

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan tol Gempol – Pasuruan merupakan jalan tol yang menghubungkan daerah Gempol, Sidoarjo dengan kota Pasuruan. Jalan tol Gempol - Pasuruan memiliki panjang 34,15 km yang dibagi menjadi 3 seksi yaitu, seksi 1 Gempol – Rembang (13,90 km), Bangil – Rembang (8 km), seksi 2 Rembang – Pasuruan (6,6 km), dan seksi 3 Pasuruan – Grati (13,65 km). Dengan digunakannya lahan sebagai jalan tol, maka diharapkan tanah di daerah tersebut dapat menahan beban kendaraan yang besar. Akan tetapi seperti yang telah diketahui bahwa tanah Jalan Tol Gempol - Pasuruan memiliki jenis tanah kohesif dan konsistensi tanah yang tidak stabil akibat kandungan air tanah berlebih. Kondisi tanah di daerah Jalan Tol Gempol – Pasuruan yang kohesif ini pernah menyebabkan bencana pada bulan April 2015 karena longsornya tebing/plengsengan jalan tol setinggi 8 meter akibat hujan terus-menerus terjadi yang menyebabkan adanya variasi kadar air yang diterima oleh tanah tersebut.

Variasi kadar air dalam tanah akan terus terjadi sepanjang tahun, seiring dengan pergantian musim. Dalam sudut pandang mekanika tanah adanya variasi kadar air tersebut mengakibatkan adanya variasi parameter tanah dan variasi tegangan tanah. Variasi yang terjadi tersebut tentunya memberikan pengaruh pada struktur pondasi dan lainnya yang berinteraksi langsung dengan tanah. Keadaan tanah dan variasi kadar air yang terjadi seperti ini tentunya kurang baik dalam menerima beban bangunan sehingga perlu dilakukan pencarian kadar air optimum agar keadaan tanah dapat lebih stabil.

Untuk mengetahui besarnya daya dukung yang terjadi pada tanah yang bersifat kohesif, dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya, uji pemadatan, uji CBR, uji konsolidasi, uji triaksial, dan uji *unconfined*. Dengan berbagai macam persentase pencampuran kadar air (w) maka pengaruh pada daya dukung tanah akan didapatkan dengan hasil atau nilai yang bervariasi. Sehingga dapat diketahui apakah tanah di daerah tersebut memerlukan perbaikan atau tidak.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan di atas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik tanah lunak di daerah Jalan Tol Gempol – Pasuruan berdasarkan sifat fisik dan mekaniknya ?
2. Berapa besar penurunan pada tanah yang ditinjau ?
3. Berapa besar daya dukung yang terjadi akibat adanya variasi kadar air ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik tanah lunak di daerah Jalan Tol Gempol – Pasuruan berdasarkan sifat fisik dan mekaniknya.
2. Mengetahui besar penurunan tanah yang terjadi pada lokasi yang ditinjau.
3. Mengetahui besar daya dukung yang terjadi akibat adanya variasi kadar air.

1.4 Identifikasi Masalah

Mengidentifikasi besarnya nilai daya dukung tanah lunak di Jalan Tol Gempol – Pasuruan dengan adanya variasi kadar air pada pemadatan sangat penting. Identifikasi masalah tersebut antara lain sebagai berikut :

“semakin tinggi kadar air maka nilai daya dukung tanah lunak menjadi semakin rendah” dan “tanah di daerah Jalan Tol Gempol – Pasuruan perlu dilakukan perbaikan”

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Bagi praktisi lapangan, antara lain :
 - Sebagai informasi data karakteristik tanah lunak di daerah Jalan Tol Gempol – Pasuruan.
 - Dengan mengetahui hubungan antara kadar air dengan besarnya nilai daya dukung tanah, diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan solusi yang tepat, guna mengatasi permasalahan jalan di daerah tersebut.

2. Bagi kalangan akademisi, antara lain :
 - Sebagai referensi yang dapat digunakan sebagai acuan penelitian di bidang geoteknik dan mekanika tanah khususnya yang terkait dengan permasalahan tanah lunak.

1.6 Batasan Penelitian

Untuk memperjelas ruang lingkup penelitian, maka pembatasan masalah diberikan sebaagai berikut :

1. Benda uji digunakan sebagai sampel adalah tanah lunak keadaan terganggu maupun tidak terganggu di Jalan Tol Gempol – Pasuruan.
2. Penelitian hanya terbatas pada sifat fisik dan mekanis tanah lunak, tanpa menganalisis unsur kimia.
3. Dalam penelitian ini tidak ditinjau perubahan temperatur pada sampel tanah lunak.
4. Uji yang dilakukan adalah sebagai berikut :
 - a. Sifat fisik tanah asli (kadar air, *specific gravity*, analisa saringan, hidrometer, *density test*, uji permeabilitas, uji konsolidasi, uji batas – batas konsistensi (batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas)).
 - b. Uji pengembangan (*swelling*), dengan perendaman 4 hari.
 - c. Sifat mekanik tanah asli dan dengan variasi kadar air (uji triaksial, uji kuat tekan bebas).
 - d. Pengujian kepadatan tanah (uji pemadatan, uji CBR).
5. Metode pengujian kuat geser yang dilakukan adalah dengan uji kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Test*) dan uji triaksial (*Triaxial Compression Test*) dengan kondisi *Unconsolidated Undrained* (UU).
6. Perlakuan pada sampel :
 - Variasi kadar air yang digunakan adalah sampel dengan kadar air 20%, 25%, 31,25% (OMC), 32%, 33%, dan 38% dilihat dari kondisi hasil laboratorium.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

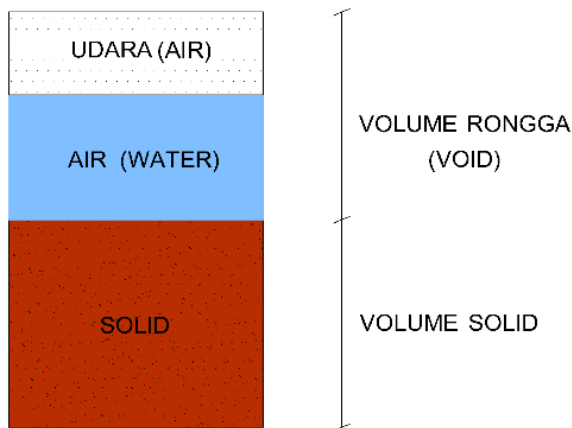
2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak bersegmentasi (terikat secara kimia) satu sama lain, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan bahan-bahan organik (yang berpartikel padat). Partikel tanah tersebut di atas terdapat dalam rentang ukuran yang cukup lebar, mulai dari berangkal (boulder) sampai serbuk batu halus. (Herlien, 2008). Tanah ini merupakan hal yang sangat penting sebagai bahan bangunan dalam pekerjaan teknik, yang berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Tanah terdiri dari berbagai macam partikel diantaranya potongan batuan ukuran besar (*boulders*), kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*), dan koloid (*colloids*).

Adapun menurut para ahli teknik sipil, tanah dapat didefinisikan sebagai :

1. Tanah adalah kumpulan butiran (agregat) mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat termaksud diaduk dalam air (Terzaghi, 1987).
2. Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai/lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan (Craig, 1991)
3. Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang terikat secara kimia satu dengan yang lain dan dari bahanbahan organik yang telah melapuk (partikel padat) disertai zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).
4. Secara umum tanah terdiri dari tiga bahan, yaitu butir tanahnya sendiri serta air dan udara yang terdapat dalam ruangan antar butir-butir tersebut (Wesley, 1997).



Gambar 2.1 Diagram Fase Tanah (Das, 1995)

Tanah terdiri dari tiga komponen yaitu udara, air dan bahan padat (Gambar 2.1). Udara dianggap tak mempunyai pengaruh teknis sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang di antara butiran-butiran (ruang ini disebut pori atau voids) sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya tanah dikatakan dalam kondisi jenuh. Sehingga jika beban diterapkan pada tanah kohesif yang jenuh maka pertama kali beban tersebut akan didukung oleh tekanan air dalam rongga pori tanahnya. Pada kondisi ini butiran-butiran lempung tidak dapat mendekat satu sama lain untuk meningkatkan tahanan geser selama pori di dalam rongga pori tidak keluar meninggalkan rongga tersebut. Karena rongga pori tanah lempung sangat kecil, keluarnya air pori meninggalkan rongga pori memerlukan waktu yang lama. Jika sesudah waktu yang lama setelah air dalam rongga pori berkurang butiran-butiran lempung dapat mendekat satu sama lain sehingga tahanan geser tanahnya meningkat. Masalah ini tak dijumpai pada tanah granuler yang rongga porinya relatif besar karena sewaktu beban diterapkan air langsung keluar dari rongga pori dan butiran dapat mendekat satu sama lain yang mengakibatkan tekanan gesernya langsung meningkat.

Peranan tanah ini sangat penting didalam perencanaan dan pelaksanaan bangunan karena tanah tersebut berfungsi untuk mendukung beban yang ada di atasnya. Oleh karena itu tanah yang akan dipergunakan sebagai pendukung konstruksi haruslah dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*).

2.2 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah yang bersifat *multi component* yang terdiri dari tiga fase yaitu padat, cair, dan udara. Bagian yang padat merupakan polymorphous terdiri dari

mineral inorganic dan organis. Mineral – mineral lempung merupakan substansi – substansi Kristal yang sangat tipis yang pembentukan utamanya berasal dari perubahan kimia pada pembentukan mineral – mineral batuan dasar. Semua mineral lempung sangat tipis termasuk dalam kelompok – kelompok partikel kristalnya berukuran koloid ($<0,002$ mm) dan hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop electron.

Mitchell (1976) memberikan batasan bahwa yang dimaksud dengan ukuran butir lempung adalah partikel tanah yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm, sedangkan mineral lempung adalah kelompok – kelompok partikel Kristal berukuran koloid ($<0,002$ mm) yang terjadi akibat proses pelapukan dari batuan ditambah dengan sifatnya yang dijelaskan lebih lanjut. Sedangkan menurut Craig (1987), tanah lempung adalah mineral tanah sebagai kelompok – kelompok partikel kristal koloid berukuran kurang dari 0,002 mm, yang terjadi akibat proses pelapukan kimia pada batuan yang salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam ataupun alkali, dan karbondioksida.

Lapisan lunak umumnya terdiri dari tanah yang sebagian besar terdiri dari butiran-butiran yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Pada lapisan lunak, semakin muda umur akumulasinya, semakin tinggi letak muka airnya. Lapisan muda ini juga kurang mengalami pembebanan sehingga sifat mekanisnya buruk dan tidak mampu memikul beban.

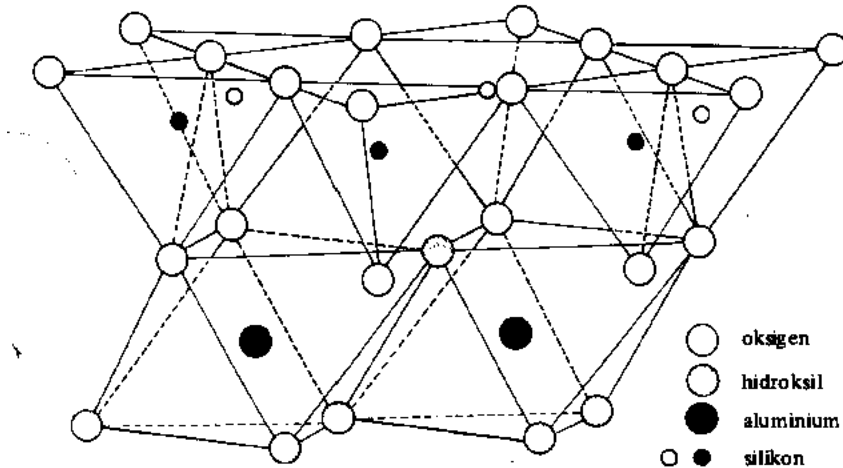
Sifat lapisan tanah lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampuan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil. Jadi, bilamana pembebanan konstruksi melampaui daya dukung kritisnya maka dalam jangka waktu yang lama besarnya penurunan akan meningkat yang akhirnya akan mengakibatkan berbagai kesulitan.

2.2.1 Minerologi Tanah Lempung Lunak

Mineral lempung merupakan hasil pelapukan tanah akibat reaksi kimia yang menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran kurang dari 0,002 mm. partikel lempung memiliki bentuk menyerupai lembaran yang memiliki permukaan khusus, sehingga lempung memiliki sifat yang dipengaruhi oleh gaya – gaya pada permukaan. Terdapat kira – kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959). Tiga jenis mineral lempung utama yang sudah dikenal yaitu:

i) Kaolinite

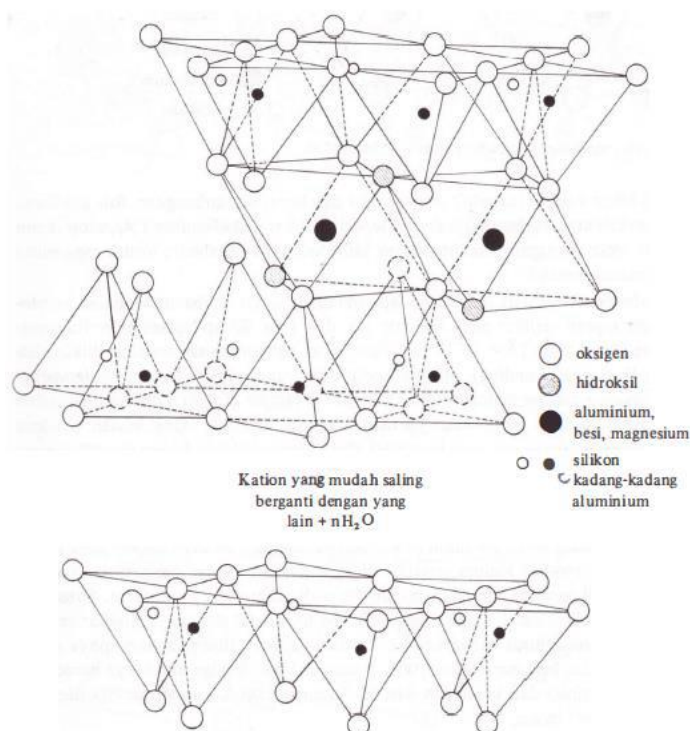
Kaolinite merupakan mineral lempung paling tidak aktif yang pernah diamati. *Kaolinite* dapat dihasilkan oleh pelapukan beberapa mineral lempung yang lebih aktif atau dapat juga terbentuk langsung dari produk sampingan pelapukan batuan. Warna *kaolinite* murni umumnya putih, putih kelabu, kekuning-kuningan atau kecoklat-coklatan.



Gambar 2.2 Struktur atom *Kaolinite* (Das, 1995)

2. *Montmorillonite*

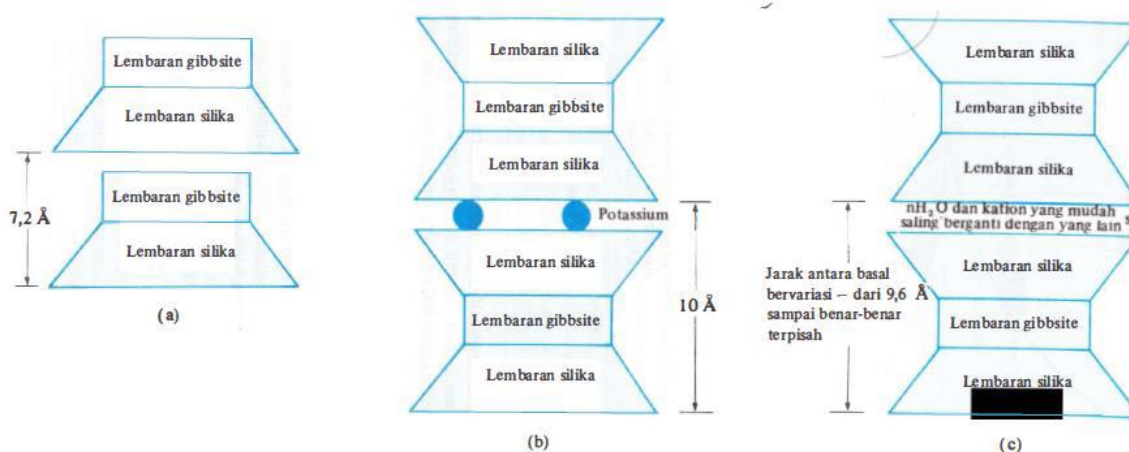
Montmorillonite memiliki susunan kristal yang terbentuk dari susunan dua lempeng silika tetrahedral mengapit satu lempeng alumina oktahedral ditengahnya, maka dari itu *montmorillonite* disebut mineral dua banding satu (2:1). Hubungan antara satuan unit diikat oleh ikatan gaya Van der Waals. Ukuran unit massa sangat besar, dapat menyerap air dengan sangat kuat, mudah mengalami proses pengembangan.



Gambar 2.3 Struktur atom *Montmorillonite* (Das, 1995)

3. *Illite*

Mineral *illite* mempunyai hubungan dengan mika biasa, sehingga dinamakan pula hidrat-mika. *Illite* memiliki formasi struktur satuan kristal, tebal dan komposisi yang hampir sama dengan *montmorillonite*.



Gambar 2.4 Gambar Struktur : (a) *kaolinite* ; (b) *illite* ; (c) *montmorillonite* (Das, 1995).

2.2.2 Karakteristik Sifat Fisik Tanah Lempung Lunak

Tanah lempung lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian besarnya dari butir – butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat lapisan tanah

lempung lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampatan yang besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan memiliki daya dukung yang rendah dibandingkan dengan tanah lempung lainnya. Tanah – tanah lempung lunak secara umum mempunyai sifat – sifat sebagai berikut :

1. Kuat geser rendah.
2. Berkurang kuat gesernya bila kadar air bertambah.
3. Berkurang kuat gesernya bila struktur tanahnya terganggu.
4. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat.
5. Menyusut bila kering dan mengembang basah.
6. Kompresibilitasnya besar.
7. Berubah volume dengan bertambahnya waktu akibat rangkai pada beban yang konstan.
8. Merupakan material kedap air.

Menurut Terzaghi (1967) tanah lempung kohesif diklasifikasikan sebagai tanah lempung lunak apabila mempunyai daya dukung ultimit lebih kecil dari 0,5 kg/cm² dan nilai standard penetrasi tes lebih kecil dari 4 (N-value < 4). Berdasarkan uji lapangan, lempung lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah oleh jari-jari tangan. Toha (1989) menguraikan sifat umum lempung lunak seperti dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1
Sifat-Sifat Umum Lempung Lunak

No.	Parameter	Nilai
1.	Kadar air	80 – 100%
2.	Batas cair	80 – 100%
3.	Batas plastis	30 – 45%
4.	Lolos saringan no.200	>90%
5.	Kuat geser	20 – 40 Kn/m ²

Sumber: Toha (1989)

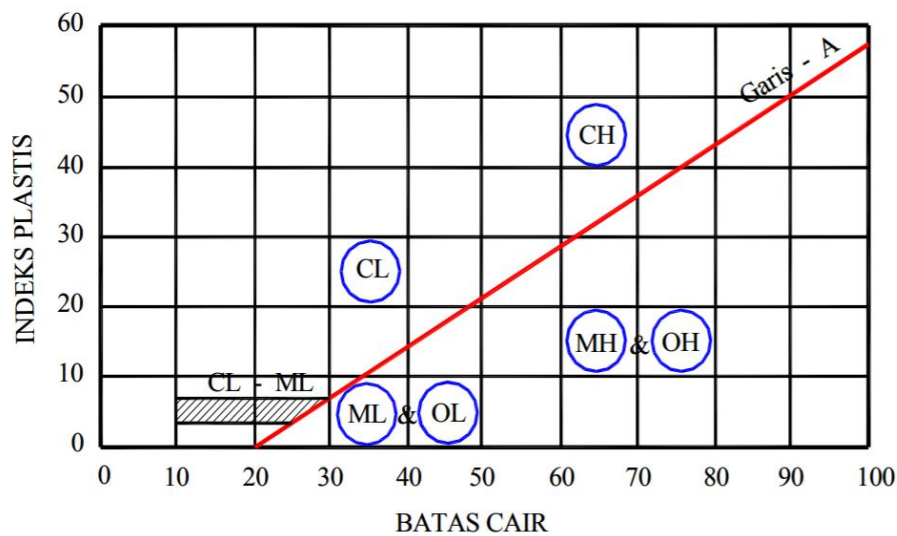
2.3 Penelitian Sifat Fisik Tanah

2.3.1 Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran tanah dan plastisitas. Sistem klasifikasi tanah tersebut ada bermacam-macam tetapi tidak ada satupun yang memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat tanah yang bervariasi.

