

I. TANAH DAN BATUAN

1.1. Pendahuluan

Dalam pengertian teknik secara umum, **tanah** didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran (*agregat*) 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.

Mekanika Tanah (*Soil Mechanics*) adalah cabang dari ilmu pengetahuan yang mempelajari sifat fisik dari tanah dan kelakuan masa tanah tersebut bila menerima bermacam-macam gaya.

Ilmu Rekayasa Tanah (*Soil Engineering*) merupakan aplikasi dari prinsip-prinsip mekanika tanah dalam problema-problema praktis

Istilah **Rekayasa Geoteknis (*Geotechnical Engineering*)** adalah sebagai ilmu pengetahuan dan pelaksanaan dari bagian teknik sipil yang menyangkut material-material alam yang terdapat pada dan dekat permukaan bumi. Dalam arti umumnya, rekayasa geoteknik juga mengikutsertakan aplikasi dari prinsip-prinsip dasar mekanika tanah dan mekanika batuan dalam masalah-masalah perancangan pondasi.

1.2. Siklus batuan

Berdasarkan asal usulnya, batuan dapat dibagi menjadi tiga tipe dasar yaitu : **Batuan Beku (*Igneous Rock*)**, **Batuan Sedimen (*Sedimentary Rock*)**, dan **Batuan Metamorf (*Metamorphic Rocks*)**.

a. Batuan Beku (*Igneous Rock*)

Batuan beku terbentuk dari membekunya **magma cair** yang terdesak ke permukaan (dari bagian yang dalam sekali dari mantel bumi). Sesudah tersembul kepermukaan melalui **rekahan-rekahan pada kulit bumi** atau melalui **gunung berapi**, sebagian dari magma cair tersebut mendingin dipermukaan bumi dan membatu. Kadang-kadang magma tersebut berhenti bergerak sebelum sampai ke permukaan bumi dan mendingin di dalam kulit bumi dan membentuk batuan beku dalam.

b. Batuan Sedimen (*Sedimentary Rock*)

Deposit-deposit dari tanah kerikil, pasir, lanau dan lempung hasil pelapukan dapat menjadi lebih padat karena adanya tekanan lapisan tanah di atasnya dan adanya proses sementasi antar butiran oleh unsur-unsur sementasi seperti oksida besi, kalsit, dolomite dan quartz. Unsur-unsur sementasi tersebut biasanya terbawa dalam larutan air tanah. Unsur-unsur tersebut mengisi ruang-ruang diantara butiran dan kemudian membentuk batuan sedimen. Batuan yang terbentuk dengan cara ini disebut **batuan sedimen detrital**. Contohnya adalah : Conglomerate, breccia, sandstone, mudstone, dan shale.

Batuan sedimen juga dapat terbentuk melalui proses kimia, dan disebut **Batuan Sedimen Kimia**. Contohnya **batu kapur (*lime stone*)**, **dolomite**, **gypsum**, **anhydrite**, dll.

Batuan sedimen mungkin juga mengalami pelapukan dan membentuk tanah-tanah sedimen (endapan), atau terkena proses **peristiwa metamorf** dan berubah menjadi batuan metamorf.

c. **Batuan Metamorf (*Metamorphic Rocks*)**

Peristiwa metamorf adalah proses perubahan komposisi dan tekstur dari batuan akibat panas dan tekanan tanpa pernah menjadi cair. Dalam peristiwa metamorf, mineral-mineral baru terbentuk; dan butir-butir mineralnya terkena geseran yang kemudian membentuk tekstur batu metamorf yang berlapis-lapis. Contohnya **granit**, **diorite** dan **gabbro** berubah menjadi **gneiss** pada peristiwa metamorf tingkat tinggi. **Shales** dan **mudstone** berubah menjadi **slates** dan **phyllites** pada peristiwa metamorf tingkat rendah.

1.3. **Pelapukan**

Pelapukan adalah suatu proses terurainya batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat proses mekanis dan kimia.

Pelapukan mekanis dapat disebabkan oleh memuainya dan menyusutnya batuan akibat perubahan panas dan dingin yang terus menerus (cuaca, matahari, dll) yang akhirnya dapat menghancurkan batuan tersebut. Juga seringkali air meresap masuk kedalam pori batuan dan diantara celah-celah retak halus pada batuan. Proses gumpalan es yang memuai ketika membeku itu umumnya cukup punya daya yang bisa memecahkan batuan yang besar sekalipun.

Contoh lain yang dapat memecahkan batuan adalah es gletser, angin, air yang mengalir di sungai dan gelombang air laut. Batuan ini pecah tanpa terjadi perubahan komposisi kimia dari mineral batuan tersebut.

Pada proses pelapukan kimia, mineral batuan induk diubah menjadi mineral-mineral baru melalui reaksi kimia. Sebuah contoh dari orthoclase dan membentuk mineral-mineral

tanah lempung, silika dan kalium karbonat. Pelapukan kimia dari feldspar plagioclase adalah sama dengan orthoclase, juga menghasilkan mineral-mineral tanah lempung, silika, dan berjenis garam terlarut.

Proses pelapukan tidak hanya terjadi pada batuan beku saja, tetapi juga terjadi pada batuan sedimen dan metamorf.

Ada tiga tipe utama mineral tanah lempung yaitu : 1. *kaolinite*, 2 *illite*, 3 *montmorillonite*.

1.4. Transportasi dari Produk-produk Pelapukan

Produk-produk pelapukan dapat tetap tinggal di suatu tempat atau terbawa ke tempat lain oleh unsur-unsur pembawa seperti es, air, angin, dan gravitasi.

Tanah-tanah yang terjadi oleh penumpukan produk-produk pelapukan hanya di tempat asalnya saja disebut **tanah residual**. Sifat yang penting dari tanah residual adalah gradasi ukuran butirannya. Butiran yang lebih halus umumnya terletak di permukaan. Pada kedalaman yang besar sekali, fragmen batuan yang bersudut runcing-runcing mungkin juga dapat dijumpai.

Tanah yang terbawa ke tempat lain dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok, tergantung dari jenis pembawa dan cara pengendapan (deposisi)-nya di tempat yang baru sbb:

- a. **Tanah glasial:** terbentuk karena transportasi dan deposisi oleh sungai es (*gletser*)
- b. **Tanah alluvial:** terbentuk karena terangkut oleh air yang mengalir dan terdeposisi di sepanjang aliran (sungai)
- c. **Tanah lacustrine:** terbentuk karena deposisi di danau-danau yang tenang.
- d. **Tanah marine:** terbentuk karena deposisi di laut
- e. **Tanah aeolian:** terbentuk oleh pergerakan tanah dari tempat asalnya karena gravitasi seperti yang terjadi saat tanah longsor

1.5. Detail Deskripsi Tanah

Berdasarkan standard yang diberikan oleh sistem Inggris (BS 5930), tipe-tipe dasar tanah adalah **berangkal** (*boulders*), **kerakal** (*cobbles*), **kerikil** (*gravel*), **pasir** (*sand*), **lanau** (*silt*), dan **lempung** (*clay*), yang didefinisikan berdasarkan rentang ukuran partikel :

1.6. Klasifikasi Tanah

A. Pendahuluan

Disamping penguasaan teori, kesuksesan dalam aplikasi ilmu geoteknik sangat tergantung dari pengalaman praktek seseorang. Perencanaan pondasi struktur sederhana pada umumnya dapat dilaksanakan dengan menggunakan aturan-aturan empiris yang relatif mudah dimengerti. Namun demikian, semua aturan empiris ini hanya akan sukses apabila diterapkan oleh seseorang yang telah berpengalaman cukup. Proyek-proyek besar atau proyek dengan kondisi khusus memerlukan metoda analisa lebih canggih dan detail dimana tidak jarang diperlukan program komputer. Namun secanggih apapun teknik perhitungan dan program komputer yang digunakan, parameter masukan dan interpretasi hasilnya tetap tergantung dari pengalaman sang perencana.

Sayangnya pengalaman setiap orang pada umumnya terbatas, seorang engineer tetap memerlukan masukan / catatan dari pengalaman orang lain. Catatan pengalaman praktek yang tidak menguraikan keadaan tanah dapat menyesatkan. Sebaliknya, catatan pengalaman yang menyertakan keadaan tanah merupakan informasi yang sangat berharga. Maka dari itu, agar para engineer dapat berbicara dalam satu bahasa yang sama dan untuk mengurangi resiko bahaya dalam perencanaan geoteknik diperlukan suatu sistem klasifikasi tanah yang (sedapat mungkin) bersifat universal.

Berdasarkan hasil analisa distribusi partikel dan batas atterberg, tanah dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa golongan. Terdapat beberapa sistem klasifikasi tanah yang diterima secara universal, diantaranya: Sistem Departemen Pertanian Amerika Serikat (*U.S. Department of Agriculture*), Sistem USCS (*Unified Soil Classification System*), sistem AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), dan sistem Inggris yang sederhana.

