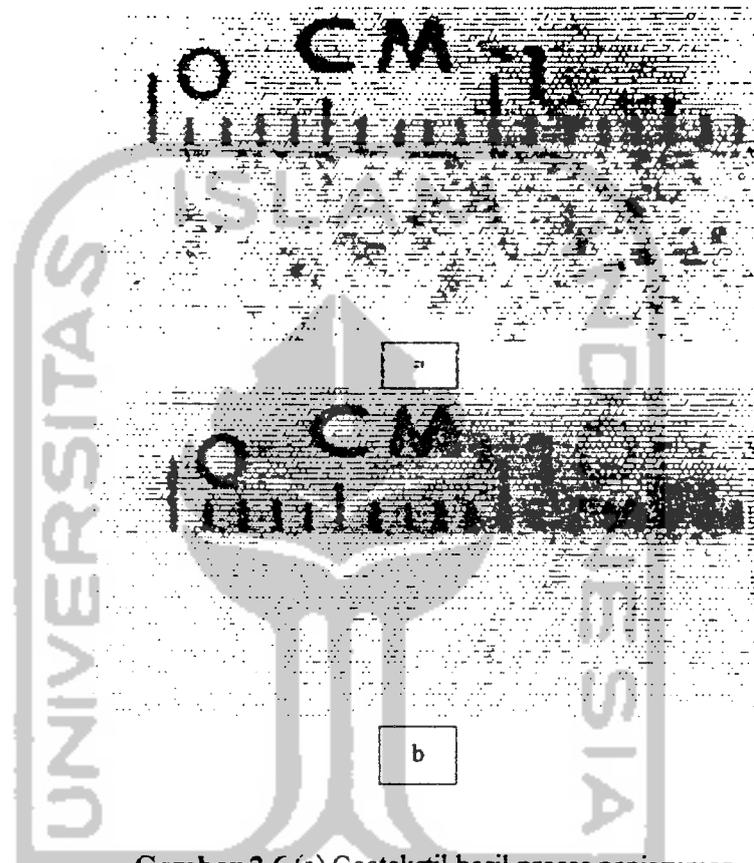
Geotekstil yang pembuatannya tidak dengan ditenun, tetapi jaringan atau serat-serat pembentuknya dilekatkan satu sama lain dengan cara diikat atau dengan bahan perekat.

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 dilengkapi 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 dapat dilihat pada **gambar 2.6a**.



Gambar 2.6 (a) Geotekstil hasil proses penjaruman
(b) Geotekstil hasil proses ikatan leleh (Koerner, 1985)

2) *Melt (head) 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. Hasilnya dapat dilihat pada **gambar 2.6b**.

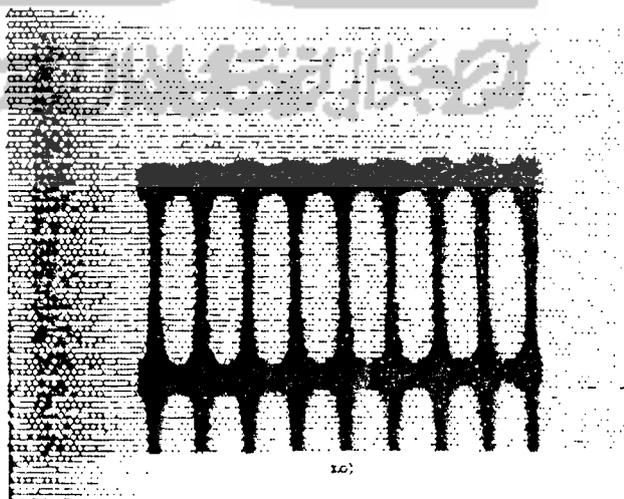
3) *Spun bonded process* (proses ikatan pintal)

4) *Resinbonding/chemical bonding process* (proses ikatan dengan bahan perekat).

