

**PENGARUH KADAR AIR TERHADAP DAYA DUKUNG PADA TANAH LUNAK DI
JALAN TOL GEMPOL - PASURUAN**
*(The Influence of Water Content to Bearing Capacity of Soft Soil as Subgrade of Pavement in
Gempol - Pasuruan)*

Arinda Rahma Dianing Putri, Yulvi Zaika, Harimurti
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Email : arindarahma16@yahoo.co.id

ABSTRAK

Jalan tol Gempol – Pasuruan merupakan jalan yang menghubungkan daerah Gempol, Sidoarjo dengan Kota Pasuruan. Seperti yang telah diketahui bahwa tanah di daerah tersebut bersifat kohesif, sehingga apabila terjadi anomali iklim yang dapat menyebabkan adanya variasi kadar air yang diterima oleh tanah, kondisi tanah menjadi tidak stabil. Perlu dilakukan pengujian sifat fisik dan sifat mekanik tanah untuk mengetahui karakteristik tanah. Dilakukan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR), uji kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Test*), dan uji triaksial (*Triaxial Test*) untuk mengetahui nilai daya dukung tanah (DDT) dengan variasi kadar air yaitu 20 %, 25 %, 31,25 %, 32 %, 33%, dan 38 %. Hasil dari pengujian CBR adalah semakin besar nilai CBR maka nilai daya dukung tanah bertambah besar. Dari hasil penelitian uji kuat tekan bebas (*unconfined compression test*) didapatkan semakin besar kadar air nilai q_u , dan C_u semakin kecil. Untuk sudut geser (ϕ) yang diuji dengan uji triaksial (*triaxial test*) didapatkan semakin besar kadar air sudut geser (ϕ) semakin kecil. Sedangkan untuk nilai kohesi (c) didapatkan bahwa nilai kohesi (c) terbesar berada pada sekitar daerah OMC.

Kata kunci : tanah lunak, variasi kadar air, karakteristik tanah, kuat tekan bebas, triaksial, *California Bearing Ratio* (CBR), daya dukung tanah.

ABSTRACT

Gempol - Pasuruan toll road is connecting Gempol, Sidoarjo with Pasuruan City. As it is known that the soil in those area is cohesive, so if there is a climate anomaly that can caused the variation of water content received by the soil, soil conditions became unstable. Needs to testing physical and mechanical properties of the soil to find out the soils characteristics. California Bearing Ratio (CBR), Unconfined Compression test, and Triaxial test were performed to determine soil bearing capacity with 20%, 25%, 31.25%, 32%, 33%, and 38% variation of water content. The result of CBR test is the higher value CBR makes the soil bearing capacity is getting bigger too. The result of Unconfined Compression Test was the higher of water content, the value of q_u and C_u were getting smaller. The shear angle (ϕ) and soil cohesion (c) was tested with Triaxial Test obtained that the higher of water content makes the value of shear angle getting smaller, while the biggest value of soil cohesion was reached in around OMC.

Keyword: *soft soil, variation of water content, soil characteristics, Unconfined Compression Test, Triaxial Test, California Bearing Ratio (CBR), soil bearing capacity.*

1. PENDAHULUAN

Tanah di Jalan Tol Gempol - Pasuruan memiliki jenis tanah kohesif dan konsistensi tanah yang tidak stabil akibat kandungan air tanah berlebih. 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. 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.

Dalam penelitian ini digunakan variasi kadar air dengan nilai 20%, 25%, 31,25%, 32%, 33%, dan 38% yang dicampurkan dengan sampel tanah lunak untuk diuji guna mendapatkan nilai daya dukung tanah.

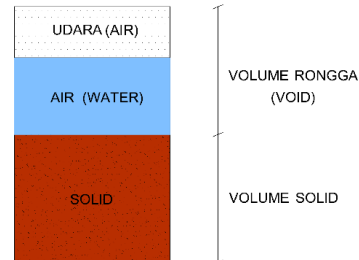
2. DASAR TEORI

2.1 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) (Herlien, 2008).

Tanah terdiri dari tiga komponen yaitu udara, air dan bahan padat. 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.