B. Sistem Inggris (BS 5930)

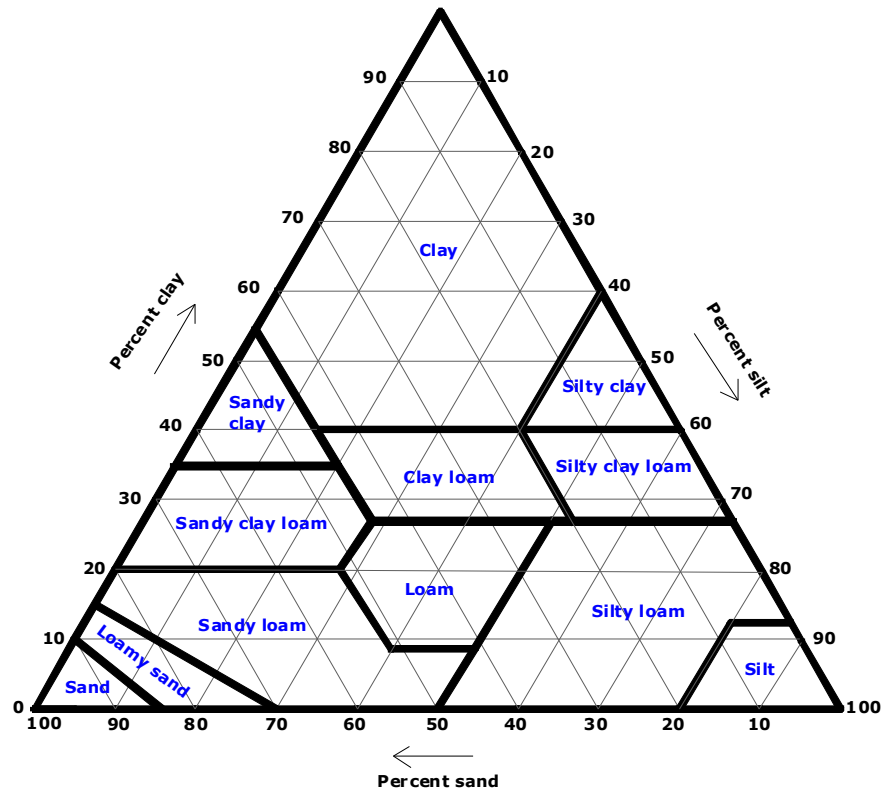
Berdasarkan standard yang diberikan oleh sistem Inggris (BS 5930), tipe-tipe dasar tanah adalah **berangkal** (*boulders*), **kerakal** (*cobbles*), **kerikil** (*gravel*), **pasir** (*sand*), **lanau** (*silt*), dan **lempung** (*clay*), yang didefinisikan berdasarkan rentang ukuran partikel seperti tabel berikut:

Tabel 2.1: Rentang ukuran partikel

Lpng	Lanau			Pasir			Kerikil			cob	bold
	hls	med	ksr	hls	med	ksr	hls	med	ksr		
	0,002	0,006	0,02		0,2	0,6		6	20	100	
	0,001		0,01	0,06	0,1	1	2	10	60	200	

C. Sistem Departemen Pertanian Amerika Serikat

Sistem klasifikasi yang dibuat oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat ini dibatasi hanya untuk tanah yang berukuran lebih kecil dari 2 mm (lolos saringan US no 10). Keberadaan ukuran yang lebih besar dari itu, tergantung dari besarnya partikel, dinyatakan sebagai: berpasir, berkerikil atau berkerakal. Sistem klasifikasi ini diperlihatkan dalam suatu diagram segitiga (Gambar 2.1) dimana masing-masing sisi menyatakan besarnya persentase dari tanah pasir, tanah lempung dan tanah lanau. Garis terputus-putus dalam gambar tersebut menunjukkan contoh penggunaan diagram tersebut.



Gambar 2.1 Sistem Klasifikasi Departemen Pertanian US

D. Sistem USCS (*Unified Soil Classification System*)

Sistem klasifikasi ini dikembangkan oleh Casagrande selama perang dunia II untuk Kesatuan Engineering Angkatan Darat Amerika. Pada tahun 1969 sistem ini diadopsi oleh American Society for Testing and Materials (ASTM) sebagai metoda standar klasifikasi tanah (ASTM D 2487).

Berdasarkan sistem USCS ini, tanah diklasifikasikan dalam tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Tanah berbutir kasar dibagi ke dalam kerikil, dinotasikan sebagai G (dari kata *gravel*), dan pasir (S = *sands*). Setiap group tanah ini dibagi lagi ke dalam empat golongan, yaitu:

- Bergradasi baik dan cukup bersih artinya hanya sedikit kandungan material berbutir halus – dinotasikan W (well-graded)
- Bergradasi buruk dan cukup bersih – dinotasikan P (poorly graded)
- Bergradasi baik dengan lempung sebagai pengikat – dinotasikan C (clay)
- Berbutir kasar dan mengandung tanah berbutir halus – dinotasikan M (silt)

Tanah berbutir halus dibagi kedalam:

- Tanah lanau organik (tidak mengandung material organik) dan tanah yang mengandung pasir yang berbutir sangat halus – dinotasikan M (silt)
- Tanah lempung anorganik – dinotasikan C (clay)
- Tanah lanau dan lempung organik – dinotasikan O (organik)
- Tanah dengan kadar organik sangat tinggi – dinotasikan Pt (peat)

Ketiga golongan tanah berbutir halus itu dibagi lagi kedalam beberapa golongan berdasarkan batas cairnya, yaitu:

- Batas cair $< 50\%$, digolongkan kedalam tanah berbutir halus dengan kompresibilitas rendah hingga sedang – dinotasikan L (*low compressibility*)
- Batas cair $> 50\%$, digolongkan kedalam tanah berbutir halus dengan kompresibilitas tinggi – dinotasikan H (*high compressibility*)

Untuk penentuan golongan tanah berbutir halus ini Casagrande menggunakan diagram plastisitas seperti ditunjukkan dalam gambar menunjukkan penggolongan sistem USCS ini.

Dalam klasifikasi USCS ini diagram plastisitas dibagi dalam dua golongan batas cair, yaitu: tinggi dan rendah (high and low); dalam Standar Inggris (*British Standard*) diagram plastisitas dibagi dalam lima golongan batas cair, yaitu: extremely high (E), very high (V), high (H), intermediate (I), and low (L).

E. Sistem AASHTO

Sistem klasifikasi ini dibuat oleh *American Association of State Highway and Transportation Officials*, terutama dikembangkan untuk menganalisa material subgrade dalam pembangunan jalan raya. Tanah digolongkan kedalam tujuh golongan utama yang dinotasikan dari A-1 hingga A-7.

Dalam kondisi pembebanan normal, tiap-tiap golongan mempunyai daya dukung dan perilaku yang hampir sama, secara umum dapat dikatakan kualitas tanah untuk digunakan

sebagai material subgrade semakin lemah dengan meningkatnya angka dibelakang huruf A. Tanah dalam golongan A-1 hingga A-3 dalam keadaan padat merupakan packing efektif (ikatan yang berupa gesekan antar butir) antara butiran pasir dengan butiran-butiran yang lebih besar. Golongan A-4 hingga A-7 tidak mempunyai ikatan gesekan antar butir dan prilakunya terutama ditentukan oleh kadar air komponen lanau dan lempungnya. Golongan A-2 dibagi ke dalam empat kelompok dari A-2-4 hingga A-2-7, angka terakhir menunjukkan jenis tanah yang lolos saringan nomor 200.

Klasifikasi AASHTO ini didasarkan atas hasil analisa tapis saringan nomor 10, 40, dan 200 da pengujian batas-batas Atteberg tanah yang diambil dari contoh tanah yang lolos saringan nomor 40. Pembedaan kualitas tanah yang jatuh dalam satu kelompok tertentu dilakukan dengan perhitungan Indeks Group, GI, sebagai berikut:

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005(\omega_L - 40)] + 0,01(F - 15)(PI - 10)$$

dengan:

F = persentase yang lolos saringan no. 200

ω_L = batas cair (dalam %)

PI = indeks plastisitas (dalam %)

Indeks group ini biasanya dinyatakan dalam kurung dibelakang symbol kelompok tanah, contoh: A-6(7). Berdasarkan nilai group index ini tanah subgrade dikategorikan seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.2: Kelas Subgrade (AASHTO)

Kelas Subgrade	Nilai Indeks Group
Sangat Baik	Tanah A-1-a(0)
Baik	0 - 1
Sedang	2 - 4
Buruk	5 - 9
Sangat Buruk	10 - 20

1.1.1 Latihan

1. Jelaskan Sebutkan tipe-tipe dasar tanah berdasarkan sistem Inggris!
2. Sebutkan ukuran partikel tipe-tipe dasar tanah masing-masing!.
3. Pada sistem AASHTO, baik-buruk/lemahnya kualitas tanah ditunjukkan dengan apa?

Jawaban:

1. Tipe-tipe dasar tanah adalah berangkal (*boulders*), kerakal (*cobbles*), kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*).
2. Ukuran partikel:
 - Berangkal = > 200 mm
 - Kerakal = 60 – 200 mm
 - Kerikil = 2 – 60 mm
 - Pasir = 0,01 – 2 mm
 - Lanau = 0,001 – 0,01 mm
 - Clay = < 0,001 mm
3. Meningkatnya angka dibelakang huruf A menunjukkan kualitas tanah semakin melemah.

1.1. Penutup

1.1.2 Tes formatif

1. Pada sistem U.S. Department of Agriculture, tanah dengan prosentase 60% silt, 50% sand, dan 40% clay dikategorikan sebagai tanah apa?.
2. Pada sistem USCS, tanah dengan LL 70%, dan PI 35% dikategorikan sebagai tanah apa?
3. Apa arti simbol MH, OH, CL, dan CH?
4. Dalam sistem klasifikasi yang ada, sistem manakah yang dapat dipakai secara lebih luas?.

