

## BAB II STUDI PUSTAKA

### 2.1 Tanah

Tanah dianggap merupakan suatu lapisan sedimen lepas seperti kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*) atau suatu campuran dari bahan-bahan tersebut. Hendaknya jangan dikacaukan dengan definisi tanah secara geologis, yang merupakan bahan organik pada permukaan yang terpengaruh cuaca, atau tanah lapisan atas (*top soil*). Tanah lapisan atas pada umumnya dibongkar sebelum suatu proyek teknis dikerjakan ( M. J. Smith, 1984).

Menurut (Braja M. Das 1998). Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat atau butiran mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

Selain itu, tanah dalam pandangan Teknik Sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*). (Hardiyatmo & Widodo, 1992).

Pengertian tanah menurut (Bowles, 1984), tanah merupakan campuran partikel-partikel yang salah satunya atau seluruh jenis berikut ini:

1. Berangkal (*Boulder*) merupakan potongan batuan batu besar, yang biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm dan juga untuk ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).
2. Pasir (*sand*) merupakan partikel-partikel batuan ukurannya 0,075 mm sampai 5 mm, yang mana berkisar dari kasar dengan ukuran 3 mm sampai 5 mm sampai bahan halus yang berukuran < 1 mm.
3. Lanau (*silt*) merupakan partikel batuan yang ukurannya dari 0,002 mm sampai 0,0075 mm.
4. Lempung (*clay*) merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.

5. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam dan ukurannya lebih kecil dari 0,001 mm.

Catatan mengenai jenis-jenis tanah berikut ini mencakup nama-nama yang biasa dipakai oleh insinyur praktis serta mandor berpengalaman, untuk klasifikasi tanah di lapangan.

Pasir dan kerikil merupakan agregat tak berkoheisi yang tersusun dari fragmen-fragmen sub-angular atau angular, berasal dari batuan atau mineral yang belum mengalami perubahan. Partikel berukuran sampai 1/8 inci dinamakan pasir, dan yang berukuran 1/8 sampai 6 atau 8 inci disebut kerikil. Fragmen-fragmen bergaris tengah lebih besar dari 8 inci dikenal sebagai bongkah (*boulders*).

Hardpan merupakan tanah yang tahanannya terhadap penetrasi alat pemboran besar sekali. Sebagian besar ditemui dalam keadaan bergradasi baik, padat, dan merupakan agregat partikel mineral yang kohesif.

Lanau anorganik (*inorganik silt*) merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil atau sama sekali tak ada. Jenis yang plastisitasnya paling kecil biasanya mengandung butiran kuarsase dimensi, yang kadang-kadang disebut tepung batuan (*rock flour*), sedangkan yang sangat plastis mengandung partikel berwujud serpihan dan dikenal sebagai lanau plastis. Karena teksturnya halus, lanau anorganik sering dianggap sebagai lempung, tetapi sebenarnya dapat dibedakan tanpa pengujian laboratorium. Jika diguncang dalam telapak tangan, selapis lanau anorganik jenuh akan mengeluarkan air sehingga permukaannya akan nampak berkilat. Selanjutnya bila dilekukkan di antara jari tangan, permukaannya kembali pudar tak berkilat, prosedur ini dikenal sebagai uji guncangan. Setelah kering, lapisan menjadi rapuh, dan debu dapat dikelupas dengan menggosokkan jari tangan. Lanau relatif bersifat kedap air, namun dalam keadaan lepas, lanau bisa naik kelubang pengeboran atau lubang galian seperti layaknya suatu cairan kental. Tanah paling tidak stabil. Menurut kategori ini, dikenal secara setempat dengan nama berbeda-beda, misalnya: hati sapi (*hull's liver*).

Lanau organik merupakan tanah agak plastis, berbutir halus dengan campuran partikel-partikel bahan organik terpisah secara halus. Mungkin pula

dijumpai adanya kulit-kulit dan fragmen tumbuhan yang meluruh sebagian. Warna tanah bervariasi dari abu-abu terang ke abu-abu sangat gelap, berbagai gas lain hasil peluruhan tumbuhan yang akan memberikan bau khas kepada tanah. Permeabilitas lanau organik sangat rendah sedang kompresibilitasnya sangat tinggi.

Lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas.

Dalam keadaan kering sangat keras, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah. Istilah "gumbo" digunakan, khususnya di Amerika bagian barat, untuk lempung yang keadaan plastisnya ditandai dengan wujudnya yang bersabun atau seperti terbuat dari lilin, serta sangat keras. Pada kadar air yang lebih tinggi (basah) lempung tersebut bersifat lengket.

Lempung organik adalah lempung yang sebagian sifat-sifat fisis pentingnya dipengaruhi oleh adanya bahan organik yang terpisah. Dalam keadaan jenuh, lempung organik cenderung bersifat sangat kompresibel, tapi pada keadaan kering kekuatannya (*strength*) sangat tinggi. Warnanya biasanya abu-abu tua atau hitam, di samping itu mungkin berbau menyolok.

Gambut (*peat*) adalah agregat agak berserat yang berasal dari serpihan makroskopik dan mikroskopik tumbuh-tumbuhan. Warnanya bervariasi antara coklat terang dan hitam. Gambut juga kompresibel, sehingga hampir selalu tidak mungkin menopang pondasi. Berbagai macam teknik telah dicoba pengembangannya dalam rangka mendirikan tanggul tanah di atas lapisan gambut tanpa risiko runtuh, namun penurunan (*settlement*) tanggul semacam ini tetap cenderung besar serta berlanjut dengan laju yang makin berkurang selama bertahun-tahun.

Seandainya suatu tanah tersusun dari dua jenis tanah yang berbeda, maka campuran yang terbanyak (dominan) dinyatakan sebagai kata benda, sedang yang lebih sedikit atau kurang menonjol dinyatakan sebagai skala sifat. Misalnya: pasir lanauan, menyatakan tanah yang mengandung banyak pasir, sedangkan lanau hanya

berjumlah sedikit saja. Lempung pasir adalah tanah yang memperlihatkan sifat-sifat sebuah lempung tetapi mengandung sedikit pasir.

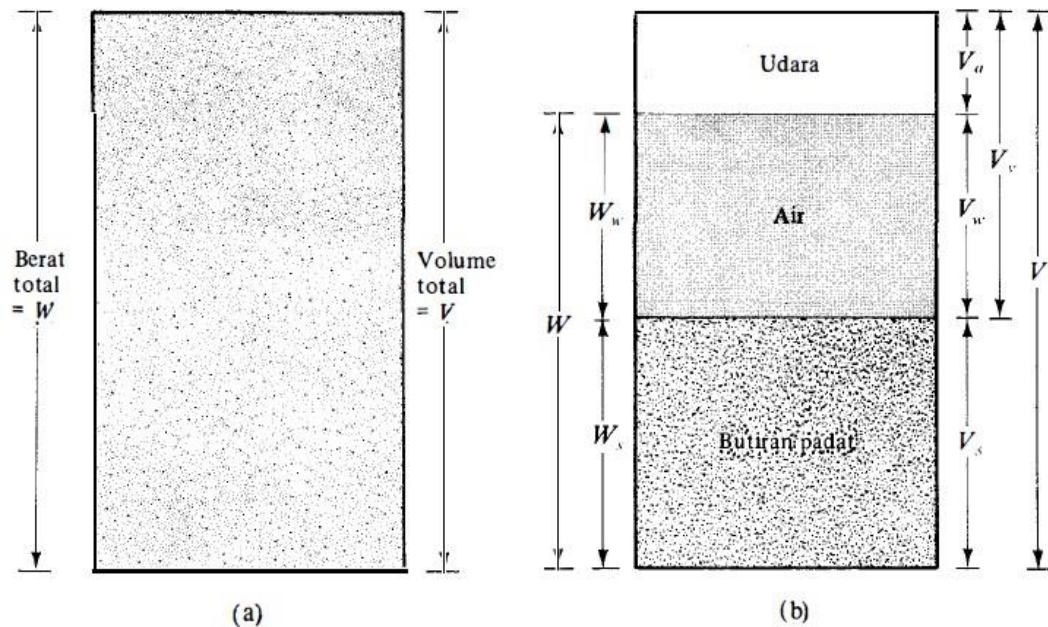
**Tabel 2. 1** Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah

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

(Sumber: Braja M Das, *Mekanika Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta 1995, hal. 7*)

Kerikil, pasir, lanau, dan lempung adalah istilah-istilah umum dipakai untuk menyatakan tanah. Kerikil dan pasir dikenal sebagai tanah berbutir kasar, sedangkan lanau dan lempung dikenal sebagai tanah halus. Material butir kasar adalah fragmen mineral yang dapat diidentifikasi terutama berdasarkan ukuran partikel. Apabila diameter partikelnya melebihi 5 mm diklasifikasikan sebagai kerikil. Apabila butiran tanah dapat dilihat dengan mata telanjang diameter partikelnya kurang 5 mm diklasifikasikan sebagai pasir. Nama ini biasanya dimodifikasi lebih lanjut sebagai kasar, sedang, dan halus.

Tanah terdiri dari 3 (tiga) fase elemen yaitu: butiran padat (*solid*), air (*water*) dan udara (*air*). Ketiga fase elemen tersebut dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



(Braja M Das, 1995: 30).

**Gambar 2. 1** (a) Elemen Tanah Dalam Keadaan Asli, (b) Tiga Fase Elemen Tanah

## 2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah bertujuan untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisis. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekakuan tanah, berat isi dan sebagainya (Bowles, 1989).