2.3.2 Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan hasil laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas adalah *Unified Soil Classification System*. Ada dua golongan besar, tanah yang berbutir kasar < 50% melalui saringan No. 200 dan tanah berbutir halus > 50% melalui saringan No.200. Seperti dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik Plastisitas, sistem USCS (Das, 1995)

2.3.3 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Sistem klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official Classification* (AASHTO) membagi tanah menjadi 7 kelompok. Tanah – tanah dalam kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-

rumus empiris. Pengujian yang digunakan hanya analisis saringan dan batas-batas Atterbergh. Indeks kelompok digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dan kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan (Hardiyatmo H,C, hal 45) :

$$GI = (F-35) \{0,2 + 0,005 (LL-40)\} + 0,01 (F-15) (PI-10) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

GI = Indeks Kelompok

F = Persen tanah lolos saringan No. 200

LL = Batas Cair

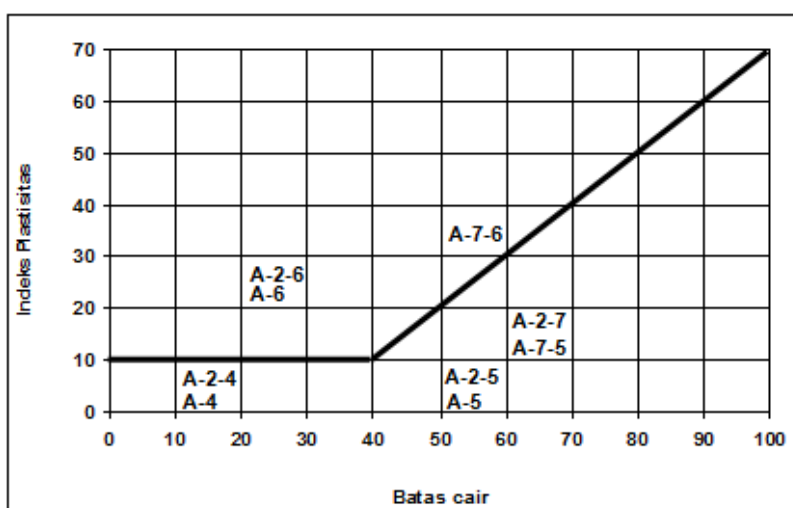
PI = Indeks Plastisitas

Menurut AASHTO tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar yaitu A-1 sampai A-7. Tanah dengan klasifikasi A-1, A-2 dan A-3 adalah tanah berbutir yaitu 35% atau kurang jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200, sedangkan tanah dengan klasifikasi A-4, A-5, A-6 dan A-7 adalah tanah yang lebih dari 35% dan butirannya lolos ayakan No.200. Dimana masing-masing dibedakan lagi menjadi :

- 1) A-1 (A-1-a ; A-1-b), kelompok ini termasuk granular. Tanah yang terdiri dari kerikil dan pasir kasar dengan sedikit atau tanpa butir halus, dengan atau tanpa sifat plastis.
- 2) A-2 (A-2-4 ; A-2-5 ; A-2-6 ; A-2-7), termasuk kelompok gravel dan sand, terdiri dari pasir halus dengan sedikit sekali butir halus lolos No. 200 dan tidak plastis.
- 3) A-3, termasuk kelompok gravel dan sand, kelompok batas tanah berbutir kasar dan halus Dan merupakan campuran kerikil / pasir dengan tanah berbutir halus cukup banyak (< 35%)
- 4) A-4, tanah lanau dengan sifat plastis rendah
- 5) A-5, tanah lanau yang mengandung lebih banyak butir – butir plastis, sehingga sifat plastisnya lebih besar dari A-4
- 6) A-6 (silt dan clay), tanah lempung yang masih mengandung butiran pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volumenya cukup besar.
- 7) A-7, tanah lempung yang lebih bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan yang cukup besar.

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2-4	A-2		
	A-1-a	A-1-b			A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos Ayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6^
Analisa ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200				
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Min 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

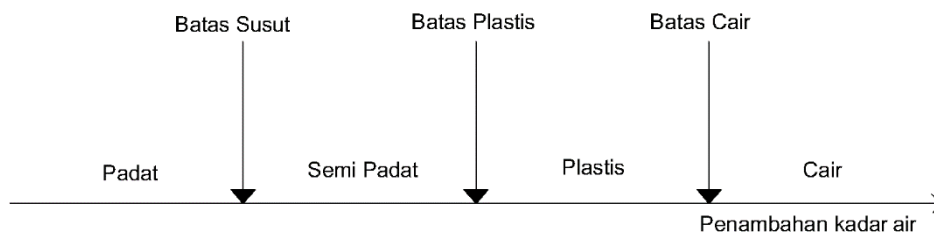
*Untuk A-7-5, $PI \leq LL-30$ ^Untuk A-7-6, $PI > LL-30$ 

Gambar 2.6 Grafik klasifikasi tanah sistem AASHTO

2.3.4 Batas – Batas Konsistensi Tanah

Apabila tanah berbutir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat diremas-remas (*remolded*) tanpa menimbulkan retakan. Sifat kohesif ini disebabkan karena adanya air yang terserap (*absorbed water*) dikelilingi partikel lempung. Seorang ilmuwan dari Swedia bernama Atterbergh mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bila kadar airnya (w) tinggi, campuran tanah dan air menjadi sangat lembek seperti cairan. Atas dasar air yang didukung tanah, tanah dapat dipisahkan kedalam empat keadaan dasar yaitu, padat, semi padat, plastis, dan cair seperti pada gambar 2.7.

Kadar air dinyatakan dalam persen, dimana terjadi transisi dari keadaan padat menjadi keadaan semi padat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air pada keadaan antara daerah plastis dan semi plastis dinamakan batas plastis (*plastic limit*) dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*).



Gambar 2.7 Batas-batas Atterberg (Hardiyatmo, 2012)

1. Batas Cair / *Liquid Limit* (LL)

Batas cair didefinisikan sebagai kadar air pada kondisi dimana tanah mulai berubah dari plastis menjadi cair atau sebaliknya yaitu batas antara keadaan cair dan keadaan plastis.

2. Batas Plastis / *Plastic Limit* (PL)

Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak ketika digulung.

3. Batas Susut / *Shrinkage Limit* (SL)

Batas susut didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air

selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Batas susut dinyatakan dalam persamaan :

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\% \right) - \left(\frac{(v_1 - v_2)}{m_2} \times \gamma_w \right) \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan :

m_1 = berat tanah basah (gr)

m_2 = berat tanah kering oven (gr)

V_1 = volume tanah basah (cm^3)

V_2 = volume tanah kering oven (cm^3)

γ_w = berat jenis air (gr/cm^3)

Tabel 2.2
Batas – Batas *Atterberg* untuk Mineral Lempung

Mineral	Batas Cair	Batas Plastis	Batas Susut
<i>Montmorillonite</i>	100 – 90	50 – 100	8,5 – 15
<i>Illite</i>	60 – 120	35 – 60	15 – 17
<i>Kaolinite</i>	30 – 110	25 – 40	25 – 29

Sumber: Mitchel (1976)

Berdasarkan Tabel 2.2 maka dapat dilihat, tanah lempung lunak dapat dikategorikan ke dalam kelompok MH atau OH berdasarkan sistem klasifikasi tanah *unified*. Dalam sistem *Unified*, yang dikembangkan di Amerika Serikat oleh Casagrande (1948), simbol kelompok terdiri dari huruf-huruf deskriptif primer dan sekunder. Klasifikasi didasarkan atas prosedur-prosedur di laboratorium dan di lapangan. Tanah yang mempertunjukkan karakteristik dari dua kelompok harus diberi klasifikasi pembatas yang di tandai oleh simbol yang dipisahkan oleh tanda hubung.

4. Indeks Plastisitas / *Plastic Index* (IP)

Indeks plastisitas tanah adalah selisih antara batas cair dan batas plastis atau perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah. Indeks plastisitas didapat berdasarkan rumus:

$$IP = LL - PL \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan :

IP = indeks plastisitas

LL= batas cair

PL= batas plastis

2.3.5 Berat Isi Tanah (*Density Test*) dan Porositas Tanah

Pengujian berat isi tanah (*density test*) memiliki tujuan untuk mengetahui berat volume suatu sampel tanah, sedangkan pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui nilai angka pori pada suatu sampel tanah. Setelah diketahui hasil dari pengujian *density test*, maka tanah dapat diketahui termasuk ke dalam jenis tanah dari tabel 2.3.

Tabel 2.3

Angka Pori, Kadar Air, dan Berat Volume Kering untuk Beberapa Tipe Tanah yang Masih Dalam Keadaan Asli

Tipe Tanah	Angka Pori, e	Kadar air dalam keadaan jenuh	Berat volume kering, d
Pasir lepas dengan butiran seragam	0,8	30	14,5
Pasir padat dengan butiran seragam	0,45	16	18
Pasir berlanau yang lepas dengan butiran bersudut	0,65	25	16
Pasir berlanau yang padat dengan butiran bersudut	0,4	15	19
Lempung kaku	0,6	21	17
Lempung Lembek	0,9 - 1,4	30 - 50	11,5 - 14,5
Tanah	0,9	25	13,5
Lempung organik lembek	2,5 - 3,2	90 - 120	6 - 8.
Glacial till	0,3	10	21

Sumber: Das (1995)

2.3.6 *Specific Gravity*

Harga berat jenis butiran tanah sering dibutuhkan untuk bermacam – macam keperluan hitungan dalam mekanika tanah. Harga tersebut dapat ditentukan dengan melakukan pengujian di laboratorium. Sebagian besar mineral yang menjadi penyusun tanah berkisar 2,6 – 2,9. Berat spesifik dari bagian padat pada tanah pasir yang berwarna terang memiliki nilai 2,65. Untuk tanah berlempung atau berlanau memiliki nilai 2,6 – 2,9.

2.3.7 Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah memiliki menunjukkan tingkat kemampuan tanah meloloskan air yang melaluinya. Tanah dengan permeabilitas yang tinggi, mampu meningkatkan laju

infiltrasi sehingga menurunkan laju air yang terjadi di dalam tanah. Faktor yang mempengaruhi permeabilitas tanah, yaitu :

- **Tekstur tanah**
 Testur tanah merupakan hal yang sangat mempengaruhi permeabilitas tanah karena permeabilitas akan terjadi dengan cara melewati tekstur tanah.
- **Struktur tanah**
 Semakin banyak ruang antar struktur di dalam tanah, maka semakin cepat pula permeabilitas yang terjadi di dalam tanah.
- **Porositas tanah**
 Porositas merupakan rongga antar tanah yang biasanya akan terisi oleh air atau udara. Semakin besar pori tanah, maka akan semakin cepat pula permeabilitas tanah tersebut, begitu pula sebaliknya.
- **Viskositas yang terkandung di dalam air**
 Viskositas adalah kekentalan air yang akan mengalir tanah. Semakin kental air yang menembus tanah, maka semakin sulit air untuk menembus tanah.

Nilai koefisien rembesan (k) untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda-beda. Beberapa harga koefisien rembesan diberikan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4

Harga Koefisien Rembesan pada Umumnya

Jenis Tanah	k	
	(cm/detik)	(ft/menit)
Kerikil basah	1,0 – 100	2,0 – 200
Pasir kasar	1,0 – 0,01	2,0 – 0,02
Pasir halus	0,01 – 0,001	0,02 – 0,002
Lanau	0,001 – 0,00001	0,002 – 0,00002
Lempung	kurang dari 0,000001	kurang dari 0,000002

Sumber: Das (1995)

2.3.8 Konsolidasi

Konsolidasi merupakan suatu proses pemampatan tanah, dan berkurangnya volume pori dalam tanah. Hal ini dapat menghasilkan bertambahnya daya dukung tanah. Namun, selama proses ini terjadi tidak diperbolehkan adanya bangunan yang sedang berdiri di atas tanah tersebut. Proses ini biasanya memakan waktu yang cukup lama dari tahunan bahkan sampai puluhan tahun. Dikarenakan durasi yang terlalu lama hal ini akan sangat tidak menguntungkan untuk melakukan kegiatan konstruksi. Namun apabila konstruksi tetap dilakukan sebelum proses konsolidasi terjadi, maka kemungkinan besar akan terjadi proses keruntuhan bangunan akibat proses konsolidasi. Menurut Braja M. Das (1985) yang dikutip oleh Yamali, F., Y. (2011) dalam jurnalnya yang berjudul “Pengaruh Kadar Air Terhadap Nilai Konsolidasi di Tanah Lempung Pada Lokasi yang Sama”, konsolidasi terbagi menjadi 2 yaitu:

- *Immediate Settlement*

Terjadi akibat deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas.

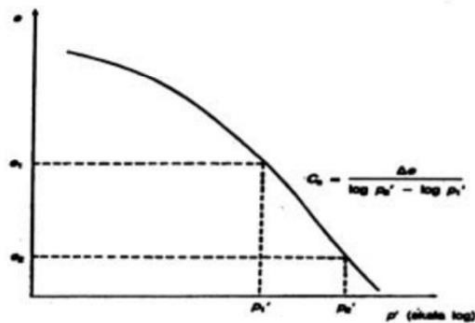
- *Consolidation Settlement*

Hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.

Pada umumnya konsolidasi terjadi dalam satu arah saja atau disebut juga *one dimensional consolidation*. Pergerakan arah horizontal dapat diabaikan, karena tertahan oleh lapisan tanah yang berada di sekelilingnya. Parameter – parameter konsolidasi suatu tanah yaitu indeks kompresi (C_c) dan koefisien konsolidasi (C_v).

Indeks kompresi berhubungan dengan berapa besarnya penurunan yang akan terjadi. Nilai indeks kompresi (C_c) adalah kemiringan garis penurunan dari garis konsolidasi tanah teoritis atau sama dengan garis konsolidasi tanah asli. Garis konsolidasi agak lebih landai dari garis konsolidasi lapangan, karena dipengaruhi oleh ketidaksempurnaan keasliannya misalnya kurang baiknya pengambilan sampel. Dari penelitian diperoleh sifat bahwa garis laboratorium dan garis lapangan berpotongan pada garis $e = 0,42$ eo. Sifat ini dipergunakan untuk menarik garis lapangan.

Untuk menentukan nilai C_c , sebelumnya kita perlu menentukan terlebih dahulu besarnya tekanan prakonsolidasi. Casagrande (1936) menyarankan suatu cara yang mudah untuk menentukan besarnya tekanan prakonsolidasi, p_c , dengan berdasarkan grafik angka pori (e) terhadap $\log p$ yang digambar dari hasil percobaan konsolidasi di laboratorium.



Gambar 2.8 Indeks Kompresi (C_c)

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} = \frac{(e_1 - e_2)}{\log p_2' - \log p_1'} = \frac{e_1 - e_2}{\log \left(\frac{p_2'}{p_1'} \right)} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dari penelitian (Terzaghi dan Peck, 1967), untuk lempung *normally consolidated* :

$$C_c = 0,009 (LL - 10) \dots \dots \dots (2.5)$$

Untuk tanah yang dibentuk (*remolded*) :

$$C_c = 0,007 (LL - 10) \dots \dots \dots (2.6)$$

Untuk setiap tanah berbeda – beda. Berikut adalah tabel nilai C_c untuk bermacam – macam tanah :

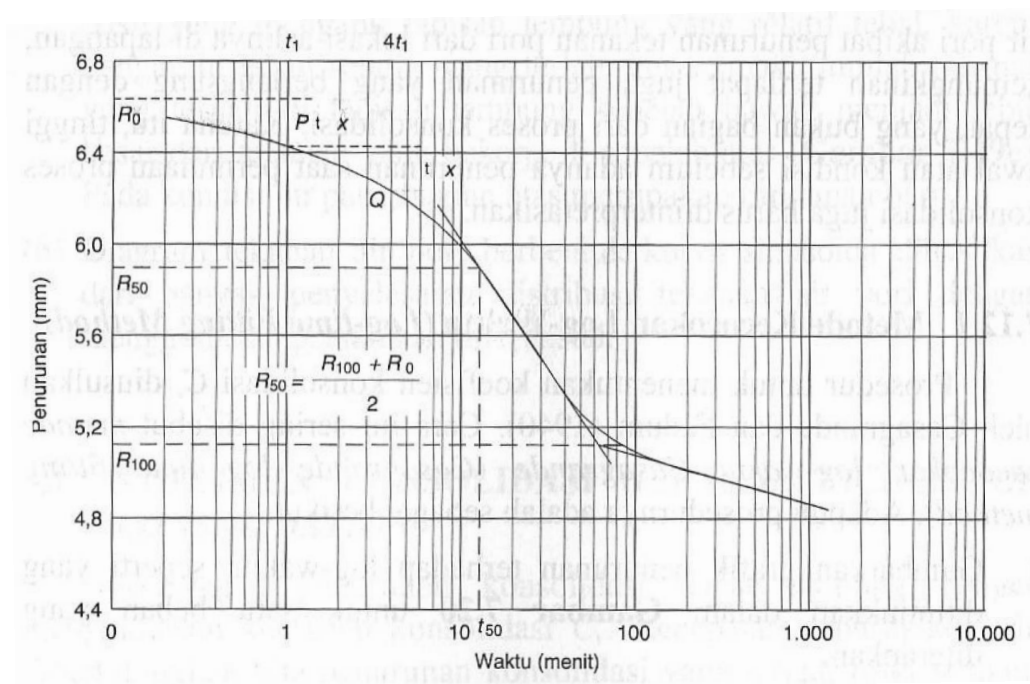
Tabel 2.5
 Nilai C_c untuk Macam – Macam Jenis Tanah

Jenis Tanah	Nilai C_c
Pasir padat	0,0005 ± 0,001
Pasir tidak padat	0,025 ± 0,05
Lempung agak kenyal	0,03 ± 0,06
Lempung kenyal	0,06 ± 0,15
Lempung medium s/d lunak	0,15 ± 1,0
Tanah organic	1,0 ± 4,5
Batu / cadas	0

Koefisien konsolidasi (C_v) adalah parameter yang menghubungkan perubahan tekanan air pori terhadap waktu. Koefisien konsolidasi berhubungan dengan berapa lama suatu konsolidasi tanah tertentu akan terjadi dan juga tingkat penurunan konsolidasi yang akan terjadi untuk ke depannya. Untuk menentukan nilai dari C_v dapat digunakan beberapa metode seperti metode Log – Waktu, dan metode Akar Waktu.

b) Metode Kococokan Log-Waktu

Prosedur ini diusulkan oleh Casagrande dan Fadum (1940). Bisa digunakan apabila konsolidasi sekunder teramati. Bagian kurva konsolidasi primer dan sekunder cukup jelas.