2. *Geogrid*, yaitu yang berbentuk mirip anyaman dalam grid dengan ukuran yang cukup besar menyerupai bentuk jaring (*net*) dengan spasi yang lebar pada daun-daunnya. Daun-daun tersebut terdiri dari tiga variasi bentuk tergantung dari penggunaannya, yang terdiri dari :

- a. *Nondeformed nets*, fungsi utamanya berhubungan dengan drainasi.
- b. *Deformed grids*, digunakan sebagai aplikasi perkuatan dan separator.
- c. *Polymeric strips*, digunakan sebagai aplikasi perkuatan.

Geogrid relatif lebih kaku dari pada geotekstil sehingga fungsi dan penggunaannya akan menyesuaikan dengan karakter dari masing-masing bahannya. Geogrid tidak dapat digunakan sebagai filter karena mempunyai lubang jaring yang relatif besar. Jika digunakan sebagai drainasi biasanya dilapisi dengan geotekstil yang berfungsi sebagai filter sehingga struktur tersebut menjadi susunan geokomposit. Bentuk dari geogrid dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Geotekstil tipe geogrid (Koerner, 1985)

3. *Geomembrane*, yaitu berbentuk lapisan tipis yang kedap air dan berfungsi menyerupai membran. Umumnya terbuat dari lembaran-lembaran plastik atau karet, tetapi dapat juga dibuat dari bahan geotekstil yang dibungkus aspal. Geomembrane sesungguhnya masih bisa dilalui air, tetapi relatif tidak tembus air bila dibandingkan dengan geotekstil. Nilai permeabilitasnya dapat diukur dengan alat vapor transmission test yang memberikan 10^{-10} - 10^{-13} pt/min. Maka fungsi utamanya sebagai penghalang tembusnya air atau penguapan.

4. *Geo-linier Elements*, yaitu bentuknya yang berupa lajur-lajur tunggal berdiri sendiri, baik berwujud pipih maupun seperti pipa. Dibuat dari susunan serat polyster yang dilindungi oleh bahan *heavy duty polyethylene*.

5. *Geocomposite*, yaitu bahan sintetis yang terdiri dari susunan dua atau lebih kombinasi bahan-bahan geosintetik maka geocomposite mempunyai penggunaan yang lebih luas dari jenis bahan-bahan geosintetik yang lain, dalam bidang teknik sipil. Bentuk dari geotekstil komposit dapat dilihat pada gambar 2.8. Apabila terdapat bahan-bahan sintetis lain yang bentuknya tidak termasuk dalam empat bentuk di atas, dikenal sebagai bentuk *hybrid*.



Gambar 2.8 Geotekstil komposit (Koerner, 1985)

Karakteristik teknik meliputi karakteristik fisik, mekanik, hidrolik dan ketahanan dari bahan yang ditinjau mempengaruhi pemilihan bahan geosintetik sebagai acuan dalam perencanaan. Karakteristik-karakteristik tersebut antara lain :

- 1) Karakteristik fisik geosintetik dibedakan sebagai berikut :
 - a. **Massa per satuan luas (mass per unit area)**, adalah massa dari lembaran geosintetik per satuan luas dengan satuan yang digunakan adalah gr/m^2 . Massa per satuan luas geotekstil umumnya berkisar antara $50\text{-}70 \text{ gr/m}^2$ untuk kelas ringan dan untuk yang lebih berat bisa mencapai $700\text{-}800 \text{ gr/m}^2$. Geomembran berkisar antara $600\text{-}3000 \text{ gr/m}^2$, sedang untuk struktur geocomposite berkisar $400\text{-}3000 \text{ gr/m}^2$, (Suryolelono, 1991).
 - b. **Massa per satuan volume (specific gravity)**, didefinisikan sebagai perbandingan antara massa bahan sintetis dengan volume bahan sintetis.

