

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Zefania Iqnes Freddy, Niken Silmi Surjandari, Noegroho Dajrwanti (2014), berdasarkan jurnal Matriks Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret dengan judul ; STABILISASI TANAH GAMBUT MENGGUNAKAN CAMPURAN GYPSUM SINTETIS ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) DAN GARAM DAPUR ( $\text{NaCl}$ ) DITINJAU DARI PENGUJIAN TRIAKSIAL UU. Tanah gambut dikategorikan tanah lunak yang berarti tanah dalam keadaan kurang baik dan bermasalah apabila akan dibangun suatu konstruksi perkerasan jalan raya di atasnya. Perlu adanya upaya peningkatan daya dukung tanah gambut salah satunya yaitu stabilisasi tanah secara kimiawi, dengan cara menambahkan zat aditif (bahan tambah) yang dapat bereaksi dengan tanah. Pada penelitian ini bahan tambah yang digunakan adalah gypsum sintetis ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dan garam dapur ( $\text{NaCl}$ ). Reaksi yang terjadi disini diamati dan dianalisis pada perubahan nilai parameter Triaksial UU Pengujian ini dilaksanakan di laboratorium mekanika tanah Universitas Sebelas Maret Surakarta. Besar persentase gypsum sintetis yaitu 10%, 15%, 20% dan garam dapur sebesar 2%, 4%, 6%. Variasi campuran dibuat empat varian yaitu tanah gambut asli, tanah gambut ditambah gypsum sintetis, tanah gambut ditambah garam dapur dan tanah gambut ditambah gypsum sintetis dan garam dapur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kapasitas ultimit yang terbesar berada pada campuran, tanah gambut + 15% gypsum + 4%  $\text{NaCl}$  sebesar 8.42 gr/cm<sup>2</sup>.

Ganda Surahman (2017), merupakan tugas akhir mahasiswa Teknik Sipil STT-PLN Jakarta dengan judul ; PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR DAN KAOLIN DITINJAU DARI KUAT GESER TANAH RESIDUAL PADA PROYEK RENOVASI STADION RENANG KAWASAN GELORA BUNG KARNO. Tanah residual pada proyek renovasi stadion renang gelora bung karno termasuk tanah lempung

coklat serta memiliki kohesi, sudut geser yang sangat kecil dan memiliki indeks plastisitas yang cukup tinggi. Keadaan ini membuat tanah pada sekitar stadion renang tidak stabil. Oleh karena itu, perlu dilakukannya perbaikan tanah pada kawasan stadion renang. Tujuannya agar tanah residual pada proyek renovasi stadion renang kawasan gelora bung karno dapat digunakan kembali. Metode memperbaiki keadaan tanah yang digunakan yaitu dengan cara kimiawi. Penelitian ini menggunakan kapur dan kaolin sebagai bahan campuran, dengan variasi kapur 3 %, 6 %, 9 %, 12 %, 15 % dan kaolin 10% dari berat sampel tanah dengan lama pemeraman 4 hari, 7 hari dan 14 hari. Dari variasi campuran kapur 3%, 6%, 9%, 12%, 15% dan kaolin 10% dari berat sampel tanah, didapatkan nilai persentase optimum penambahan kapur dan kaolin adalah pada tanah dengan campuran 9% kapur dan 10% kaolin dengan lama pemeraman 14 hari. Dimana tanah dengan campuran 9% kapur dan 10% kaolin dengan lama pemeraman 14 hari memiliki *specific gravity* 1,9220, batas cair 50,7290 %, batas plastis 34,1463 %, indeks plastisitas 16,5827 %, batas susut 20,4097 %, kohesi 1,1499 kg/cm<sup>2</sup>, dan nilai sudut geser 38°39'36". Dari hasil penelitian ini penggunaan kapur dan kaolin sebagai bahan perbaikan tanah mampu memperbaiki kondisi tanah residual pada proyek renovasi stadion renang kawasan gelora bung karno.

Wiwik Rahayu, Puspita Lisdiyanti, Rendy Eka Pratama (2015), berdasarkan index jurnal ITB ([journals.itb.ac.id](http://journals.itb.ac.id)) dengan judul ; TANAH GAMBUT MELALUI UJI TRIAKSIAL CONSOLIDATED UNDRAINED DAN UNCONSOLIDATED UNDRAINED Semakin berkembangnya zaman, membuat pembangunan infrastruktur harus dapat dilakukan di berbagai tempat, begitu juga pada tanah gambut. Akan tetapi, tanah gambut merupakan salah satu jenis tanah yang memiliki kekuatan yang buruk dan kurang baik sebagai dasar konstruksi sipil. Oleh karena itu, diperlukan sebuah usaha untuk stabilisasi atau meningkatkan daya dukung tanah gambut, yaitu pada penelitian ini akan dilakukan dengan penambahan mikroorganisme selulolitik pada tanah gambut. Tujuannya

adalah untuk menguraikan atau mendekomposisi senyawa organik berupa serat dan selulosa menjadi senyawa anorganik yang lebih sederhana dan padat. Mikroorganisme yang digunakan adalah jenis bakteri, jamur, dan aktinomiset. Volume mikroorganisme yang ditambahkan adalah sebesar 10% dari volume tanah dalam wadah per tahap dari total 2 tahap injeksi dan masa fermentasi selama 65 hari. Pengujian kekuatan tanah yang dilakukan adalah uji triaksial Consolidated Undrained (CU) dan Unconsolidated Undrained (UU). Setelah dilakukan injeksi mikroorganisme dan fermentasi, didapatkan hasil peningkatan parameter kuat geser tanah gambut yaitu, nilai kohesi dan sudut geser.

## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1 Sistem Klasifikasi Kesatuan Tanah

#### *(Unified soil classification system)*

Sistem klasifikasi berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas adalah sistem klasifikasi kesatuan tanah. Percobaan laboratorium yang dipakai adalah analisis ukuran butir dan batas-batas Atterberg. Semua tanah diberi dua huruf penunjuk berdasarkan hasil-hasil percobaan ini. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*), yaitu : tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal **G**, adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan **S**, adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine grained soil*), yaitu : tanah dimana lebih dari 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal **M** untuk lanau (*silt*) anorganik, **C** untuk lempung (*clay*) anorganik dan **O** untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol **PT** digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck* dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi **USCS**, adalah :

- W** = tanah dengan gradasi baik (*well graded*)  
**P** = tanah dengan gradasi buruk (*poorly graded*)  
**L** = tanah dengan plastisitas rendah (*low plasticity*),  $LL < 50$   
**H** = tanah dengan plastisitas tinggi (*high plasticity*),  $LL > 50$

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

1. persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (ini adalah fraksi halus)
2. persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
3. koefisien keseragaman ( $C_u$ ) dan koefisien gradasi ( $C_c$ ) untuk tanah dimana 0 – 12 % lolos ayakan No. 200
4. batas cair ( $LL$ ) dan indeks plastisitas ( $IP$ ) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah dimana 5 % atau lebih lolos ayakan No. 200).

Bilamana persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 adalah antara 5 sampai 12 %, symbol ganda seperti : *GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SM, SW-SC, SP-SM* dan *SP-SC* diperlukan, secara rinci dibarikan dalam Tabel 2.1.

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 2.1. Garis diagonal pada bagan plastisitas terdapat garis *A* dan *U*, ditunjukkan pada Gambar 1.2 . Garis *A* dan *U* tersebut diberikan dalam persamaan :

$$A \longrightarrow PI = 0,73.(LL - 20)$$

$$U \longrightarrow PI = 0,9 (LL - 8)$$

Keterangan :

PI = Plasticity Index(%)

LL = Liquid Limit(%)

Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi USCS.

Divisi		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi		
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Lebih dari 50% butiran koarsa (4,75 mm) saringan no. 200</p>	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	
			GC		Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)		SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 60$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3  Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		
		Pasir bersih kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol ganda	
			SC	Pasir berlanau, campuran pasir-lempung		
						Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)</p>	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau bertempung	<p>Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas atterberg yang termasuk dalam daerah yang arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.</p> <p>Batas Cair LL (%) Garis A: <math>PI = 0,73 (LL - 20)</math></p>		
		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 : U.S Departement of Commerce. (1967)

### 2.2.2 Tanah Gambut

Di dalam Taksonomi Tanah, tanah gambut atau Histosol didefinisikan sebagai tanah yang mengandung bahan organik lebih dari 20 persen (bila tanah tidak mengandung liat), bila tanah mengandung liat 60 persen atau lebih maka kandungan bahan organik tanah lebih dari 30 persen dan memiliki ketebalan lebih dari 40 cm. Gambut adalah bahan organis setengah lapuk berserat atau suatu tanah yang mengandung bahan organis berserat dalam jumlah besar. Gambut mempunyai angka pori yang sangat tinggi dan sangat kompresibel (Zefania dkk., 2014).

Definisi tanah gambut berdasarkan ASTM D4427-92 (2002) adalah tanah yang memiliki kandungan organik tinggi yang terjadi atas dekomposisi material tumbuhan dan dibedakan dari material tanah organik lainnya dari kandungan abunya, <25% abu dari berat keringnya. ASTM D4427-92 (2002) mengklasifikasikan tanah gambut berdasarkan kandungan serat, kandungan abu (ASTM D2974), tingkat keasaman (ASTM D2976), dan tingkat absorpsinya (ASTM D2980).

Tabel 2.2. Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Berat Jenis

Macam Tanah	Berat Jenis Tanah (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 : Hary Christady 2002

Bimo Brata Adhitya (2007), tanah gambut digolongkan atas empat golongan, yaitu :

1. Tanah gambut yang berasal dari lumut
2. Tanah gambut berserat
3. Tanah gambut kayu-kayuan berasal dari batang, daun dan ranting
4. Tanah gambut sedimen berasal dari tumbuhan mikroskopik.

Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kadar serat, yaitu:

1. *Fibrous peat*, yaitu tanah gambut dengan kadar serat lebih besar atau sama dengan 20%. Tanah gambut ini mempunyai dua jenis pori yaitu; macropori (pori-pori antar serat) dan micropori (pori-pori yang ada didalam serat)
2. *Amorphous granular peat*, yaitu tanah gambut dengan kadar serat lebih kecil 20%. Tanah gambut ini mempunyai jenis yang terdiri dari butiran dengan ukuran koloidal (2p) dan sebagian besar porinya terserap di sekeliling permukaan butiran tanah tersebut.

klasifikasi tanah gambut berdasarkan material pembentuk tanpa memperlihatkan proses pembusukannya, yaitu:

1. *Sedimentary peat*
2. *Fibrous peat*
3. *Woody peat*.

Pembagian tanah gambut didasarkan pada perbedaan bentuk dan kondisi geografis, yaitu:

1. *Topogeneous peat* atau *marsh peat*, yaitu tanah gambut yang mengendap di bawah muka air tanah. Proses terbentuknya topogeneous. peat akibat terjadinya depresi topografi.
2. *Ombrogenous peat*, yaitu tanah gambut yang mengendap di atas muka air tanah. Pada umumnya jenis gambut ini dibentuk oleh

pertumbuhan jenis pengaruh hujan.