Gambar 2.9 Metode kecocokan log – waktu (Cassagrande, 1940)

Prosedur penggambaran grafik sebagai berikut :

- i) Gambarkan grafik penurunan terhadap log waktu untuk beban yang diterapkan.
- ii) Titik awal kurva ditentukan (mendekati parabola). Tentukan dua titik yaitu pada saat t_1 (titik P) Dan $4t_1$ (titik Q). Jarak vertikal PQ diukur (misalnya x). kedudukan $R = R_0$ digambarkan dengan mengukur jarak x vertikal diatas titik P.
- iii) Titik U = 100%, atau R_{100} diperoleh dari titik potong dua bagian linier kurva, yaitu titik potong bagian lurus terkonsolidasi primer dan sekunder.

iv) Titik $U = 50\%$ ditentukan dengan

$$R_{50} = (R_0 + R_{100}) / 2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Dari sini diperoleh t_{50} . Nilai T_v sehubungan dengan $U = 50\%$ adalah 0,197, sehingga C_v dinyatakan dalam persamaan :

$$C_v = \frac{0,197 H t^2}{t_{50}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

C_v = Koefisien Konsolidasi (m^3/dt)

H_t = Tinggi rata – rata sampel (m)

t_{50} = Waktu untuk derajat konsolidasi 50% (dt)

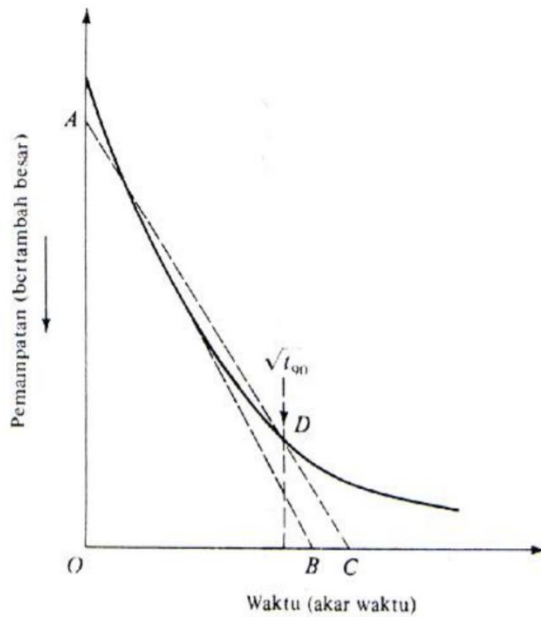
c) Metode Akar Waktu

Metode ini digunakan untuk menentukan nilai C_v dengan menggambar grafik hubungan akar waktu terhadap penurunan. Kurva biasanya linier sampai dengan 60% konsolidasi. Kurva ini digunakan untuk menentukan derajat konsolidasi $U = 90\%$, dimana disini absis OR akan sama dengan 1,15 kali absis OQ. Untuk memperoleh derajat konsolidasi $U = 90\%$ adalah sebagai berikut :

- i) Gambar suatu garis AB melalui bagian awal kurva (ambil kurva yang lurus).
- ii) Gambar suatu garis AC sehingga $OC = 1.15 OB$. Absis titik D, yang merupakan perpotongan antara garis AC dan kurva konsolidasi merupakan perpotongan antara garis AC dan kurva konsolidasi, memberikan harga akar waktu untuk tercapainya konsolidasi 90 %.

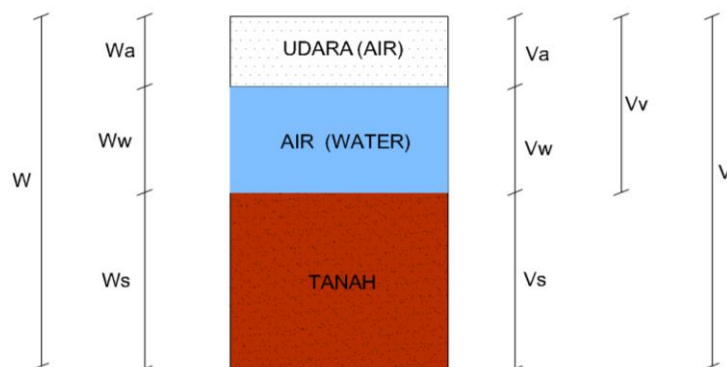
iii) Hitung koefisien konsolidasi dengan menggunakan rumus berikut:

$$C_v = \frac{0,848 \times H_{dr}^2}{t_{90}} \dots\dots\dots (2.9)$$



Gambar 2.10 Metode akar waktu (Taylor, 1948)

2.4 Penelitian Sifat Mekanik Tanah



Gambar 2.11 Diagram Fase Tanah (Hardiyatmo, 2012)

Pada segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya akan terdapat dua bagian, yaitu butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh terdapat dua bagian yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Bagian tersebut dapat digambarkan dalam diagram fase, seperti pada gambar 2.8. Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan :

$$W = W_s + W_w \dots\dots\dots (2.10)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \dots\dots\dots (2.11)$$

$$V_v = V_w - V_a \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan :

W_s = berat butiran padat

W_w = berat cair

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

Berat udara (W_a) dianggap sama dengan nol.

Istilah umum yang digunakan untuk hubungan berat adalah kadar air (*moisture content*) dan berat volume (*unit weight*). Definisi dari istilah-istilah tersebut antara lain:

- a. Kadar air (w), didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, dinyatakan dalam persen.

$$w (\%) = 100 \times W_s \times W_w \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan w = kadar air ; W_w = berat air ; W_s = berat butiran

- b. Berat Volume Tanah (γ) adalah berat tanah per satuan volume, dengan rumus dasar:

$$\gamma = W_s / V \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan : γ = berat volume ; V = volume tanah

- c. Berat jenis (*Spesific Gravity* (G_s)) adalah perbandingan antara volume butiran tanah dengan volume air.

$$G_s = (W_s \times G_w) / (W_s - W_b) \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan : G_w = berat jenis air ; W_b = berat tanah basah

Berat jenis tidak memiliki satuan.

2.4.1 Uji Pemadatan (*Compaction*)

Pemadatan adalah suatu usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan penggunaan energi mekanik untuk menghasilkan pemampatan partikel. Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dengan berat volume kering supaya tanah padat, setelahnya didapatkan nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai

nilai berat volume kering maksimumnya. Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya.

Dalam pengujian pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Selanjutnya dapat digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya.

Kurva yang didapatkan dari pengujian akan memperlihatkan kadar air terbaik untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan yang maksimum. Kadar air pada keadaan ini disebut kadar air optimum (*Optimum Moisture Content, OMC*). Pada nilai kadar air yang rendah, keadaan tanah akan cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan, sehingga ketika ditambahkan kadar air maka tanah akan lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume kering berkurang. Bila seluruh udara didalam tanah dapat dipaksa keluar pada saat pemadatan, maka tanah akan berada pada keadaan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum.

Untuk suatu kadar air tertentu, berat volume kering maksimum secara teoritis didapat bila pada pori-pori tanah sudah tidak ada udaranya lagi, yaitu pada saat dimana derajat kejenuhan tanah sama dengan 100%. Keadaan ini disebut sebagai *zero air voids*. Dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\gamma_d = (G_s \cdot \gamma_w) / (1 + w \cdot G_s) \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana: □

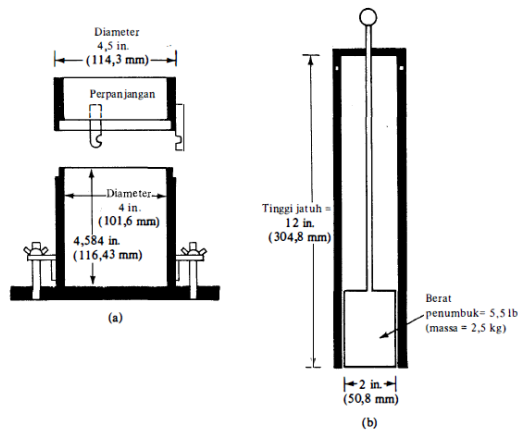
d = berat isi tanah kering

w = berat isi air

w = kadar air

G_s = berat jenis tanah

Selain bergantung pada kadar air, hasil pemadatan juga bergantung pada cara atau usaha pemadatan, macam tanah dan kadar airnya. Jenis tanah yang diwakili oleh distribusi ukuran butiran, bentuk butiran, berat spesifik, dan jumlah serta jenis material lempung yang ada pada tanah, mempunyai pengaruh besar terhadap harga berat volume kering maksimum dan kadar air optimum dari tanah tersebut.



Gambar 2.12 Alat uji proctor standar: (a) cetakan; (b) penumbuk.

2.4.2 Uji California Bearing Ratio (CBR)

Pengujian CBR dipakai untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang akan dipakai pada pembuatan perkerasan jalan raya. Nilai CBR selanjutnya digunakan untuk penentuan tebal perkerasan yang akan dibuat di atas tanah dasar. Semakin besar nilai CBR-nya, maka tebal perkerasannya akan semakin kecil.

Pengujian CBR Laboratorium menggunakan contoh tanah kering udara yang dicampur dengan air sampai kadar air optimum kemudian dipadatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 56 kali pada lapisan pertama sepertiga dari tinggi mold, 56 kali pada lapisan kedua pada ketinggian dua pertiga tinggi mold, dan ditumbuk 56 kali saat mold penuh pada lapisan ketiga. Untuk pemeriksaan CBR langsung (*unsoaked CBR*), benda uji telah siap diperiksa nilai CBR-nya.

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai CBR tanah atau campuran agregat yang didapatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. CBR (*California Bearing Ratio*) adalah perbandingan beban penetrasi suatu bahan (dapat berupa tanah atau material perkerasan jalan) dengan bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Biasanya pengujian CBR untuk mengetahui tingkat kekerasan material perkerasan jalan raya. CBR dapat diujikan di laboratorium ataupun di lapangan.

Dengan menggunakan grafik yang telah dibuat, harga CBR dapat dihitung dengan cara membagi masing – masing beban dengan bahan standar CBR pada penetrasi 0,1” dengan beban standar 70,31 kg (1000psi), penetrasi 0,2” dengan beban standar 1045,47 kg (1500 psi) Dan dikalikan dengan 100%. Umumnya nilai CBR diambil pada penetrasi 0,1 inch. Apabila terjadi koreksi grafik, maka beban yang dipakai adalah beban yang sudah dikoreksi

pada 2,54 mm (0,1 inch) Dan 5,08 mm (0,2 inch). Dengan catatan apabila nilai CBR pada 0,1 inch lebih kecil dari 0,2 inch maka percobaan harus diulang. Apabila pada pengujian yang kedua ini masih lebih kecil pada 0,1 inch maka nilai CBR yang dipakai adalah yang terbesar.

2.4.3 Uji Triaksial (*Triaxial Test*)

Percobaan triaxial merupakan metode yang paling umum untuk mencari kekuatan geser tanah. Percobaan triaxial dilakukan dengan cara benda uji dimasukkan dalam selubung tipis dan diletakkan dalam tabung baja, kemudian ruang di dalam tabung diisi dengan air. Tekanan vertikal yang diberikan pada proses keruntuhan ini adalah tegangan *deviator* dan dapat diukur dengan cincin uji.

Dengan (c) dan (ϕ) pada titik keruntuhan yang telah diketahui, maka dapat digambar suatu lingkaran *Mohr*. Lingkaran – lingkaran ini harus memiliki suatu garis singgung yang dikenal dengan sampel *Mohr* dan merupakan suatu garis yang sama dengan persamaan garis yang diberikan oleh percobaan *Coulomb*, sehingga dapat diketahui nilai c dan ϕ .

Pengujian geser langsung dibedakan menjadi 3 macam, yaitu :

1. *Unconsolidated Undrained Test* (UU)

Pada percobaan ini air tidak boleh mengalir dari benda uji, baik pada saat pemberian tegangan normal maupun saat pemberian tegangan geser. Tegangan air pori biasanya tidak diukur pada percobaan ini, hanya kekuatan geser *undrained* yang dapat ditentukan dari percobaan ini.

2. *Consolidated Undrained* (CU)

Pada percobaan ini air dibolehkan mengalir dari benda uji. Benda uji diberi tegangan normal yang bekerja sampai konsolidasi selesai, yaitu sampai tidak terjadi lagi perubahan pada isi benda uji. Kemudian jalan air ditutup dan diberi tegangan geser secara *undrained* secara tertutup. Tegangan air pori dapat diukur selama tegangan geser diberikan.

3. *Consolidated Drained* (CD)

Pada percobaan ini benda uji diberikan tegangan normal dan air dibolehkan mengalir sampai konsolidasi selesai. Kemudian tegangan geser diberikan dengan cara jalan air tetap dibuka, yaitu penggeseran dilakukan secara *drained* (terbuka).

Pada percobaan ini dilakukan dengan cara *Unconsolidated Undrained* (tanpa konsolidasi-tanpa drainase). Benda uji diberikan tegangan ruang dimana air tidak boleh mengalir dari benda uji. Setelah diberi tegangan, dilakukan geseran vertikal dengan kecepatan $(1\% \times L_0)/\text{menit}$. Percobaan *Unconsolidated Undrained* ini merupakan analisis tegangan total.

2.4.4 Uji *Unconfined Compression Strength*

Untuk tanah, kuat geser tak terdrainase (S_u) diperlukan untuk penentuan daya dukung. Kuat geser tak terdrainase (S_u) lempung biasanya ditentukan uji tekan tak terkekang. Nilai kuat geser tak terdrainase (S_u) dari tanah yang kohesif sama dengan satu setengah dari kuat tekan tak terkekang (q_u) ketika tanah dibawah kondisi $\phi = 0$ (ϕ = sudut geser dalam). Kondisi paling kritis pada tanah biasanya terjadi setelah pembangunan yang menggambarkan kondisi tak terdrainase. Ketika kuat geser tak terdrainase pada dasarnya sama dengan kohesi (C_u). hal ini dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$S_u = C_u = \frac{q_u}{2} \dots\dots\dots (2.17)$$

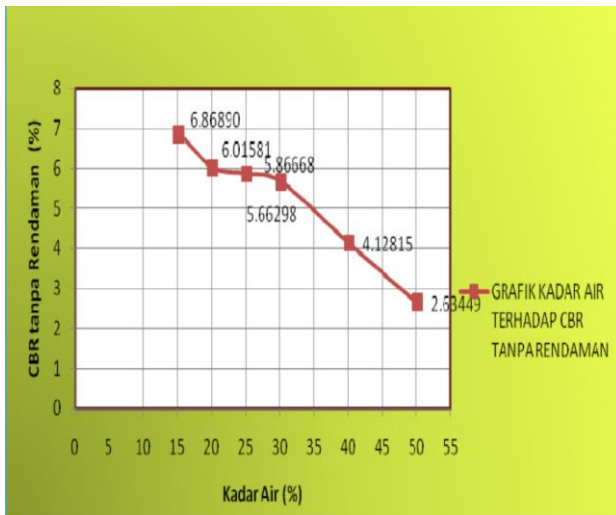
Dengan berlalunya waktu, maka air pori dalam tanah menghilang perlahan-lahan dan tekanan butiran dalam tanah meningkat, sehingga kuat geser terdrainase (s) yang diberikan sebagai $s = c + s' \tan \phi$ harus digunakan. Dimana s' = tekanan butiran dalam bekerja tegak lurus dengan bidang geser, dan $s' = (s - u)$, s = tekanan total, dan u = tekanan air pori, c' dan ϕ' adalah parameter kuat geser terdrainase.

Konsistensi Tanah Lempung	Harga q_u		
	(Ton/ft ²)	(kN/m ²)	(kg/cm ²)
Sangat lunak	0-0,25	0-23,94 (≈ 24)	<0,27
Lunak	0,25-0,50	24-48	0,27-0,54
Menengah	0,50-1	48-96	0,54-1,08
Kaku	1-2	96-192	1,08-2,16
Sangat kaku	2-4	192-383	2,16-4,32
Keras	<4	>383	>4,32

Gambar 2.13 Hubungan antara konsistensi tanah dengan kekuatan tanah lempung pada *unconfined compression test*

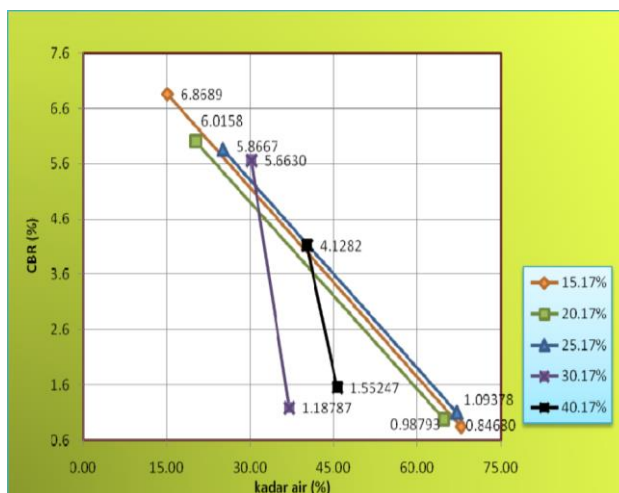
2.4.5 Penelitian yang Telah Ada

1. Penelitian yang telah dilakukan Suroso, et al (2013), kadar air yang digunakan untuk campuran pengujian CBR juga bervariasi dengan hasil sebagai berikut :
 - a. Untuk CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) yang telah dilakukan dengan variasi kadar air sebesar 15,169%; 20,169%; 25,169%; 30,169%; 40,169% dan 50,169% didapatkan hasil nilai CBR tertinggi sebesar 6,8689% pada penambahan kadar air sebesar 15,169% dan nilai CBR terendah sebesar 2,6345% pada penambahan kadar air sebesar 50,169%.
 - b. Untuk pengujian CBR rendaman (*soaked*) ini dilakukan dengan variasi kadar air sebesar 15,169%; 20,169%; 25,169%; 30,169%; dan 40,169% didapatkan perubahan nilai CBR tertinggi setelah sampel direndam selama 4 hari terjadi pada kadar air awal sebesar 15,169% dengan nilai CBR awal 6,8689% menjadi 0,8468% dengan kadar air akhir 67,789%. Dan perubahan nilai CBR terendah terjadi pada kadar air awal sebesar 40,169% dengan nilai CBR awal sebesar 4,1282% menjadi 1,5524% dengan kadar air 45,625%. Jadi semakin rendah kondisi kadar air awal yang diberikan menjadikan perubahan nilai CBR yang semakin tinggi.