Terdapat Tiga sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan tanah. Ketiga sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas *atterberg*, sistem-sistem tersebut adalah:

### 2.2.1 Sistem Klasifikasi AASTHO (*American Association Of State Highway and Transporting Official*)

Dikembangkan sebagai *Public Road Administration Clasification System*. Sistem tersebut telah telah mengalami beberapa perubahan, yang berlaku saat ini diajukan oleh *Commite on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145). Sistem klasifikasi AASTHO tersebut bertujuan untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan lapis dasar (*sub-base*) dan tanah dasar (*subgrade*). Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut :

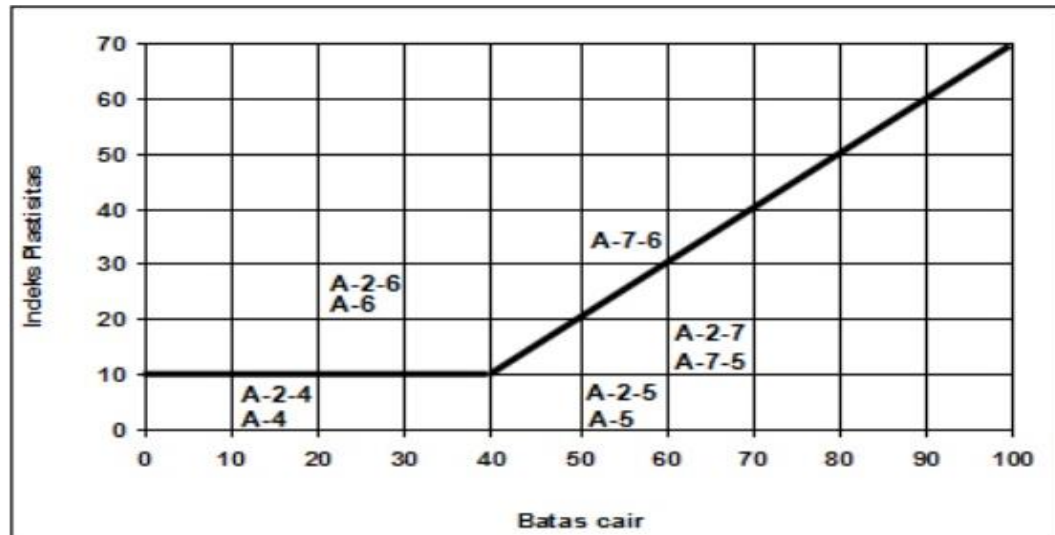
#### a. Ukuran butir

- Kerikil : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada saringan diameter 2 mm (No.10).
- Pasir : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada saringan diameter 0,075 mm (No.200).
- Lanau & lempung : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 0,075 mm (No.200).

#### b. Plastisitas

Plastisitas adalah kemampuan butir-butir tanah halus untuk mengalami perubahan bentuk tanpa terjadi perubahan volume atau pecah. Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat maupun padat.

Dalam sistem klasifikasi AASTHO mengklasifikasikan tanah tersebut menjadi 7 kelompok, A-1 sampai A-7 sudah termasuk sub-sub kelompok. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2 dan A-3 merupakan tanah berbutir dengan 35% atau kurang dari jumlah butiran yang lolos saringan no.200 sedangkan tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-4, A-5, A-6 dan A-7 merupakan tanah berbutir dengan lebih 35% dari jumlah butiran tanah yang lolos saringan no.200.



(Braja M Das, 1995: 68)

**Gambar 2. 2** Rentang dari LL dan PI Untuk Tanah Dalam Kelompok A-2 Sampai A-7

Untuk mengklasifikasi tanah tersebut, data yang didapat dari percobaan laboratorium disamakan dengan angka yang diberikan dalam Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASTHO

Klasifikasi umum	Bahan-bahan (35% atau kurang melalui No. 200)							Bahan-bahan lanau-lempung (Lebih dari 35% melalui No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5; A-7-6:
Analisis saringan: Persen melalui: No. 10 No. 40 No. 200	50 maks. 30 maks. 15 maks.	50 maks. 25 maks.	51 maks. 10 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Karakteristik fraksi melalui No. 40 Batas cair: Indeks plastisitas	6 maks.		N.P.	40 maks. 10 maks.	41 min. 10 maks.	40 maks. 11 min.	41 maks. 10 maks.	40 maks. 10 maks.	41 min. 10 maks.	40 maks. 10 min.	41 min. 11 min.
Indeks kelompok	0		0	0		4 maks.		8 maks.	12 maks.	16 maks.	20 maks.
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen batuan, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Tingkatan umum sebagian tanah dasar	Sangat baik baik sampai baik							sedang sampai buruk			

Untuk A-7-5,  $PI < LL - 30$

Untuk A-7-6,  $PI > LL - 30$

(Sumber: Braja M Das, *Mekanika Tanah, Jilid I*, Erlangga, Jakarta 1995, hal. 67)

### 2.2.2 Sistem USCS (*Unified Soil Classification System*)

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh *Casagrande* dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers* selama Perang Dunia II. Dalam

rangka kerja sama dengan *United States Bureau of Reclamation* tahun 1952, sistem ini disempurnakan. Pada masa kini, sistem klasifikasi tersebut digunakan secara luas oleh para ahli teknik.

Pada sistem klasifikasi ini, Cassagrande membagi tanah atas 3 kelompok (Sukirman, 1992) yaitu :

1. Tanah berbutir kasar, < 50% lolos saringan No.200.
2. Tanah berbutir halus, > 50% lolos saringan No.200.
3. Tanah organik yang dapat dikenal dari warna, bau dan sisa-sisa tumbuhan yang terkandung di dalamnya.

**Tabel 2. 3** Sistem Klasifikasi Tanah USCS

<b>Jenis Tanah</b>	<b>Prefiks</b>	<b>Sub Kelompok</b>	<b>Sufiks</b>
Kerikil	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	$w_L < 50 \%$	L
Organik	O	$w_L > 50 \%$	H
Gambut	Pt		

(Bowles, 1989)

Dimana :

- W = *Well Graded* ( tanah dengan gradasi baik).  
P = *Polly Graded* (tanah dengan gradasi buruk).  
L = *Low Plasicity* (plastisitas rendah,  $LL < 50$ ).  
H = *High Plasticity* (plastisitas tinggi,  $LL > 50$ ).

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbil kelompok seperti: GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, faktor-faktor berikut ini perlu diperhatikan:

1. Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (ini adalah fraksi halus).
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40.



3. Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*,  $C_u$ ) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*,  $C_c$ ) untuk tanah dimana 0 - 12% lolos ayakan No. 200.
4. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah di mana 5% atau lebih lolos ayakan No. 200).

Bilamana persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 adalah antara 5 sampai dengan 12%, simbol ganda seperti GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SM, SW-SC, SP-SM, dan SP-SC diperlukan. Rincian klasifikasi ini diberikan dalam Tabel 2.3.

Klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH didapat dengan cara menggambar batas cair dan indeks plastisitas. tanah yang bersangkutan pada bagan plastisitas (*Casagrande*, 1948) yang diberikan dalam Tabel 2.3. Garis diagonal pada bagan plastisitas dinamakan garis A dan garis A tersebut diberikan dalam persamaan:

$$PI = 0,73 (LL - 20)$$

Untuk tanah gambut (*peat*), identifikasi secara visual mungkin diperlukan. Klasifikasi tanah dengan system klasifikasi USCS dapat dilihat pada tabel 2.4.

**Tabel 2. 4** Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem *Unified*

Divisi		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi	
Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar (lebih dari 4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar (lebih dari 4,75 mm)	Pasir bersih kandungan butiran halus	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 60$ $C_u = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ atau 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	
Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
		SC	Pasir berlanau, campuran pasir-lempung		
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau bertempung		
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('clean clays')		
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.		
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')		
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
Tanah dengan organik tinggi		Gambut ('peat'), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat ASTM Designation D-2488		

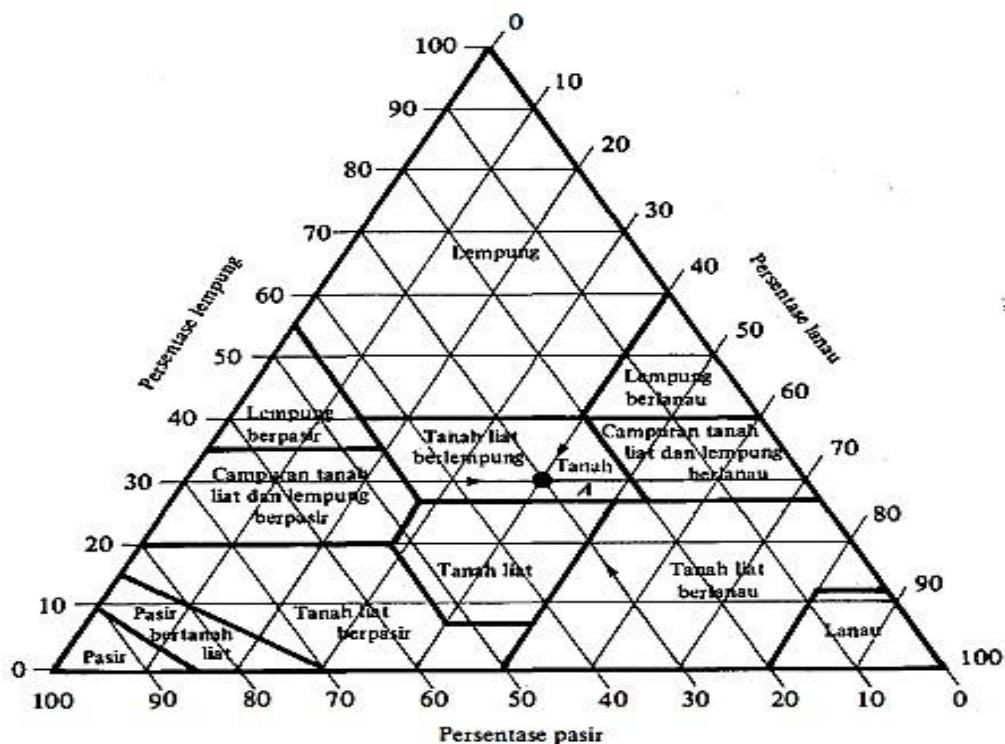
(Sumber: Braja M Das, *Mekanika Tanah, Jilid I*, Erlangga, Jakarta 1995, hal. 71-72)

**2.2.3 Klasifikasi Tanah USDA (United States Department of Agriculture)**

Klasifikasi tanah ini telah disusun antara lain sistem klasifikasi Dudal-Soeprahardjo, Sistem *Soil Taxonomy* (USDA), Sistem *World Reference Base for Soil Resources*, Sistem *Unified Soil Classification System* (USCS) dan Sistem *American Association Of State Highway and Transporting Official* (AASHTO).