2.1.2. Umpan balik

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif yang ada pada bahasan berikut ini, hitunglah jawaban anda yang benar, kemudian gunakan rumus ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi dalam bab ini.

Rumus:

$$\text{Tingkat penguasaan} = (\Sigma \text{ jawaban yang benar} / 4) \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang anda capai adalah:

- | | |
|--------------|-------------|
| 80% - 100% : | baik sekali |
| 70% - 79% : | baik |
| 60% - 69% : | cukup |
| 50% - 59% : | kurang |
| 0% - 49% : | gagal |

2.1.3. Tindak lanjut

Jika anda mencapai tingkat kepuasan kategori $\geq$ baik, maka anda dapat meneruskan dengan kegiatan belajar bab selanjutnya, tetapi jika tingkat penguasaan anda belum mencapai kategori baik, maka anda harus mengulangi kegiatan belajar bab tersebut terutama pada bagian yang anda belum kuasai. Untuk mencapai pemahaman tersebut anda dapat menghubungi dosen pengampu di luar waktu kuliah.

2.1.4. Kunci jawaban tes formatif

1. Tanah “Sandy Clay”.
2. Tanah kategori “CH” / High Clay.
3. MH = High Silt, OH = High Organic, CL = Low Clay, dan CH = High Clay.
4. Sistem USCS.

2.1.5. Rangkuman

1. Klasifikasi tanah dapat ditentukan berdasarkan distribusi ukuran partikel dan batas-batas Atteberg.
2. Dua sistem klasifikasi tanah yang dipakai secara luas adalah USCS dan AASHTO. Klasifikasi AASHTO diaplikasikan hanya untuk pembuatan jalan raya dalam mengklasifikasikan mutu subgrade yang akan dipakai. Klasifikasi USCS dapat dipakai secara lebih meluas.

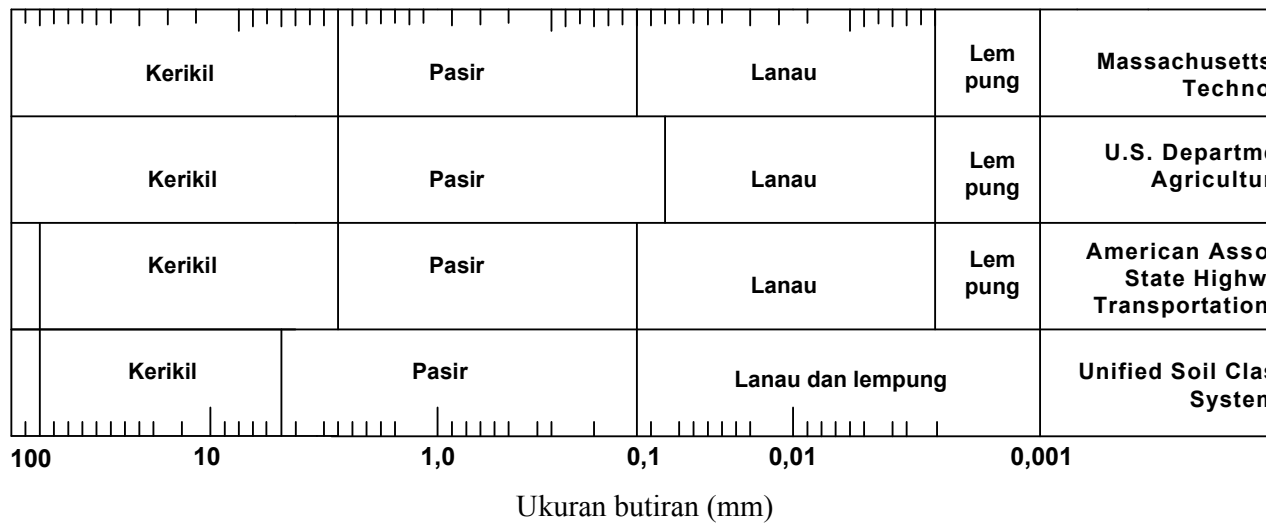
II. PARTIKEL TANAH

2.1. Pendahuluan

Sebagaimana telah dibahas di bagian depan, ukuran dari partikel tanah adalah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. 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 (*soil-separate-size limits*). Pada Tabel 1.1 ditunjukkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah yang telah dikembangkan oleh Massachusetts Institute of Technology (MIT), U.S. Department of Agriculture (USDA), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) dan oleh U.S. Army Corps of Engineers dan U.S. Bureau of Reclamation yang kemudian menghasilkan apa yang disebut sebagai Unified Soil Classification System (USCS). Pada Tabel tersebut, sistem MIT diberikan hanya untuk keterangan tambahan saja. Sistem MIT ini penting artinya dalam sejarah perkembangan sistem batasan ukuran golongan jenis tanah. Pada saat sekarang, sistem Unified (USCS) telah diterima di seluruh dunia.

Tabel 2.1. Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Kerikil	Ukuran butiran (mm)		
		Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	> 2	2-0,06	0,06 – 0,002	<0,002
U.S. Department of Agriculture (USDA),	> 2	2-0,05	0,05 – 0,002	< 00,002
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 (U.S. Army Corps of Engineers dan U.S. Bureau of Reclamation)	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075	Halus (Yaitu lanau dan lempung < 0,0075)	



Gambar 2.2. Batasan-batasan ukuran golongan tanah menurut beberapa sistem

Sistem ini sekarang telah dipakai pula oleh *American Society of Testing and Materials* (ASTM). Gambar 1.1 menunjukkan batasan-batasan dalam bentuk grafik.

Kerikil (*gravels*) adalah kepingan-kepingan dari batuan yang kadang-kadang juga mengandung partikel-partikel mineral quartz, feldspar dan mineral-mineral lain.

Pasir (*sand*) sebagian besar terdiri dari mineral quartz dan feldspar. Butiran dari mineral yang lain mungkin juga masih ada pada golongan ini.

Lanau (*silts*) sebagian besar merupakan fraksi mikroskopis (berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran quartz yang sangat halus, dan sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral mika.

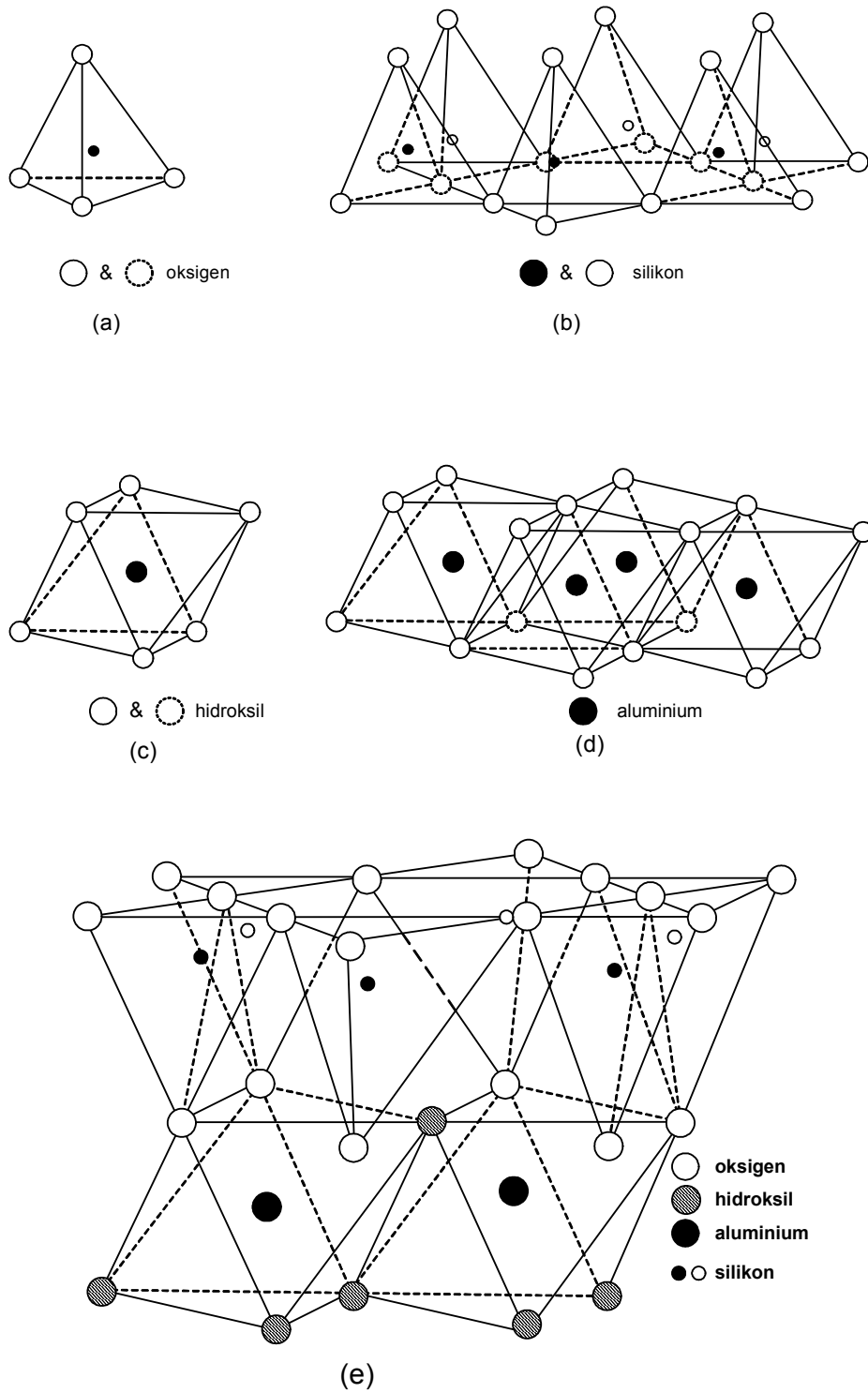
Lempung (*clays*) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay minerals*), dan mineral-mineral yang sangat halus lain. Pada Tabel 1.1, lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm (= 2 mikron). Namun demikian, di beberapa kasus, partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm juga masih digolongkan sebagai partikel lempung (lihat ASTM D-653). Di sini tanah diklasifikasikan sebagai lempung (hanya berdasarkan pada ukurannya saja). Belum tentu tanah dengan ukuran partikel lempung tersebut juga mengandung mineral-mineral lempung (*clay minerals*). Dari segi mineral (bukan ukurannya), yang