Gambar 2.14 Grafik Hubungan Kadar Air dan CBR Tanpa Rendaman

Sumber : Suroso, et al (2013)

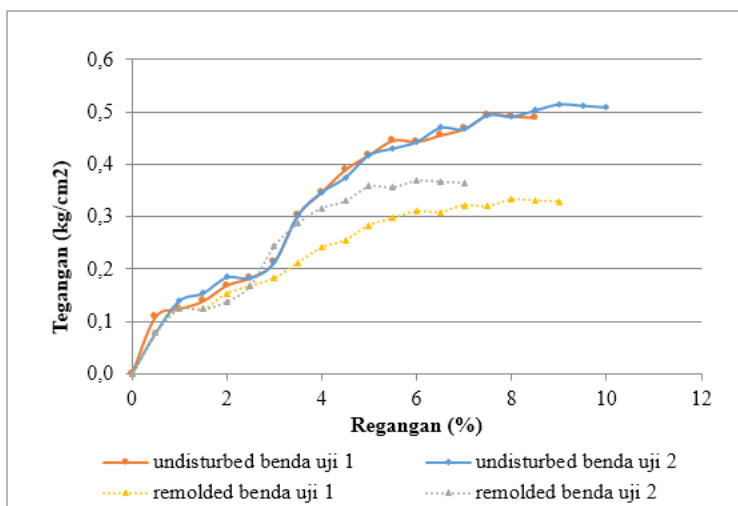


Gambar 2.15 Grafik Hubungan Kadar Air terhadap Perubahan Nilai CBR Setelah Direndam

Sumber : Suroso, et al (2013)

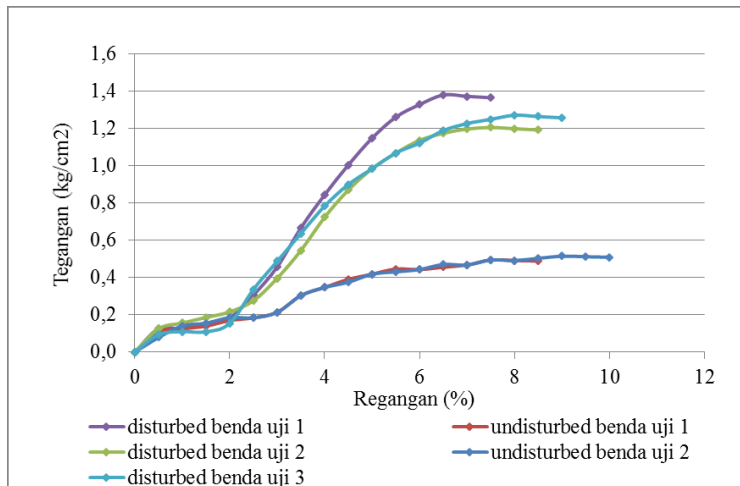
2. Penelitian yang telah dilakukan Rahmawati (2015), kadar air yang digunakan untuk campuran pengujian triaksial dan *unconfined* juga bervariasi dengan hasil sebagai berikut :
 - a. Hasil yang diperoleh dari uji tekan bebas untuk tanah asli (*undisturbed*) dan tanah *remolded* adalah seperti diperlihatkan pada gambar 2.16 menunjukkan bahwa kondisi *undisturbed* lebih besar daripada tegangan maksimum tanah *remolded*. Tanah kondisi *undisturbed* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 0,504 kg/cm² sedangkan tanah kondisi *remolded* memiliki tegangan maksimum rata-

rata sebesar $0,351 \text{ kg/cm}^2$. Dari gambar 2.17 dapat dilihat bahwa tegangan maksimum rata-rata untuk tanah *remolded* dengan cara dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) yaitu $1,286 \text{ kg/cm}^2$ lebih besar daripada tegangan maksimum tanah *undisturbed* yang hanya memiliki q_u rata-rata $0,504 \text{ kg/cm}^2$. Hal ini dikarenakan pemadatan dapat mengakibatkan perubahan-perubahan struktur tanah salah satunya adalah meningkatkan kekuatan tanah, dimana kekuatan tanah lempung yang dipadatkan akan bergantung pada cara usaha pemadatan, macam tanah, kondisi tanah dan kadar air saat dipadatkan. Pada penelitian Rahmawati (2015) pada bagian penutup juga disimpulkan bahwa “kadar air pada tanah asli berpengaruh terhadap kuat geser tanah. Semakin besar kadar air, nilai q_u , tegangan dan C_u semakin kecil”.



Gambar 2.16 Grafik perbandingan tegangan- regangan tanah asli *undisturbed-remolded*

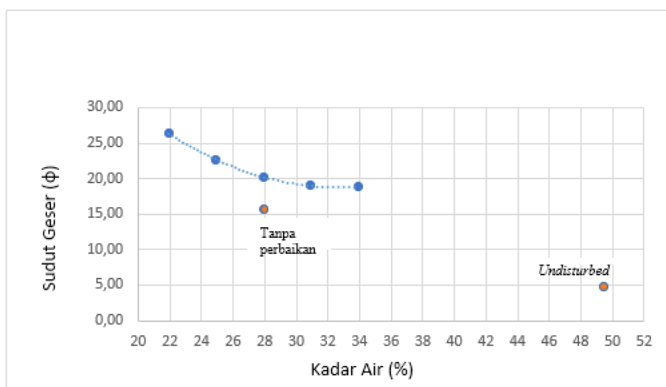
Sumber : Rahmawati (2015)



Gambar 2.17 Grafik perbandingan tegangan-regangan tanah *undisturbed-remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC)

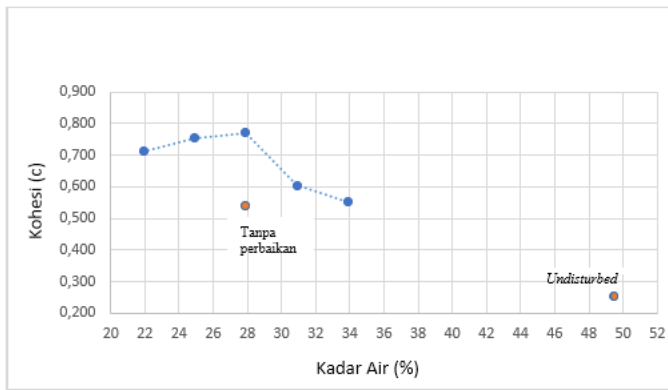
Sumber : Rahmawati (2015)

- b. Untuk variasi kadar air nilai kohesi dapat juga dilihat pada gambar 2.19 bahwa nilai kohesi (c) maksimum berada pada titik sekitar kadar air optimum (OMC) sebesar 0,77, nilai kohesi (c) ini meningkat 206% dari nilai kohesi (c) tanah asli (*undisturbed*). Untuk kohesi dalam keadaan optimum kering yaitu nilai kohesinya lebih kecil dibandingkan dengan keadaan OMC, hal ini dikarenakan tanah belum mencapai keadaan optimum atau pada keadaan ini memiliki gaya tarik menarik antarpartikel rendah.



Gambar 2.18 Grafik Pengaruh Kadar Air Terhadap Sudut Geser (Φ)

Sumber : Rahmawati (2015)



Gambar 2.19 Grafik pengaruh kadar air terhadap kohesi (c)

Sumber : Rahmawati (2015)

2.5 Korelasi Daya Dukung Tanah dan CBR

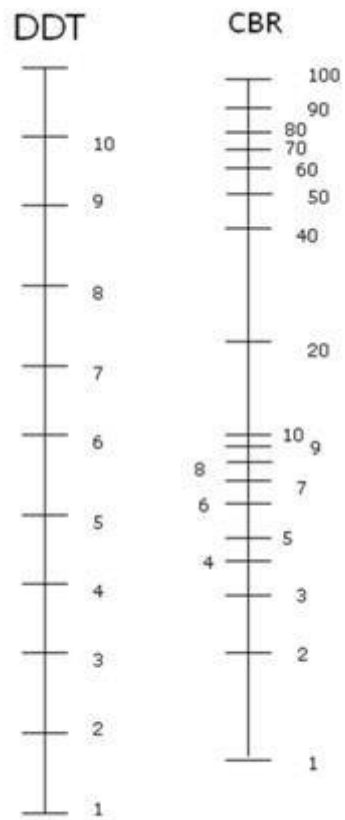
Daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi antara daya dukung tanah dengan CBR. Nilai CBR yang dimaksudkan adalah harga CBR baik lapangan maupun laboratorium.

Jika digunakan CBR lapangan, maka pengambilan sampel tanah dilakukan dengan tabung (undisturbed) lalu direndam dan dilakukan pemeriksaan pada nilai CBR. Sedangkan untuk CBR laboratorium biasanya digunakan sebagai perencanaan pembangunan jalan.

Daya dukung tanah dasar dapat diperoleh dari nilai CBR atau *Plate Bearing Test*, DCP, dan sebagainya. Korelasi antara daya dukung tanah dengan CBR subgrade dapat dilihat menggunakan grafik pada gambar 2.15.

CBR : skala log

DDT : skala linear



Gambar 2.20 Grafik korelasi antara Daya Dukung Tanah dengan CBR

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rencana Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam tiga tahapan, yaitu pekerjaan persiapan, pekerjaan lapangan, dan pekerjaan laboratorium. Perencanaan penelitian penting dilakukan agar pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan baik sehingga didapatkan hasil sesuai yang diinginkan serta tepat waktu.

3.2 Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan merupakan pekerjaan awal sebagai rangkaian pelaksanaan. Tahap pelaksanaan meliputi studi pendahuluan yaitu dengan mencari referensi baik dari media cetak maupun elektronik mengenai kondisi daerah yang akan ditinjau, konsultasi dengan beberapa narasumber seperti kepada dosen, warga sekitar, maupun kepada pihak yang akan menangani pembangunan di daerah tersebut, pengajuan proposal, mengurus perijinan penelitian kepada pihak Adhi Karya selaku owner pada pembangunan jalan tol, dan koordinasi untuk pekerjaan lapangan kepada warga sekitar serta pihak Adhi Karya dan pekerjaan laboratorium kepada pengurus laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya.

3.3 Pekerjaan Lapangan

Pekerjaan lapangan yang dilakukan adalah pengambilan sampel tanah. Sampel tanah yang diambil adalah lunak dari daerah Jalan Tol Gempol – Pasuruan, lebih tepatnya di daerah Grati, dengan cara pengambilan tak terganggu (*undisturbed*) dan keadaan terganggu (*disturbed*). Untuk sampel tanah tak terganggu dilakukan dengan pengambilan tanah setelah dilakukan penggalian sedalam 1 meter, sedangkan untuk pengambilan sampel tanah terganggu dilakukan dengan cara menggunakan *ring* untuk uji *density test*, *ring* uji konsolidasi, *ring* uji permeabilitas, tabung uji *unconfined*, dan tabung uji triaksial.

3.4 Pekerjaan Laboratorium

3.4.1 Percobaan Penelitian

Percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Pemeriksaan *Specific Gravity*

- b. Pemeriksaan Kadar Air
- c. Pemeriksaan *Density Test*
- d. Uji hidrometer
- e. Analisa Saringan basah
- f. Pemeriksaan Batas Konsistensi (*Atterberg Limit*)
- g. Uji Triaksial
- h. Uji *Unconfined*
- i. Uji Permeabilitas
- j. Uji Konsolidasi
- k. Uji Pengembangan (*swelling*)
- l. Uji Pemadatan (*compaction*)
- m. Uji CBR

3.4.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada studi ini hanya berasal dari data primer yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan di laboratorium.

3.5 Metode Penelitian

3.5.1 Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Asli

Sebelum melakukan penelitian, terlebih dahulu dilakukan uji sifat fisik dan mekanik terhadap tanah asli yang akan digunakan. Berikut metode pengujian sifat fisik dan sifat mekanik tanah :

1. Pengujian analisis saringan basah yang menggunakan tanah lolos saringan no.4 sebanyak 200 gram lalu direndam 1 hari dan dianalisis menggunakan saringan no.200 dibawah air mengalir. Lalu dikeringkan dan dilakukan pengayakan dengan saringan.
2. Pengujian hidrometer menggunakan tanah yang lolos saringan no.200 sebanyak 50 gram. Sampel direndam dalam campuran 90% air + 10% NaOH dan didiamkan selama 1 hari. Setelah itu dicampur menggunakan 3% H_2O_3 dan dimixer selama 15 menit setelah itu campuran dimasukkan ke dalam tabung gelas dan diisi air sebanyak 900 ml dan dikocok. Sebelumnya telah dilakukan kalibrasi pembacaan hidrometer.

3. Pengujian kadar air dilakukan dengan mengambil beberapa gram tanah lalu dioven dan dilakukan penimbangan.
4. Pemeriksaan *specific gravity* dilakukan dengan melakukan kalibrasi labu ukur dan diteruskan dengan pemeriksaan GS pada sampel tanah dengan menggunakan 20 gram tanah lolos saringan no.40.
5. Pemeriksaan *density test* dilakukan dengan penimbangan sebelum dan sesudah tanah dalam *ring* dioven dengan menggunakan sampel *undisturbed*.
6. Pemeriksaan batas konsistensi dilakukan dengan cara tanah yang lolos saringan no.200 diambil 100 gram lalu ditambahkan air dan setelah tercampur, sampel dibagi menjadi bola dengan berat 8 gram dan digiling sampai terjadi retak rambut, untuk batas plastis. Untuk pengujian batas cair, sampel lolos saringan no.200 diambil 100 gram lalu dicampur dengan air dan diratakan pada mangkuk batas cair lalu dibuat alur dengan *grooving tool* dan dilakukan pengetukan. Sedangkan untuk batas susut, sampel sisa batas cair dengan ketukan 25 dimasukkan kedalam cawan penyusut lalu dioven. Setelah itu dilakukan pengukuran penyusutan menggunakan air raksa.
7. Pemeriksaan permeabilitas dengan cara *falling head* dilakukan dengan memasukkan sampel *undisturbed* ke dalam alat *falling head*, lalu dilakukan pembacaan awal dan pada 24 jam dilakukan pembacaan akhir.
8. Pemeriksaan konsolidasi dilakukan dengan memasang sampel *undisturbed* pada alat konsolidasi, lalu dilakukan pembacaan pada beban 1 kg, 2 kg, 4 kg, 8 kg, 16 kg, 4 kg, 1 kg, dan 32 kg. Sebelum dan sesudah sampel dikonsolidasi, ditimbang beratnya.
9. Pengujian triaksial dilakukan dengan sampel *undisturbed* dengan tinggi sampel 10 cm dan diameter sampel 5 cm. Lalu sampel dilakukan pembacaan uji triaksial dengan pemberian tekanan aksial sebesar 0,5 kg/cm², 1 kg/cm², dan 1,5 kg/cm².
10. Pengujian *unconfined* dilakukan dengan sampel *undisturbed* dan *remolded* dengan tinggi sampel 10 cm dan diameter 5 cm diletakkan pada alat kuat tekan bebas dan dilakukan pembacaan beban pada regangan 0,5 ; 1; dan 2% tiap menit, lakukan pembacaan hingga sample mengalami keruntuhan.
11. Pengujian pengembangan (*swelling*) dilakukan dengan tanah kering yang lolos saringan no.4 sebanyak 5 kg lalu ditambahkan air sebanyak OMC, lalu

direndam dengan beban 4,5 kg dan dibaca pengembangannya hingga pengembangan yang terjadi konstan, biasanya 4 hari.

3.5.2 Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah dengan Variasi Kadar Air

3.5.2.1 Persiapan Benda Uji

Setelah sampel tanah lempung telah diperoleh, berikutnya adalah tahapan persiapan benda uji. Adapun persiapan benda uji meliputi kegiatan sebagai berikut:

1. Sampel tanah dikeringkan terlebih dahulu hingga mudah dihancurkan.
2. Sampel tanah diayak lolos saringan No. 4.
3. Dilakukan pemadatan dengan membuat 5 sampel sebanyak masing – masing 5 kg dan dicampur dengan air sebanyak 200 ml, 600 ml, 1000 ml, 1400 ml, dan 1800 ml. Tanah yang telah dicampur air dimasukkan dalam *mold* dibagi menjadi 3 lapis dan masing – masing lapisan ditumbuk sebanyak 56 kali. Setelah itu dicari kadar air optimumnya dan berat isi kering maksimumnya.
4. Berat isi kering yang diperoleh dari pemadatan digunakan sebagai variabel terikat untuk menentukan berat kering dan kadar air yang akan digunakan untuk masing – masing kadar air. Jadi, setiap variasi kadar air memiliki berat kering tanah dan jumlah air yang berbeda tapi tetap dengan berat basah total yang sama untuk semua kadar air.
5. Setiap variasi kadar air dibuat 3 sampel pemadatan, yaitu untuk CBR *unsoaked*, CBR *soaked*, dan pembuatan sampel triaksial dan *unconfined*.

3.5.2.2 Metode Pengujian

Ada tiga pengujian yang akan dilakukan, yaitu:

1. Pengujian CBR

Pengujian CBR dilakukan dengan cara *unsoaked* dan *soaked*. Untuk pengujian CBR *unsoaked* dilakukan dengan pengujian sampel dengan variasi kadar air menggunakan alat CBR. Untuk CBR *soaked*, dilakukan dengan sampel hasil pemadatan direndam pada air diberi beban sebesar 4,5 kg dan didiamkan selama 4 hari. Setelah itu dilakukan pengujian CBR.

2. Pengujian Triaksial

Pengujian triaksial dilakukan sama dengan pengujian pada tanah asli, hanya saja sampel *remolded* yang digunakan merupakan hasil dari pemadatan sesuai dengan variasi kadar air yang diberikan.

3. Pengujian *Unconfined*

Pengujian *unconfined* dilakukan sama dengan pengujian pada tanah asli, hanya saja sampel *remolded* yang digunakan merupakan hasil dari pemadatan sesuai dengan variasi kadar air yang diberikan.

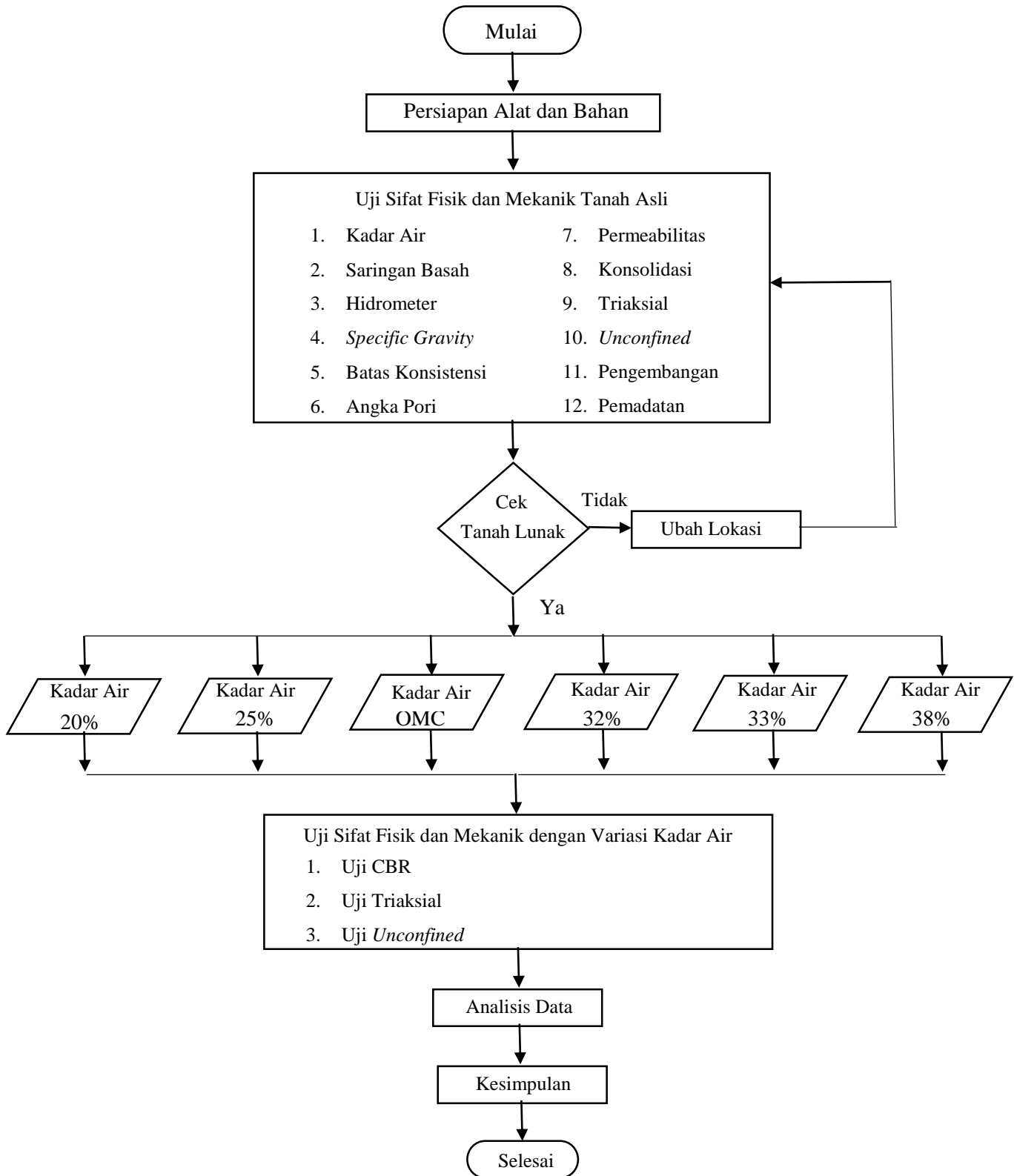
3.6 Rancangan Penelitian

Pada percobaan CBR ini dilakukan 6 perlakuan variasi kadar air, dimana masing – masing perlakuan terdiri dari 3 buah sampel. Perlakuan tersebut adalah penambahan persentase kadar air yaitu sebesar 20%, 25%, 31,25%, 32%, 33%, dan 38%, kemudian diambil ring diantara kadar air tersebut dengan lama perendaman 4 hari. Lalu dilakukan uji CBR baik *soaked* maupun *unsoaked* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap daya dukung. Selain itu sampel juga akan diuji menggunakan uji triaksial dan *unconfined*.