Kehalusan tanah terjadi karena terdapat perbedaan komposisi kandungan fraksi pasir, lanau dan lempung yang terkandung pada tanah (Badan Pertanahan Nasional). Dari ketiga fraksi tersebut partikel pasir mempunyai ukuran diameter paling besar yaitu 2 – 0.05 mm, lanau berukuran 0.05 – 0.002 mm dan lempung yang ukurannya < 0.002 mm (penggolongan berdasarkan USDA). Kondisi tekstur tanah sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat tanah yang lain seperti struktur tanah, permeabilitas tanah porositas dan lain-lain.

Menurut sistem Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) Tahun 1938 dapat dilihat pada gambar 2.3.



(Sumber: Braja M Das, *Mekanika Tanah, Jilid I*, Erlangga, Jakarta 1995, hal. 71-72)

**Gambar 2. 3** Klasifikasi Berdasarkan Tekstur Oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

### 2.3 Tanah Lunak

Dalam panduan Geoteknik 1, penggunaan istilah tanah lunak berkaitan dengan tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara berhati-hati dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan dalam jangka panjang yang tidak dapat ditolerir. Tanah tersebut memiliki kuat geser yang rendah dan kompreibilitas yang tinggi.

Tanah lunak menurut Rachlan (1986) dan Bina Marga (1999) merupakan tanah yang umumnya terdiri dari tanah lempung termasuk material pondasi yang sangat jelek karena kadar airnya yang tinggi, permeabilitas rendah dan sangat *compressible* dan tanah secara visual dapat ditembus dengan ibu jari minimum sedalam  $\pm 25$  mm, atau mempunyai kuat geser 40 kpa berdasarkan uji geser baling lapangan.

Menurut Oltz dan Kovacs (1981), tanah lunak adalah sebagai tanah yang mempunyai sebagian besar ukuran butirnya sangat halus atau lolos ayakan no. 200 (0,0075 mm).

### 2.3.1 Sifat Umum Tanah Lunak

Menurut Dini (2014), ada beberapa sifat tanah lunak sebagai berikut:

1. Gaya gesernya kecil.
2. Kemampatan yang besar.
3. Permeabilitas tinggi.
4. Tanah lunak memiliki sifat kompresibilitas yang sangat tinggi. Salah satunya faktor penyebab tingginya kompresibilitas pada tanah lunak adalah karena jenis tanah ini memiliki angka pori yang tinggi.
5. Memiliki kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan tanah lunak memiliki daya dukung yang sangat rendah dan memiliki masalah penurunan yang besar selama dan setelah konstruksi dibangun.

Menurut Panduan Geoteknik 1 (2001), tanah lunak dibagi menjadi dua:

#### 1. Lempung Lunak

Tanah ini mengandung mineral-mineral lempung dan memiliki kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah.

#### 2. Gambut

Suatu tanah yang pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan. Tipe tanah yang ketiga yaitu, lempung organik merupakan suatu material transisi antara lempung dan gambut, tergantung pada jenis dan kuantitas sisa-sisa tumbuhan mungkin berperilaku seperti lempung atau gambut.

Dalam rekayasa geoteknik, klasifikasi ketiga tipe tanah tersebut dibedakan berdasarkan kadar organiknya, sebagai berikut:

**Tabel 2. 5** Tipe Tanah Berdasarkan Kadar Organik

Jenis Tanah	Kadar Organik %
Lempung	<25
Lempung Organik	25-75
Gambut	>75

Sumber: Panduan Geoteknik, 1

## 2.4 Sifat Fisik Tanah

Akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Diantara partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space*) yang berisi oleh air ataupun udara. Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh pengaruh karbonat atau oksida yang mempunyai senyawa di antara partikel tersebut, atau juga disebabkan oleh adanya material organik. Bila hasil dari pelapukan tersebut di atas tetap berada di tempat semula, maka bagian ini disebut tanah sisa (*residual soil*). Hasil pelapukan yang terangkut ke tempat lain dan mengendap di beberapa tempat disebut tanah bawaan (*transportation soil*). Media pengangkut tanah berupa gaya gravitasi, angin, air dan *gleyser*. Pada saat berpindah tempat, ukuran dan bentuk partikel-partikel dapat berubah dan terbagi dalam beberapa rentang ukuran. (R.F Craig, 1989).

Ada beberapa ketentuan yang harus di ketahui terlebih dahulu, diantaranya adalah sifat-sifat fisik tanah sebagai berikut:

- Kadar Air.
- Berat Volume.
- Berat Jenis.
- Batas *Atterberg*.
- Analisa Saringan (Hidrometer).

## 2.5 Uji Sifat Fisik dan Mekanis Tanah

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan di laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat fisik pada tanah asli yang digunakan dalam penelitian ini. Hal

tersebut dilakukan untuk dapat mengetahui karakteristik dan serta sifat-sifat tanah yang akan diuji.

Terdapat pengujian yang akan dilakukan di laboratorium untuk memperoleh nilai serta sifat fisik dan mekanik diantaranya adalah:

### 2.5.1 Kadar Air (*Water Content*)

Kadar air ( $W_c$ ) merupakan besarnya kandungan air yang terdapat didalam suatu contoh tanah. Tujuan dari percobaan kadar air adalah untuk menentukan berapa besar kadar air dari suatu contoh tanah.  $W_c$  (*moisture content* atau *water content*) dinyatakan dalam persentase terhadap berat tanah dalam keadaan kering.

$$\text{Kadar Air (} W_c \text{)} = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (2.1)$$

dimana :

- $W_c$  = Kadar air/ *Water Content*
- $W_w$  = Berat air
- $W_s$  = Berat tanah dalam keadaan kering

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan unuk menguji kadar air suatu contoh tanah yaitu sebagai berikut :

- a. Metode pengeringan dengan oven (*oven drying method*)
- b. Pengeringan dengan pembakaran memakai alkohol (*alcohol method*)
- c. Pengujian dengan Speedy (*speedy moisture tester*)

Metode yang sering digunakan di laboratorium adalah metode pengeringan dengan oven atau *oven drying method*, yaitu cara pengeringan dengan oven selama 24 jam pada temperature sekitar  $105 \pm 5^\circ \text{C}$ .

### 2.5.2 Berat Volume (*Volume Weight*)

Berat volume tanah adalah perbandingan antara berat total tanah terhadap volume total tanah yang dinyatakan dalam notasi  $\gamma$  (gram/cm<sup>3</sup>). Berat volume tanah dapat dirumuskan sebagai berikut :

- a. Berat Volume Basah

Berat volume basah merupakan perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara ( $W$ ) dengan volume total tanah ( $V$ ).

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (2.2)$$

b. Berat Volume Kering

Berat volume kering merupakan perbandingan antara berat butiran padat ( $W_s$ ) dengan volume total tanah ( $V$ ).

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (2.3)$$

c. Berat Volume Butiran Padat

Berat volume butiran padat merupakan perbandingan antara berat butiran padat ( $W_s$ ) dengan volume butiran padat ( $V_s$ ).

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (2.4)$$

### 2.5.3 Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis (*specific Gravity*) merupakan perbandingan antara berat kering butiran tanah dan berat air suling pada volume yang sama dengan volume butiran tersebut.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.5)$$

dimana :  $G_s$  = Berat jenis

$\gamma_s$  = Berat volume butiran padat

$\gamma_w$  = Berat volume air

Nilai  $G_s$  ini dapat dipakai untuk mengetahui berat relatif tanah terhadap berat air yang mempunyai berat-volume sebesar (1.0) Nilai parameter  $G_s$  tidak berdimensi, nilai berat jenis untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel berikut ini :

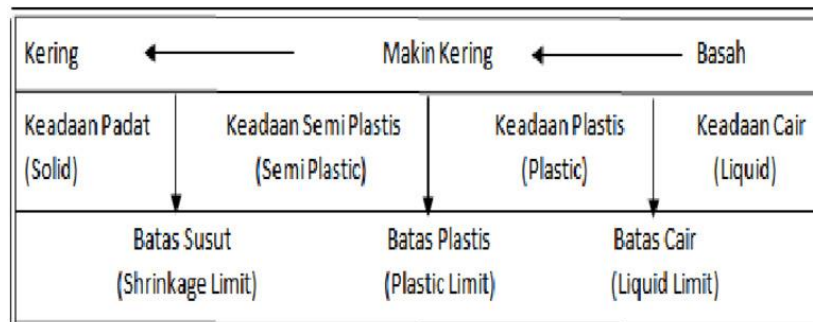
**Tabel 2. 6** Berat Jenis (Gs) Berbagai Jenis Tanah

Jenis Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Anorganik	2,62 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber : Darwis, *Dasar-Dasar Mekanika Tanah*, Pena Indis, Yogyakarta 2018, hal.19)

#### 2.5.4 Batas Cair Atterberg

Batas cair merupakan kadar air tanah pada keadaan batas peralihan antara cair dan plastis. Tujuannya adalah untuk menentukan batas cair suatu tanah. tanah yang dalam keadaan batas cair apabila diperiksa dengan alat *cassagrande*, kemudian diketuk sebanyak 25 kali dengan alat tersebut, tanah sudah dapat merapat (sebelumnya terpisah dalam jalur yang dibuat dengan *grooving tool*).