ASTM D2607-69 (1989), mengklasifikasi tanah gambut berdasarkan kandungan bahan organik dan kadar serat, yaitu:

1. *Sphagnum moss peat (peat moss)*, bila kandungan serat lebih besar atau sama dengan 2/3 berat kering
2. *Hypnum mos -peat*, bila kandungan serat lebih besar atau sama dengan 1/3 berat kering
3. *Reed-sedge peat*, bila kandungan serat lebih besar atau sama dengan 1/3 dari reed-sedge dan serat-serat lain kering
4. *Peat humus*, bila kandungan serat lebih kecil 1/3 ~berat kering

Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kandungan seratnya, yaitu:

1. *Fibric*, yaitu tanah gambut dengan kadar serat > 67%,
2. *Hemic*, yaitu tanah gambut dengan kadar serat antara 33% dan 67%, dan
3. *Sapric*, yaitu tanah gambut dengan kadar serat < 33%.

Serat adalah material penyusun tanah gambut yang merupakan senyawa C, dapat berupa dalam bentuk lignin atau selulosa. Sedangkan klasifikasi tanah gambut berdasarkan kandungan abunya, yaitu:

1. *Low ash*, yaitu tanah gambut dengan kadar abu < 5%,
2. *Medium ash*, yaitu tanah gambut dengan kadar abu antara 5% dan 15%,
3. *High ash*, yaitu tanah gambut dengan kadar abu > 15%.

Sedangkan klasifikasi tanah gambut berdasarkan tingkat asamnya, yaitu:

1. *Highly acidic*, yaitu tanah gambut dengan pH < 4.5,
2. *Moderately acidic*, yaitu tanah gambut dengan pH antara 4.5-5.5,
3. *Slightly acidic*, yaitu tanah gambut dengan pH antara 5.5-7, dan
4. *Basic*, yaitu tanah gambut dengan pH  $\geq 7$ .

Sedangkan klasifikasi tanah gambut berdasarkan tingkat absorpsinya, yaitu :

1. *Extremely absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air >1500%,
2. *Highly absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air 800%-1500%,
3. *Moderately absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air 300- 800%, dan
4. *Slightly absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air <300%.

Tabel 2.3 Klasifikasi tanah gambut

No.	BATASAN	
	A. Kadar Abu	
1.	Low Ash	< 5%
2.	Medium Ash	5% - 15%
3.	High Ash	> 15 %
	B. Kadar Serat	
1.	<i>Fabric</i> (Gambut mentah)	> 67%
2.	<i>Hemic</i> (Gambut Matang)	33% - 67%
3.	<i>Saptic</i> (Gambut Matang)	< 33%
	C. Daya serap terhadap air	
1.	Kecil	< 300%
2.	<i>Moderat (sedang)</i>	300 – 800%
3.	Tinggi	800-1500%
4.	Ekstrim	>1500

Sumber : ASTM D 4427 Tahun 1997

Bimo Brata Adhitya (2007) mengklasifikasikan tanah gambut menjadi 2 yaitu :

1. *Fibrous Peat* (gambut berserat) yang mempunyai kandungan serat 20% atau lebih. Jenis gambut ini mempunyai dua jenis pori yaitu pori antar serat dan pori yang ada dalam serat.
2. *Amorphous Granular Peat* yang mempunyai kandungan serat < 20%. Jenis gambut ini sebagian besar air porinya terserap di sekeliling permukaan butiran tanah gambut.

Gambut dapat ditemui di pegunungan, dataran tinggi dan rendah. Gambut terbentuk pada kondisi iklim yang berbeda-beda: tropis, sedang dan dingin. Tanah gambut adalah tanah yang perlu pengolahan yang lebih lanjut sebelum digunakan dalam konstruksi bangunan, dimana tanah yang akan dipakai untuk konstruksi harus dipadatkan demi memperoleh daya dukung tanah yang diinginkan.

### **2.2.3 Gypsum sintetis**

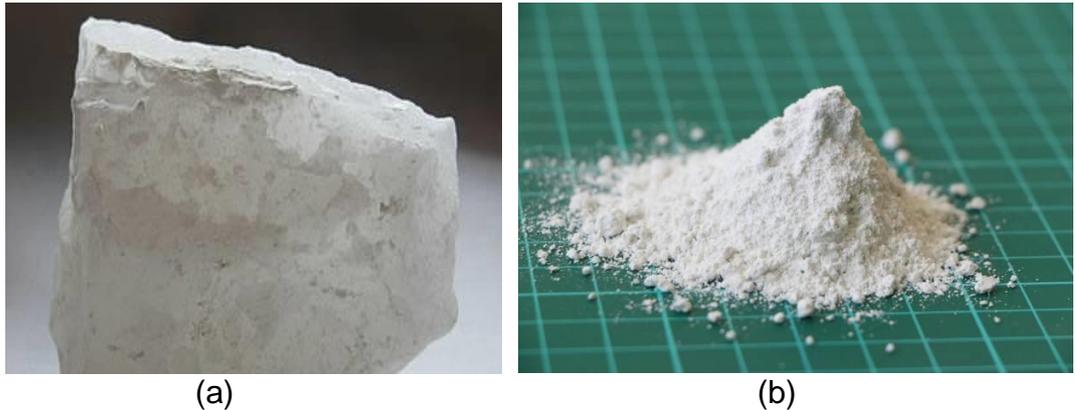
Gypsum sintetis merupakan salah satu material yang cukup efektif untuk proses stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dengan gypsum sintetis sangat lazim digunakan dalam proyek-proyek konstruksi dengan berbagai macam jenis tanah mulai dari tanah lempung biasa sampai tanah ekspansif. Gypsum sintetis yang biasa digunakan dalam stabilisasi adalah gypsum sintetis hidup  $\text{CaO}$  dan  $\text{Ca(OH)}_2$ . Gypsum sintetis yang digunakan dalam penelitian ini adalah gypsum sintetis bubuk ( $\text{CaO}$ ) yang tela dibakar sampai dengan suhu  $1000^{\circ}\text{C}$ . Gypsum sintetis hasil pembakaran apabila ditambah air akan mengembang dan retak retak. Banyak panas yang keluar selama proses ini, hasilnya adalah kalsium hidroksida. Apabila gypsum sintetis dengan mineral lempung atau mineral halus lainnya bereaksi, maka akan membentuk suatu gel yang kuat dan keras, yaitu kalsium silikat yang mengikat butir-butir atau partikel tanah (*Ingles dan Metcalf, 1972*).