disebut tanah lempung (dan mineral lempung) ialah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang "menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air" (Grim, 1953). Jadi dari segi mineral, tanah dapat juga disebut sebagai tanah bukan lempung (non-clay soils) meskipun terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil (partikel-partikel quartz, feldspar, dan mika dapat berukuran submikroskopis, tetapi umumnya mereka tidak dapat menyebabkan terjadinya sifat plastis dari tanah). Dari segi ukuran, partikel-partikel tersebut memang dapat digolongkan sebagai partikel lempung. Untuk itu, akan lebih tepat bila partikel-partikel tanah yang berukuran lebih kecil dari 2 mikron ($= 2 \mu$), atau < 5 mikron menurut sistem klasifikasi yang lain, disebut saja sebagai partikel berukuran lempung dari pada disebut sebagai lempung saja. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid ($< 1 \mu$) dan ukuran 2μ merupakan batas atas (paling besar) dari ukuran partikel mineral lempung.

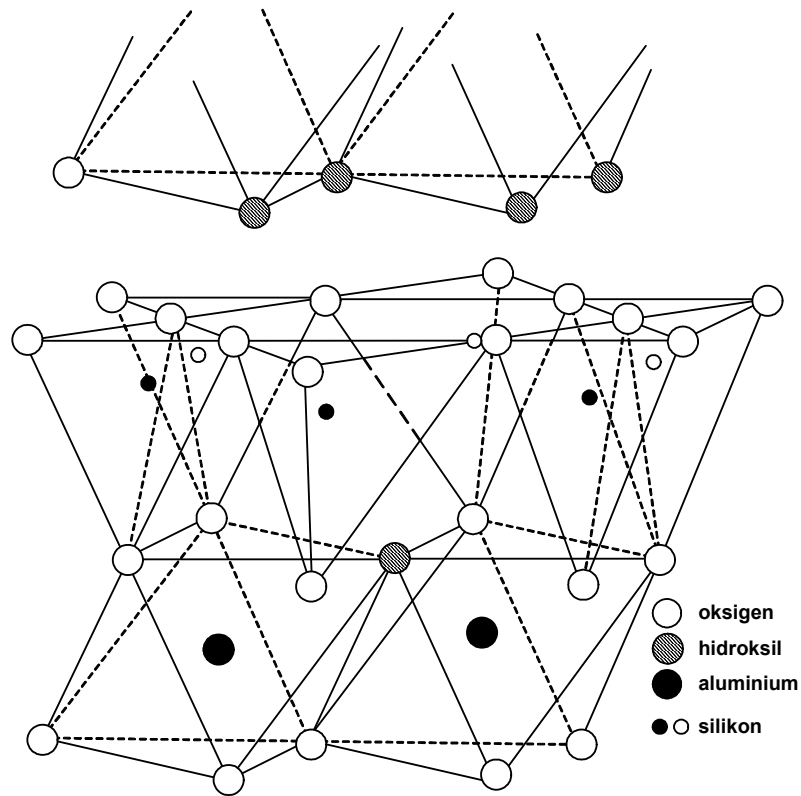
2.2. Mineral Lempung

Mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks yang terdiri dari satu atau dua unit dasar yaitu (1) *silika tetrahedra* dan (2) *aluminium oktahedra*. Setiap unit tetrahedra (bersisi empat) terdiri dari empat atom oksigen mengelilingi satu atom silikon (Gambar 2.2a). Kombinasi dari unit-unit silika tetrahedra tersebut membentuk *lembaran silika (silica sheet*, Gambar 2.2b). Tiga atom oksigen pada dasar setiap tetrahedra tersebut dipakai bersama oleh tetrahedra-tetrahedra yang bersebelahan. Unit-unit oktahedra (bersisi delapan) terdiri dari enam gugus ion hidroksil (OH) yang mengelilingi sebuah atom aluminium (Gambar 2.2c), dan kombinasi dari unit-unit hidroksi aluminium berbentuk oktahedra itu membentuk *lembaran oktahedra*. (Lembaran ini disebut juga *lembaran gibbsite* — Gambar 2.2d) Kadang-kadang atom magnesium menggantikan kedudukan atom aluminium pada unit-unit oktahedra; bila demikian adanya, lembaran oktahedra tersebut disebut *lembaran brucite*.

Pada sebuah lembaran silika, setiap atom silikon yang bermuatan positif dan bervalensi empat dihubungkan dengan empat atom oksigen yang bermuatan negatif dengan valensi total delapan. Tetapi setiap atom oksigen pada dasar tetrahedra itu dihubungkan dengan dua atom silikon lainnya.



Gambar 2.2. (a) Silika tetrahedra; (b) lembaran silika; (c) aluminium oktahedra; (d) lembaran oktahedra (gibbsite); (e) lembaran elemen silika – gibbsite



Gambar 2.3. Struktur atom dari kaolinit (menurut Grim,1959)

Ini berarti bahwa atom-atom oksigen di sebelah atas dari unit-unit tetrahedra mempunyai kelebihan valensi (negatif) sebesar satu dan harus diseimbangkan. Bila lembaran silika itu ditumpuk di atas lembaran oktahedra seperti terlihat pada Gambar 2.2e, atom-atom oksigen tersebut akan menggantikan posisi ion hidroksil pada oktahedra untuk memenuhi keseimbangan muatan mereka.

Mineral kaolinite terdiri dari tumpukan lapisan-lapisan dasar lembaran-lembaran kombinasi silika-gibbsite seperti terlihat pada Gambar 1.3 dan 1.5a. Setiap lapisan dasar itu mempunyai tebal kira-kira $7,2 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$). Tumpukan lapisan-lapisan tersebut diikat oleh ikatan hidrogen (hydrogen bonding). Mineral kaolinite berujud seperti lempengan-lempengan tipis, masing-masing dengan diameter kira-kira $1000 \text{ \AA}$ sampai $20.000 \text{ \AA}$ dan ketebalan dari $100 \text{ \AA}$ sampai $1000 \text{ \AA}$. Luas permukaan partikel kaolinite per unit massa adalah kira-kira $15 \text{ m}^2/\text{gram}$. Luas permukaan per unit massa ini didefinisikan sebagai luasan spesifik (*specific surface*).

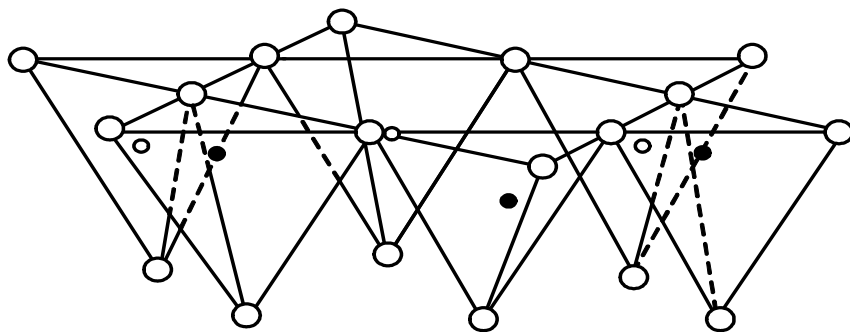
Illite terdiri dari sebuah lembaran gibbsite yang diapit oleh dua lembaran silika seperti pada Gambar 2.5 b. Illite ini kadang-kadang juga disebut *mika lempung*.

Lapisan-lapisan illite terikat satu sama lain oleh ion-ion kalium (= K = ion potassium). Muatan negatif yang diperlukan untuk mengikat ion-ion kalium tersebut didapat dengan adanya penggantian (substitusi) sebagian atom silikon pada lembaran tetrahedra oleh atom-atom aluminium. substitusi dari sebuah elemen oleh lainnya tanpa mengubah bentuk kristal utamanya disebut sebagai *substitusi isomorf* (isomorphous substitution). Partikel-partikel illite pada umumnya mempunyai dimensi mendatar berkisar antara $1000 \text{ \AA}$ sampai $5000 \text{ \AA}$ (juga umumnya berbentuk lempengan-lempengan tipis) dan ketebalan dari $50 \text{ \AA}$ sampai $500 \text{ \AA}$. Luasan spesifik dari partikel adalah sekitar $80 \text{ m}^2/\text{gram}$.