3.7 Analisis Data

Setelah didapatkan data hasil percobaan CBR, triaksial, dan *unconfined*, maka dilakukan analisis data untuk mengetahui perilaku tanah lunak terhadap daya dukung tanah dengan variasi nilai kadar air yang ditentukan.

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium mekanika tanah, Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Sampel yang diuji merupakan tanah lempung yang diambil dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur, dan dilakukan pengujian terhadap sifat fisik dan sifat mekanik tanah.

Sifat fisik tanah akan diperoleh dengan pengujian kadar air, *specific gravity*, analisa saringan basah, hidrometer, *density test*, uji permeabilitas, uji konsolidasi, uji pengembangan (*swelling*), dan uji batas – batas konsistensi. Sedangkan sifat mekanik tanah diperoleh dengan melakukan pengujian uji triaksial, uji *unconfined*, uji pemadatan, dan uji CBR (*soaked* dan *unsoaked*). Selanjutnya akan dilakukan pencampuran tanah terhadap variasi kadar air dan dilakukan pengujian yang meliputi pengujian CBR (*soaked* dan *unsoaked*), uji triaksial, dan uji *unconfined* terhadap sampel. Dari hasil pengujian akan dipaparkan dalam bentuk tabel dan grafik yang menunjukkan sifat fisik dan sifat mekanik tanah sampel yang diuji.

4.1 Pembacaan Data SPT

Uji yang dilakukan dengan cara pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Dari pengujian SPT, dapat diketahui jenis tanah yang sedang diuji dengan menggunakan tabel seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1

Pengelompokan Jenis Tanah Berdasarkan Hasil SPT

Consistency	N	c_u (kN/m ²)
Very soft	0–2	<12
Soft	2–4	12–25
Medium	4–8	25–50
Stiff	8–15	50–100
Very stiff	15–30	100–200
Hard	>30	>200

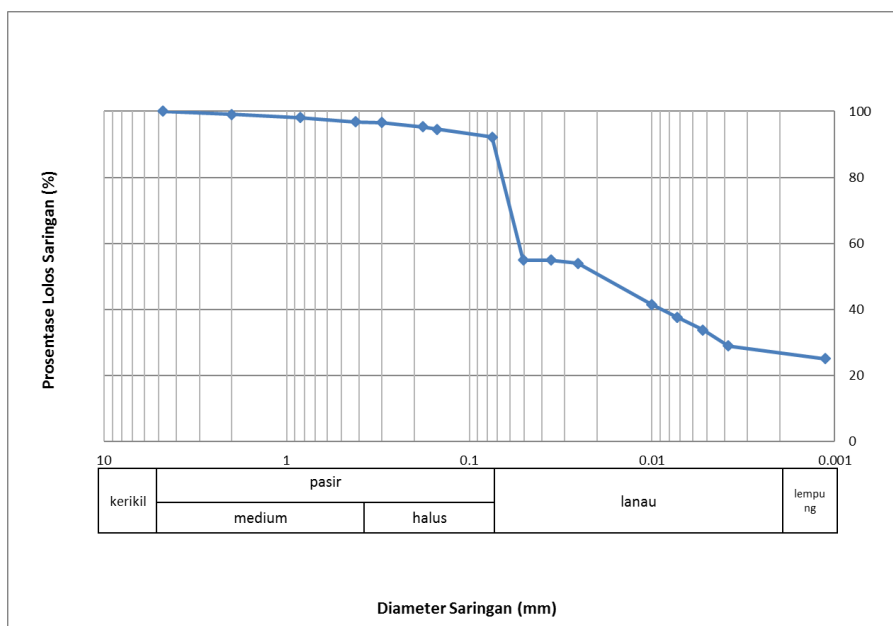
Dari pengujian *Standart Penetration Test* (SPT) yang dilakukan oleh pihak Adhi Karya seperti pada lampiran 5, didapatkan nilai NSPT dengan rentang 1-9 yang apabila dihubungkan dengan tabel penentuan jenis tanah menurut data SPT, maka didapatkan hasil

bahwa tanah termasuk ke dalam jenis tanah lunak . Tanah lunak ditemukan pada kedalaman 1 sampai 15,5 m.

4.2 Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah

4.2.1 Uji Analisis Butiran

Uji analisis butiran dibagi menjadi dua bagian pengujian, yaitu uji analisis saringan dan uji analisis hidrometer. Analisis hidrometer berperan dalam menentukan distribusi ukuran butiran tanah yang mengandung butir tanah lolos saringan no. 200. Sedangkan uji analisis saringan untuk menentukan distribusi ukuran butir tanah yang tertahan saringan no. 200. Sampel yang diuji termasuk kedalam tanah lempung, maka akan cukup sulit dalam proses pengayakan, oleh karena itu dilakukan uji analisis saringan basah (*Wet Sieve Analysis*) agar hasil pembagian butiran semakin valid. Hasil dari analisis saringan dan hidrometer disajikan dalam satu grafik dapat dilihat pada gambar 4.1 :

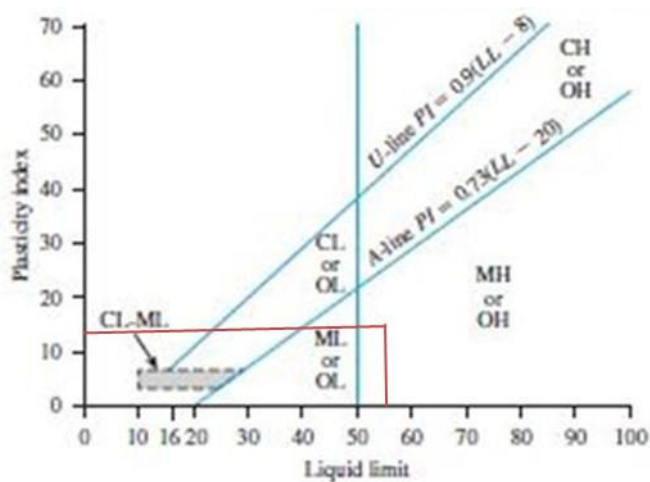


Gambar 4.1 Analisis saringan dan hidrometer

Dari gambar 4.1 di atas dapat dilihat bahwa tanah dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan ini memiliki persentase distribusi lolos saringan no. 200 sebesar 92,15% dan menurut sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) termasuk jenis tanah berbutir halus.

4.2.1.1 Sistem Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Berdasarkan sistem klasifikasi tanah sistem *unified* yang sudah diplotkan pada gambar 4.2, tanah lempung dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan ini tergolong sebagai tanah MH atau OH (lempung organik). Hasil ini didapatkan karena melihat dari hasil analisis butiran dengan persentase distribusi lolos saringan no. 200 sebesar 92,25% maka tanah tersebut merupakan tanah berbutir halus dan dilihat dari batas-batas atterberg tanah ini memiliki batas cair (*liquid limit*) sebesar 56,12 %, batas plastis (*plastic limit*) sebesar 43,36%, batas susut (*shrinkage limit*) sebesar 11,863 %, maka tanah ini mempunyai indeks plastisitas sebesar 12,76%.



Gambar 4.2 Klasifikasi Tanah USCS

4.2.1.2 Sistem Klasifikasi Tanah Sistem *AASHTO*

Berdasarkan sistem klasifikasi tanah sistem *American Assosiation of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) yang sudah diplotkan pada gambar 4.3, tanah lempung dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan ini memiliki nilai $LL = 56,12 \%$, $PI = 12,76\%$, maka tanah tersebut termasuk ke dalam golongan tanah berlempung (A-7-5).



Gambar 4.3 Klasifikasi Tanah AASHTO

4.2.2 Pengujian *Specific Gravity*

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai *specific gravity* sampel tanah yang mempunyai butiran lewat saringan no.40 dengan piknometer yang merupakan perbandingan antara berat volume butiran dengan berat volume air menggunakan volume yang sama pada temperatur tertentu. Pada pengujian ini digunakan temperatur 30° C. Hasil yang didapatkan dari pengujian adalah nilai G_s sebesar 2,463.

4.2.3 Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air memiliki tujuan untuk mengetahui nilai perbandingan antara berat air dalam tanah dengan berat butiran tanah dalam satuan persen (%). Dari pengujian kadar air didapatkan kadar air tanah asli sebesar 50,51%

4.2.4 Pengujian Berat Isi Tanah (*Density Test*) dan Porositas Tanah

Pengujian berat isi tanah (*density test*) memiliki tujuan untuk mengetahui berat volume suatu sampel tanah, sedangkan pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui nilai angka pori pada suatu sampel tanah. Hasil pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2

Hasil Pengujian Berat Isi dan Porositas Tanah

γ_d rata-rata	gram/cm ³	1,228	
Gs		2.463	
Volume Tanah Kering		5.169	
Isi Pori		5.628	5.001
Derajat Kejenuhan	%	92.397	96.372
Porositas	%	52.125	48.176
rata - rata porositas	%	50,15	

Dari data diatas dapat dihitung nilai angka pori dan γ_{sat} dengan cara berikut :

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

$$= \frac{5,3145}{5,169}$$

$$= 1,028$$

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1 + e}$$

$$= \frac{(2,463 + 1,028)1}{1 + 1,028}$$

$$= 1,721 \text{ gr/cm}^3$$

Jadi, dapat diketahui bahwa berat isi kering tanah lempung dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan adalah sebesar 1,228 gr/cm³, dengan angka pori sebesar 1,028, dan γ_{sat} sebesar 1,721 gr/cm³.

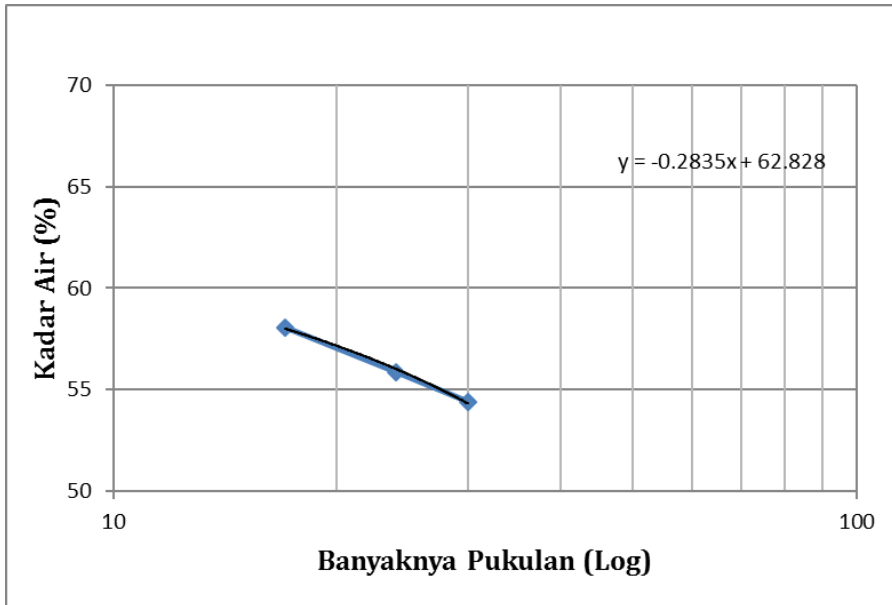
Menurut tabel angka pori, kadar air, dan berat volume kering untuk beberapa tipe tanah yang masih dalam keadaan asli pada tabel 2.3 pada bab tinjauan pustaka, hasil yang didapatkan memenuhi kriteria jenis tanah lempung lembek (*soft clay*).

4.2.5 Pengujian Batas – Batas Konsistensi (*Atterberg Limit*)

Pengujian batas – batas konsistensi atau *Atterberg Limit* terdiri dari tiga penelitian, yaitu :

a. Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*)

Pengujian batas cair memiliki tujuan untuk menentukan batas cair suatu tanah dan mengetahui jenis serta sifat tanah dengan ukuran butir lolos saringan no. 40. Hasil dari pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.4 Hubungan antara banyak pukulan dengan kadar air

Dari grafik dan tabel di atas, diperoleh nilai batas cair (LL) di Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan adalah sebesar 56,12 %.

b. Pengujian Batas Plastis (*Plastic Limit*) dan Indeks Plastis

Pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi plastis. Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan nilai batas plastis (PL) untuk Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan adalah sebesar 43,36%, sehingga Indeks Plastis yang diperoleh adalah :

$$IP = LL - PL$$

$$= 56,12 - 43,36$$

$$= 12,754 \%$$

c. Pengujian Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Pengujian batas susut bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi antara daerah semi padat dan padat. Dari pengujian batas susut, didapatkan nilai batas susut (SL) untuk Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan adalah sebesar 11,863 %.

4.2.6 Pengujian Permeabilitas

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menetapkan *Coeffisien Of Permeability* dengan cara *falling head* untuk aliran air yang melalui tanah berbutir halus. Pengujian permeabilitas dapat menunjukkan kemudahan butiran dalam meloloskan air. Semakin kecil nilai permeabilitas, maka semakin sulit air untuk menembus butiran, begitu pula sebaliknya. Dari pengujian permeabilitas dengan *falling head*, didapatkan nilai permeabilitas untuk tanah Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan adalah sebesar 0,0003786 cm/det, yang menurut tabel 2.4 pada bab tinjauan pustaka berarti tanah termasuk ke dalam jenis tanah lanau.

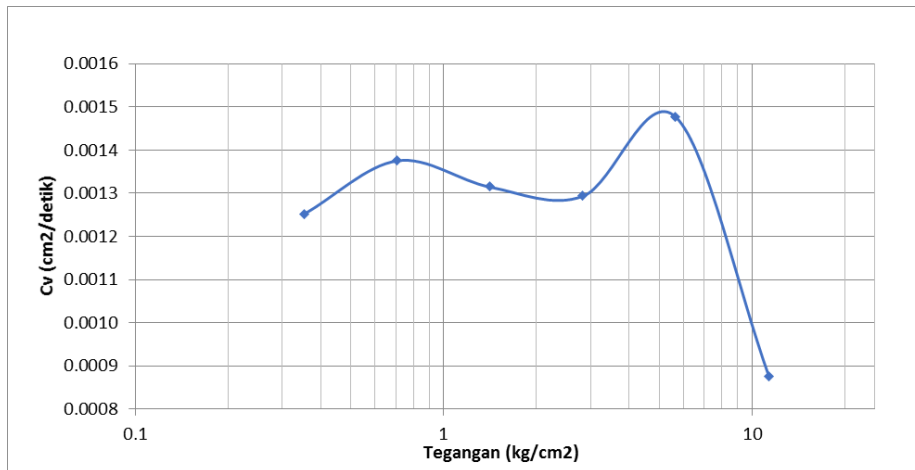
4.2.7 Pengujian Konsolidasi

Pemeriksaan konsolidasi bertujuan untuk menentukan sifat pemadatan suatu jenis tanah karena proses keluarnya air dari pori tanah yg diakibatkan oleh adanya tekanan vertikal yang bekerja pada tanah. Selain itu, penelitian konsolidasi juga bertujuan untuk mengetahui parameter konsolidasi suatu tanah yaitu Indeks Kompresi (C_c) dan Koefisien Konsolidasi (C_v). Dari hasil penelitian, didapatkan nilai sebagai berikut :

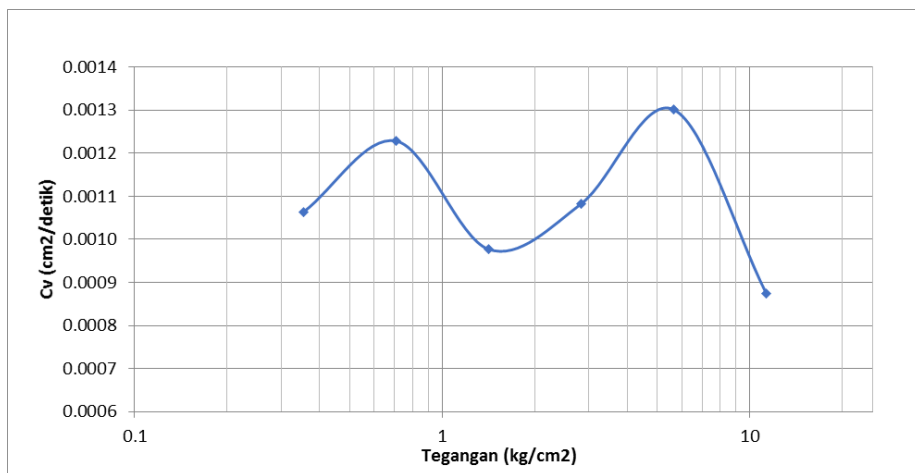
Tabel 4.3

Hasil C_v dengan Akar Waktu t_{90} dan Log Waktu t_{50}

Tegangan (kg/cm²)	C_v (t_{90})	C_v (t_{50})
0.354	0.001064	0.001252
0.707	0.001229	0.001376
1.415	0.000977	0.001315
2.829	0.001083	0.001294
5.659	0.001302	0.001477
11.318	0.000874	0.000876



Gambar 4.5 Hubungan antara tegangan dan Cv (t_{50})



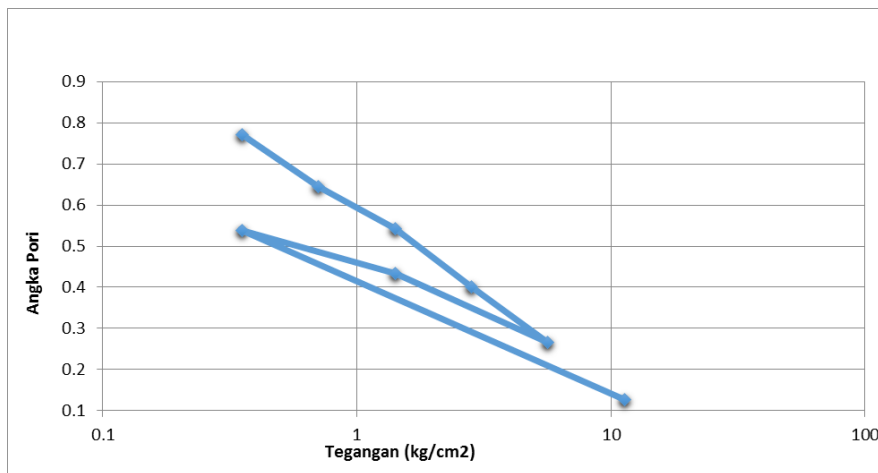
Gambar 4.6 Hubungan antara tegangan dan Cv (t_{90})

Koefisien konsolidasi (C_v) adalah parameter yang menghubungkan perubahan tekanan air pori terhadap waktu. Koefisien konsolidasi berhubungan dengan berapa lama suatu konsolidasi tanah tertentu akan terjadi dan juga tingkat penurunan konsolidasi yang akan terjadi untuk ke depannya. Hasil nilai C_v dapat dilihat pada tabel 4.3.