Gambar 1 Diagram Fase Tanah

Sumber : Das (1995)

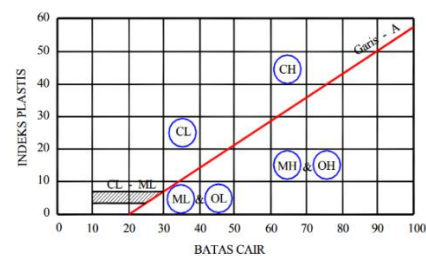
2.2 Tanah Lempung

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 organik. Mineral lempung merupakan substansi kristal yang sangat tipis yang pembentukan utamanya berasal dari perubahan kimia pada pembentukan mineral – mineral batuan dasar. Tiga jenis mineral lempung utama yang sudah dikenal yaitu *kaolinite*, *illite*, *montmorillonite*

2.3 Penelitian Sifat Fisik Tanah

a. Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat serupa kedalam kelompok dan subkelompok pemakaiannya. Sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan adalah *Unified Soil Classification System* (USCS) dan *American Association of State Highway and Transportation Official Classification* (AASHTO).

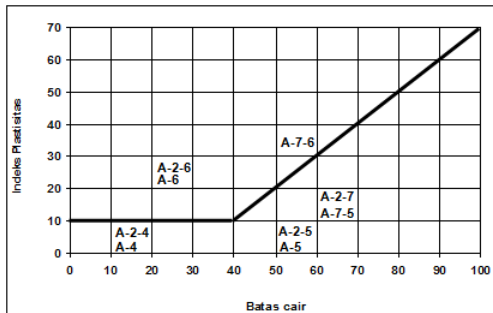


Gambar 2 Grafik Plastisitas, sistem USCS

Sumber : Das (1995)

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2-4	A-2		
Klasifikasi kelompok	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 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 Aayakan No. 40 Batas cair (LL) Indeks plastisitas (PI)	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						

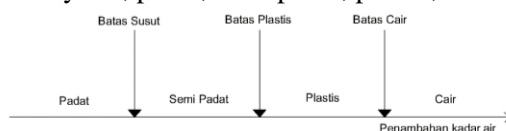
Klasifikasi umum	Tanah lanau - lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6^
Analisa ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200				
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (LL) Indeks plastisitas (PI)	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			



Gambar 3 Klasifikasi tanah sistem AASHTO
Sumber : Das (1995)

b. Batas Konsistensi Tanah

Metode untuk menjelaskan sifat konsistensi berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Atas dasar air yang didukung tanah, tanah dapat dipisahkan kedalam empat keadaan dasar yaitu, padat, semi padat, plastis, dan cair.



Gambar 4 Batas-batas Atterberg
Sumber : Hardiyatmo (2012)

c. Berat Isi Tanah (*Density Test*)

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.

d. *Specific Gravity*

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.

e. 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.

Nilai koefisien rembesan (k) untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda-beda. Beberapa harga koefisien rembesan diberikan pada tabel **Tabel 1** 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)

f. Konsolidasi

Konsolidasi merupakan suatu proses pemampatan tanah, dan berkurangnya volume pori dalam tanah. Proses ini biasanya memakan waktu yang cukup lama dari tahunan bahkan sampai puluhan tahun. Konsolidasi terbagi menjadi 2 yaitu *Immediate Settlement* dan *consolidation settlement*. Parameter – parameter konsolidasi suatu tanah yaitu indeks kompresi (Cc) dan koefisien konsolidasi (Cv).

2.4 Penelitian Sifat Mekanik Tanah

a. Uji Pemadatan (*Compaction*)

Pemadatan adalah suatu usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan penggunaan energi mekanik untuk menghasilkan pemampatan partikel. 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*). 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*.

b. 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.

c. 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 riang di dalam tabung diisi dengan air.

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 sampul *Mohr* dan merupakan suatu garis yang sama dengan persamaan garis yang diberikan oleh percobaan *Coulomb*, sehingga dapat diketahui nilai c dan φ.

d. Uji Unconfined Compression Strength

Uji kuat tekan bebas merupakan uji kekuatan tanah dengan tekanan satu arah. Kuat tekan bebas (q_u) adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 15%.