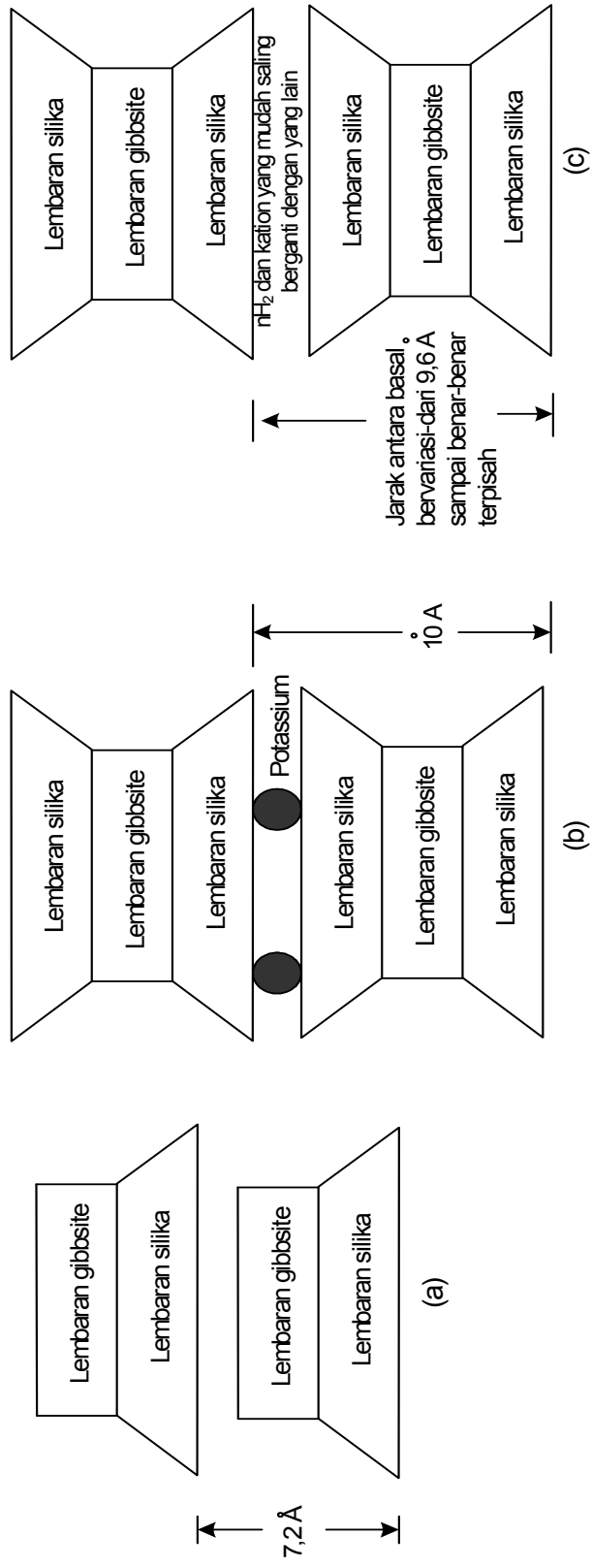
Mineral-mineral montmorillonite mempunyai bentuk struktur yang sama dengan illite - yaitu satu lembaran gibbsite diapit oleh dua lembaran silika (Gambar 2.4 dan 2.5c). Pada montmorillonite terjadi substitusi isomorf antara atom-atom magnesium dan besi menggantikan sebagian atom-atom ion kalium seperti pada illite, dan sejumlah besar molekul tertarik kepada ruangan di antara lapisan-lapisan tersebut. Partikel montmorillonite mempunyai dimensi mendatar dari $1000 \text{ \AA}$ sampai $5000 \text{ \AA}$ dan ketebalan $10 \text{ \AA}$ sampai $50 \text{ \AA}$. Luasan spesifiknya adalah sekitar $800 \text{ m}^2/\text{gram}$.

Di samping kaolinite, illite, dan montmorillonite, mineral-mineral tanah lempung lain yang umum dijumpai adalah chlorite, halloysite, vermiculite, dan attapulgite, menunjukkan hasil pemotretan dari partikel kaolinite dengan alat scanning electron micrograph.

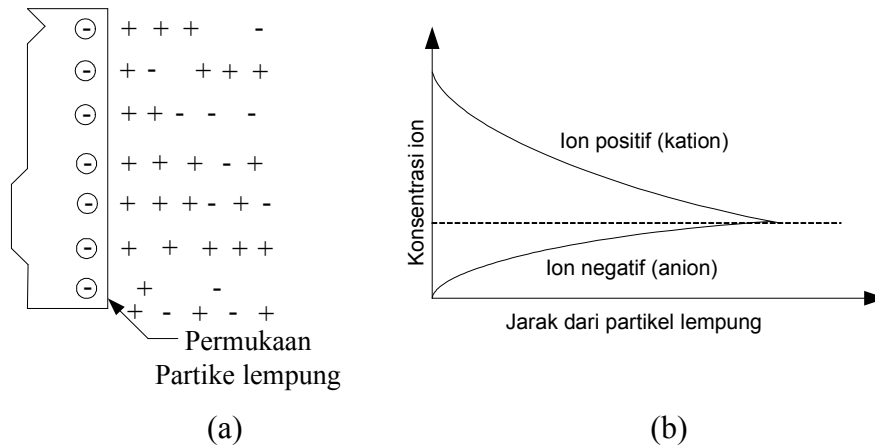
Umumnya partikel-partikel tanah lempung mempunyai muatan negatif pada permukaannya. Hal ini disebabkan oleh adanya substitusi isomorf dan oleh karena pecahnya partikel pelat tersebut di tepi-tepinya. Muatan negatif yang lebih besar dijumpai partikel-partikel yang mempunyai luasan spesifik yang lebih besar. Beberapa muatan positif terjadi di tepi-tepi lempengan partikel. Pada daftar rata-rata ke muatan negatif pada kedua permukaan dari mineral-mineral lempung (dari Yong kentin, 1966).



Gambar 2.4 Struktur atom dari montmorillonite (menurut Grim, 1959)



Gambar 2.5 Gambar struktur : (a) kaolinite; (b) illite; (c) montmorillonite



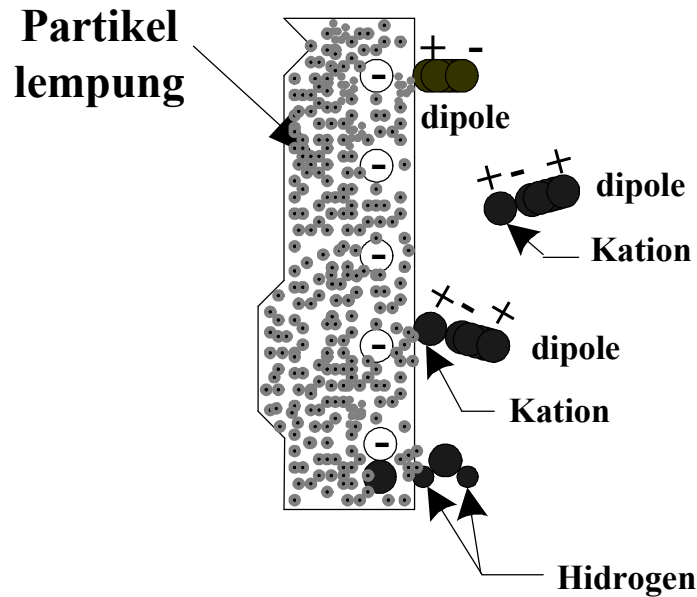
Gambar 2.6 Lapisan Ganda terdifusi

Mineral Lempung	Rata-rata kerapatan muatan di kedua sisi permukaan partikel (A^2 / muatan elektron)
Kaolinite	25
Mike lempung dan chlorite	50
Montmorillonite	100
Vermicullite	75

Pada lempung-lempung yang kering, muatan negatif di permukaan dinetralkan oleh adanya exchangeable cations (ion-ion positif yang mudah berganti dengan yang lain) seper ion Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , dan Ka^+ yang mengelilingi partikel lempung tersebut dan terikat partikel oleh gaya tarik menarik elektrostatik. Bila air kemudian ditambahkan kepada lempung tersebut, kation-kation tersebut dan sejumlah kecil anion-anion (ion bermuatan negatif) akan berenang di antara partikel-partikel itu. Keadaan ini disebut sebagai lapisan terdifusi (*diffuse double layer*) seperti pada Gambar 2.6a. Konsentrasi kation, pada larutan akan berkurang bila jaraknya dari permukaan partikel makin jauh (Gambar 2.6b).

Molekul-molekul air (H_2O) membentuk kutub-kutub (polar). Hal ini karena atom hidrogen pada molekul air tidak tersusun secara simetris sekeliling atom oksigen, melainkan membentuk sudut ikatan sebesar 105° (Gambar 2.7). Akibatnya, molekul-molekul air kelakuan seperti batang-batang kecil yang mempunyai muatan positif di satu

sisi dan muatan negatif di sisi yang lain. Hal ini disebut sebagai *berkutub dua* (dipole).