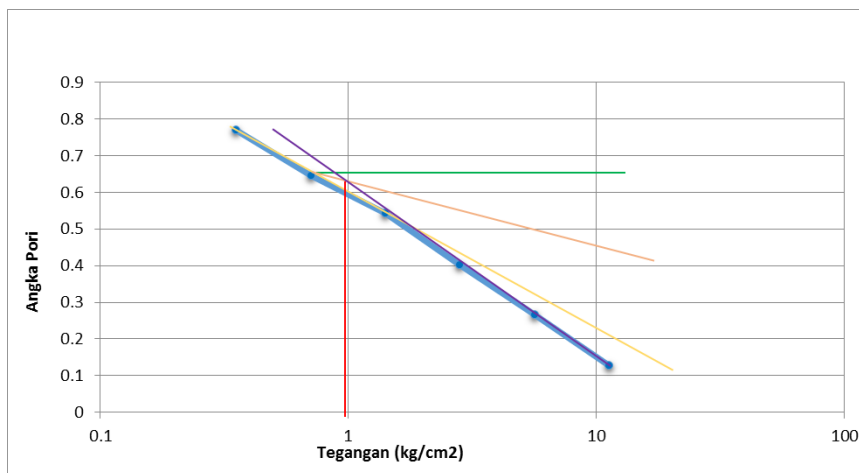
Tabel 4.4

Besarnya Konsolidasi dan Angka Pori

Tegangan (kg/cm ²)	Konsolidasi (ΔH) (cm)	Angka Pori $e = e_0 - \Delta e$
0.354	0.087	0.770
0.707	0.150	0.645
1.415	0.202	0.543
2.829	0.274	0.402
5.659	0.343	0.266
1.415	0.257	0.434
0.354	0.205	0.537
11.318	0.414	0.127



Gambar 4.7 Hubungan antara tegangan dan angka pori



Gambar 4.8 Hubungan antara tegangan dan angka pori tiap kenaikan beban

Dari tabel 4.4, dapat dihitung besarnya nilai C_c dengan cara :

$$\begin{aligned}
 C_c &= \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_4}{\sigma_3}} \\
 &= \frac{e_3 - e_4}{\log \frac{\sigma_4}{\sigma_3}} \\
 &= \frac{0.543 - 0.402}{\log \frac{2.829}{1.415}} \\
 &= 0,439
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c &= \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_5}{\sigma_4}} \\
 &= \frac{e_4 - e_5}{\log \frac{\sigma_5}{\sigma_4}} \\
 &= \frac{0.402 - 0.266}{\log \frac{5.659}{2.829}} \\
 &= 0,452
 \end{aligned}$$

Indeks Kompresi (C_c) berhubungan dengan berapa besarnya penurunan yang akan terjadi. Dari perhitungan didapatkan nilai C_c rata – rata sebesar 0,445, yang menurut tabel nilai C_c untuk macam – macam jenis tanah (tabel 2.5 bab tinjauan pustaka) menunjukkan bahwa tanah termasuk ke dalam jenis tanah lempung medium s/d lunak.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat dihitung besarnya penurunan tanah yang terjadi sebagai berikut :

Indeks pemampatan, $C_c = 0,445$

Tebal lapisan tanah terkonsolidasi = 15,5 m

Asumsi beban kendaraan dan struktur, $\Delta \sigma' = 30 \text{ Kn/m}^2$

Berat jenis tanah asli, $\gamma_{sat} = 12,31 \text{ Kn/m}^3$

Void ratio sebelum pembebanan, $e_o = 0,127$

Tegangan efektif *overburden*, $\sigma_0' = (7,75) \times (12,32 - 10) = 17,98 \text{ Kn/m}^2$

Sehingga diperoleh besarnya penurunan :

$$\begin{aligned}
 S_c &= \frac{Cc \cdot H}{1+e_o} \log \left(\frac{\sigma'_{0'} + \Delta\sigma'}{\sigma'_{0'}} \right) \\
 &= \frac{0,445 \times 15,5}{1+0,127} \log \left(\frac{17,98+30}{17,98} \right) \\
 &= 2,65 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Selain itu, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan konsolidasi sebesar 2,65 m juga dapat dihitung dengan analisa waktu 90% konsolidasi, sebagai berikut :

Tebal lapisan tanah terkonsolidasi = 15,5 m

Panjang aliran drainase, $H_{dr} = 7,75 \text{ m}$

Koefisien kecepatan konsolidasi, $C_v = 8,74 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{det}$

Faktor waktu untuk konsolidasi 90%, $t_{90} = 0,848$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{T_v \times H^2 \times dr}{C_v} \\
 &= \frac{0,848 \times 7,75^2}{8,74 \times 10^{-8}} \\
 &= 799.576.138 \text{ detik} \\
 &= 799.576.138 / (3600 \times 24 \times 30) \\
 &= 308,5 \text{ bulan} = 25,7 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Jadi, konsolidasi yang terjadi sebesar 2,65 m dalam waktu tempuh 25,7 tahun.

4.3 Pengujian Pengembangan (*Swelling*)

Pada pengujian Pengembangan (*swelling*) yang telah dilakukan, dengan perendaman sampel selama 4 hari dan dibebani dengan beban sebesar 4,5 kg, didapatkan hasil bahwa nilai pengembangan pada tanah sampel sebesar 0,812%, yang menurut tabel pengembangan tanah berarti tanah termasuk ke dalam tanah dengan pengembangan rendah.

4.4 Pengujian Sifat Mekanik Tanah dengan Pemadatan

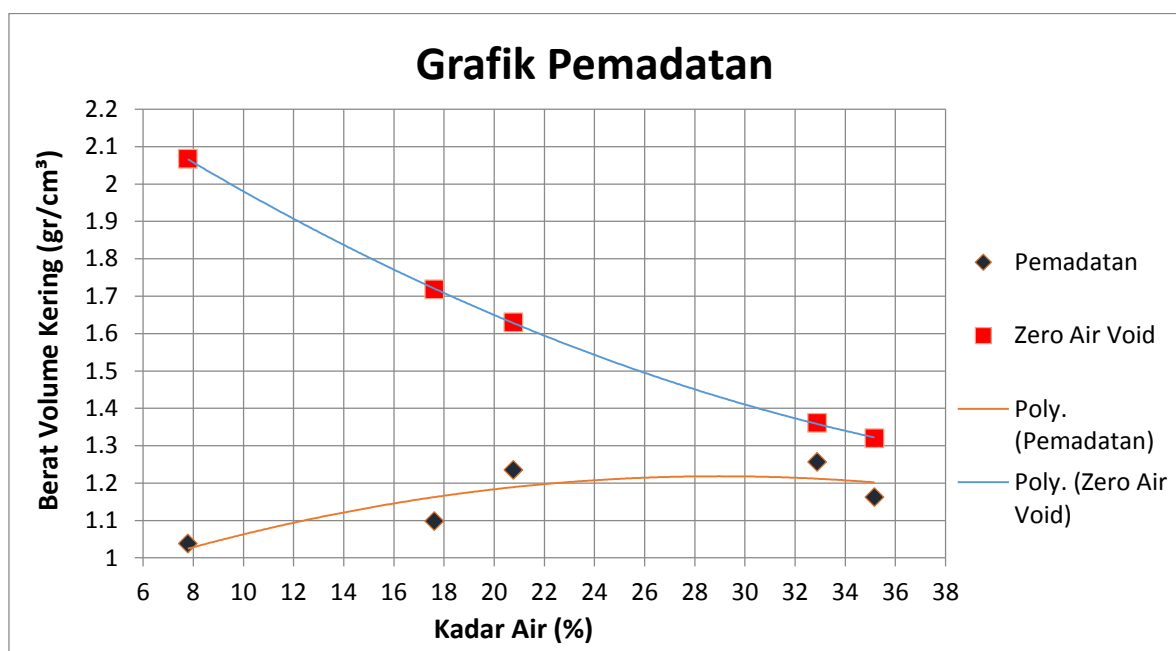
Pengujian pemadatan standart memiliki tujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan cara memadatkan suatu sampel tanah dalam silinder berukuran tertentu menggunakan cetakan. Sampel tanah yang digunakan adalah tanah yang lolos saringan no. 4.

Pemadatan standart memiliki tujuan untuk mencari nilai Kadar Air Optimum (*Optimum Moisture Content*) dan juga nilai berat isi kering maksimum. Pada pengujian pemadatan standart didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.5

Hasil Pengujian Pemadatan Standart

Percobaan		1	2	3	4	5
kadar air (w)	%	7.778	17.610	20.771	32.885	35.160
berat isi kering (γ_d)	gr/cm ³	1.038	1.098	1.235	1.256	1.163
berat jenis Zero Air Void (γ_{zav})	gr/cm ³	2.067	1.718	1.629	1.361	1.320



Gambar 4.9 Hubungan antara kadar air dengan berat volume tanah kering

Dari kurva di atas, dapat diketahui bahwa tanah di Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan memiliki nilai kadar air optimum (OMC) sebesar 31,25 % dengan berat isi kering maksimum ($\gamma_d maks$) sebesar 1,2467 gr/cm³. kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering maksimum ($\gamma_d maks$) inilah yang nantinya akan digunakan acuan untuk pembuatan sampel rencana penelitian. Berat isi kering maksimum ($\gamma_d maks$) ini akan digunakan sebagai variabel terikat (pengontrol) dalam pembuatan sampel CBR, triaksial, dan *unconfined* dengan variasi kadar air.

4.5 Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

Pada penelitian ini, pengujian CBR dibedakan menjadi dua bagian yaitu CBR tidak terendam (*unsoaked*) dan CBR terendam (*soaked*). Untuk masing – masing sampel dilakukan variasi kadar air sebesar 20%, 25%, 31,25%, 32%, 33% dan 38%. Selain itu, sampel yang digunakan menggunakan berat isi kering maksimum yang sama, serta menggunakan mold dengan diameter dan tinggi yang sama.

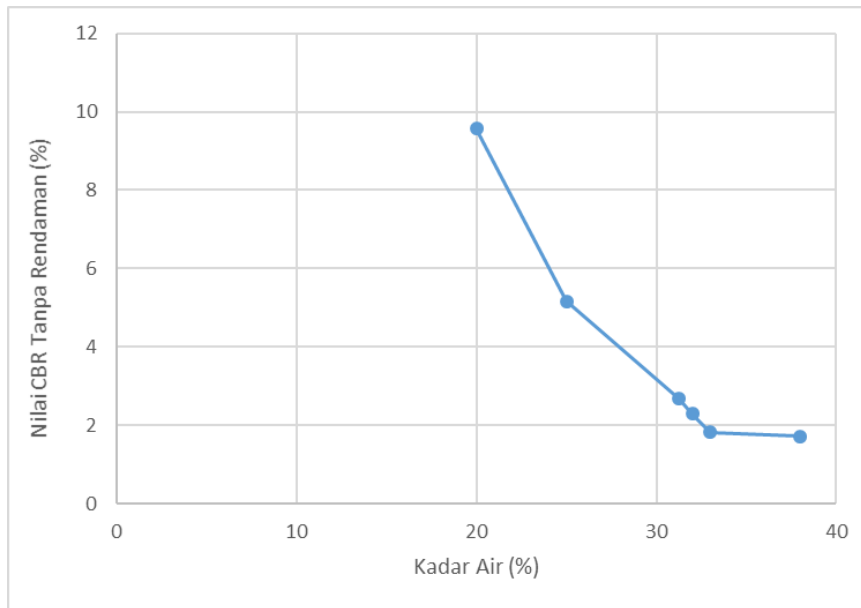
4.5.1 CBR Tanpa Rendaman (*Unsoaked*)

Pengujian CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai CBR tanpa melalui proses perendaman melainkan langsung dengan pengujian menggunakan alat uji CBR. Secara umum nilai CBR tanpa rendaman akan akan berkurang ketika kadar air tinggi. Hasil dari pengujian CBR tanpa rendaman dengan variasi kadar air adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6

Hasil Pengujian CBR dengan Tanpa Rendaman (*Unsoaked*)

no.	Variasi Kadar Air (%)	Nilai CBR Unsoaked (%)
1	20	9,57
2	25	5,17
3	31,25	2,68
4	32	2,30
5	33	1,82
6	38	1,72



Gambar 4.10 Hubungan antara kadar air dengan CBR tanpa rendaman

Dari tabel 4.6 dapat diketahui bahwa nilai CBR tanpa rendaman terbesar dengan nilai 9,57% pada saat kadar air 20%, dan nilai CBR tanpa rendaman terendah dengan nilai 1,72% pada saat kadar air 38%. Sehingga dapat diketahui bahwa semakin tinggi kadar air pada CBR tanpa rendaman, maka nilai CBR semakin kecil, begitupula sebaliknya.

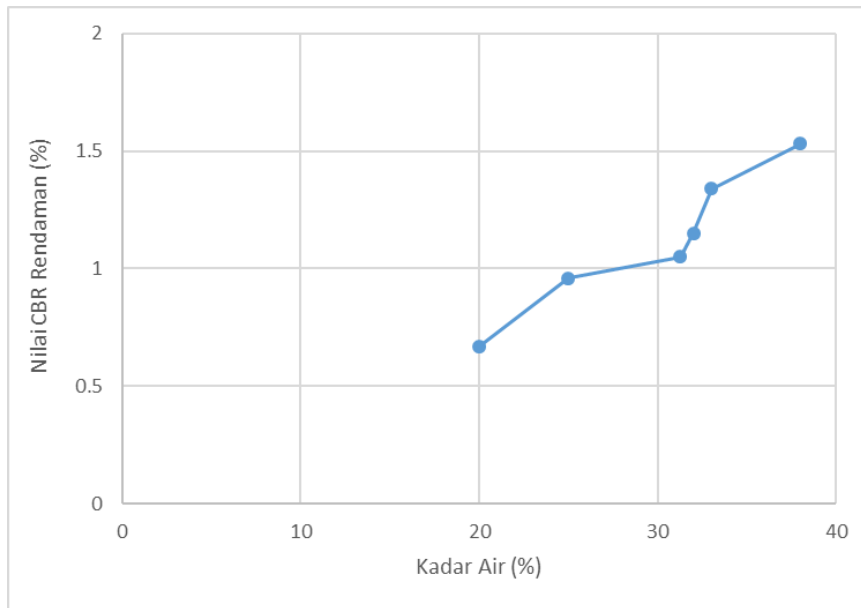
4.5.2 CBR Rendaman (*Soaked*)

Pengujian CBR ini dilakukan dengan tujuan untuk mencari besarnya nilai CBR dalam keadaan tanah terendam. Sampel yang diuji adalah sampel tanah yang telah direndam selama 4 hari. Hasil pengujian CBR terendam (*soaked*) dengan variasi kadar air, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.7

Hasil Pengujian CBR dengan Rendaman (*Soaked*)

no.	Variasi Kadar Air Awal (%)	Nilai CBR <i>soaked</i> (%)	Variasi Kadar Air Akhir (%)
1	20	0,67	62,332
2	25	0,96	59,040
3	31,25	1,05	55,617
4	32	1,15	46,269
5	33	1,34	40,041
6	38	1,53	38,662



Gambar 4.11 Hubungan antara kadar air awal dengan CBR rendaman

Dari hasil yang ditampilkan pada tabel 4.7, dapat diketahui bahwa nilai CBR rendaman terbesar dengan nilai 1,53% terjadi pada kadar air 38%, dan nilai CBR rendaman terkecil dengan nilai 0,67% terjadi saat kadar air 20%. Sehingga dapat diketahui apabila kadar air semakin tinggi, maka nilai CBR rendaman semakin besar, dan juga sebaliknya, semakin rendah kadar air maka nilai CBR rendaman semakin kecil. Hal tersebut diakibatkan peredaman yang dilakukan akan meningkatkan kadar air tanah, sehingga apabila sampel memiliki kadar air yang rendah (dibawah OMC) yang berarti masih terdapat rongga kosong yang banyak sehingga air dari perendaman banyak yang terserap dan kadar air yang diterima sampel tanah semakin besar yang menyebabkan nilai CBR semakin kecil, begitupun sebaliknya.

4.5.3 Perbandingan Nilai CBR Tanpa Rendaman Dan Rendaman

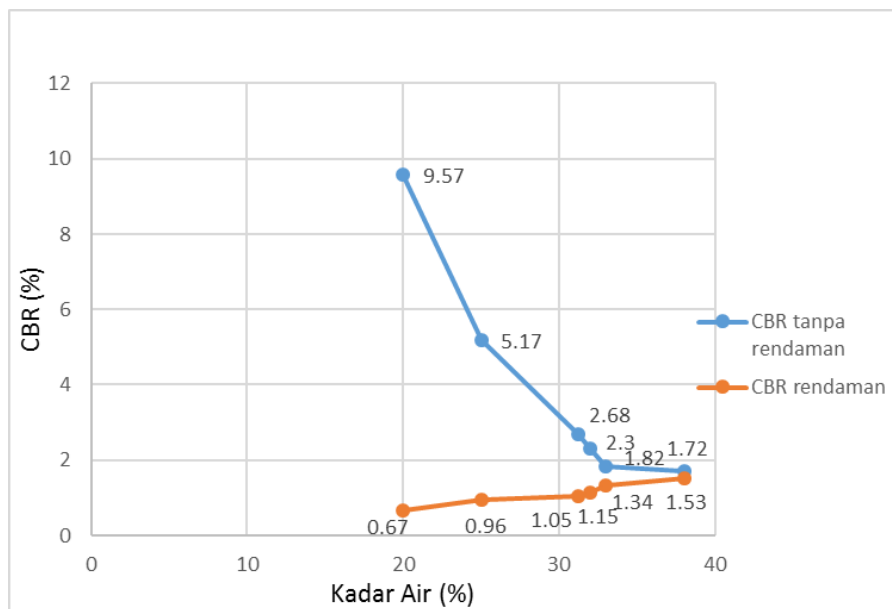
Dapat dilihat pada tabel 4.6 dan tabel 4.7 bahwa nilai CBR rendaman mengalami penurunan bila dibandingkan dengan nilai CBR tanpa rendaman. Berikut adalah hasil perbandingan nilai CBR rendaman dan tanpa rendaman :

Tabel 4.8

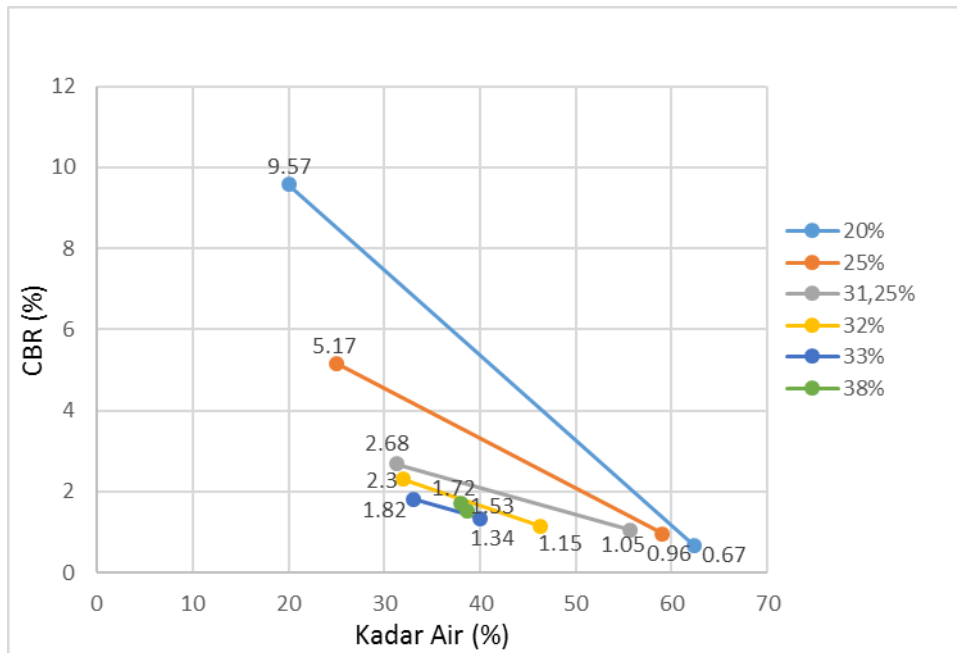
Hasil Pengujian CBR Dengan dan Tanpa Rendaman dengan Variasi Kadar Air

No.	Variasi Kadar Air (%)	Nilai CBR <i>Unsoaked</i> (%)	Nilai CBR <i>Soaked</i> (%)	Penurunan (%)
1	20	9,57	0,67	890
2	25	5,17	0,96	421
3	31,25	2,68	1,05	163
4	32	2,30	1,15	115
5	33	1,82	1,34	48
6	38	1,72	1,53	19

Dari tabel 4.8 dapat dilihat bahwa penurunan nilai CBR antara CBR tanpa rendaman dengan CBR rendaman paling tinggi sebesar 890% yang terjadi pada saat kadar air 20%. Semakin tinggi kadar air, maka penurunan nilai CBR antara CBR tanpa rendaman dengan CBR rendaman akan semakin kecil yaitu 19% pada saat kadar air 38%.