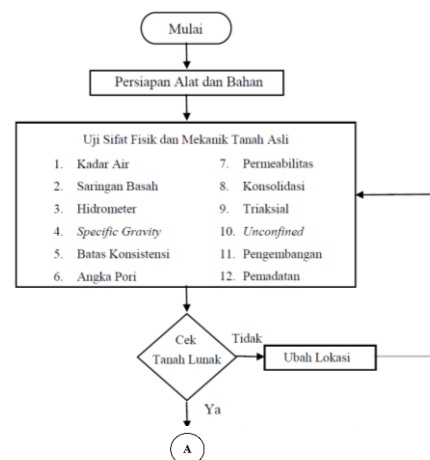
3. METODE PENELITIAN

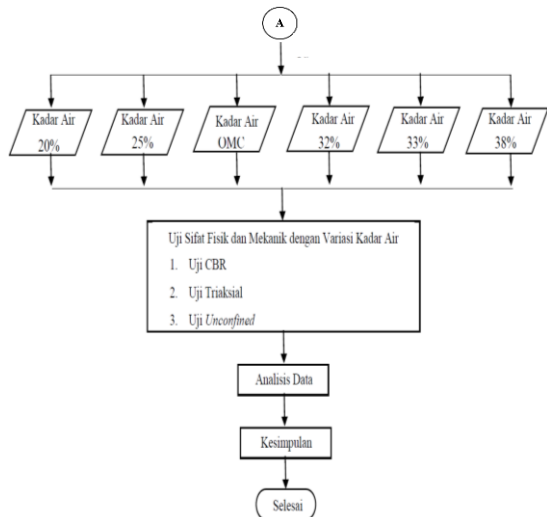
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lunak yang berasal dari Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur baik dalam keadaan tak terganggu (*undisturbed*) maupun terganggu (*disturbed*).

Tanah tersebut diuji untuk mengetahui karakteristik tanah asli dengan menggunakan uji kadar air, *specific gravity, density test*, analisa saringan, hidrometer, batas konsistensi, *falling head*, konsolidasi, triaksial, dan *unconfined*. Selain itu juga dilakukan pengujian pemadatan tanah untuk mengetahui kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) tanah yang selanjutnya OMC dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) tersebut akan digunakan sebagai variabel terikat (pengontrol) pada pembuatan sampel dengan variasi kadar air.

Setelah didapatkan nilai OMC dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) yang akan digunakan sebagai variabel terikat, maka dibuat sampel dengan variasi kadar air 20%, 25%, 31,25%, 32%, 33%, dan 38% yang akan diuji dengan menggunakan *California Bearing Ratio (CBR)*, uji Triaksial, dan uji *Unconfined*. Untuk pengujian CBR dilakukan dengan cara tidak terendam (*unsoaked*) dan terendam (*soaked*) dengan lama perendaman 4 hari.

Langkah – langkah dalam melakukan penelitian dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 5 berikut :





4. HASIL DAN PEMBAHASAN

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 2**.

Tabel 2 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

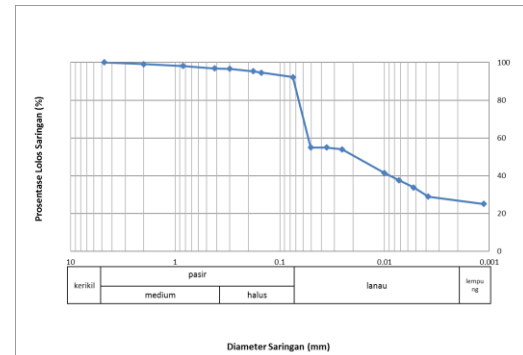
Dari pengujian *Standart Penetration Test* (SPT) yang dilakukan oleh pihak Adhi Karya seperti pada lampiran 5, didapatkan nilai NSPT dengan rentang 1-9 yang apabila dihubungkan dengan tabel penentuan jenis tanah menurut data SPT, maka didapatkan hasil bahwa tanah termasuk ke dalam jenis tanah lunak. Tanah lunak ditemukan pada kedalaman 1 sampai 15,5 m.

4.2 Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah

a. Sistem Klasifikasi Tanah

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 6** :



Gambar 6 Analisis saringan dan hidrometer

Dari **gambar 6** 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 MH atau OH. Sedangkan menurut klasifikasi AASHTO, tanah termasuk ke dalam tanah berlempung grup A-7-5.

b. 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.

c. 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%.

d. 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.