Tabel 2.4 Komposisi kimia gypsum sintetis

Komponen		unit	Gypsum Sintetis
<i>Mineral Present</i>	Air	%	5,5
	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	%	99,6
	<i>Insoluble</i>	%	0,4
Kalsium		%	24,3
Sulfur		%	18,5
Nitrogen		ppm	970
Posfor		ppm	< 1
Kalium		ppm	< 74
Magnesium		ppm	200
Boron		ppm	13
Tembaga		ppm	< 0,38
Besi		ppm	150
Mangan		ppm	0,62
Molybdenum		ppm	3.2
Nikel		ppm	< 3
Zinc		ppm	1,2

Sumber: Chen & Warren, 2011

Gypsum berasal dari kata dalam bahasa Yunani yang artinya memasak. Disebut demikian sebab di daerah Montmartre, Paris, pada berabad abad yang lalu orang-orang membakar gypsum untuk berbagai keperluan, dan material tersebut kemudian hari disebut dengan plester dari Paris. Orang-orang di daerah itu juga memakai gypsum sebagai krim untuk kaki, sampo, dan untuk perawatan rambut. Gypsum merupakan mineral yang tidak larut dalam air dalam waktu yang lama, sehingga gypsum jarang ditemui dalam bentuk butiran atau pasir. Gypsum banyak ditemukan di berbagai daerah di dunia, yaitu Iran, Jamaika, Thailand, Spanyol (penghasil gypsum terbesar di Eropa), Inggris, Jerman, Italia, Manitoba, Ontario, Canada, New York, Michigan, Irlandia, Indiana, Texas, Iowa, Kansas, Oklahoma, Arizona, Colorado, New Mexico, Nevada, Utah, Paris, California, New South Wales, Kalimantan, dan Jawa Barat.



Gambar 2.1. Bongkahan Gypsum (a), Bubuk Gypsum (b)

Gypsum adalah salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang mendominasi. gypsum yang paling umum ditemukan adalah jenis hidrat kalsium sulfat hidrat dengan rumus kimia  $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ . Gypsum adalah salah satu dari beberapa mineral yang teruapkan. Contoh lain dari mineral-mineral tersebut ialah borat, karbonat, sulfat, dan nitrat. Mineral-mineral tersebut diendapkan di dasar laut, danau, gua. karena konsentrasi ion-ion oleh penguapan. Ketika air panas atau air memiliki kadar garam yang tinggi gypsum berubah menjadi basanit ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ) atau juga menjadi anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ). Dalam keadaan seimbang, gypsum yang berada di atas suhu  $108^\circ\text{F}$  atau  $42^\circ\text{C}$  dalam air murni akan berubah menjadi anhidrit. Gypsum secara umum mempunyai kelompok yang terdiri dari gypsum batuan, gipsit alabaster, satin spar, dan selenit. Gypsum juga dapat diklasifikasikan berdasarkan tempat terjadinya, yaitu endapan danau garam, berasosiasi dengan belerang, terbentuk sekitar fumarol vulkanik, efflorescence pada tanah atau gua-gua kapur, tudung kubah garam, penudung oksida besi (gossan) pada endapan pirit di daerah batu gamping.

Gypsum terbentuk dalam berbagai kondisi, kemurnian dan ketebalan yang bervariasi. Gypsum merupakan garam yang mengendap akibat proses evaporasi air laut diikuti oleh anhidrit dan halit, ketika salinitas makin bertambah. Sebagai mineral evaporit, endapan gypsum berbentuk dari lapisan di antara batuan sedimen batu gamping, serpih

merah, batu pasir, lempung, dan garam batu, serta sering pula berbentuk endapan lensa-lensa dalam satuan-satuan batuan sedimen.

Penggunaan *gypsum* dapat digolongkan menjadi dua macam seperti dipaparkan dibawah ini.

- Yang belum mengalami kalsinasi dipergunakan dalam pembuatan semen Portland dan sebagai pupuk. Jenis ini meliputi 28% dari seluruh volume industri.
- Yang mengalami proses kalsinasi, sebagian besar digunakan sebagai bahan bangunan, bahan dasar untuk pembuatan kapur, tuangan logam, gigi palsu, bedak dan sebagainya. Jumlahnya meliputi 75% dari seluruh volume perdagangan. *Gypsum* sebagai perekat mineral mempunyai sifat yang lebih baik dibanding dengan perekat organik sebab tidak menimbulkan pencemaran udara, murah, tahan api, dan tahan terhadap zat kimia.