(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

**Gambar 2. 4** Batas-Batas Atterberg

Kemiringan dari garis dalam kurva didefinisikan sebagai indeks aliran (*flow index*) dan dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

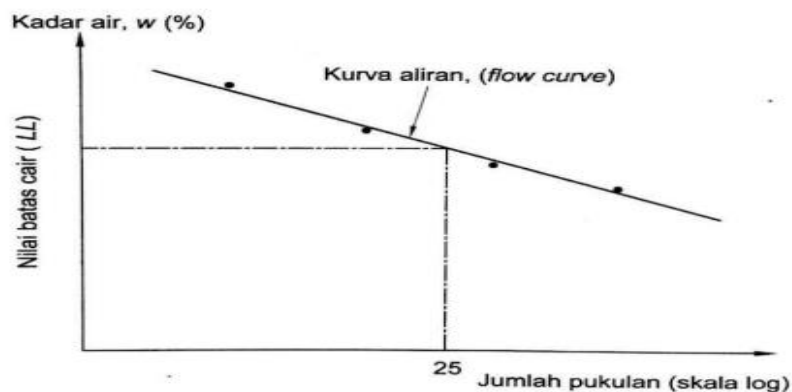
$$I_f = \frac{w_1 - w_2}{\log\left(\frac{N_2}{N_1}\right)} \quad (2.6)$$

dimana :  $I_f$  = Indeks aliran

$w_1$  = Kadar air (%) pada  $N_1$  pukulan

$w_2$  = Kadar air (%) pada  $N_2$  pukulan



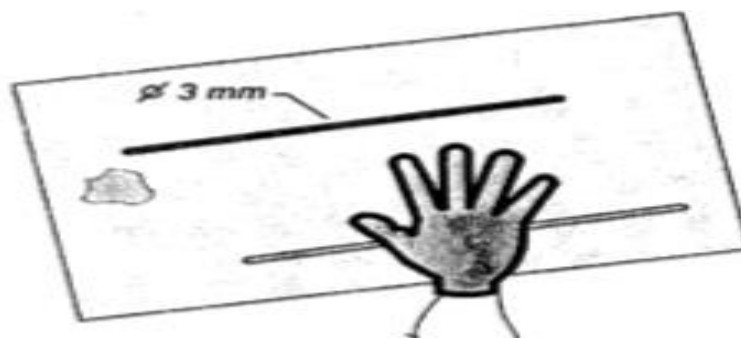


(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

**Gambar 2. 5** Kurva Pada Penentuan Batas Cair Tanah Lunak

### 2.5.5 Batas Plastis Atterberg

Batas plastis / *plastic limits* (PL) didefinisikan sebagai kadar air di dalam tanah pada fase antara plastis dan semi padat. Apabila kadar air didalam tanah berkurang, maka tanah menjadi lebih keras dan memiliki kemampuan untuk menahan perubahan bentuk. Perubahan tanah dari cair menjadi padat tersebut akan melalui fase yang dinamakan semi padat. Tujuan pengujian batas plastis adalah untuk menentukan besarnya kadar air didalam contoh tanah pada saat tanah akan berubah dari fase plastis menjadi fase semi padat atau sebaliknya. Pengujian batas cair dilakukan dengan cara menggulung tanah diatas pelat kaca dimana tanah berdiameter 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.



(Sumber: Budi, 2011)

**Gambar 2. 6** Proses Pembuatan Batas Plastis

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis, indeks plastisitas juga merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah memiliki PI tinggi maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika tanah memiliki PI

yang rendah seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi terdapat dalam tabel berikut ini berdasarkan :

**Tabel 2. 7** Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber: Hardiyatmo, *Mekanika Tanah I, Jilid III, Gajah Mada University Press, Yogyakarta 2002, hal. 48*)

Nilai indeks plastisitas dapat dicari dengan persamaan berikut ini :

$$PI = LL - PL \quad (2.7)$$

dimana : PI = Indeks plastisitas (%)

LL = Batas cair (%)

PL = Batas plastis (%)

### 2.5.6 Analisa Saringan (Hidrometer)

Analisa saringan digunakan untuk menentukan penyebaran/distribusi butiran tanah yang mempunyai ukuran lebih besar dari 0,075 mm (tertahan di ayakan No. 200 *American Society for Testing and Materials, ASTM*). Pengujian analisa saringan dilakukan untuk menentukan persentase berat butiran pada satu unit saringan dengan ukuran diameter lubang tertentu. Besar butiran digunakan sebagai dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Percobaan ini terdiri dari 2 macam percobaan, yaitu :

#### 1. Analisa Hidrometer (*Hydrometer Analysis*)

Percobaan ini adalah untuk mengetahui diameter butir tanah yang lebih kecil dari 0,074 mm atau lolos saringan no. 200. Analisa hidrometer ini didasarkan pada prinsip sedimentasi butir-butir tanah dalam air. Contoh dari tanah yang akan diuji dilarutkan di dalam air, dan dalam keadaan jatuh bebas butir-butir tanah turun mengendap ke dasar tabung tempat larutan tanah air itu ditempatkan. Kecepatan mengendap dari butir-butir tanah berbeda-beda, tergantung dari ukuran butir tanah

tersebut. Ukuran butir yang lebih besar dan lebih berat akan mengalami sedimentasi (mengendap) terlebih dahulu dengan kecepatan mengendap lebih besar dari butiran yang lebih kecil ataupun lebih ringan. Agar gumpalan tanah tersebut cepat terurai maka digunakanlah bahan dispresi.

## 2. Analisis Butiran (*Sieve Analysis*)

Adalah untuk mengetahui diameter butir tanah yang lebih besar dari 0,075 mm atau tertahan saringan no. 200. Berikut ini ukuran diameter ayakan yang digunakan menurut standar *American Society for Testing and Materials, ASTM*.

Berikut ini ukuran diameter ayakan yang digunakan menurut standar *American Society for Testing and Materials, ASTM*.

**Tabel 2. 8** Diameter Saringan Menurut ASTM

<b>Saringan</b>	<b>Ukuran Butir (mm)</b>
No. 200	0.075
No. 120	0.125
No. 80	0.18
No. 60	0.25
No. 40	0.425
No. 20	0.85

(Sumber : Budi, *Pengujian Tanah di Laboratorium, Graha Ilmu, Yogyakarta 2011, hal.32*)

### 2.5.7 Pematatan

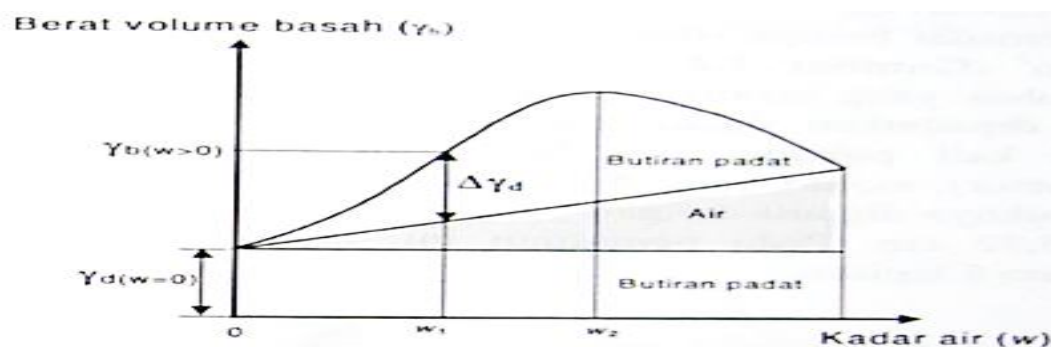
Pematatan tanah merupakan suatu proses memadatkan suatu partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air dengan memakai cara mekanis. Menurut Hardiyatmo (2012) tujuan diadakan pematatan tanah yaitu:

1. Mempertinggi kuat geser tanah.
2. Mengurangi sifat mudah mampat (*compressibility*).
3. Mengurangi permeabilitas.
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air dan lainnya.

Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Sehingga terdapat suatu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume tanah kering maksimumnya. Hubungan berat volume kering ( $\gamma$ ) dan berat volume basah ( $\gamma_b$ ) dan kadar air ( $w$ ), dinyatakan dalam persamaan berikut ini:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (2.8)$$

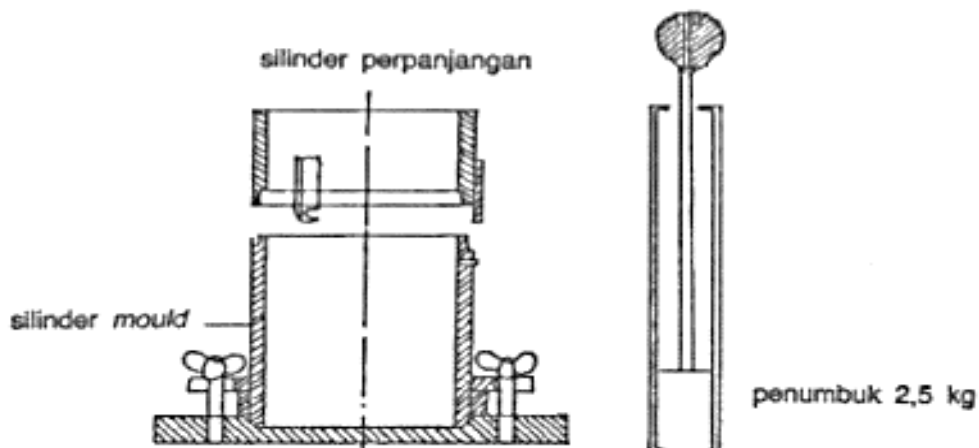
Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji Proctor. Prinsip pengujiannya yaitu alat pemadatan berupa *silinder mould* yang mempunyai volume. Tanah didalam mould dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 45 cm. Tanah dipadatkan dalam tiga lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan. Dari percobaan kadar air tersebut menghasilkan grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering, dapat dilihat pada gambar 2.7.