Gambar 4.12 Hubungan CBR tanpa rendaman dengan CBR rendaman kadar air awal



Gambar 4.13 Hubungan CBR tanpa rendaman dengan CBR rendaman kadar air akhir

4.6 Penentuan Nilai Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk memikul tekanan atau melawan penurunan akibat adanya pembebanan, yaitu gaya geser yang disebarkan oleh tanah sepanjang bidang – bidang gesernya. Hasil dari penyelidikan daya dukung tanah digunakan dalam perencanaan pondasi maupun subgrade.

Dari data nilai CBR yang diperoleh dengan menghubungkan ke dalam grafik hubungan antara CBR dengan daya dukung tanah (gambar 2.20 di bab tinjauan pustaka), maka diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.9

Hubungan Besarnya CBR *Unsoaked* dengan Nilai Daya Dukung Tanah

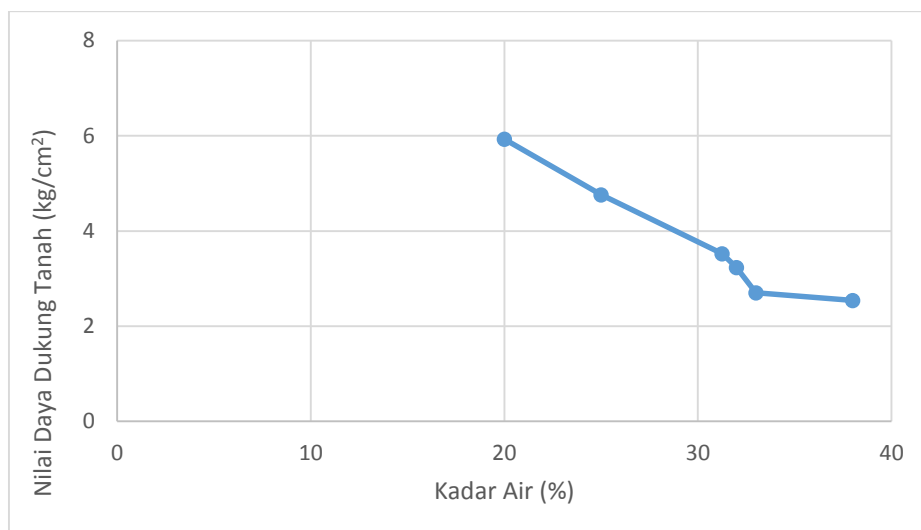
No.	Variasi Kadar Air (%)	Nilai CBR <i>unsoaked</i> (%)	Nilai Daya Dukung Tanah
1	20	9,57	5,93
2	25	5,17	4,76
3	31,25	2,68	3,52
4	32	2,30	3,23
5	33	1,82	2,70
6	38	1,72	2,54

Tabel 4.10

Hubungan Besarnya CBR *Soaked* dengan Nilai Daya Dukung Tanah

No.	Variasi Kadar Air (%)	Nilai CBR <i>soaked</i> (%)	Nilai Daya Dukung Tanah
1	20	0,67	1,21
2	25	0,96	1,61
3	31,25	1,05	1,73
4	32	1,15	1,92
5	33	1,34	2,22
6	38	1,53	2,40

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa semakin besar nilai CBR maka nilai daya dukung tanah juga akan semakin besar, begitupun sebaliknya. Selain itu juga dapat diketahui hubungan antara kadar air dengan nilai daya dukung tanah, sebagai berikut :



Gambar 4.14 Hubungan antara kadar air dengan nilai daya dukung tanah

4.7 Pengujian Triaksial (*Triaxial Test*)

Uji triaksial dimaksudkan untuk mencari parameter kuat tegangan geser. Pengukuran dilakukan dengan memberikan tekanan vertikal, selama pemberian tekanan vertikal ini bisa dilihat saat terjadi keruntuhan tanah yaitu pada saat pembacaan proving ring maksimum. Hasil akhir dari uji triaksial ini adalah diperoleh nilai sudut geser (ϕ) dan kohesi (c).

Benda uji yang diujikan untuk uji triaksial ini sama dengan benda uji *unconfined* yaitu benda uji tanah asli (*undisturbed*), benda uji yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC)(*remolded*), serta benda uji yang dipadatkan dengan variasi kadar air 20%, 25%, 32%, 33%, dan 38%.

Tabel 4.11

Perbandingan Sudut Geser (Φ) dan Kohesi (C) untuk Tanah *Undisturbed* dan *Remolded*

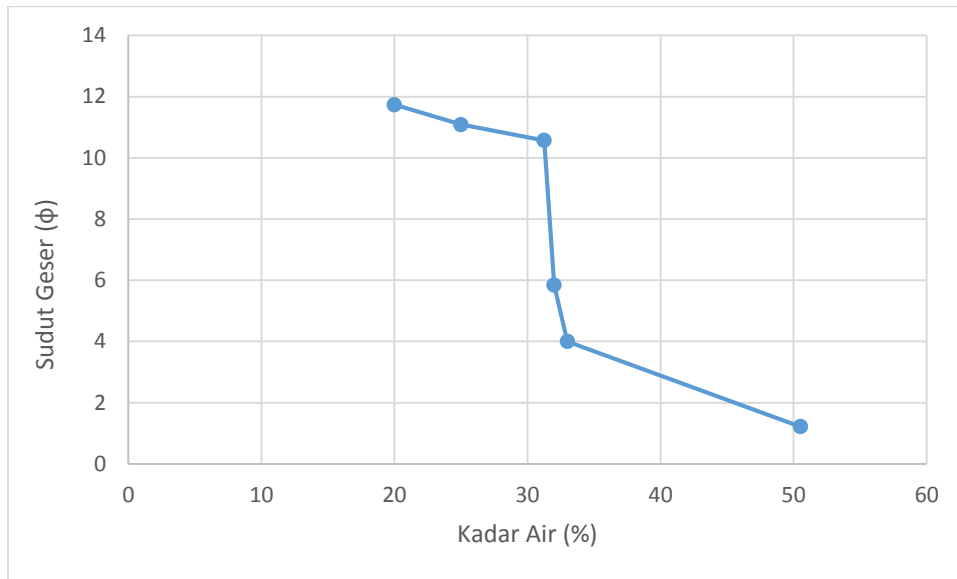
No.	Tanah	Kadar Air (%)	ϕ (°)	c
1	Tanah asli (<i>undisturbed</i>)	50,51	1.2197	0,189
2	Tanah dipadatkan dengan OMC (<i>remolded</i>)	31,25	10,569	0,421

Pada tabel 4.11 dapat dilihat bahwa nilai sudut geser dan kohesi pada tanah yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) memiliki nilai yang lebih besar yaitu dibandingkan dengan tanah asli (*undisturbed*). Hal tersebut terjadi kerana kondisi tanah asli (*undisturbed*) memiliki kadar air yang lebih tinggi yaitu 50,51% dibandingkan dengan tanah yang dipadatkan dengan OMC. Seperti yang diketahui kondisi pengambilan sampel tanah asli (*undisturbed*) diambil ketika musim penghujan sehingga tanah memiliki kadar air yang cukup tinggi, sehingga mengurangi sudut geser dan kohesi tanah.

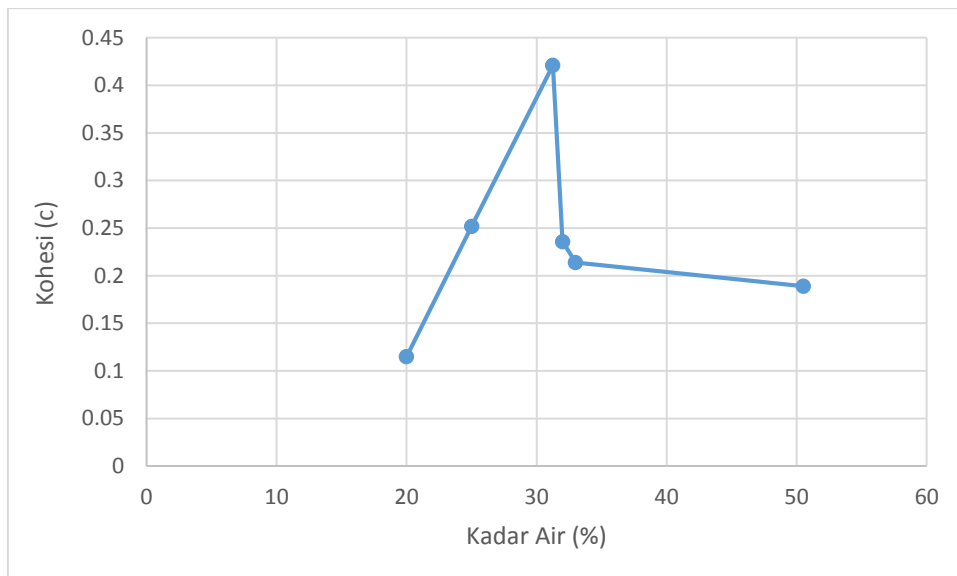
Tabel 4.12

Hasil Sudut Geser (Φ) dan Kohesi (C) dengan Variasi Kadar Air

No.	Kadar Air (%)	ϕ (°)	c
1	20	11,740	0,115
2	25	11,090	0,252
3	31,25 (OMC)	10,569	0,421
4	32	5,844	0,236
5	33	4,004	0,214
6	<i>Undisturbed</i>	1.2197	0,189



Gambar 4.15 Hubungan antara kadar air dengan sudut geser



Gambar 4.16 Hubungan antara kadar air dengan kohesi

Sudut geser untuk tanah *undisturbed* memiliki nilai yang paling rendah yaitu 1,2197°. Peningkatan sudut geser juga terlihat pada gambar 4.15 untuk tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) dengan sudut geser (ϕ) sebesar 10,569°. Untuk tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) terjadi peningkatan sudut geser (ϕ) sebesar 228% dari tanah asli. Sudut geser terbesar terjadi ketika keadaan tanah dengan kadar air 20% dengan nilai sudut geser (ϕ) sebesar 11,740°.

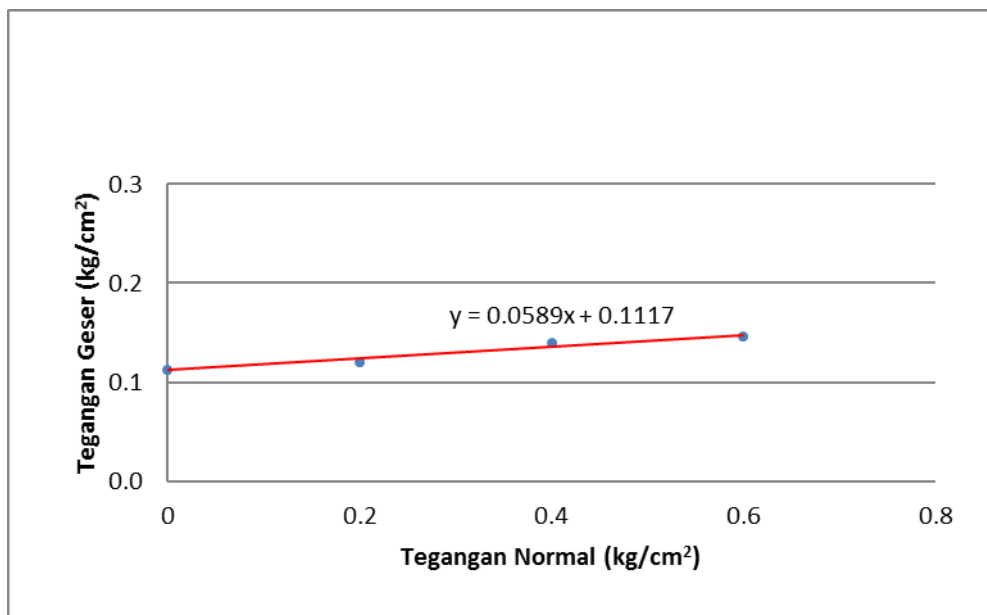
Dapat dilihat pada gambar 4.16, nilai kohesi (c) maksimum berada pada titik sekitar kadar air optimum (OMC) sebesar 0,421, nilai kohesi (c) ini meningkat 123% dari nilai

kohesi (c) tanah asli (*undisturbed*). Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel yang sejenis, kohesi dipengaruhi oleh kerapatan dan jarak antarpartikel dalam tanah. Untuk kohesi dalam keadaan kadar air 20% dan 25% nilai kohesinya lebih kecil dibandingkan dengan keadaan OMC, hal ini dikarenakan tanah belum mencapai keadaan optimum atau kepadatan optimum, dan karena tidak pada keadaan optimum tanah itulah pada keadaan ini memiliki gaya tarik menarik antarpartikel rendah.

Untuk keadaan tanah OMC memiliki nilai kohesi yang paling tinggi dikarenakan gaya tarik menarik antarpartikel tinggi, dalam keadaan kadar air optimum (OMC) ini tanah memiliki kerapatan atau kepadatan yang paling maksimum.

Pada tanah keadaan kadar air 32%, 33%, dan 38% nilai kohesi kembali terjadi penurunan. Penurunan nilai kohesi ini disebabkan oleh adanya pergerakan partikel-partikel tanah yang saling menjauhi satu sama lain akibat dari pori-pori tanah terisi terlalu banyak air sehingga terjadi pelemahan ikatan antar partikel dalam tanah.

Untuk sampel tanah dengan kadar air 38% tidak dapat diuji menggunakan pengujian triaksial karena kondisi sampel yang sudah sangat lembek sehingga sulit bila menggunakan triaksial, sehingga sampel diuji menggunakan metode *direct shear*.



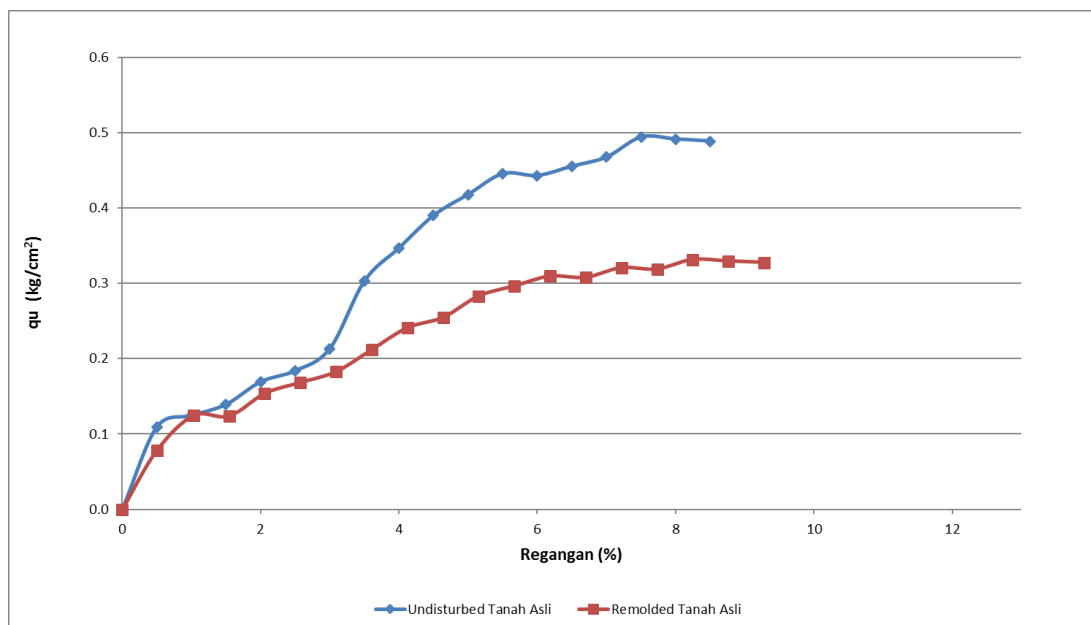
Gambar 4.17 Hubungan antara tegangan normal dengan tegangan geser

Dari gambar 4.17 didapatkan nilai kohesi sebesar $0,1117 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai sudut geser sebesar $3,4336^\circ$.

4.8 Pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined*)

Uji kuat tekan bebas merupakan uji kekuatan tanah dengan tekanan satu arah. Kuat tekan bebas adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 15%. Uji ini menghasilkan hubungan antara tegangan aksial tekan dengan regangan.

Benda yang diuji dalam pemeriksaan *unconfined* adalah tanah asli (*undisturbed*), tanah *remolded*, tanah *remolded* yang sudah dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC), serta pemberian variasi kadar air dengan nilai 20%, 25%, 32%, dan 33%. Hasil yang diperoleh dari uji tekan bebas untuk tanah asli (*undisturbed*) dan tanah *remolded* adalah seperti diperlihatkan pada gambar 4.18 berikut.