Gambar 2.8. Tarik –menarik molekul-molekul dipolar pada lapisan ganda terdifusi

Molekul air yang berkutub dua tersebut tertarik oleh permukaan partikel lempung yang bermuatan negatif dan oleh adanya kation-kation dalam lapisan ganda (double layer). Kemudian kation-kation tersebut menempel di permukaan partikel yang bermuatan negatif. Mekanisme yang ketiga dari tertariknya molekul air ke permukaan partikel lempung ialah karena adanya *ikatan hidrogen* (hydrogen bonding), di mana setiap hidrogen-hidrogen atom pada molekul air dipakai bersama oleh atom oksigen pada permukaan partikel lempung. Sebagian dari kation-kation yang terhidrasi (di dalam air pori) juga tertarik untuk melekat pada permukaan partikel lempung. Kation-kation ini kemudian juga menarik molekul-molekul air berkutub dua yang lain. Semua kemungkinan-kemungkinan mekanisme tarik-menarik antara air dan tanah lempung dapat dilihat pada Gambar 2.8. Gaya tarik antara air dan tanah lempung akan berkurang bila jaraknya semakin jauh dari permukaan partikel-partikel. Semua air yang terikat pada permukaan partikel-partikel tanah lempung akibat gaya tarik menarik ini dikenal sebagai *air lapisan-ganda* (double-layer water). Bagian yang paling dalam dari air lapisan ganda tersebut, yang terikat dengan sangat kuatnya pada permukaan partikel, dinamai *air terserap* (adsorbed water). Air pada kondisi ini jauh lebih kental dari air-air bebas yang lain.

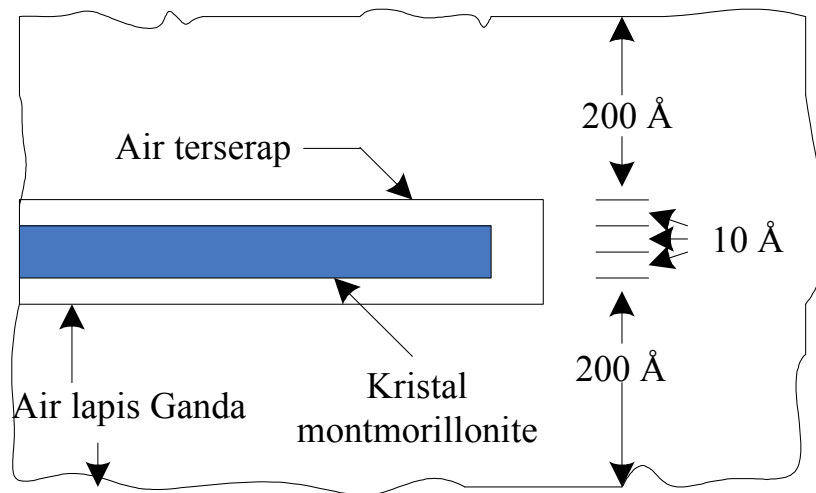
Gambar 2.9 menunjukkan kondisi air terserap dan air lapisan ganda pada partikel-partikel montmorillonite dan kaolinite. Arah orientasi dari air di sekeliling partikel tanah lempung juga menyebabkan timbulnya sifat-sifat plastik dari tanah lempung.

2.3. Berat Spesifik (G_s)

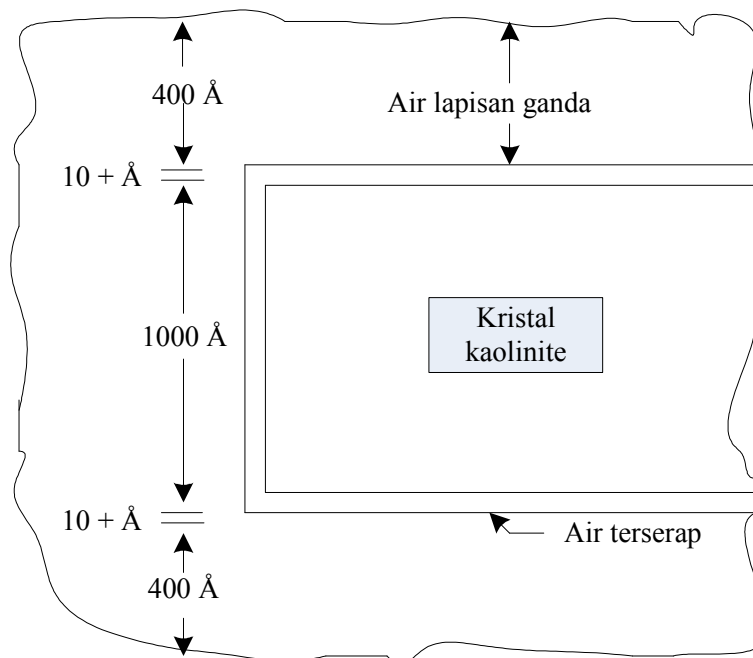
Harga berat spesifik dari butiran tanah (bagian padat) sering dibutuhkan dalam bermacam-macam keperluan perhitungan dalam mekanika tanah. Harga-harga itu dapat ditentukan secara akurat di laboratorium. Tabel 2.2 menunjukkan harga-harga berat spesifik beberapa mineral yang umum terdapat pada tanah. Sebagian besar dari mineral-mineral tersebut mempunyai berat spesifik berkisar antara 2,6 sampai dengan 2,9. Berat spesifik dari bagian padat tanah pasir yang berwarna terang, umumnya sebagian besar terdiri dari quartz, dapat diperkirakan sebesar 2,65; untuk tanah berlempung atau berlanau, harga tersebut berkisar antara 2.6 sampai 2,9.

Tabel 2.2. Berat Spesifik Mineral-Mineral Penting

Mineral	Berat Spesifik G_s
Quartz (kwarsa)	2,65
Kaolinite	2,6
Illite	2,8
Montmorillonite	2,65 -2,80
Halloysite	2,0 – 2,55
Potassium	2,57
feldspar	2,62 -2,76
Sodium and	2,6 – 2,9
calcium	2,8 – 3,2
fledspar	2,76 – 3,1
Chlorite	3,0 – 3,47
Biotite	3,6 – 4,0
Muscovite	3,24 – 3,37
Hornblende	
Limonite	
Olivine	



a. Partikel montmorillonite, lebar 1000 Å dan tebal 10 Å



b. Partikel kaolinite, lebar 10.000 Å dan tebal 1000 Å

Gambar 2.9. Air dalam lempung (digambar lagi menurut Lambe, 1958)

2.4. Analisis Mekanis Dari Tanah

Analisis mekanis dari tanah adalah penentuan variasi ukuran partikel-partikel yang ada pada tanah. Variasi tersebut dinyatakan dalam persentase dari berat kering total. Ada dua cara yang umum digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran partikel tanah, yaitu : (1) *analisis ayakan* untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih besar dari 0,075 mm- **dan** (2) *analisis hidrometer* — untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih kecil dari 0.075 mm. Prinsip dasar dari analisis ayakan dan hidrometer akan diterangkan secara singkat pada uraian-uraian berikut ini.

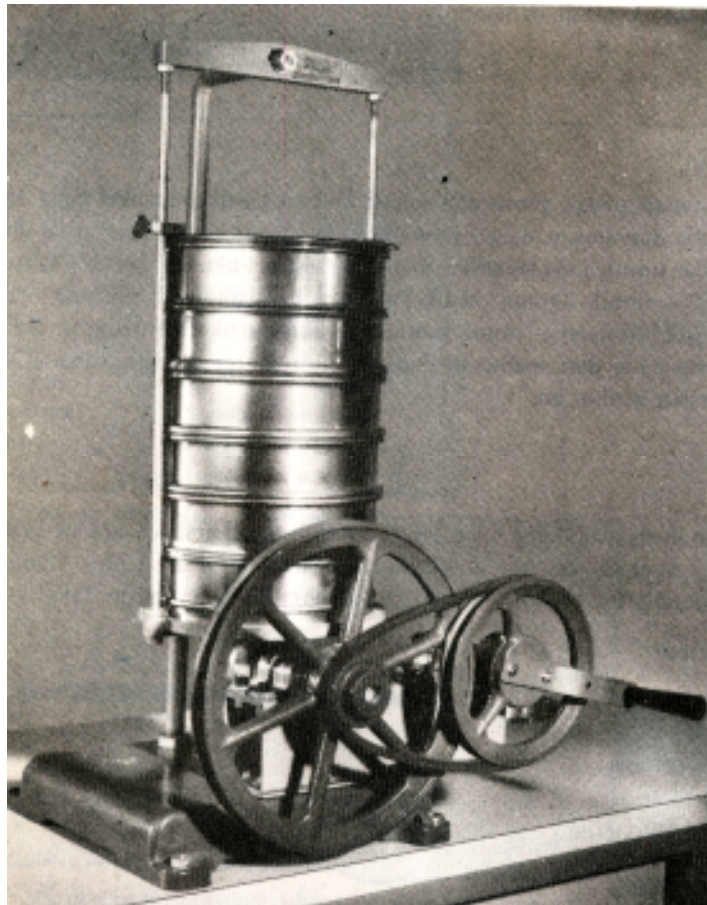
2.4.1. Analisis Ayakan

Analisis ayakan adalah mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui, satu set ayakan di mana lubang-lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan. Untuk standar ayakan di Amerika Serikat, nomor ayakan dan ukuran lubang diberikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ukuran-ukuran Ayakan Standard di Amerika Serikat.