Beberapa nilai massa per satuan volume polimer yang digunakan dalam pembuatan geotekstil adalah (Koerner, 1985) :

Polypropylen	: $0,91 \times 10^6 \text{ gr/m}^3$
Polyester	: 1,22 sampai $1,38 \times 10^6 \text{ gr/m}^3$
Nylon	: 1,05 sampai $1,14 \times 10^6 \text{ gr/m}^3$
Polyethylene	: 0,92 sampai $0,95 \times 10^6 \text{ gr/m}^3$
Polyvinyl alkohol	: 1,26 sampai $1,32 \times 10^6 \text{ gr/m}^3$
Glass	: $2,54 \text{ gr/m}^3$

- c. **Tebal (*thickness*)**, yaitu jarak antara permukaan sampai bagian bawah geosintetik yang diukur dengan tekanan tertentu. ASTM D1777 menyatakan bahwa ketebalan diukur dengan ketelitian sekurang-kurangnya 0.001" (=0.02 mm) pada tekanan tertentu, dengan mengambil kecenderungan tekanan standard 0,29 Psi (=2.0 Kpa). Geotekstil umumnya mempunyai ketebalan berkisar antara 10 sampai 3000 mils (1mil=0.001"), (Koerner, 1985).
- d. **Diameter serat (*df*)**, adalah diameter dari benang sintetis penyusun geosintetik yang umumnya mempunyai bentuk lingkaran/ellips. Satuan yang digunakan oleh industri-industri tekstil sintetis adalah *desitek*s (d tex) atau massa dari 10.000 m benang sintetis dalam gram massa, (Suryolelono, 1991).

2) Karakteristik mekanik geosintetik, dalam perencanaan tinjauan karakteristik ini sangat penting. Karakteristik mekanik meliputi :

- a. **Kompresibilitas (*compressibility*)**, merupakan fungsi ketebalan pada berbagai tekanan normal. Kemiringan (*slope*) dari bagian utama kurva merupakan modulus kompresibilitas, (Koerner, 1986).
- 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.

Dari hubungan tegangan-regangan akan diperoleh :

- 1) *Toughness*, yaitu luas bagian di bawah kurva tegangan-regangan,
- 2) Kuat tarik maksimum (*maximum tensile strength*), sebagai indikasi dari kekuatan bahan (*fabric's strength*),
- 3) Regangan runtuh, biasanya diberikan dalam data perpanjangan maksimum (*maximum elongation*),
- 4) Modulus atau kekakuan (*modulus or stiffness*), yaitu kemiringan dari bagian awal kurva tegangan-regangan.

Bahan geosintetik disyaratkan dilengkapi dengan berbagai macam kekuatan tarik dari beberapa macam tes kekuatan tarik karena aplikasi penggunaan geosintetik beraneka ragam di lapangan. Tes kekuatan tarik tersebut diantaranya (ICI Fibers, 1992) :

- 1) *Grab tensile strength*, untuk mengetahui kemampuan bahan geotekstil dalam menyebarkan muatan/beban tarik terpusat dengan arah sejajar lembaran geotekstil.

- 2) *Wide width tensile strength*, memberikan kemampuan tarik bahan dengan deformasi lateral sekecil-kecilnya. Tes ini biasanya dilakukan pada lebar lembaran 200 mm sampai 1000 mm. Tes ini biasa juga disebut *Plain Strain Tensile Test* (ASTM D 1682 dan D 1751).
- 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 harus menerima beban terpusat pada luasan yang relatif sempit, arahnya tegak lurus lembaran geotekstil. Kemungkinan *bursting* dapat terjadi pada lekukan-lekukan diantara batuan atau lubang kecil.
- d. **Kuat robek (*tear strength*)**, adalah ketahanan bahan terhadap menjalarnya robekan dalam kondisi menahan tensile. *Tear strength* juga diperlukan pada saat bahan geosintetik menerima beban coblos (*puncture*).
- e. **Kuat geser terhadap bahan butiran**, yaitu pengukuran yang dilakukan untuk mengetahui besarnya tahanan geser maksimum yang dapat terjadi antara bahan geosintetik dengan tanah. Biasanya yang diberikan adalah sudut geser dalam (ϕ) antara bahan tekstil dengan tanah.
- f. **Kuat lelah (*fatigue strength*)**, yaitu sifat ketahanan bahan yang berkaitan dengan beban berulang (*cyclic loading*) dan kemampuan bahan geotekstil dalam memikul beban berulang/dinamis tersebut.