Sumber: G. Djatmiko Soedarmo, *Mekanika Tanah 1*, 1993

**Gambar 2. 7** Prinsip-Prinsip Pemadatan

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji proctor. Ada dua macam pemadatan laboratorium yang biasa digunakan untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum yaitu sebagai berikut:



Sumber: G. Djatmiko Soedarmo, *Mekanika Tanah 1*, 1993

**Gambar 2. 8** Alat Uji Pemadatan *Standard*

**Tabel 2. 9** Spesifikasi Percobaan Pemadatan *Standard*

Deskripsi	ASTM D-698		AASHTO T-99	
	Metoda A	Metoda B	Metoda C	Metoda D
<b>Tabung:</b>				
<b>Isi</b>	ft <sup>3</sup> 1/30 cm <sup>3</sup> 943,90	1/13,33 2124,30	1/30 943,90	1/13,33 2124,30
<b>Tinggi</b>	in 4,58 mm 116,33	4,58 116,33	4,58 116,33	4,58 116,33
<b>Diameter</b>	in 4 mm 101,60	6 152,40	4 101,60	6 152,40
<b>Berat palu</b>	lb 5,50 kg 2,50	5,50 2,50	5,50 2,50	5,50 2,50
<b>Tinggi jatuh palu</b>	in 12 mm 304,80	12 304,80	12 304,80	12 304,80
<b>Jumlah lapis tanah</b>	3	3	3	3
<b>Jumlah pukulan tiap lapis</b>	25	56	25	56
<b>Tanah yang dicoba lolos/lewat ayakan</b>	No. 4	No. 4	3/4 in	3/4 in

**Faktor konversi:**

- 1 lb massa = 0,4536 kg.
- 1 in = 25,40 mm.
- 1 ft<sup>3</sup> = 28.316,80 cm<sup>3</sup>.

Sumber: G. Djatmiko Soedarmo, *Mekanika Tanah 1*, 1993

a. Pemadatan *Modified*

Pada pemadatan *modified*, *mould* yang digunakan masih tetap sama dengan pemadatan *standard*, hanya berat alat penumbuknya yang berbeda yaitu 10 lbs atau 4,5 kg. Pada pengujian ini, tanah di dalam *mould* ditumbuk dalam 5 lapisan.

**Tabel 2. 10** Spesifikasi Percobaan Pemadatan *Modified*

Deskripsi	ASTM D-698		AASHTO T-99	
	Metoda A	Metoda B	Metoda C	Metoda D
<b>Tabung:</b>				
Isi	ft <sup>3</sup> 1/30 cm <sup>3</sup> 943,90	1/13,33 2124,30	1/30 943,90	1/13,33 2124,30
Tinggi	in 4,58 mm 116,33	4,58 116,33	4,58 116,33	4,58 116,33
Diameter	in 4 mm 101,60	6 152,40	4 101,60	6 152,40
Berat palu	lb 10 kg 4,54	10 4,54	10 4,54	10 4,54
Tinggi jatuh palu	in 18 mm 457,20	18 457,20	18 457,20	18 457,20
Jumlah lapis tanah	5	5	5	5
Jumlah pukulan tiap lapis	25	56	25	56
Tanah yang dicoba lolos/lewat ayakan	No. 4	No. 4	3/4 in	3/4 in

Sumber: G. Djatmiko Soedarmo, *Mekanika Tanah 1*, 1993

Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Kemudian, digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya (lihat gambar 2.5). Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik (*W<sub>opt</sub>*) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum. Pada nilai kadar air rendah, untuk kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume kering berkurang. Bila seluruh udara di dalam tanah dapat dipaksa keluar pada waktu pemadatan, tanah akan berada dalam kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum. Akan tetapi dalam praktek, kondisi ini sulit dicapai (Hary C.H, *Mekanika Tanah I*, 2002).

### 2.5.8 California Bearing Ratio (CBR Method)

*California Bearing Ratio* (CBR) adalah sebuah percobaan daya dukung tanah yang dikembangkan *California State Highway departement*. Prinsip pada pengujian ini adalah pengujian penetrasi dengan menusukan benda ke dalam benda uji. Dengan cara ini akan mendapatkan nilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang dipergunakan untuk membuat perkerasan.

Kekuatan tanah diuji dengan pengujian CBR sesuai dengan SNI-1744-2012. Nilai kekuatan tanah tersebut digunakan sebagai acuan perlu tidaknya distabilisasi setelah dibandingkan dengan yang disyaratkan dalam spesifikasinya.

Pengujian CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR dihitung pada penetrasi sebesar 0,1 inch dan penetrasi sebesar 0,2 inch dan selanjutnya hasil kedua perhitungan tersebut dibandingkan sesuai dengan SNI-03-1744-2012 kemudian diambil hasil terbesar.

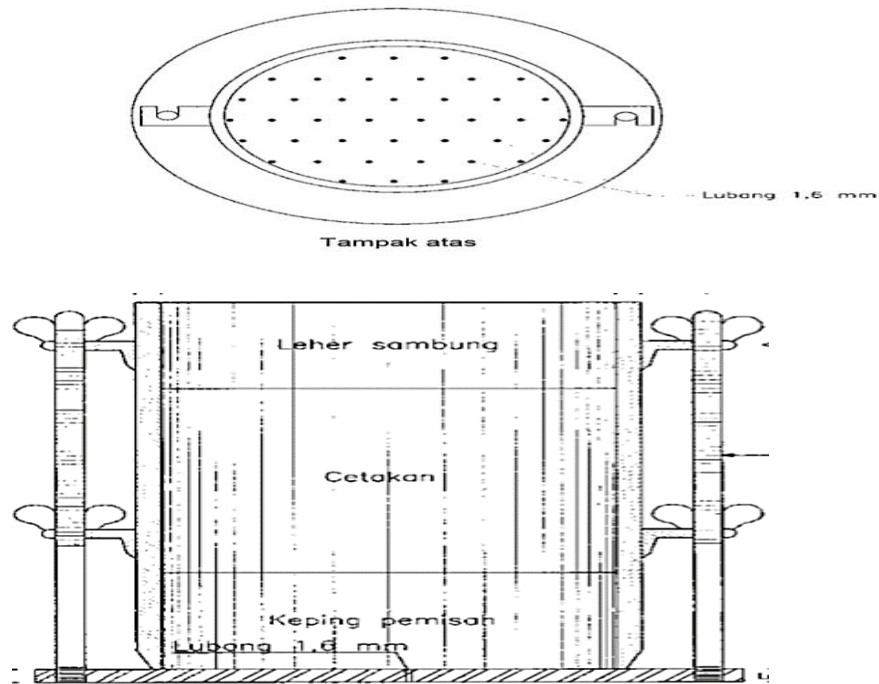
Nilai CBR adalah perbandingan (dalam persen) antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat sebesar 3 inch dengan kecepatan 0,05 inch per menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus bahan *standard* tertentu. Tujuan untuk melakukan pengujian CBR adalah untuk mengetahui nilai CBR pada variasi kadar air pemadatan. Untuk mencari nilai CBR memakai rumus:

$$\text{CBR}(\%) = \frac{\text{beban penetrasi}}{\text{Beban penetrasi standard}} \times 100\% \quad (2.9)$$

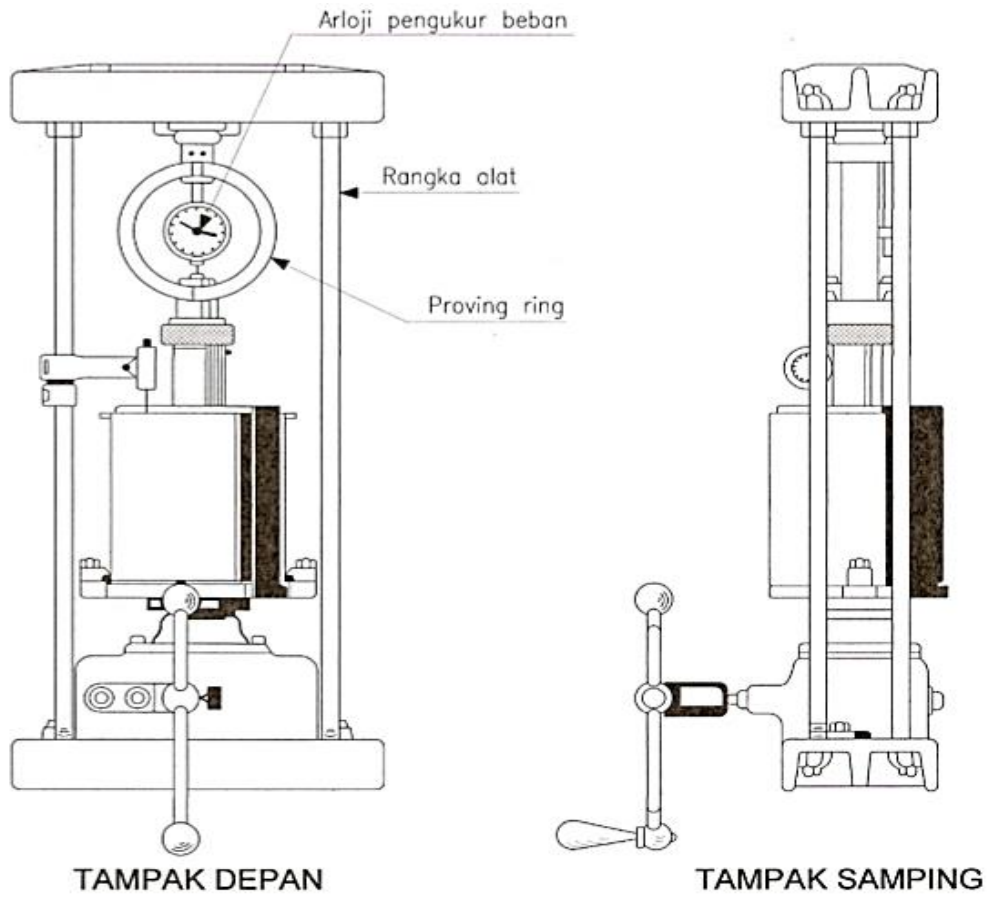
**Tabel 2. 11** Beban Standar Untuk Berbagai Kedalaman Penetrasi

Penetrasi (mm)	Beban Standard	
	(psi)	(kN/m <sup>2</sup> )
2,5	1000	6900
5,0	1500	10300
7,5	1900	13000
10,0	2300	16000
12,5	2600	18000

(Sumber : SNI 03-1744-1989)



**Gambar 2. 9** Cetakan CBR Dengan Leher Sambung



**Gambar 2. 10** Alat Uji Penetrasi CBR Laboratorium



### 2.5.9 Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compressive Strength*)

Kuat tekan bebas ( $q_u$ ) adalah harga tegangan aksial maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji silindris (dalam hal ini sampel tanah lunak) sebelum mengalami keruntuhan geser atau pada saat regangan aksial mencapai 20%.