Ayakan No	Lubang (mm)
4	4,750
6	3,350
8	2,360
10	2,000
16	1,180
20	0,850
30	0,600
40	0,425
50	0,300
60	0,250
80	0,180
100	0,150
140	0,106
170	0,088
200	0,075
270	0,053

Mula-mula contoh tanah dikeringkan lebih dahulu, kemudian semua gumpalan-gumpalan dipecah menjadi partikel-partikel yang lebih kecil lalu baru diayak dalam percobaan di laboratorium. Setelah cukup waktu untuk mengayak dengan cara getaran, massa tanah yang tertahan pada setiap ayakan ditimbang. Untuk menganalisis tanah-tanah kohesif, barangkali agak sukar untuk memecah gumpalan-gumpalan tanahnya menjadi partikel-partikel lepas yang berdiri sendiri. Untuk itu, tanah tersebut perlu dicampur dengan air sampai menjadi



Gambar 2.10. Uji Analisis ayakan (atas jasa Soiltest, Inc, Evanston, Illinois)

menjadi lumpur encer dan kemudian dibasuh seluruhnya melewati ayakan-ayakan tersebut. Bagian padat yang tertahan pada setiap ayakan dikumpulkan sendiri-sendiri. Kemudian masing-masing ayakan beserta tanahnya dikeringkan dalam oven, dan kemudian berat tanah tersebut ditimbang.

2.4.2. Analisis Hidrometer

Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah dalam air. Bila suatu contoh tanah dilarutkan dalam air, partikel-partikel tanah mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran, dan beratnya. Untuk mudahnya, dapat dianggap bahwa semua partikel tanah itu berbentuk (bulat) dan kecepatan mengendap dari partikel-partikel tersebut dapat dinyatakan hukum Stokes, yaitu:

$$v = \frac{(\gamma_s - \gamma_w) D^2}{18\eta} \quad (2.1)$$

Tabel 2.4 Analisis Ayakan (Masa Contoh Tanah Kering = 450 gram)

No Ayakan (1)	Diameter (mm) Mm (2)	Masa Tanah Yang Tertahan Pada Tiap-Tiap Ayakan g (3)	Persentase Tanah Yang Tertahan Pada Tiap- Tiap Ayakan (4)	Persentase Yang Lolos (5)
10	2,000	0	0	100,00
16	1,180	9,90	2,20	97,80
30	0,600	24,66	5,48	92,32
40	0,425	17,60	3,91	88,41
60	0,250	23,90	5,31	83,30
100	0,150	35,10	7,80	75,30
200	0,075	59,85	13,30	62,00
lengser	-	278,99	62,00	0

* Kolom 4 = (kolom 3) / (Masa tanah total) x 100

* Harga ini juga disebut sebagai persentase butiran yang lolos ayakan (percent finer)

dimana :

- v = kecepatan mengendap
- γ_s = berat volume partikel tanah
- γ_w = berat volume air
- η = kekentalan air
- D = diameter partikel tanah

Jadi dari Persamaan (2.1) menjadi

$$D = \sqrt{\frac{18\eta v}{\gamma_s - \gamma_w}} = \sqrt{\frac{18\eta}{\gamma_s - \gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (2.2)$$

dimana :

$$v = \frac{\text{jarak}}{\text{waktu}} = \frac{L}{t}$$

Perhatikan bahwa

$$\gamma_s = G_s \cdot \gamma_w \quad (2.3)$$

Jadi, dengan mengombinasikan Persamaan-persamaan (2,2) dan (2,3) maka :

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{(G_s - 1)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

Bila satuan η adalah dalam gram detik / cm^2 , γ_w dalam gram / cm^3 , L dalam cm, t dalam menit, dan D dalam mm, didapat :

$$\frac{D(mm)}{10} = \sqrt{\frac{18\eta[(g \cdot \text{det}) / \text{cm}^2]}{(G_s - 1)\gamma_w (g / \text{cm}^3)}} \sqrt{\frac{L(cm)}{t(\text{men}) \times 60}}$$

atau

$$D = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

dengan menganggap bahwa γ_w kira-kira 1 gram / cm^3 , didapat :

$$D(mm) = K \sqrt{\frac{L(cm)}{t(\text{men})}} \quad (2.5)$$

dimana :

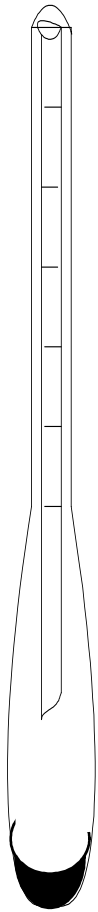
$$K = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)}} \quad (2.6)$$

Harus dicatat bahwa harga K merupakan fungsi dari G_s dan η yang tergantung pada temperatur uji. Pada tabel 2.5 diberikan variasi harga K menurut temperatur uji dan harga berat jenis (G_s) dari butiran tanah.

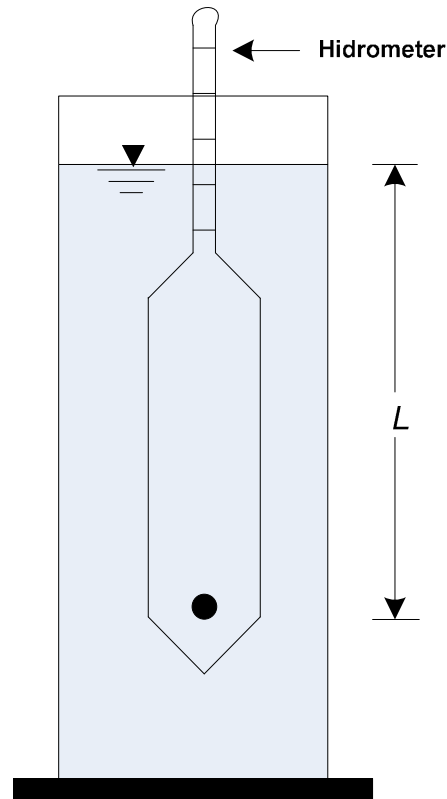
Tabel 2.5. Harga-harga K (Persamaan (2.6))

Tem (C)	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80
16	0,01510	0,01505	0,01481	0,01457	0,01435	0,01414	0,01394	0,01374
17	0,01511	0,01486	0,01462	0,01439	0,01417	0,01396	0,01376	0,01356
18	0,01492	0,01467	0,01443	0,01421	0,01399	0,01378	0,1359	0,01339
19	0,01474	0,01449	0,01425	0,01403	0,01382	0,01361	0,01342	0,01323
20	0,01456	0,01431	0,01408	0,01386	0,01365	0,01344	0,01325	0,01307
21	0,01438	0,01414	0,01391	0,01369	0,01348	0,01328	0,01309	0,01291
22	0,01421	0,01397	0,01374	0,01353	0,01332	0,01312	0,01294	0,01276
23	0,01404	0,01381	0,01358	0,01337	0,01317	0,01297	0,01279	0,01261
24	0,01388	0,01365	0,01342	0,01321	0,01301	0,01282	0,01264	0,01246
25	0,01372	0,01349	0,01327	0,01306	0,01286	0,01267	0,01249	0,01232
26	0,01357	0,01334	0,01312	0,01291	0,01272	0,01253	0,01235	0,01218
27	0,01342	0,01319	0,01297	0,01277	0,01258	0,01239	0,01221	0,01204
28	0,01327	0,01304	0,01283	0,01264	0,01244	0,01225	0,01208	0,01191
29	0,01312	0,01290	0,01269	0,01249	0,01230	0,01212	0,01195	0,01178
30	0,01298	0,01276	0,01256	0,01236	0,01217	0,01199	0,01182	0,01169

Didalam laboratorium, pengujian hidrometer dilakukan dalam silinder pengendap terbuat dari gelas dan memakai 50 gram contoh tanah yang kering oven (dikeringkan dalam oven). Silinder pengendap tersebut mempunyai tinggi 18 inci (= 457,2 mm) dan diameter 2,5 inci (63,5 mm). Silinder tersebut diberi tanda yang menunjukkan volume sebesar 1000 ml. campuran calgon (natrium hexametaphosphate) biasanya digunakan sebagai bahan pendispersi (dispersing agent). Total volume dari larutan air + calgon + tanah yang terdispersi dibuat menjadi 1000 ml dengan menambahkan air suling. Pada gambar 2.11 ditunjukkan sebuah alat hidrometer tipe ASTM 152 H.



Gambar 2.11 Alat hydrometer jenis ASTM 152 H (atas jasa Soiltest, Inc Evanston, Illinois).