3) Karakteristik hidrolis geosintetik dapat dibedakan sebagai berikut :

a. porositas (n), dari sekumpulan benang sintesis dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut :

$$n = 1 - \frac{m}{p \cdot t} \quad (2.12)$$

Notasi :

n = porositas,

m = massa per satuan luas (gr/m^2),

t = tebal geosintetik (m),

p = massa per satuan volume dari benang sintesis (gr/m^3).

b. **Apparent Opening Size (AOS)**, adalah sebuah ukuran yang menunjukkan diameter tertentu pada lubang-lubang geosintetik. Bahan geosintetik yang berfungsi sebagai filter dan drainasi umumnya berbentuk seperti penyaring dimana permukaan geosintetik tersebut mempunyai lubang-lubang dengan diameter yang kecil. AOS dinyatakan dalam simbol O_n , maka untuk AOS pada O_{95} artinya diameter tersebut merupakan diameter yang relatif terbesar pada permukaan bahan geosintetik sedemikian rupa sehingga 95% dari lubang-lubang filter yang lain mempunyai diameter yang relatif lebih kecil dari O_{95} tersebut, (Koerner, 1985).

c. **Percent Open Area (POA)**, yaitu perbandingan antara seluruh lobang/pori diantara benang (*total open area*) dengan seluruh permukaan bahan geosintetik

(total specimen area). Penggunaan POA hanya berlaku untuk bahan geosintetik jenis *monofilamen woven geotextile*.

- d. *Permeability*, adalah koefisien rembesan air tanah arah normal bidang geosintetik (tegak lurus bidang geosintetik).
- e. *Permittivity*, adalah harga koefisien *permeability* arah normal bidang untuk tiap satuan tebal geosintetik. Perlu diketahui bahwa semakin tebal bahan geosintetik maka semakin kecil permeabilitasnya. Besarnya harga *permittivity* relatif konstan. Pada tabel 2.8 diberikan rentang nilai-nilai dari beberapa bahan geosintetik yang ada di lapangan.
- f. *Transmissivity*, adalah koefisien rembesan air ke arah sejajar bidang geosintetik untuk ketebalan tertentu dan jenis geosintetik yang digunakan.

Tabel 2.8 Rentang nilai dari beberapa nilai karakteristik teknis geosintetik yang ada di lapangan (Exxon, 1990)

	Tensile	Maximum	Apparent	Volume Water	Unit
Geosynthetic	Strength	Extension	Opening Size	Permeability	Weight
	(KN/M)	(%)	(AOS)	(liters/m ² /s)	(kg/m ²)
GEOTEXTILES					
Woven	8 - 800	5 - 35	0.05 - 2.50	5 - 2000	100-1300
Non-woven	3 - 90	20 - 80	0.01 - 0.35	20 - 300	70 - 2000
Knitteds	2 - 120	12 - 600	0.1 - 1.2	60 - 800	-
Stitch-bonded	15 - 800	15 - 30	0.04 - 0.4	30 - 80	250 - 1200
GEOMEMBRANE					
Nonreinforced	10 - 50	100 - 500	Zero	Zero	300 - 1500
Reinforced	20 - 200	10 - 30	Zero	Zero	600 - 1200
GEO-LINIER ELEMENTS					
GEOGRID	50 - 500	3 - 15	Zero	Zero	600 - 2000
	10 -200	3 - 25	25 - 27	Very high	150 - 900

4) Karakteristik ketahanan (*Endurance properties*), yaitu sifat yang dimaksudkan untuk mengetahui perilaku bahan geotekstil terhadap waktu selama pemakaian. Biasanya dilakukan beberapa pengujian antara lain : *creep test*, *abrasion test*, *long term flow test*, dan *gradien ratio test*.

Selain dari keempat karakteristik diatas, masalah yang sering muncul pada penggunaan bahan polimer diantaranya (Koerner, 1986) :

- a. ketahanan terhadap bahan-bahan kimia (ASTM D 543).
- b. ketahanan terhadap cahaya dan iklim (ASTM D 1435).
- c. ketahanan terhadap suhu tinggi (ASTM D 794).
- d. ketahanan terhadap pelapukan tanah.
- e. ketahanan terhadap bakteri.