Tabel 3 Hasil Pengujian Berat Isi dan Porositas Tanah

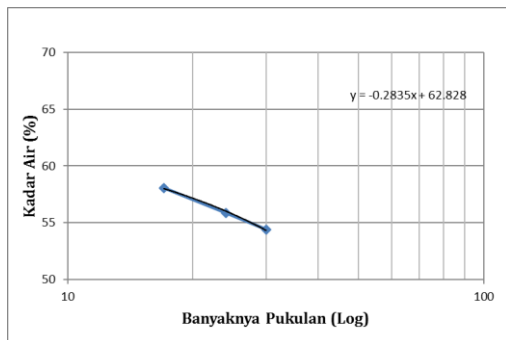
γ_d rata-rata	gram/cm ³	1,228
Gs		2.463
Volume Tanah Kering		5.169
Isi Pori		5.628 5.001
Derajat Kejuhanan	%	92.397 96.372
Porositas	%	52.125 48.176
rata - rata porositas	%	50,15

Jadi, dari perhitungan 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.

e. Pengujian Batas – Batas Konsistensi (Atterberg Limit)

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.



Gambar 7 Hubungan antara banyak pukulan dengan kadar air

Dari **gambar 7** di atas, diperoleh nilai batas cair (LL) di Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan adalah sebesar 56,12 %.

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% dengan indeks plastisitas sebesar 12,754%.

Pengujian Batas Susut (Shrinkage Limit)

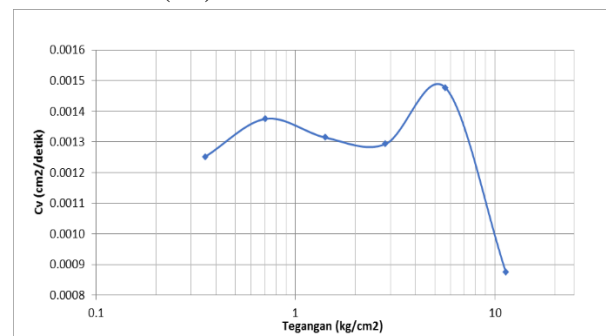
Pengujian batas susut bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi antara daerah semi padat dan padat. Dari pengujian batas susut, didapatkan nilai batas susut (SL) untuk Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan adalah sebesar 11,863 %.

f. Pengujian Permeabilitas

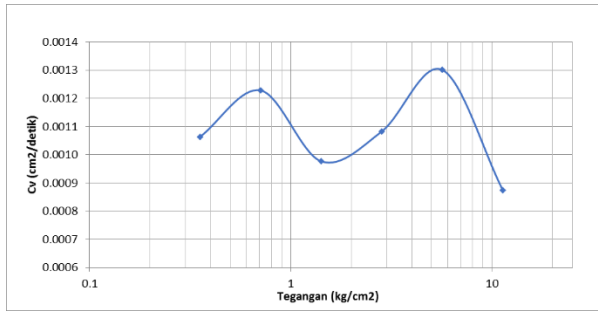
Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menetapkan *Coeffisien Of Permeability* dengan cara *falling head* untuk aliran air yang melalui tanah berbutir halus. Pengujian permeabilitas dapat menunjukkan kemudahan butiran dalam meloloskan air. Semakin kecil nilai permeabilitas, maka semakin sulit air untuk menembus 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 berarti tanah termasuk ke dalam jenis tanah lanau.

g. Pengujian Konsolidasi

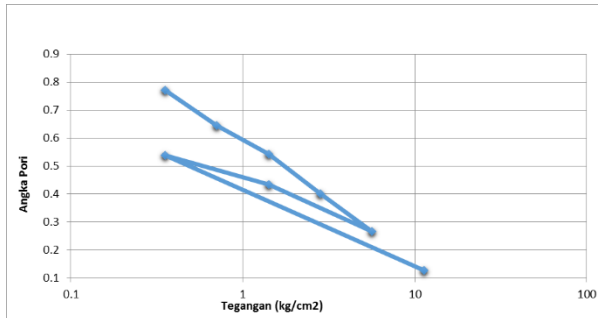
Pemeriksaan konsolidasi bertujuan untuk menentukan sifat pemadatan suatu jenis tanah karena proses keluarnya air dari pori tanah yg diakibatkan oleh adanya tekanan vertikal yang bekerja pada tanah. Selain itu, penelitian konsolidasi juga bertujuan untuk mengetahui parameter konsolidasi suatu tanah yaitu Indeks Kompresi (Cc) dan Koefisien Konsolidasi (Cv).