*Gypsum* mempunyai sifat cepat mengeras adalah sekitar 10 menit. Karena itu dalam pembuatan papan *gypsum* harus menggunakan bahan kimia untuk memperlambat proses pengerasan tanpa mengubah sifat *gypsum* sebagai perekat. Perlambatan tersebut dimaksudkan agar tersedia cukup waktu mulai dari tahap pencampuran bahan sampai tahap pengempakan. Waktu pengerasan *gypsum* bervariasi tergantung pada kandungan bahan dan airnya. Dalam proses pengerasan *gypsum* setelah dicampur dengan air maka terjadi hidratisasi yang menyebabkan kenaikan suhu. Kenaikan suhu tersebut tidak boleh melebihi suhu 400 C. Suhu yang lebih tinggi lagi akan mengakibatkan pengeringan *gypsum* dalam bentuk  $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$  sehingga mengurangi bobot air hidratisasi. Pengurangan tersebut akan menyebabkan berkurangnya kekokohan papan *gypsum*.

Keuntungan penggunaan *gypsum* dalam pekerjaan teknik sipil yaitu:

- a. *Gypsum* yang dicampur lempung dapat mengurangi retak karena sodium pada tanah tergantikan oleh kalsium pada *gypsum* sehingga pengembangannya lebih kecil.

- b. *Gypsum* dapat meningkatkan stabilitas tanah organik karena mengandung kalsium yang mengikat tanah bermateri organik terhadap lempung yang memberikan stabilitas terhadap agregat tanah.
- c. *Gypsum* meningkatkan kecepatan rembesan air, dikarenakan gypsum lebih menyerap banyak air.

#### 2.2.4 Kaolin

Kaolinite merupakan mineral dari kelompok kaolin, terdiri dari susunan satu lembaran silica tetraheda dan satu lembaran aluminium oktaedra, dengan satuan susunan setebal 7,2 angstrom ( 1 angstrom =  $10^{-10}$  m ). Kedua lembaran terikat bersama-sama, sedemikian rupa hingga ujung dari lembaran silica dan satu lembaran dari oktahedra membentuk sebuah lapisan tunggal dengan ikatan hydrogen. Pada kondisi tertentu, partikel *kaolinite* mungkin lebih dari seratus tumpukan yang sulit dipisahkan, sehingga mineral ini stabil dan air sulit masuk diantara lempengannya untuk menghasilkan pengembangan atau penyusutan pada sel satuannya.



Gambar 2.2 Bongkahan kaolin (a), Kaolin bubuk (b)

Kaolin merupakan masa batuan yang tersusun dari material lempung dengan kandungan besi yang rendah, dan umumnya berwarna putih atau agak keputihan. Kaolin mempunyai komposisi hidrous aluminium silikat, dengan disertai beberapa mineral penyerta. Proses pembentukan kaolin (*kaolinisasi*) dapat terjadi melalui proses pelapukan dan proses hidrotermal alterasi pada batuan beku felspartik, mineral-

mineral potas aluminium silika dan feldspar diubah menjadi kaolin. Endapan kaolin ada dua macam, yaitu : endapan residual dan sedimentasi. Mineral yang termasuk dalam kelompok kaolin adalah kaolinit, nakrit, dikrit, dan halloysit.

Dalam *Data Handbook for Clay Materials and Non-Metallis Material* oleh H. Van Olphen dan J.J. Fripiat disebutkan lempung kaolin terdiri dari kaolinite dengan komposisi 85% - 90% dan mineral lainnya yaitu, mica (8% - 12%), quartz (0,5% - 2%) dan feldspar (2% - 3%). Distribusi ukuran kaolin terdiri dari 78% clay dan 2% silt, keaktifan 0,28% dan *Specifik Gravity* sebesar 2,61.

Tabel 2.5 Hasil Analisa Kimia Bubuk Kaolin Mesh 325

Komponen	Komposisi Kimia (%) Kering	Komposisi Kimia (%) Hasil Uji XRF
SiO <sub>2</sub>	47,69	55,2134
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38,02	43,0692
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,7	0,8244
TiO <sub>2</sub>	0,19	0,2579
CaO	0,03	-
MgO	0,04	-
Na <sub>2</sub> O	<0,01	-
K <sub>2</sub> O	<0,01	0,6351
MnO <sub>2</sub>	<0,01	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,01	-
Hilang Pijar	13,03	-
Jumlah	100	100

Sumber : Ganda Surahman (Skripsi) : 2017

Kaolin banyak dipakai dalam berbagai industri, baik sebagai bahan baku utama maupun sebagai bahan pembantu, hal ini karena adanya sifat-sifat kaolin seperti kehalusan, kekuatan, warna, daya pengantar listrik/panas yang rendah, serta sifat lainnya. Dalam banyak industri, kaolin dapat berfungsi sebagai pelapis (*coater*), pengisi (*filler*), barang-barang tahan api dan isolator. Spesifikasi dari produk kaolin kami kebanyakan dapat diterima untuk aplikasi tersebut. Penggunaan kaolin yang utama adalah dalam industri kertas, keramik, cat, karet/ban, plastik, semen, dll.

## 2.3 Sifat Fisik Tanah

### 2.3.1 Pengujian Kadar Air

Pengujian ini untuk memeriksa banyaknya air dalam satu contoh tanah yang dinyatakan dalam persen %.