Nilai kuat tekan bebas (*unconfined compressive strength*) didapat dari pembacaan proving ring dial yang maksimum.

$$q_u = \frac{k \cdot R}{A} \quad (2.10)$$

Dimana:

$q_u$  : Kuat tekan bebas.

$k$  : Kalibrasi proving ring.

$R$  : Pembacaan maksimum.

$A$  : Luas penampang contoh tanah pada saat pembacaan  $R$ .

**Tabel 2. 12** Nilai Konsistensi Kuat Tekan Bebas ( $q_u$ ) dengan Tanah Lempung

Konsistensi	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )
Lempung keras	> 400
Lempung sangat kaku	200 – 400
Lempung kaku	100 – 200
Lempung sedang	50 – 100
Lempung lunak	25 – 50
Lempung sangat lunak	< 25

(Sumber: Christady, 2006)

## 2.6 Pasir

Secara partikel, ukuran partikel pasir besar dan sama atau seragam, bentuknya bervariasi dari bulat sampai persegi. Bentuk-bentuk yang dihasilkan dari abrasi dan pelarutan adalah sehubungan dengan jarak transportasi sedimen. Perilaku terjadinya massa disebabkan oleh jarak pori di antara butiran masing-masing yang bersentuhan. Mineral pasir yang lebih dominan adalah kwarsa yang pada dasarnya stabil, lemah dan tidak dapat merubah bentuk. Pada suatu saat, pasir dapat meliputi granit, magnetit dan hornblende. Karena perubahan cuaca di

mana akan cepat terjadi pelapukan mekanis dan terjadi sedikit pelapukan kimiawi, mungkin akan ditemui mika, feldspar atau gypsum, tergantung pada batuan asal.

Deformasi atau perubahan bentuk pasir pada dasarnya plastis, dengan beberapa pemampatan elastis yang terjadi di dalam butiran-butiran. Jumlah pemampatan dihubungkan dengan gradasi kerapatan relatif dan besarnya tegangan yang bekerja. Kepekaan dan terjadinya kerapatan pasir disebabkan getaran keras dan material-material yang siap dipadatkan. Kehancuran dapat terjadi pada butiran-butiran pada saat tegangan-regangan yang bekerja relatif rendah.

## 2.7 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu usaha untuk memperbaiki sifat tanah secara teknis dengan menggunakan bahan-bahan tertentu. Pekerjaan ini pada umumnya dilakukan dengan mencampur tanah dengan tanah yang lain sehingga gradasi yang di inginkan bisa didapatkan. Maksud hal tersebut juga untuk dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dasar terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya.

Dalam buku ajar stabilisasi tanah oleh Darwis (2001), stabilisasi tanah merupakan suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan daya dukung suatu lapisan tanah dengan cara memberikan perlakuan (*treatment*) khusus terhadap lapisan tanah tersebut.

Demikian dapat kita diketahui dari keempat tujuan stabilisasi tanah adalah sebagai berikut:

1. Untuk memperbaiki (meningkatkan) daya dukung tanah.
2. Untuk memperbaiki (memperkecil) penurunan lapisan tanah.
3. Untuk memperbaiki (menurunkan) permeabilitas dan *swelling* potensial tanah.
4. Untuk menjaga (mempertahankan) potensi tanah yang ada (*existing strength*).

Dari keempat tujuan tersebut suatu tindakan stabilisasi sangat jarang dicapai secara bersamaan. Akan tetapi harus selalu diupayakan agar dapat tercapai perbaikan parameter yang diinginkan, dengan tanpa mengakibatkan pengrusakan parameter lainnya.

Menurut Bowles (1989), beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan tahanan gesek yang timbul.
3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan kimiawi atau fisis pada tanah.
4. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
5. Mengganti tanah yang buruk.

Untuk mencapai tujuan tersebut, proses stabilisasi dapat dilakukan dengan cara paling sederhana seperti pemadatan, hingga menggunakan teknik yang lebih efektif dan juga memerlukan dana yang cukup besar, yakni dengan mencampur tanah dengan pasir, semen, *grouting* atau injeksi semen, abu terbang dan lain sebagainya.

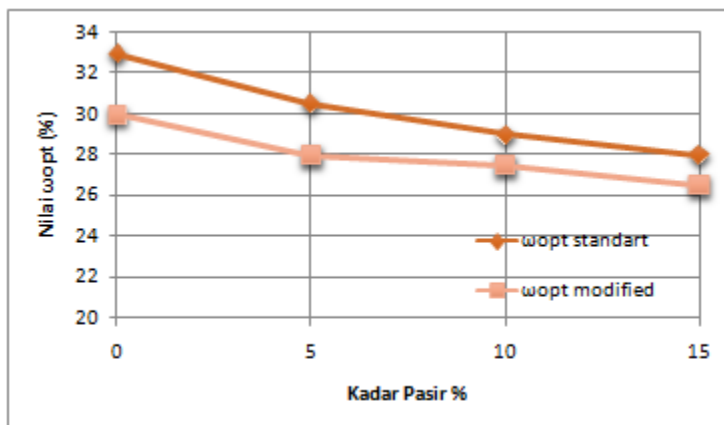
Terdapat juga 2 cara umum yang bisa dilakukan menstabilkan tanah, antara lain adalah:

1. Stabilisasi secara mekanis  
Cara ini dilakukan dengan mencampur dua atau lebih macam tanah dengan gradasi berbeda sehingga materialnya menjadi lebih baik, kuat dan memenuhi syarat. Cara ini juga bisa dilakukan dengan membongkar tanah di lokasi, kemudian mengantinya dengan material yang lebih memenuhi syarat.
2. Stabilisasi dengan Bahan Tambahan  
Cara ini dilakukan dengan menambahkan bahan tertentu pada tanah agar dapat memenuhi syarat. Bahan yang ditambahkan biasanya dari pabrik dan dicampur dengan perbandingan yang tepat sehingga meningkatkan sifat tanah dan membuatnya lebih kuat serta memenuhi syarat.

## **2.8 Penelitian Terdahulu**

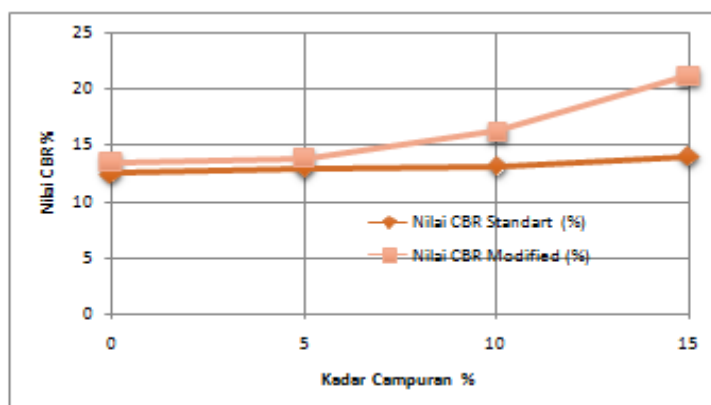
Penelitian terdahulu yang digunakan penulis sebagai acuan dalam melakukan penelitian ini adalah penelitian yang telah dilakukan oleh saudara Christian Presenda, Setyanto, dan Iswan dalam jurnal penelitian yang berjudul

“Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Tingkat Kepadatan dan Daya Dukung Tanah Lempung Lunak” penelitian ini dilakukan oleh Mahasiswa dan Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.



(Sumber: Christian Presenda, Setyanto, Iswan, 2015)

**Gambar 2. 11** Hubungan Campuran Pasir dan Kadar Air Optimum



(Sumber: Christian Presenda, Setyanto, Iswan, 2015)

**Gambar 2. 12** Hubungan Campuran Pasir dan Nilai CBR

Pada gambar 2.11 dapat dijelaskan bahwa dan Nilai *wopt Standard* dan *wopt Modified* mengalami penurunan. Pada pengujian pemadatan *standard* penurunan nilai kadar air optimum cenderung linear. Hal ini disebabkan oleh campuran pasir (sifat pasir yang tidak membutuhkan air untuk mencapai kemampuan). Jadi semakin banyak campuran pasir yang tambahkan akan makin sedikit jumlah tanah asli yang digunakan hingga secara otomatis air yang digunakan untuk mendapatkan nilai kemampuan lebih sedikit hingga membuat nilai kadar air optimum menjadi lebih kecil dari tiap kenaikan nilai kadar campurannya.