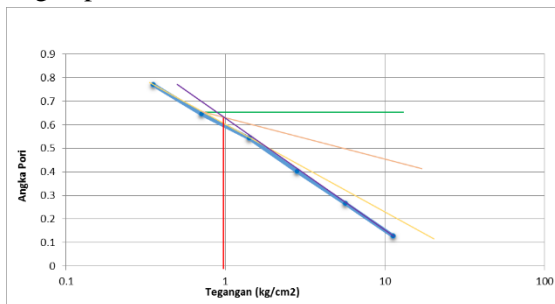
Gambar 8 Hubungan antara tegangan dan Cv (t₅₀)



Gambar 9 Hubungan antara tegangan dan C_v (t_{90})



Gambar 10 Hubungan antara tegangan dan angka pori



Gambar 11 Hubungan antara tegangan dan angka pori tiap kenaikan beban

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 menunjukkan bahwa tanah termasuk ke dalam jenis tanah lempung medium s/d lunak. Dari perhitungan juga didapatkan nilai penurunan sebesar 2,65 m dengan lama waktu penurunan 27,5 tahun.

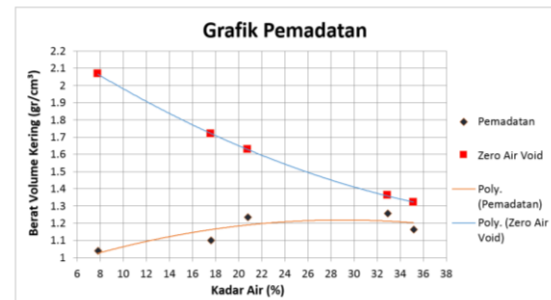
h. Pengujian Pengembangan (*Swelling*)

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

i. Pengujian Sifat Mekanik Tanah dengan Pemadatan

Pemadatan standart memiliki tujuan untuk mencari nilai Kadar Air Optimum (*Optimum Moisture Content*) dan juga nilai berat isi kering maksimum.



Gambar 12 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/cm^3 .

j. Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

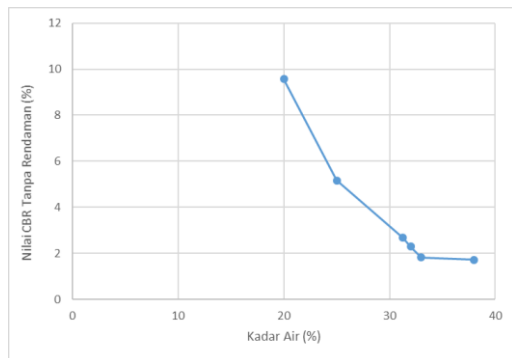
Pada penelitian ini, pengujian CBR dibedakan menjadi dua bagian yaitu CBR tidak terendam (*unsoaked*) dan CBR terendam (*soaked*). Untuk masing – masing sampel dilakukan variasi kadar air sebesar 20%, 25%, 31,25%, 32%, 33% dan 38%. Selain itu, sampel yang digunakan menggunakan berat isi kering maksimum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

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.

Tabel 4 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 13 Hubungan antara kadar air dengan CBR tanpa rendaman

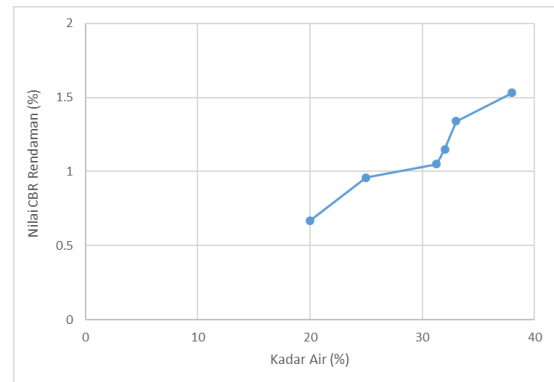
Dari **gambar 13** dapat diketahui bahwa nilai CBR tanpa rendaman terbesar dengan nilai 9,57% pada saat kadar air 20%, dan nilai CBR tanpa rendaman terendah dengan nilai 1,72% pada saat kadar air 38%. Sehingga dapat diketahui bahwa semakin tinggi kadar air pada CBR tanpa rendaman, maka nilai CBR semakin kecil, begitupula sebaliknya.