Rumus yang digunakan :

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% = \frac{WW - DW}{DW - TW} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- W = Kadar Air (%)
- Ww = Berat Air (gr)
- Ws = Berat Tanah Kering Open (gr)
- WW = Berat Tanah Basah + Berat Cawan (gr)
- DW = Berat Tanah Kering + Berat Cawan (gr)
- TW = Berat Cawan Kosong (gr)

### 2.3.2 Uji Berat Jenis Butir Tanah

Pengujian untuk menentukan berat jenis butir dari suatu contoh tanah, yang merupakan hasil bagi antara berat contoh tanah kering oven dengan volume butir-butir tanah tersebut diatas. Besarnya volume butir-butir tanah gambut diukur minyak tanah pada suhu 20<sup>0</sup> C. (ASTM D854 – 02).

Rumus yang digunakan :

$$\rho_{w,t} = m / (V_o (1 + \beta (t_1 - t_0))) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$M_{pw,t'} = M_p + (V_p * \rho_{w,t}) \dots\dots\dots(2.3)$$

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} \frac{M_s}{(M_{pw,t'} - (M_{pws,t} - M_s))} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

- $\rho_{w,t}$  = Massa Jenis Kerosin Pada test Temperatur
- m = Massa Kerosin (gr)
- V<sub>o</sub> = Volume Kerosin (ml)
- $\beta$  = Koefisien Volumetrik Kerosin
- t<sub>0</sub> = Temperatur Awal
- t<sub>1</sub> = Temperatur Akhir
- M<sub>pw,t'</sub> = Berat piknometer + berat kerosin yang memenuhinya pada suhu T C (gr)
- M<sub>p</sub> = Massa Piknometer (gr)

V <sub>p</sub>	= Volume Piknometer (ml)
M <sub>s</sub>	= Berat tanah oven (gr)
M <sub>pws,t</sub>	= Berat piknometer + tanah + Kerosin (gr) Pada test Temperature
G <sub>s</sub> (T <sup>0</sup> C)	= Berat jenis butir pada suhu T <sup>0</sup> C

### 2.3.3 Uji Gradasi Butir Tanah

Pengujian / percobaan untuk menentukan klasifikasi tanah dari ukuran-ukuran butirnya, mulai dari diameter 0,001 mm (Colloid) sampai dengan diameter 50,8 mm (Gravel ).

Ada dua tahapan pengujian, tahap pertama bagian kasar (coarser part), menggunakan ayakan (sieve) dari ukuran lubang 2,00 mm sampai dengan ukuran lubang 50,8 mm, tahap kedua bagian halus (finer part) dibagi dua cara pula, cara pertama menggunakan ayakan (sieve) dari ukuran lubang 0,074 mm sampai dengan lubang 2,00 mm, cara kedua dengan analisa kecepatan pengendapan butir-butir tanah, menggunakan alat ukur Berat Jenis cairan (hydrometer) untuk diameter butir tanah yang lebih kecil dari 0,074 mm. Penggambaran kurva gradasi butiran dari hasil percobaan untuk menentukan klasifikasi butir tanah.

Rumus yang digunakan :

$$Px' = \frac{W_{ox}}{W} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Px = 100\% - Px' \dots\dots\dots(2.6)$$

$$d = \sqrt{\frac{L}{T} \times \frac{30\eta}{980(G_s - G_T) \times \gamma_w}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

$P_{x'}$  = Banyaknya butir-butir tanah yang tertinggal di masing-masing ayakan dalam persen ( % )

$W_{ox}$  = Berat tanah kering yang tertinggal di masing-masing ayakan ( gr )

$W$  = Berat total tanah kering open ( gr )

$P_x$  = Banyaknya butir-butir tanah yang lolos ayakan dalam persen ( % )

$D$  = Diameter butir (mm)

$L$  = Jarak tempuh butir (cm)

$T$  = Waktu tempuh / pembacaan (menit)

$G_s$  = BD butiran

$G_T$  = BD air pada suhu  $T$

$\eta$  = Viscositas

$\gamma_w$  = BD air pada suhu 40 C

#### 2.3.4 Uji Atterberg

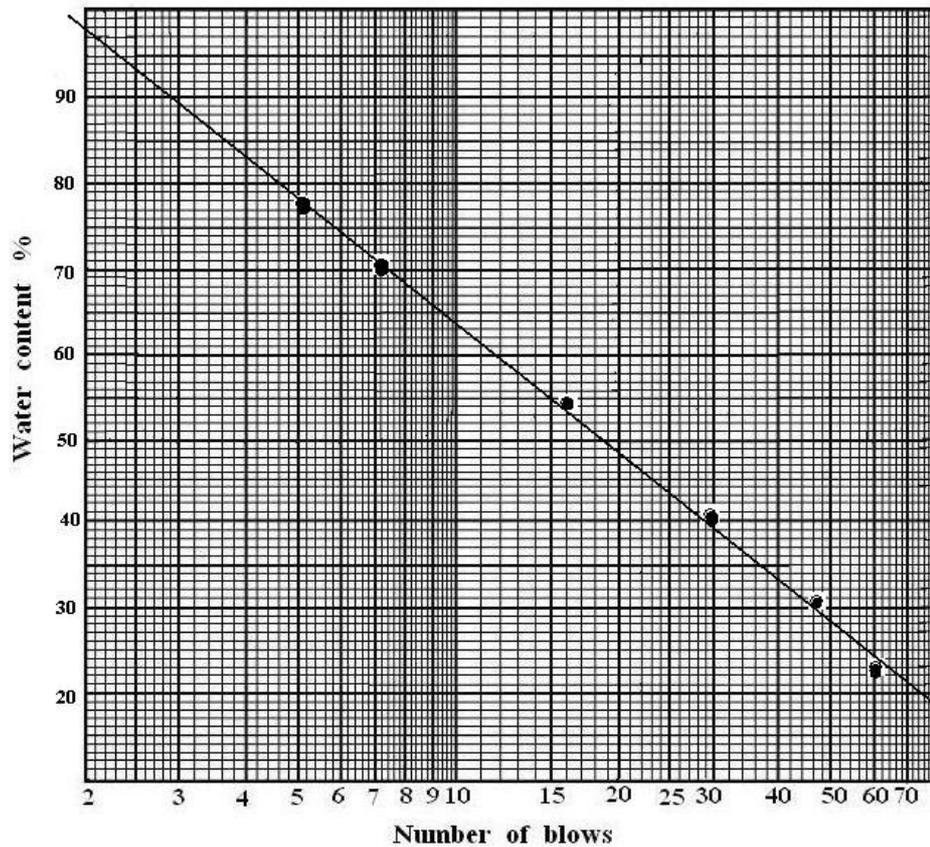
Pengujian Atterberg dibagi menjadi 3 pengujian yaitu :