Dapat dilihat pada gambar 2.11 yang menunjukkan nilai CBR pada tiap variasi campuran mengalami kenaikan nilai CBR. Dilihat dari pola grafik CBR

standart dapat dilihat kenaikan nilai standart pada campuran 0% sampai 10% mengalami kenaikan nilai yang linear yang menunjukkan bahwa kemampuan interlocking semakin kuat dan interlocking yang terjadi pada campuran 15% menunjukkan kemampuan interlocking yang lebih besar dibanding sebelumnya.

Dari hasil penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa pemakaian kadar pasir sebagai bahan stabilisasi terhadap tanah lempung plastisitas rendah mampu menaikkan nilai berat jenis tanah pada setiap penambahan pasirnya. Pada hasil pengujian batas *Atterberg*, kadar campuran pasir dapat menaikkan nilai batas plastis. Nilai indeks plastisitas pada masing-masing kadar campuran pasir mengalami penurunan. Sedangkan untuk nilai batas cair untuk kadar pasir mengalami penurunan. Nilai CBR pada pencampuran kadar pasir mengalami kenaikan nilai CBR meskipun tidak terjadi peningkatan nilai CBR *standart* maupun CBR *Modified* yang tidak terlalu signifikan dengan hasil yang lebih besar pada CBR *modified*.

## 2.9 Statistik

Pengertian statistik menurut para ahli:

1. Statistik merupakan suatu pengetahuan yang berkaitan dengan metode pengumpulan data, pengolahan data, analisisnya, serta penarikan kesimpulan berdasarkan kumpulan data dan penganalisisan yang dilaksanakan. (Sudjana, 1976).
2. Statistik adalah sekumpulan cara maupun aturan-aturan yang berkaitan dengan pengumpulan, pengolahan (analisis), penarikan kesimpulan, atas data-data yang berbentuk angka dengan menggunakan suatu asumsi-asumsi tertentu. (Agus Irianto, 2014)
3. Statistik adalah ilmu dan seni perkembangan dan metode yang paling efektif untuk pengumpulan, pentabulasian, dan interpretasi data kuantitatif sedemikian rupa, sehingga kesalahan dalam kesimpulan dan estimasi dapat diperkirakan dengan penggunaan penalaran induktif yang didasarkan pada matematik probabilitas (peluang). Anderson & Bancroft, 1952)

Kesimpulan tersebut bahwa statistik adalah sekumpulan metode dan aturan mengenai pengumpulan, analisis, pengolahan, dan penafsiran data dari angka-angka yang menjelaskan data atau hasil pengamatan.

### 2.9.1 Analisis Parametrik

Sebelum akan melakukan pengujian, ada beberapa hal yang harus dipenuhi persyaratan analisis terlebih dahulu, dengan asumsi bahwa data harus:

- a. Dipilih secara acak (*random*).
- b. Homogen, artinya data yang dibandingkan harus sejenis atau bersifat homogen, maka perlu uji homogenitas.
- c. Bersifat linier, artinya data yang dihubungkan berbentuk garis linier, maka perlu uji linieritas.
- d. Berpasangan, artinya data yang dihubungkan mempunyai pasangan yang sama sesuai dengan subjek yang sama, jika salah satu tidak terpenuhi untuk persyaratan analisis korelasi atau regresi tidak dapat dilakukan (Riduwan, 2001:115).

Dengan demikian pentingnya uji homogenitas dan linieritas adalah berkaitan dengan syarat dilakukan uji parametrik.

#### 1. Uji Asumsi Homogenitas

Uji asumsi homogenitas adalah uji perbedaan antara dua kelompok, yaitu dengan melihat perbedaan varians kelompoknya. Pengujian ini dimaksudkan untuk memperlihatkan bahwa dua atau lebih kelompok data sampel berasal dari populasi yang memiliki variansi yang sama. Pengujian homogenitas varians suatu kelompok data, dapat dilakukan dengan cara Uji Fisher karena hanya terdiri dari dua kelompok data, dimana rumus Uji Fisher ini adalah:

$$F_{hitung} = \frac{\text{varian terbesar}}{\text{varian terkecil}} \quad (2.11)$$

Dengan varian ( $S^2$ ) dari 32 standar X dan Y adalah sebagai berikut:

$$S_X^2 = \frac{\sqrt{n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}}{n(n-1)} \quad (2.12)$$

$$S_Y^2 = \frac{\sqrt{n\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2}}{n(n-1)} \quad (2.13)$$

Dengan:

$S_X^2$  = Standar kesalahan dari b

$S_Y^2$  = Kesalahan standar estimasi

X = Variabel bebas (*independent variable*)

Y = Variabel terikat (*dependent variable*)

n = Jumlah data

Kriteria Pengujian:

- Jika  $F_{hitung} \geq F_{tabel} (0,05;dk1;dk2)$ , maka  $H_0$  ditolak (homogen).
- Jika  $F_{hitung} < F_{tabel} (0,05;dk1;dk2)$ , maka  $H_0$  diterima.

## 2. Uji Asumsi Linieritas

Asumsi linieritas adalah asumsi yang menyatakan bahwa hubungan antar variabel yang hendak dianalisis itu mengikuti garis lurus. Artinya peningkatan atau penurunan kualitas di satu variabel, akan diikuti secara linier oleh peningkatan atau penurunan kualitas di variabel yang lainnya. Jika nilai  $F_{hitung}$  lebih kecil dari  $F_{tabel}$  maka ada hubungan yang linier secara signifikan antara variabel bebas dan variabel terikat. Tetapi jika nilai  $F_{hitung}$  lebih besar dari  $F_{tabel}$ , maka tidak ada hubungan yang linier secara signifikan antara variabel bebas dan variabel terikat. Kuatnya hubungan antara dua variabel belum tentu diikuti oleh kuatnya estimasi hubungan kedua variabel tersebut. Rumus yang digunakan dalam asumsi linier adalah:

$$F = \frac{RJK_{tc}}{RJK_E} \quad (2.14)$$

$$JK_{reg(a)} = \frac{(ZF)^2}{n} \quad (2.14a)$$

$$JK_{reg(b/a)} = b \cdot \Sigma X \cdot Y - \frac{ZKZF}{n} \quad (2.14b)$$

$$JK_{res} = \Sigma Y^2 - JK_{reg(b/a)} - JK_{reg(a)} \quad (2.14c)$$

$$RJK_{reg(b/a)} = JK_{reg(b/a)} \quad (2.14d)$$

$$RJK_{reg} = JK_{reg(a)} \quad (2.14e)$$

$$RJK_{res} = \frac{JK_{res}}{n-2} \quad (2.14f)$$

$$JK_E = \Sigma_k \left( \Sigma Y^2 - \frac{(ZF)^2}{n} \right) \quad (2.14g)$$

$$JK_{TC} = JK_{res} - JK_E \quad (2.14h)$$

$$RJK_{TC} = \frac{JK_{TC}}{k-2} \quad (2.14i)$$

$$RJK_E = \frac{JK_E}{n-k} \quad (2.14j)$$

Dengan:

$RJK_{TC}$  = rata-rata jumlah kuadrat tuna cocok

$RJK_E$  = rata-rata jumlah kuadrat error

$JK_{reg(a)}$  = jumlah kuadrat regresi (a)

$JK_{reg(b/a)}$  = jumlah kuadrat regresi (b | a)

$JK_{res}$  = jumlah kuadrat residu

$RJK_{reg(b/a)}$  = rata-rata jumlah kuadrat regresi (b | a)

$RJK_{reg(a)}$  = rata-rata jumlah kuadrat regresi (a)

$JK_{TC}$  = jumlah kuadrat tuna cocok

$JK_E$  = jumlah kuadrat error

$RJK_{TC}$  = rata-rata jumlah kuadrat tuna cocok

$RJK_E$  = rata-rata jumlah kuadrat error

## 2.9.2 Analisis Regresi Sederhana

Analisis regresi sederhana adalah metode statistik yang dapat digunakan untuk mempelajari hubungan antar sifat permasalahan yang sedang diselidiki. Prediksi jumlah bangkitan dan tarikan dengan metode regresi memiliki dua variabel yaitu variabel dependen atau variabel terikat (Y) dan variabel independen atau variabel bebas (X). Hubungan tersebut secara umum dapat dinyatakan dalam persamaan linier berikut (Tamin, 2000):

$$Y = a + bX \quad (2.15)$$

Dimana:

Y = Variabel Dependen (Terikat)

X = Variabel Independen (Bebas)

a = Konstanta regresi

b = Koefisien Regresi

N = Jumlah Data Pengamatan

Nilai parameter a (Nilai Konstanta) dan b (Nilai Koefisien Regresi) dapat dicari dengan metode sebagai berikut yaitu:

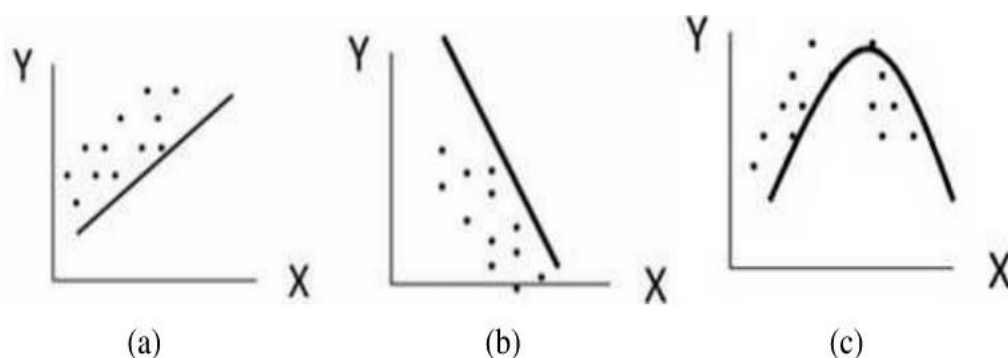


$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{N(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (2.16)$$

$$b = \frac{N(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{N(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (2.17)$$

### 2.9.3 Diagram Pancar

Dalam analisis data sering di lakukan pembuatan grafik untuk mewakili hubungan suatu rangkaian data yang diberikan dalam suatu koordinat x-y. grafik ini disebut diagram pancar, yang menunjukkan titik-titik tertentu. Sesudah grafik terbentuk diharapkan dapat mewakili titik-titik data tersebut. Macam-macam bentuk penyebaran data pada grafik yang membentuk kurva linier ataupun non-linier.