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.

Tabel 5 Hasil Pengujian CBR dengan Rendaman (*Soaked*)

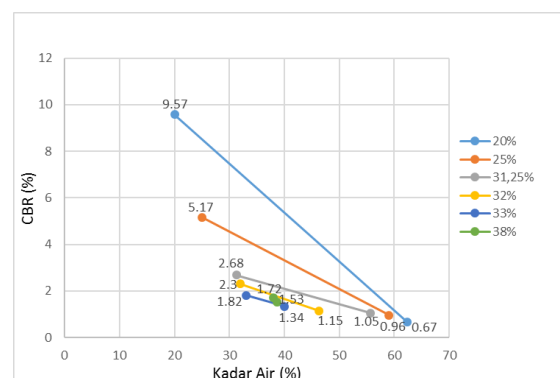
no.	Variasi Kadar Air Awal (%)	Nilai CBR soaked (%)	Variasi Kadar Air Akhir (%)
1	20	0,67	62,332
2	25	0,96	59,040
3	31,25	1,05	55,617
4	32	1,15	46,269
5	33	1,34	40,041
6	38	1,53	38,662



Gambar 14 Hubungan antara kadar air awal dengan CBR rendaman

Dari hasil yang ditampilkan pada **gambar 14**, 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 yang menyebabkan nilai CBR semakin kecil, begitupun sebaliknya.

Perbandingan Nilai CBR Tanpa Rendaman dan Rendaman



Gambar 15 Hubungan CBR tanpa rendaman dengan CBR rendaman kadar air akhir

k. Penentuan Nilai Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk melawan penurunan akibat adanya pembebanan.

Dari data nilai CBR yang diperoleh dengan menghubungkan ke dalam grafik hubungan antara CBR dengan daya dukung tanah.

Tabel 6 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 7 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

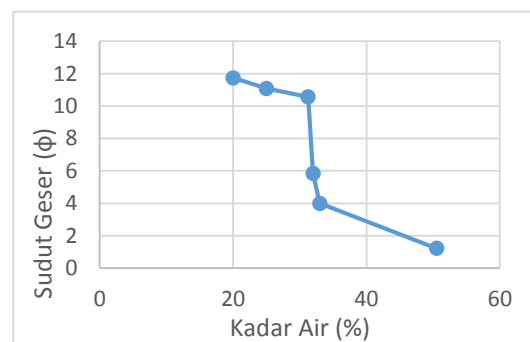
Dari **tabel 6** dan **tabel 7** dapat diketahui bahwa semakin besar nilai CBR aka nilai daya dukung tanah semakin besar pula.

I. Pengujian Triaksial (*Triaxial Test*)

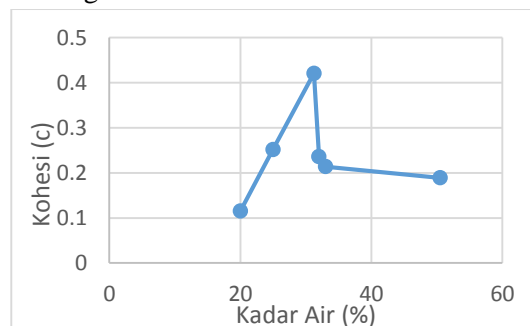
Benda uji yang diujikan untuk uji triaksial ini sama dengan benda uji *unconfined* yaitu benda uji tanah asli (*undisturbed*), benda uji yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC)(*remolded*), serta benda uji yang dipadatkan dengan variasi kadar air 20%, 25%, 32%, 33%, dan 38%.