Pengujian Batas Cair Tanah

Pengujian Batas Plastis tanah

Pengujian Batas Susut Tanah

Pengujian batas cair tanah adalah Pengujian/percobaan untuk menentukan besarnya kadar air pada batas antara kondisi tanah plastis menjadi cair (  $w_l$  ) dalam persen. Tanah dikatakan pada batas cair, apabila tanah (dalam cawan kuning), yang sudah dibentuk alur ( tanah hasil goresan / barutan ) dapat merapat atau berimpit kembali sepanjang  $\pm 1$  Cm pada ketukan ke 25 (N=25).



Gambar 2.3 Grafik Pengujian Batas Cair Tanah (sumber: pedoman praktikum mekanika tanah 1 2016)

Pengujian batas plastis tanah adalah Percobaan/pengujian untuk menentukan batas besarnya kadar air (wp), pada contoh tanah, dari kondisi semi plastis menjadi plastis dalam persen. Tanah dikatakan pada batas plastis, apabila tanah tersebut mulai menunjukkan patah-patah sepanjang  $\pm 1,5$  Cm dengan  $\varnothing$  3 mm, pada saat dilakukan penggilingan/memilin-milin tanah tersebut, dengan telapak tangan diatas plat kaca plastic limit.

Rumus yang digunakan :

$$PI = LL - PL$$

(2.8)

Dimana :

- PI = Plastic Index
- LL = Batas cair tanah
- PL = Batas plastis tanah

Pengujian batas susut tanah adalah Pengujian batas susut tanah adalah pengujian untuk menentukan besarnya batas kadar air tanah, disaat volumenya tidak menyusut lagi (berkurang lagi ), walaupun kadar airnya dikurangi terus sampai kering atau pada saat kondisi semi plastis menjadi non plastis, kering/kaku. Dari hasil pengujian ini dapat juga dicari/dihitung besarnya angka perubahan susut (volume change/volumetric shrinkage), susut panjang (linier shrinkage), rasio susut (shrinkage ratio) dan berat jenis butir tanah.

Rumus yang digunakan :

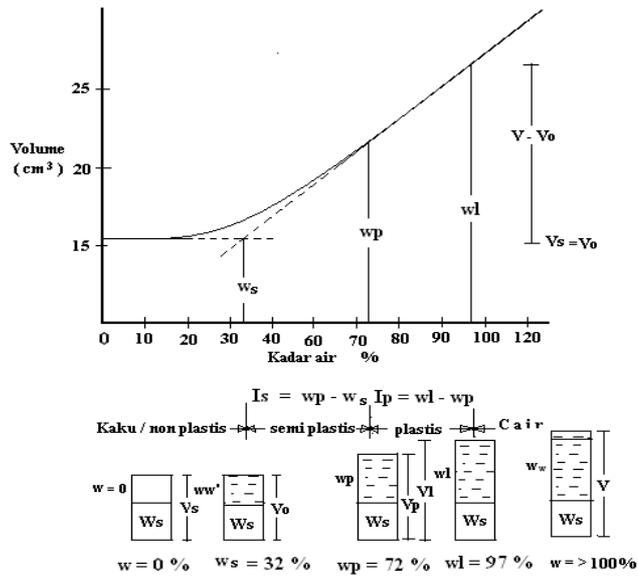
$$V = \frac{\text{Berat Air Raksa Dalam Dish}}{\text{Berat Jenis Air Raksa}} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$V_o = \frac{\text{Berat Air Raksa Tumpah}}{\text{Berat Jenis Air Raksa}} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$ws = w - \left\{ \frac{(V-V_o) \times \gamma_w}{W_s} \times 100\% \right\} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

- $V_o = V_s$  = Volume tanah kering (cm<sup>3</sup>)
- V = Volume tanah basah (cm<sup>3</sup>)
- ws = Kadar air batas susut (%)
- w = Kadar air (%)
- Ws = Berat butir tanah kering (gr)
- $\gamma_w$  = Berat volume air pada suhu 4<sup>0</sup> C



Gambar 2.4 Proses Terjadinya Shrinkage (sumber: pedoman praktikum mekanika tanah 1 2016)

## 2.3.5 Kuat Geser Tanah

### 2.3.5.1 Pengertian

Kekuatan geser tanah (*soil shear strength*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan maksimum tanah untuk bertahan terhadap usaha perubahan bentuk pada kondisi tekanan (*pressure*) dan kelembapan tertentu (*Ganda Surahman, 2017*). Kekuatan geser tanah dapat diukur di lapangan maupun di laboratorium. Pengukuran di lapangan antara lain menggunakan *vane-shear*, *plate load*, dan test penetrasi. Pengukuran di laboratorium meliputi penggunaan miniatur *vane shear*, *direct shear*, *triaxial compression*, dan *unconfined compression* (*Ganda Surahman, 2017*) dan *fall-cone soil shear strength*. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

- a. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
- b. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan oleh persamaan :

$$\tau = f(\sigma) \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana :

$\tau$  adalah tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan (failure), dan

$\sigma$  adalah tegangan normal pada saat kondisi tersebut.

definisi  $f(\sigma)$  sebagai berikut :

$$\tau = c + \sigma \text{tg } \varphi \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

$\tau$  = kekuatan geser tanah

$c$  = kohesi tanah

$\varphi$  = sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek intern

$\sigma$  = tegangan normal pada bidang runtuh.