Gambar 2.12: Definisi L dalam uji hydrometer

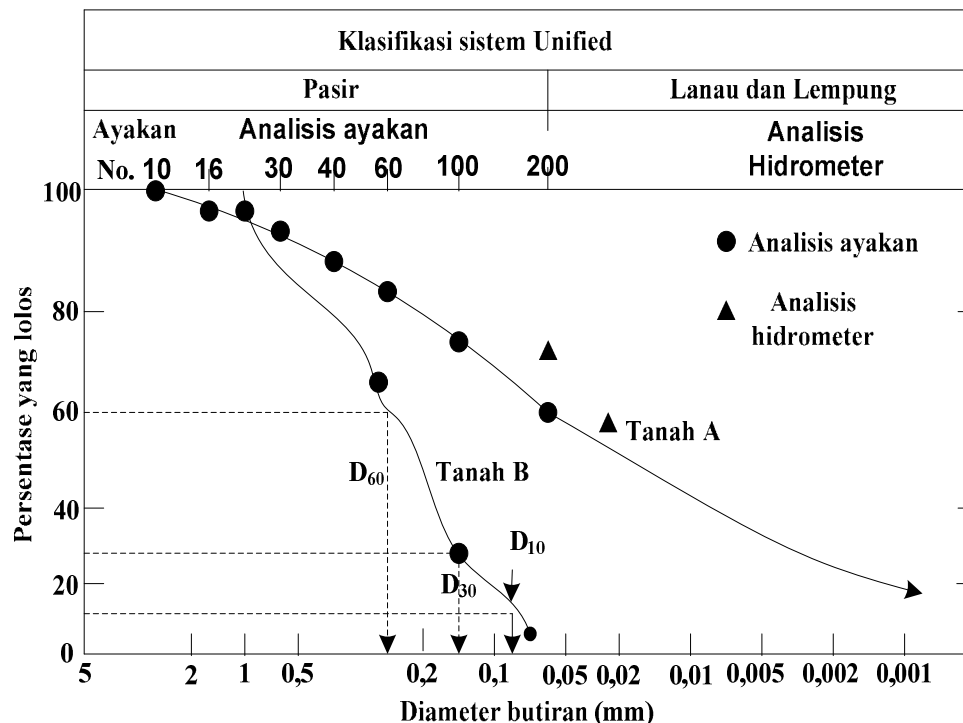
Bila sebuah alat hidrometer diletakkan dalam larutan tanah tersebut pada waktu t , yang diukur dari mula-mula terjadinya sedimentasi, maka alat tersebut mengukur berat spesifik dari larutan di sekitar bola kacanya sampai sedalam L dari permukaan larutan (Gambar 2.12). Harga berat spesifik dari larutan merupakan fungsi dari jumlah partikel tanah yang ada pada tiap satuan volume larutan sepanjang kedalaman L tersebut. Juga, karena mengendap, maka pada waktu t partikel-partikel tanah yang masih ada dalam larutan sampai kedalaman L akan mempunyai diameter yang lebih kecil dari D seperti yang telah dirumuskan dalam Persamaan (2.5). Partikel-partikel yang lebih besar dari D telah mengendap, terlebih dahulu di bawah kolom L tersebut. Alat hidrometer tersebut dirancang untuk dapat memberikan jumlah tanah (dalam gram) yang masih tertinggal di dalam larutan. Alat hidrometer telah dikalibrasi (ditera) untuk tanah-tanah yang

mempunyai berat spesifik (G_s) 2,65. Jadi untuk tanah dengan harga G_s yang lain perlu adanya koreksi.

Dengan mengetahui jumlah tanah di dalam larutan, L dan t , kita dapat menghitung persentase berat dari tanah yang lebih halus dari diameter yang ditentukan. Perhatikan bahwa L adalah kedalaman yang diukur dari permukaan air terhadap pusat berat bola kaca dari alat hidrometer di mana kekentalan larutan diukur. Harga L akan berubah menurut waktu; variasinya pada pembacaan hidrometer diberikan dalam Annual Book of ASTM Standard (1982 — lihat Test Designation D-422, Tabel 2). Analisis hidrometer sangat efektif untuk digunakan memisahkan fraksi tanah halus sampai dengan ukuran kira-kira 0.5η .

2.4.3. Kurva Distribusi Ukuran-Butiran

Hasil dari analisis mekanik (analisis ayakan dan hidrometer) umumnya digambarkan dalam kertas semilogaritmik yang dikenal sebagai kurva distribusi ukuran-butiran (*particle-size distribution curve*). Diameter partikel (butiran) digambarkan dalam Skala logaritmik, dan persentase dari butiran yang lolos ayakan digambarkan dalam skala hitung biasa. Sebagai contoh, grafik distribusi ukuran-butiran dari dua tanah ditunjukkan dalam Gambar 2.13. Kurva distribusi butiran sbb:



Grafik distribusi ukuran-butiran dari tanah *A* adalah kombinasi dari hasil analisis ayakan yang diberikan dalam Tabel 2.4 dan hasil analisis hidrometer untuk fraksi halusya. Bilamana hasil dari analisis ayakan dan analisis hidrometer digabung, diskontinuitas (*discountinuity*) umumnya timbul dalam rentang di mana kedua grafik saling bertumpangan. Hal ini disebabkan karena pada kenyataannya butiran tanah pada umumnya mempunyai bentuk yang tidak rata. Analisis ayakan memberikan ukuran butiran secara langsung; analisis hidrometer memberikan diameter dari bulatan (sphere) yang mengendap pada kecepatan yang sama sebagai butiran tanah.

Persentase dari kerikil, pasir, lanau, dan butiran berukuran lempung yang dikandung oleh tanah dapat ditentukan dari grafik distribusi ukuran-butiran. Menurut Sistem Klasifikasi Unified (USCS), Tanah *A* dalam Gambar 2.13 mempunyai:

Kerikil (ukuran batas — lebih besar dari 4,75 mm) = 0%

Pasir (ukuran batas — 4,75 mm sampai dengan 0,075 mm) = persentase butiran yang lebih halus dari 4,75 mm — persentase butiran yang lebih halus dari 0,075 mm = 100 — 62 = 38%.

Lanau dan lempung (ukuran batas — kurang dari 0,075 mm) = 62%.

2.4.4. Ukuran Efektif, Koefisien Keseragaman dan Koefisien Gradasi

Kurva distribusi ukuran-butiran dapat digunakan untuk membandingkan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda. Selain itu ada tiga parameter dasar yang dapat ditentukan dari kurva tersebut, dan parameter-parameter tersebut dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berbutir kasar. Parameter-parameter tersebut adalah:

- ukuran efektif (*effective size*),
- koefisien keseragaman (uniformity coefficient),
- koefisien gradasi (coefficient of gradation).

Diameter dalam kurva distribusi ukuran-butiran yang bersesuaian dengan 10% yang lebih halus (lolos ayakan) didefinisikan sebagai *ukuran efektif*, atau D_{10} . *Koefisien keseragaman* diberikan dengan hubungan:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.7)$$

dimana :

C_u = koefisien keseragaman

D_{60} = diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran-butiran.

Koefisien gradasi dinyatakan sebagai

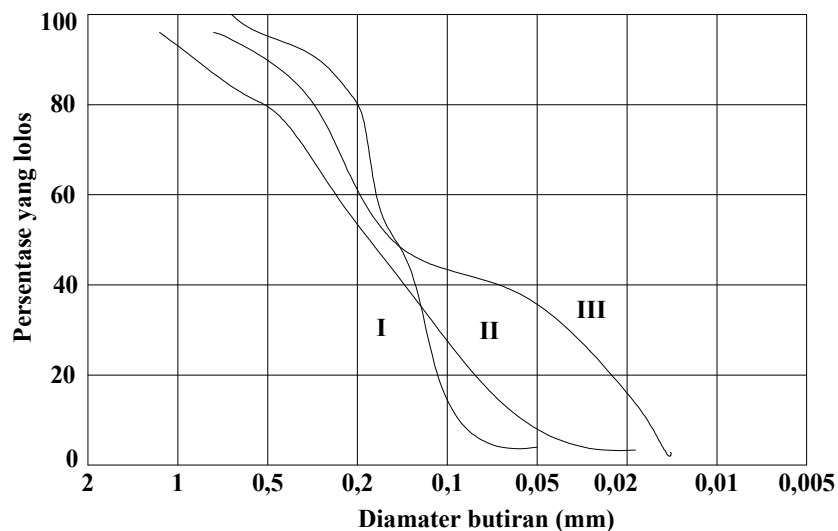
$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (2.8)$$

di mana:

C_c = koefisien gradasi

D_{30} = diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos ayakan

Kurva distribusi ukuran-butiran dari tanah B ditunjukkan dalam Gambar 2.15; dari kurva



Gambar 2.14 Macam-macam Tipe kurva distribusi ukuran-butiran

tersebut dapat ditentukan $D_{10} = 0,096$ mm, $D_{30} = 0,16$ mm dan $D_{60} = 0,24$ mm.

Koefisien keseragaman dan koefisien gradasi adalah

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,24}{0,096} = 2,5$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{(0,16)^2}{0,24 \times 0,096} = 1,11$$

Kurva distribusi ukuran-butiran tidak hanya menunjukkan tentang (range) dari ukuran butir yang dikandung di dalam tanah saja, tetapi juga menunjukkan tipe dari kurva distribusi ukuran butiran tersebut. Hal ini ditunjukkan dalam Gambar 2.14. Kurva I mewakili suatu tipe tanah di mana sebagian besar dari butirannya mempunyai ukuran yang sama dinamakan tanah *bergradasi buruk* (poorly graded soil). Kurva II mewakili tanah di mana ukuran butirannya terbagi merata di dalam rentang yang lebar dan dinamakan tanah *bergradasi baik* (well graded). Tanah bergradasi baik akan mempunyai koefisien keseragaman lebih besar dari 4 untuk kerikil dan 6 untuk pasir, dan koefisien gradasi antara 1 dan 3 (untuk kerikil dan pasir). Suatu tanah mungkin mempunyai kombinasi dari dua atau lebih fraksi dengan gradasi yang sama. Jenis tanah tersebut diwakili oleh kurva III yang dinamakan tanah bergradasi senjang (*gap graded*).