Tabel 8 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 16 Hubungan antara kadar air dengan sudut geser



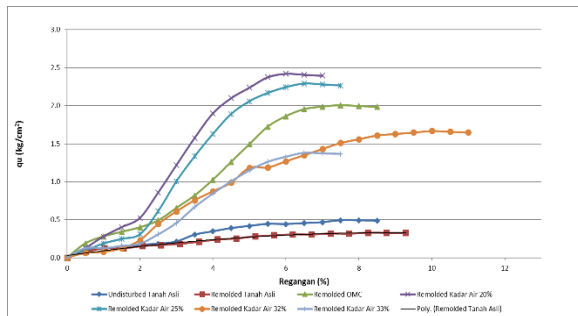
Gambar 17 Hubungan antara kadar air dengan kohesi

Sudut geser untuk tanah *undisturbed* memiliki nilai yang paling rendah yaitu 1,2197°, Peningkatan sudut geser juga terlihat pada **gambar 16** 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) 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 17**, 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*).

m. Pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined*)

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%.

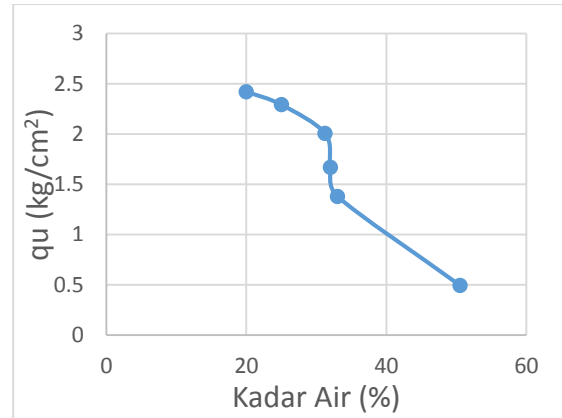


Gambar 18 Perbandingan tegangan-regangan tanah (*undisturbed*, *remolded* OMC, *remolded* dengan divariasikan kadar air).

Pada **gambar 18** 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.

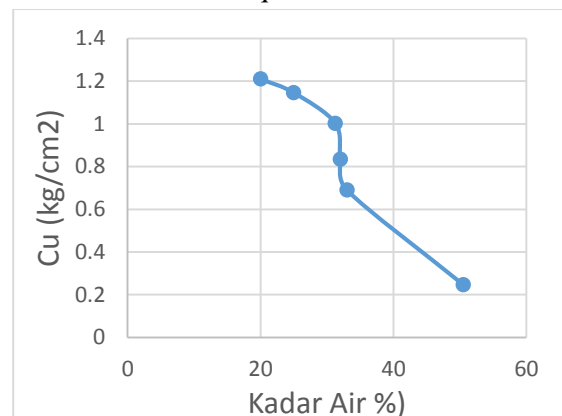
Tabel 9 Perbandingan q_u dan C_u dari variasi kadar air

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 19 Pengaruh kadar air terhadap q_u

Pengaruh kadar air terhadap nilai q_u dan nilai q_u untuk tanah asli (*undisturbed*) ditunjukkan pada **gambar 19**, 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 juga dapat diketahui bahwa semakin tinggi kadar air maka nilai q_u semakin menurun.



Gambar 20 Pengaruh kadar air terhadap C_u

Pada gambar 19 terlihat bahwa nilai C_u pada tanah *undisturbed* memiliki nilai paling kecil yaitu 0,247 kg/cm², untuk tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum memiliki nilai C_u sebesar 1,003 kg/cm². Nilai C_u terbesar terjadi saat kadar air 20% dengan nilai 1,210 kg/cm².

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

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 (tanah 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 peadatan, 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

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 I (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, Braja M. 1995. **Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I**. Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta : Erlangga.
- Das, Braja M. 1995. **Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2**. Terjemahan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1999. **Shallow Foundation: Bearing Capacity and Settlement**, CRC Press, Sacramento, California.
- Hardiyatmo, H.C. 2012. **Mekanika Tanah I**. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Indrawahyuni, Herlien. 2008. **Mekanika Tanah I**. 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 Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Suroso. dkk. 2013. **Pengaruh Variasi Lama Perendaman, Energi Pemasakan, dan Kadar Air terhadap Pengembangan (swelling) dan DDT Ekspansif di Kecamatan Paron, Kabupaten Ngawi.** Jurnal Volume 7 Nomor 1. Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Terzaghi, Karl. 1987. **Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid I.** Jakarta : Erlangga.

Wesley. 1997. **Mekanika Tanah.** Jakarta : Badan Penerbit Pekerjaan Umum.