(Sumber: Sugiyono, 2010)

**Gambar 2. 13** Diagram Pancar

#### 1. Kurva linier positif:

Jika semua titik (X,Y) pada diagram pancar mendekati bentuk garis lurus dan jika arah perubahan kedua variabel sama → jika X naik, Y juga naik.

#### 2. Kurva linier negatif:

Jika arah perubahan kedua variabel tidak sama → jika X naik, Y turun.

#### 3. Kurva non linier:

Jika semua titik (X,Y) pada diagram pancar tidak membentuk garis lurus.

### 2.9.4 Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi merupakan nilai yang bertujuan untuk mengukur kuat atau tidaknya hubungan linier antar dua variabel. Persamaan teoritik yang dapat

digunakan untuk mengukur hubungan linier antara variabel X dan Y adalah koefisien korelasi pearson (R). Koefisien korelasi tersebut didefinisikan sebagai:

$$r = \frac{n \sum X.Y - \sum X \cdot \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2) \cdot (n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (2.18)$$

Dengan:

n = Jumlah data

Y = Variabel terikat (*dependen variable*)

X = Variabel bebas (*independent variable*)

Nilai koefisien korelasi harus terdapat batas-batas  $-1 < r < 1$ . Bila r mendekati -1 atau 1, maka dapat dikatakan bahwa ada hubungan yang erat antara variabel bebas dan variabel terikat. Bila r mendekati 0, maka dapat dikatakan bahwa hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat sangat rendah atau bahkan tidak ada.

**Tabel 2. 13** Nilai Interpretasi Terhadap Koefisien Korelasi

Interval Koefesien	Tingkat Hubungan
0,00-0,199	Sangat rendah
0,20-0,399	Rendah
0,40-0,599	Cukup Kuat
0,60-0,799	Kuat
0,8-1,000	Sangat kuat

(Sumber: Sugiyono, 2010)

**Tabel 2. 14** Nilai Koefisien Korelasi dan Kekuatan Hubungan Antar Variabel

Nilai Koefesien Korelasi	Keterangan
1	Hubungan positif sempurna
0,6 – 1	Hubungan langsung positif baik
0 - 0,6	Hubungan langsung positif lemah
0	Tidak terdapat hubungan linier
-0,6 – 0	Hubungan langsung negatif lemah
-1 – (-0,6)	Hubungan langsung negatif baik
-1	Hubungan negatif sempurna

(Sumber: Soewarno, 1995)

### 2.9.5 Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi adalah besaran yang akan mengukur ketetapan garis regresi. Koefisien determinasi menunjukkan persentase besarnya variabilitas dalam data yang dijelaskan oleh model regresi. Simbol yang digunakan adalah  $R^2=0$ , maka antara variabel tidak memiliki pengaruh.  $R^2$  semakin kecil, maka pengaruh hubungan antara-antara variabel lemah. Semakin besar nilai  $R^2$ , semakin baik model regresi yang diperoleh.

Rumus koefisien determinasi sebagai berikut:

$$R^2 = \left( \frac{n \sum X.Y - \sum X \cdot \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2) \cdot (n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \right) \quad (2.19)$$

Dengan:

n = Jumlah data

Y = Variabel terikat (dependent variable)

X = Variabel bebas (independent variable)

**Tabel 2. 15** Akurasi Regresi Linier Berdasarkan Koefisien Determinasi  $R^2$

Nilai $R^2$	Akurasi Model Regresi
<0,25	Tidak Baik
0,25-0,55	Relatif Baik
0,56-0,75	Baik
>0,75	Sangat baik

(Sumber: Marto, 1996)

### 2.9.6 Kesalahan Standar Estimasi

Ketepatan persamaan estimasi dapat dicari dengan mengukur besar kecilnya kesalahan standar estimasi. Semakin kecil nilai kesalahan standar estimasi maka semakin tinggi ketepatan persamaan estimasi dihasilkan untuk menjelaskan nilai variabel yang sesungguhnya. Dan sebaliknya, semakin besar nilai kesalahan standar estimasi maka semakin rendah ketepatan persamaan estimasi yang dihasilkan untuk menjelaskan nilai variabel dependen yang sesungguhnya. Kesalahan standar estimasi dapat ditentukan dengan persamaan (2.20):

$$Se = \frac{\sqrt{\sum Y^2 - \alpha \sum Y - b \sum X.Y}}{n - 2} \quad (2.20)$$

Dengan:

- Se = Kesalahan Standar Estimasi
- Y = Variabel terikat (*dependent variable*)
- X = Variabel bebas (*independent variable*)
- a = Konstanta
- b = Koefisien Regresi
- n = Jumlah Data

### 2.9.7 Pengujian Hipotesis

Rancangan pengujian hipotesis ini dinilai dengan penetapan hipotesis nol dan hipotesis alternatif, penelitian uji statistik dan perhitungan nilai uji statistik, perhitungan hipotesis, penetapan tingkat signifikan dan penarikan kesimpulan. Hipotesis yang akan digunakan dalam penelitian ini berkaitan dengan ada tidaknya pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Hipotesis nol ( $H_0$ ) tidak dapat pengaruh yang signifikan dan Hipotesis alternatif ( $H_a$ ) menunjukkan adanya pengaruh antara variabel bebas dan variabel terikat. Untuk menguji hipotesis, menggunakan uji t.

Uji t merupakan uji yang menilai apakah mean dan keragaman dari dua kelompok berbeda secara statistik satu sama lain. Analisis ini digunakan apabila kita ingin membandingkan mean dan keragaman dari dua kelompok data, dan cocok sebagai analisis dua kelompok rancangan percobaan acak. Untuk menguji hipotesis digunakan statistik yang dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$t_{hitung} = \frac{b}{Sb} \quad (2.21)$$

$$Sb = \frac{Se}{\sqrt{\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n}}} \quad (2.22)$$

Dengan:

- b = Koefisien regresi
- Sb = Standar eror dari b
- Se = Kesalahan standar estimasi
- X = Variabel bebas (*independent variabel*)
- n = Jumlah data

Nilai  $t$  hasil perhitungan ini selanjutnya dibandingkan dengan  $t_{table}$  dengan menggunakan tingkat kesalahan 0,05. Kriteria yang digunakan sebagai dasar perbandingan sebagai berikut:

- $H_0$  diterima jika nilai  $-t_{tabel} < thitung < t_{tabel}$
- $H_0$  ditolak jika nilai  $thitung > t_{tabel}$  atau  $thitung < -t_{tabel}$

Bila terjadi penerimaan  $H_0$  maka dapat disimpulkan suatu pengaruh adalah tidak signifikan, sedangkan bila  $H_0$  ditolak artinya suatu pengaruh adalah signifikan.

**Tabel 2. 16** Tabel Distribusi  $t$  (Titik Persentase Distribusi  $t$  ( $df = 1-200$ ))

$df$	$P_t$	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
		0.50	0.20	0.10	0.050	0.02	0.010	0.002
1		1.00000	3.07768	6.31375	12.70620	31.82052	63.65674	318.30884
2		0.81650	1.88562	2.91999	4.30265	6.96456	9.92484	22.32712
3		0.76489	1.63774	2.35336	3.18245	4.54070	5.84091	10.21453
4		0.74070	1.53321	2.13185	2.77645	3.74695	4.60409	7.17318
5		0.72669	1.47588	2.01505	2.57058	3.36493	4.03214	5.89343
6		0.71756	1.43976	1.94318	2.44691	3.14267	3.70743	5.20763
7		0.71114	1.41492	1.89458	2.36462	2.99795	3.49948	4.78529
8		0.70639	1.39682	1.85955	2.30600	2.89646	3.35539	4.50079
9		0.70272	1.38303	1.83311	2.26216	2.82144	3.24984	4.29681
10		0.69981	1.37218	1.81248	2.22814	2.76377	3.16927	4.14370
11		0.69745	1.36343	1.79588	2.20099	2.71808	3.10581	4.02470
12		0.69548	1.35622	1.78229	2.17881	2.68100	3.05454	3.92963
13		0.69383	1.35017	1.77093	2.16037	2.65031	3.01228	3.85198
14		0.69242	1.34503	1.76131	2.14479	2.62449	2.97684	3.78739
15		0.69120	1.34081	1.75305	2.13145	2.60248	2.94671	3.73283
16		0.69013	1.33676	1.74588	2.11991	2.58349	2.92078	3.68615
17		0.68920	1.33338	1.73961	2.10982	2.56693	2.89823	3.64577
18		0.68836	1.33039	1.73406	2.10082	2.55238	2.87844	3.61048
19		0.68762	1.32773	1.72913	2.09302	2.53948	2.86093	3.57940
20		0.68695	1.32534	1.72472	2.08596	2.52798	2.84534	3.55181
21		0.68635	1.32319	1.72074	2.07961	2.51765	2.83136	3.52715
22		0.68581	1.32124	1.71714	2.07387	2.50832	2.81876	3.50499
23		0.68531	1.31946	1.71387	2.06866	2.49987	2.80734	3.48496

(Sumber: Pearson, *Biometrika Tables For Statisticians*, Vol 2 (1972), Table 5 page 178, by permission)

Tabel 2. 17 Tabel Distribusi F

$\nu_1 \backslash \nu_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251	252	253	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.37
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

(Sumber: Pearson, *Biometrika Tables For Statisticians*, Vol (1972), Table 5, page 178, by permission).