### 2.3.5.2 Uji Triaksial

Pengujian triaksial merupakan pengujian kuat geser yang sering digunakan dan cocok untuk semua jenis tana. Keuntungan dari pengujian ini adalah bahwa kondisi pengaliran dapat dikontrol, tekanan air pori dapat diukur dan, bila diperlukan, tanah jenuh dengan permeabilitas rendah dapat dibuat terkonsolidasi. Dalam pengujian ini digunakan sebuah contoh berbentuk silinder dengan perbandingan panjang terhadap diameter sebesar 2. Dasar alat yang berbentuk lingkaran memiliki sebuah alas untuk meletakkan contoh tanah. Alat tersebut memiliki sebuah lubang masuk yang digunakan untuk mengalirkan air atau untuk pengukuran tekanan air pori. Yang merupakan badan dari inti alat tersebut adalah sebuah silinder tembus pandang yang ditutup oleh sebuah cincin dan penutup lingkaran atas.

Uji triaksial dibagi menjadi 3 macam :

#### *Uji Triaksial Takterkonsolidasi Takterdrainasi*

Pada percobaan ini air tidak diperbolehkan mengalir dari sampel tanah. Tegangan air pori biasanya tidak diukur pada percobaan semacam ini. Dengan demikian hanya kekuatan geser yang dapat ditentukan.

#### *Uji Triaksial Terkonsolidasi Takterdrainasi*

Pada percobaan ini sampel tanah diberi tegangan normal dan air diperbolehkan mengalir dari sampel. Tegangan normal ini bekerja sampai konsolidasi selesai, yaitu sampai tidak terjadi lagi perubahan pada isi sampel tanah. Kemudian jalan air dari sampel ditutup dan sampel diberikan tegangan geser secara tertutup. Tegangan normal masih tetap bekerja, biasanya tegangan air pori diukur selama tegangan geser diberikan.

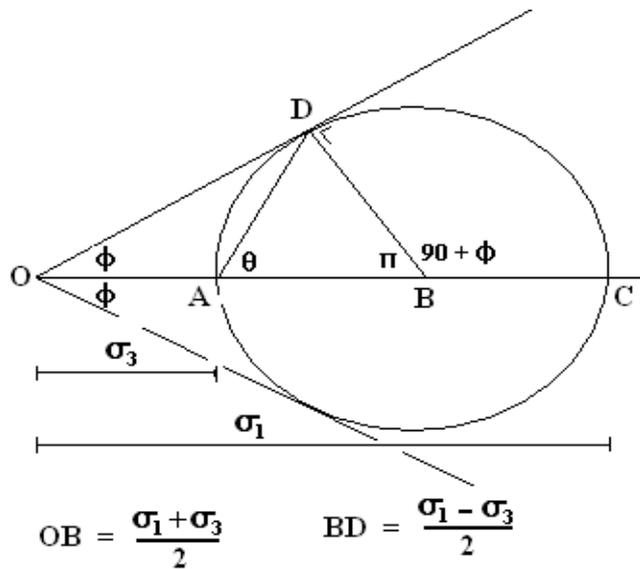
### *Uji Triaksial Terkonsolidasi Terdrainasi*

Pada percobaan ini sampel tanah diberikan tegangan normal dan air diperbolehkan mengalir sampai konsolidasi selesai. Kemudian teganga geser diberikan, dengan kata lain pergeseran dilakukan secara terbuka. Untuk menjaga tekanan air pori tetap nol, maka kecepatan percobaan harus lambat.

Hasil-hasil uji dapat disajikan sesuai dengan tegangan lingkaran *Mohr* untuk mendapatkan parameter kuat geser. Dalam penelitian kali ini menggunakan uji Triaksial Takterkonsolidasi Takterdrainasi.



Gambar 2.5 Alat uji Triaksial (sumber: *Laboratorium mekanika tanah jurusan teknik Sipil STT-PLN*)



Gambar 2.6 Lingkaran Mohr “kohesi = 0” (Sumber : Pedoman Praktikum Mekanika Tanah 1 2016)

Rumus yang digunakan :

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \left\{ k \times \left( 1 - \frac{\Delta h}{H} \right) \times P. \text{ring} \right\} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$e = \frac{Gs \times \gamma_w}{\gamma_d} - 1 \dots\dots\dots(2.15)$$

$$Sr = \frac{Gs \times w}{e} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

k = koefisien proving ring = 0,122294 (kg/cm<sup>2</sup>/1/100)

P.ring = Pembacaan dial gauge dalam ring

H = tinggi sampel

Δh = vertikal displacement

σ<sub>3</sub> = Tegangan Lateral (kg/cm<sup>2</sup>)

σ<sub>1</sub> = Tegangan aksial (kg/cm<sup>2</sup>)

σ<sub>1</sub> – σ<sub>3</sub> = Tegangan deviator (kg/cm<sup>2</sup>)

e = angka pori

Sr = derajat kejenuhan (%)