2.6.2 Penggunaan Geosintetik di Lapangan

Geosintetik hampir selalu digunakan untuk lebih dari satu fungsi, kecuali geolinier yang berfungsi sebagai perkuatan saja, untuk itu dapat dilihat bentuk dan fungsi geosintetik seperti pada tabel 2.9.

Tabel 2.9 Hubungan antara bentuk dan fungsi geosintetik (Exxon, 1990).

BENTUK	FUNGSI
1. GEOTEKSTIL	a. Perkuatan Tanah (<i>reinforcement</i>) b. Penyaringan dan Drainasi (<i>filtration & drainage</i>) c. Lapisan Pemisah (<i>separator</i>) d. Pengendali Erosi (<i>erotion control</i>)
2. GEOMEMBRAN	a. Lapisan Pemisah (<i>separator</i>) b. Perkuatan Tanah (<i>reinforcement</i>)
3. GEOGRID	a. Perkuatan Tanah (<i>reinforcement</i>) b. Pengendali Erosi (<i>erotion control</i>)
4. GEOLINIER ELEMEN	a. Perkuatan Tanah (<i>reinforcement</i>)
5. GEOKOMPOSIT	a. Penyaluran air (<i>drainage</i>) b. Pengendali Erosi (<i>erotion control</i>) c. Penyaringan (<i>filtration</i>) d. Perkuatan Tanah (<i>reinforcement</i>)

2.7 Teori Geotekstil

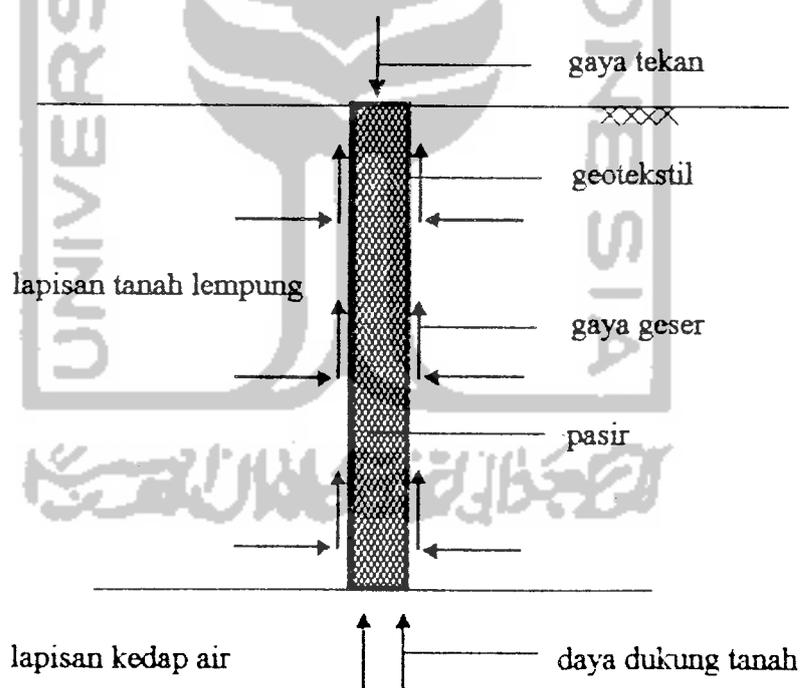
Penggunaan geotekstil pada kolom pondasi pasir vertikal ini sesuai dengan keempat fungsi yang dimiliki oleh geotekstil di atas. Untuk lebih jelasnya bisa di lihat dari penjelasan berikut ini.

Pemasangan geotekstil pada lapisan tanah kohesif yang diisi dengan pasir dilakukan dengan kepadatan dan kerapatan yang cukup, sehingga antara geotekstil sendiri dan pasirmya diusahakan tidak ada gaya gesekan. Geotekstil dan pasir tersebut menyatu menjadi kesatuan yang monolit sehingga dapat dianggap sebagai tiang pancang.

Geotekstil dan pasir karena merupakan satu kesatuan yang monolit, sehingga gaya yang bekerja akan ditahan oleh gaya geser pondasi dengan tanah (lekatan) dan daya dukung ujung tanah pondasi. Daya dukung pada tanah kohesif sebagian besar akan ditahan oleh gaya lekatan (*adesi*) antara pondasi itu sendiri dengan

tanahnya, sedangkan daya dukung pada ujung pondasi akan relatif lebih kecil, sehingga dalam penelitian ini daya dukung pada ujung pondasi dianggap tidak ada.