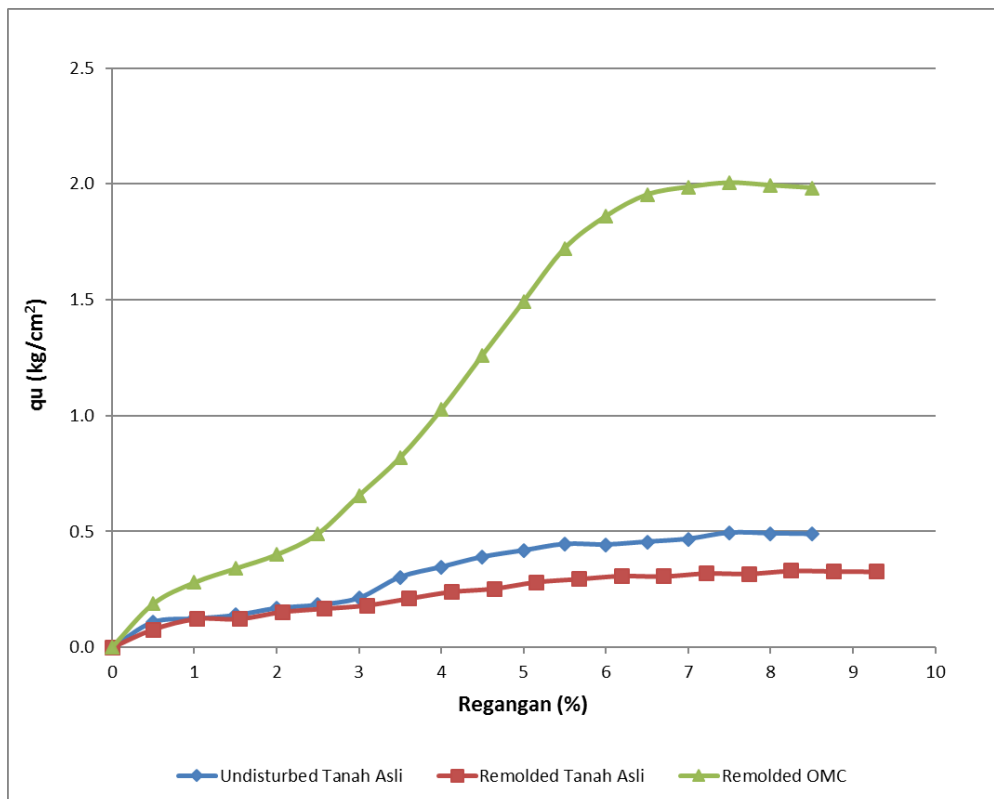


Gambar 4.18 Perbandingan tegangan-regangan tanah *undisturbed-remolded*

Hasil pengujian *unconfined* seperti terlihat pada gambar 4.18 menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum untuk tanah lunak Grati, Pasuruan pada kondisi *undisturbed* lebih besar daripada tegangan maksimum untuk tanah *remolded*. Tanah kondisi *undisturbed* memiliki tegangan maksimum sebesar 0,494 kg/cm² sedangkan tanah kondisi *remolded* memiliki tegangan maksimum sebesar 0,331 kg/cm², hal ini sesuai bahwa tegangan saat runtuh (q_u) untuk tanah *undisturbed* lebih besar daripada tanah *remolded*.

Sedangkan untuk nilai tegangan pada saat regangan yang sama menunjukkan bahwa tegangan untuk tanah *undisturbed* lebih besar daripada tanah *remolded*, seperti terlihat pada gambar 4.18 pada saat regangan mencapai 5% tegangan tanah *undisturbed* lebih besar.

Nilai tegangan regangan pada tanah *undisturbed* akan berbeda dengan tanah yang sudah diberi perlakuan khusus (*remolded*), perlakuan khusus ini adalah tanah yang dipadatkan dengan berat isi kering maksimum (γ_d maks) dan kadar air optimum (OMC). Perbandingan nilai tegangan regangan pada tanah *undisturbed remolded* ini akan ditampilkan pada gambar 4.19.

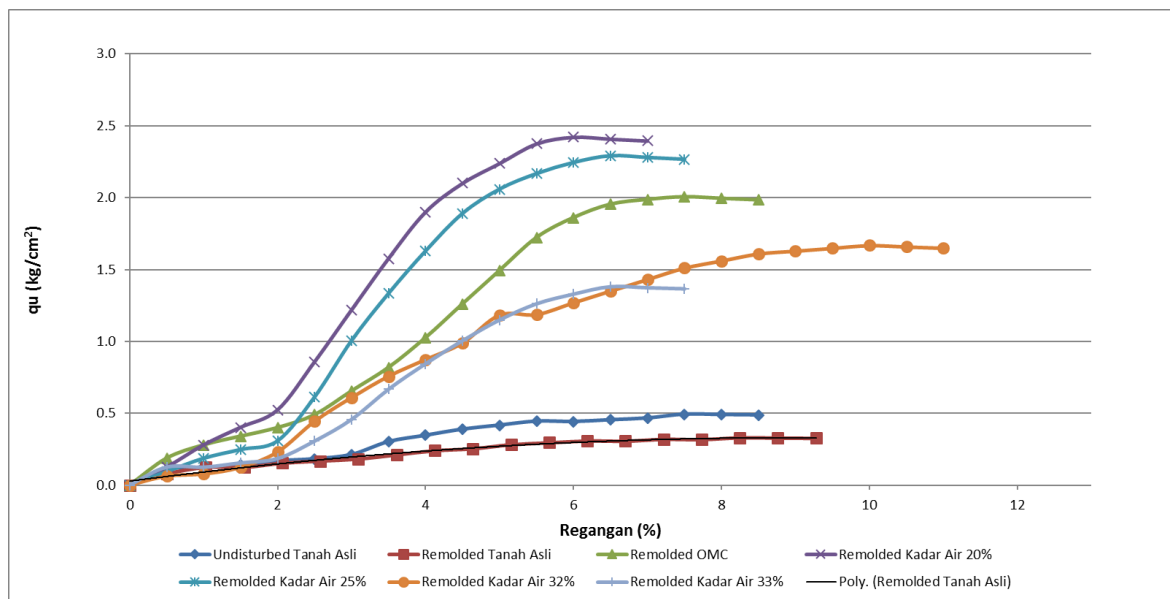


Gambar 4.19 Perbandingan tegangan-regangan tanah *undisturbed-remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC).

Tanah *remolded* dari tanah asli yang memiliki perbedaan kadar air dengan tanah *remolded* yang sudah dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC), nilai tegangan maksimum akan semakin besar dibandingkan dengan tanah *undisturbed*. Dari gambar 4.19 dapat dilihat bahwa tegangan maksimum untuk tanah *remolded* dengan cara dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) yaitu $2,005 \text{ kg/cm}^2$ yang lebih besar daripada tegangan maksimum tanah *undisturbed* yang hanya memiliki q_u rata-rata $0,494 \text{ kg/cm}^2$. Hal ini dikarenakan pemadatan dapat mengakibatkan perubahan-perubahan struktur tanah salah satunya adalah peningkatan kekuatan tanah, dimana kekuatan tanah lempung yang dipadatkan akan bergantung pada cara usaha pemadatan, macam tanah, kondisi tanah dan kadar air saat dipadatkan.

Untuk nilai pada saat regangan yang sama sebesar 5% dapat terlihat pada gambar 4.19, tanah *remolded* yang dipadatkan dan diberikan kadar air optimum (OMC) memiliki nilai tegangan lebih besar dibandingkan dengan tanah asli (*undisturbed*).

Setelah mengetahui bahwa dengan pemadatan dan kadar air optimum (OMC) meningkatkan nilai tegangan, maka dilanjutkan pengujian untuk benda uji yang dipadatkan namun variasi kadar air yang berbeda, sesuai dengan rancangan penelitian. Hasil yang didapatkan dari uji kuat tekan bebas untuk benda uji dengan variasi kadar air adalah sebagai berikut.



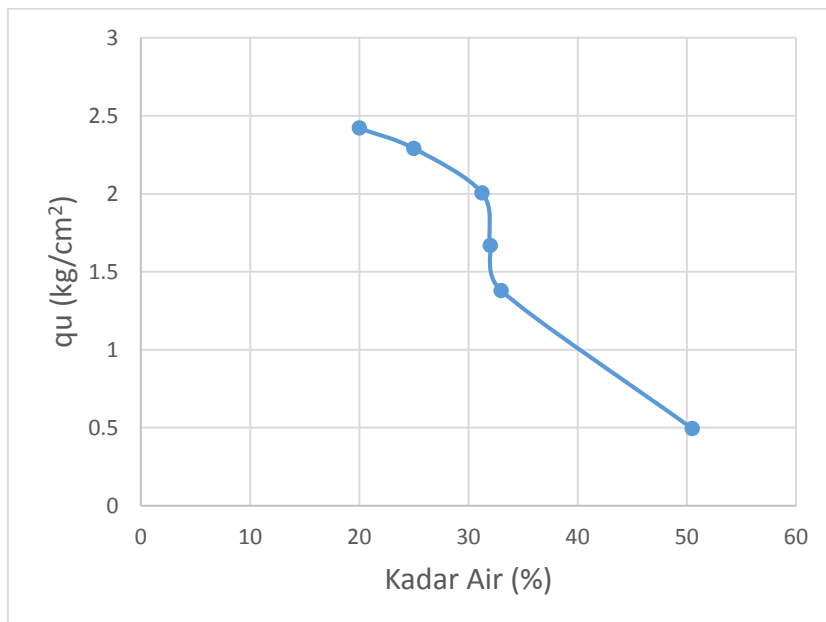
Gambar 4.20 Perbandingan tegangan-regangan tanah (*undisturbed*, *remolded* OMC, *remolded* dengan divariasikan kadar air).

Pada gambar 4.20 menunjukkan bahwa tegangan maksimum tanah lunak *undisturbed* mempunyai nilai terkecil, hal ini disebabkan karena tanah *undisturbed* memiliki kadar air yang lebih tinggi dari pada yang lain dan tanah ini masih tanah asli. Sedangkan untuk tanah *remolded* semakin tinggi kadar air yang diberikan maka semakin rendah tegangan maksimum dari tanah tersebut. Hal ini juga sudah sesuai bahwa kadar air pada tanah lempung lunak sangatlah sensitif, semakin rendah kadar air pada tanah ekspansif akan semakin kaku dan tanah tersebut akan memiliki tegangan yang lebih tinggi, begitu juga sebaliknya jika kadar air pada tanah lunak tinggi maka tanah akan lembek dan memiliki tegangan lebih rendah.

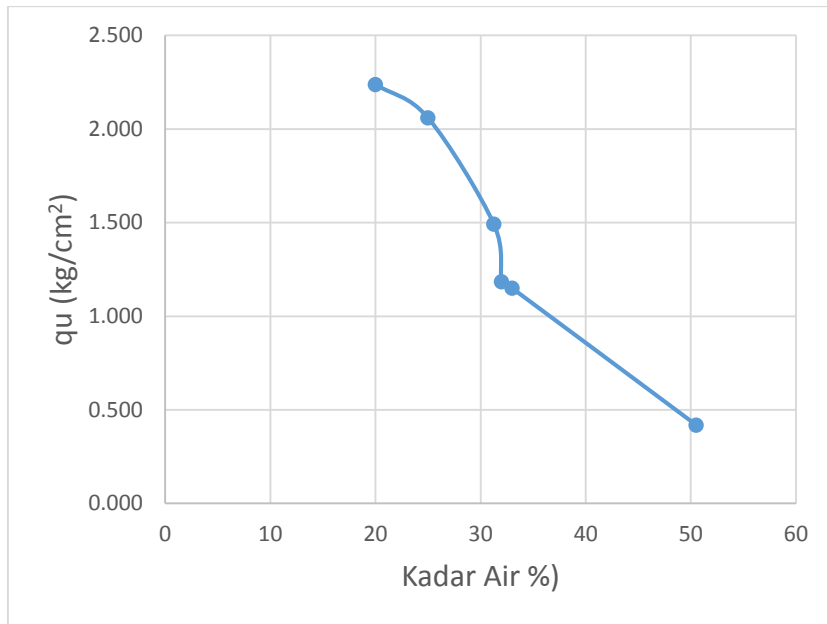
Tabel 4.13

Perbandingan q_u dan C_u dari Variasi Kadar Air

No.	Kadar Air (%)	q_u (kg/cm ²)	C_u (kg/cm ²)
1	20	2,421	1,210
2	25	2,291	1,146
3	31,25 (OMC)	2,005	1,003
4	32	1,668	0,834
5	33	1,380	0,690
6	<i>Unsditurbed</i>	0,494	0,247

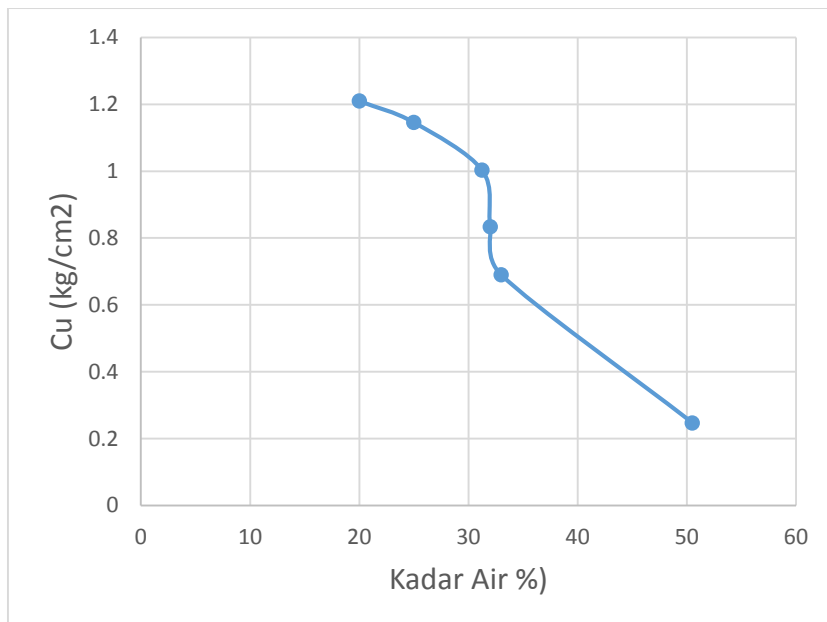
Gambar 4.21 Pengaruh kadar air terhadap q_u

Pengaruh kadar air terhadap nilai q_u dan nilai q_u untuk tanah asli (*undisturbed*) ditunjukkan pada gambar 4.21, untuk tanah asli (*undisturbed*) dihasilkan q_u dengan nilai terendah diantara semua benda uji yaitu 0,494 kg/cm². Sedangkan untuk tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) memiliki nilai q_u 2,005 kg/cm². Selain itu, dari gambar 4.21 juga dapat diketahui bahwa semakin tinggi kadar air maka nilai q_u semakin menurun.



Gambar 4.22 Pengaruh kadar air terhadap q_u pada saat regangan sebesar 5%.

Nilai tegangan ini adalah nilai tegangan pada saat regangan pada semua sampel sama yaitu pada saat regangan tanah 5%. Tegangan pada tanah *undisturbed* sebesar $0,418 \text{ kg/cm}^2$ lebih kecil dibandingkan dengan tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) sebesar $1,492 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan nilai tegangan terbesar senilai $2,238 \text{ kg/cm}^2$ terjadi pada saat kadar air 20%.



Gambar 4.23 Pengaruh kadar air terhadap Cu

Pada gambar 4.23 terlihat bahwa nilai C_u pada tanah *undisturbed* memiliki nilai paling kecil yaitu $0,247 \text{ kg/cm}^2$, untuk tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum memiliki nilai C_u sebesar $1,003 \text{ kg/cm}^2$. Nilai C_u terbesar terjadi saat kadar air 20% dengan nilai $1,210 \text{ kg/cm}^2$.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik tanah di Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan sebagai berikut :
 - a. Menurut pengujian SPT yang dilakukan oleh PT. Adhi Karya, didapatkan hasil bahwa tanah di daerah tersebut termasuk ke dalam jenis tanah lunak dengan tebal lapisan 15,5 m.
 - b. Menurut sistem klasifikasi tanah *Unified* termasuk ke dalam golongan MH atau OH (lanau plastisitas tinggi atau lempung organik), sedangkan menurut klasifikasi AASHTO, termasuk ke dalam golongan tanah lempung grup A-7-5.
 - c. Tanah memiliki nilai $LL = 56,12\%$, $PL = 43,36\%$, $SL = 11,86\%$, dan $PI = 12,70\%$, dengan kadar air asli sebesar 50,51%.
 - d. Dari pengujian *falling head* didapatkan nilai permeabilitas sebesar 0,0003786 cm/det, yang berarti tanah termasuk ke dalam jenis tanah lanau.
 - e. Dengan menggunakan pengujian konsolidasi, didapatkan bahwa tanah mengalami penurunan sebesar 2,65 m yang ditempuh dalam waktu 25,7 tahun.
 - f. Pada pengujian pepadatan, didapatkan OMC sebesar 31,25% dan berat isi kering maksimum sebesar 1,2467 gr/cm³.
 - g. Dengan pengujian pengembangan, tanah memiliki nilai pengembangan sebesar 0,812% yang termasuk ke dalam tanah dengan pengembangan rendah.
2. Dengan menggunakan pengujian konsolidasi, diketahui bahwa tanah di Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan memiliki nilai $C_v = 0.000875 \text{ cm}^2/\text{det}$, C_c rata - rata = 0,445, $m_v = 0,059$, dan nilai konsolidasi sebesar 2,65 m dengan lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan tersebut sebesar 25,7 tahun.
3. Hubungan kadar air terhadap nilai CBR, kuat geser tanah dan daya dukung tanah :
 - a. Nilai CBR *unsoaked* akan mengalami penurunan kekuatan daya dukung seiring penambahan kadar air yang berlebih. Sedangkan CBR *soaked* nilai CBR yang didapat akan semakin besar seiring penambahan kadar air.

- b. Pada pengujian *Unconfined Compression Test*, kadar air pada tanah asli berpengaruh terhadap kuat geser tanah. Semakin besar kadar air, nilai q_u , tegangan dan C_u semakin kecil. Sedangkan pada pengujian triaksial, semakin besar kadar air pada tanah, nilai sudut geser dalam (ϕ) tanah semakin kecil. Berbeda dengan nilai kohesi, nilai kohesi maksimum berada pada daerah OMC (kadar air optimum).

5.2 SARAN

Setelah melakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil penelitian ini, maka muncul saran-saran untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut. Saran-saran yang dapat diberikan adalah:

1. Dengan kemungkinan akan adanya penurunan tanah yang besar, maka perlu dilakukan perbaikan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah.
2. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan menggunakan benda uji dari jenis tanah yang berbeda selain tanah lempung lunak.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. 1992. **Analisa dan Desain Pondasi Jilid 1 (Edisi Keempat)**. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, Joseph E. 1993. **Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)**. Jakarta: Erlangga.
- Craig, RF. 1991. **Mekanika Tanah Edisi Keempat**. Jakarta: Erlangga.
- Das, B.M., Noor, E. dan Mochtar, I.B. 1995. **Mekanika Tanah Jilid 1**. Surabaya: Erlangga.
- Das, B.M., Noor, E. dan Mochtar, I.B. 1993. **Mekanika Tanah Jilid 2**. Surabaya: Erlangga.
- Das, B.M. 1999. *Shallow Foundation: Bearing Capacity and Settlement*, CRC Press, Sacramento, California.
- Hardiyatmo, H.C. 2012. **Mekanika Tanah 1**. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Indrawahyuni, Herlien. 2008. **Mekanika Tanah 1**. Malang: Bargie Media.
- Rahmawati, Ika Meisy P. 2015. **Pengaruh Kadar Air terhadap Kuat Geser Tanah Ekspansif Bojonegoro dengan Stabilisasi Menggunakan 15% Fly Ash dengan Metode Deep Soil Mix**. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Suroso, dkk. 2013. **Pengaruh Variasi Lama Perendaman, Energi Pematatan, dan Kadar Air terhadap Pengembangan (swelling) dan DDT Ekspansif di Kecamatan Paron, Kabupaten Ngawi**. Jurnal Volume 7 Nomor 1. Malang: Universitas Brawijaya.
- Terzaghi, Karl. 1987. **Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid I**. Jakarta: Erlangga.
- Wesley. 1997. **Mekanika Tanah**. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

(halaman ini sengaja dikosongkan)