Pada pondasi ini penggunaan geotekstil akan menambah gaya lekatan yang lebih besar dengan tanah kohesif, gaya lekatan pada pondasi ini akan lebih dominan menahan beban yang bekerja sehingga pondasi ini dapat dianggap sebagai pondasi *friction pile*, selanjutnya pondasi tersebut akan memperkuat daya dukung tanahnya.



Gambar 2.9 Perilaku geotekstil pada pondasi kolom pasir vertikal

Fungsi yang kedua dari geotekstil adalah sebagai penyaringan dan penyaluran air (*filtration dan drainage*). Akibat adanya aliran air tanah menyebabkan butiran-butiran tanah lempung terbawa arus dan dapat mengotori

kolom pasir. Hal ini dapat menyebabkan terganggunya fungsi kolom pasir sebagai drainasi karena tidak stabilnya angka permeabilitas pasir. Penggunaan geotekstil dapat mencegah permasalahan ini, selain itu geotekstil juga berfungsi untuk mendrainasi air tanah baik itu yang tegak lurus ataupun sejajar bidang geotekstil.

Tanah lempung dan pasir merupakan dua jenis mineral yang berbeda sifatnya, sehingga untuk tetap menjaga sifat dan fungsinya masing-masing maka perlu dibuat pemisah. Penggunaan geotekstil di sini berfungsi sebagai lapisan pemisah antara tanah kohesif dan pasir.

Fungsi geotekstil yang terakhir adalah sebagai pengendali erosi. Seperti telah disebutkan di atas akibat adanya aliran air tanah dapat menyebabkan erosi pada tanah atau pasir. Erosi pada pasir menyebabkan tidak stabilnya bentuk kolom pondasi pasir sehingga mengurangi kemampuan daya dukung pondasi itu sendiri.

2.8 Kapasitas Dukung Pondasi

Pondasi tiang didefinisikan sebagai suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya-gaya orthogonal yang bekerja dengan jalan menyerap lenturan (Sosrodarsono, 1983). Di dalam pelaksanaan sangat jarang digunakan pondasi tiang yang hanya terdiri dari sebuah tiang saja, tetapi pondasi tiang akan terdiri dari kelompok tiang. Pondasi kolom pasir vertikal yang dibungkus dengan bahan geotekstil merupakan satu kesatuan yang monolit, disamping berfungsi sebagai drainasi vertikal pondasi ini juga akan meningkatkan daya dukung tanahnya.

Analisis daya dukung tanah dimaksudkan untuk mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi yang bekerja di atasnya. Perhitungan yang

seksama diperlukan agar beban pondasi tidak mengakibatkan timbulnya tekanan yang berlebihan pada tanah dibawahnya karena tekanan yang berlebihan dapat mengakibatkan penurunan yang besar bahkan dapat mengakibatkan keruntuhan.

Dalam merencanakan suatu pondasi, terdapat 2 faktor yang perlu diperhitungkan, yaitu :

- a. Faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya daya dukung tanah harus dipenuhi. Dalam hitungan daya dukung pondasi, digunakan faktor aman (SF) 3 dan 5.
- b. Penurunan pondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang ditoleransikan, khususnya penurunan yang tak sama (*differential settlement*) harus tidak mengakibatkan kerusakan pada strukturnya.

Tiang-tiang pada umumnya memperoleh dukungan berupa kombinasi dari gesekan/pelekatan sepanjang permukaan badan tiang terhadap tanah (*friction pile*) dan dukungan ujung pada dasar pondasi (*end bearing pile*). Dalam lapisan lempung dukungan ujung akan lebih kecil dari pada perlawanan akibat pelekatan antara tiang dengan tanah. Jenis pondasi ini direncanakan dengan mengabaikan daya dukung ujung pondasi, melainkan pondasi ditinjau sebagai pondasi *friction pile*.

