

Pengaruh Preloading terhadap Kuat Geser Undrain

Syafruddin

ABSTRACT

Clay is kind of soil with fine grained that has low bearing capacity. Preloading cause change to water content and void ratio, result consolidation process. Consolidation on the clay cause big problem to the construction, that's why improvement characteristic of the clay is needed.

The objective of this study is to know how much increasing undrain shear strength (C_u) to the clay consolidation degree as a part of effort to improvement the soil. In this experiment, Consolidation Test is preformed, the preloading to object test with consolidation degree at 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 70%, and 90%, and Unconfined Compression Test (UCT) as the last test on this experiment.

The result of this study is a undrain shear strength equation (ΔC_u)= $-2.10^{-10}U^5 - 2.10^8U^4 + 7.10^{-8}U^3 + 1.10^{-5}U^2 + 0,0015U - 0,0008$ for Penggalaman's clay soil, as a reference to clay soil improvement.

Keyword: consolidation, preloading, undrain shear strenght

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah lempung merupakan jenis tanah berbutir halus yang mempunyai sifat kurang menguntungkan bagi orang teknik sipil, karena memiliki daya dukung yang rendah, kemampumampatan tinggi, juga memiliki sifat *swelling* (mengembang) bila terpengaruh air. Karena sifat tersebut maka orang selalu berusaha untuk tidak membangun di atas tanah tersebut. Saat ini ketika perkembangan pembangunan sudah demikian pesatnya dan area yang kondisi tanah sudah padat, maka area yang kondisi tanahnya jelek sudah bukan menjadi halangan untuk dikembangkan.

Tanah lempung merupakan tanah berbut halus dan gradasinya relatif homogen. Tanah ini pada umumnya nilai plastisitasnya tinggi dan perubahan kembang susutnya relatif besar pula sehingga jika dalam kondisi basah tanah tersebut sangat lengket dan volumenya menyusut, sedangkan jika dalam keadaan kering tanah tersebut menjadi pecah-pecah. Disamping itu umumnya tanah lempung ini mempunyai daya dukung yang relatif kecil. Hal ini sangat tidak menguntungkan bagi pondasi bangunan, khususnya pondasi dangkal, karena akan menyebabkan penurunan yang akhirnya menyebabkan pecahnya pondasi dan dinding bangunan. Pada umumnya, tindakan yang dilakukan ketika membangun di atas tanah jelek adalah membuang lapisan tanah yang jelek tersebut dan menggantinya dengan tanah yang bagus atau memperbaiki kondisi lapisan tanah jelek yang bersangkutan. Namun apabila daerah yang terbebani cukup luas dan bebannya relatif merata maka secara ekonomis alternatif yang dipilih adalah metode perbaikan tanah guna meningkatkan daya dukungnya.

Salah satu metode perbaikan tanah yang umumnya dilakukan di Indonesia adalah metode *preloading* (pemberian beban awal). Dengan cara *preloading*, tanah dasar yang lembek akan termampatkan sebelum konstruksi yang direncanakan didirikan. Hal ini menyebabkan daya dukung lapisan tanah dasar yang rendah meningkat. Sehingga pemampatan yang terjadi pada saat konstruksi didirikan dapat lebih kecil atau hilang sama sekali. Dengan demikian perlu diadakan suatu penelitian yang dapat memperkirakan besarnya kekuatan geser tanah akibat *preloading*.

Kajian Teoritis

Konsolidasi Secara Umum

Menurut Hardiyatmo (2003), penurunan konsolidasi dapat dibagi dalam tiga fase, yaitu:

Fase awal dimana penurunan terjadi dengan segera sesudah beban bekerja. Disini, penurunan terjadi akibat proses penekanan udara keluar dari dalam pori tanah. Pada lempung jenuh, kemungkinan ini sangat kecil. Tetapi dalam lempung yang tidak jenuh, hal ini sangat besar pengaruhnya terhadap penurunan. Proporsi penurunan awal dapat diberikan dalam perubahan angka pori dan dapat ditentukan dari kurva waktu terhadap penurunan dari uji konsolidasi.

Fase konsolidasi primer atau konsolidasi hidrodinamis, yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan rongga pori tanah akibat adanya tambahan tekanan. Proses konsolidasi primer sangat dipengaruhi oleh sifat tanah, seperti kemampurembesan, kemampumampatan, angka pori, bentuk geometri tanah termasuk tebal lapisan mampat dan lapisan lolos air, dimana air keluar menuju lapisan yang lolos air ini.

Fase konsolidasi sekunder, merupakan proses lanjutan dari konsolidasi primer, dimana prosesnya berjalan sangat lambat. Penurunannya jarang diperhitungkan karena pengaruhnya biasanya sangat kecil, kecuali pada jenis tanah organik tinggi dan beberapa lempung anorganik yang sangat mudah mampat.

Konsolidasi Tanah

Apabila penekanan suatu lapisan tanah tergantung pada waktu, pengaruhnya disebut penurunan konsolidasi atau yang lebih biasa disebut konsolidasi saja. Teori umum yang mencakup konsep tekanan pori dan tegangan efektif adalah salah satu yang dikembangkan pada awalnya oleh Terzaghi selama tahun 1920 -1924.

Teori konsolidasi Terzaghi membuat asumsi-asumsi berikut :

1. Tanah adalah, dan tetap akan, jenuh ($S = 100\%$). Penurunan konsolidasi dapat diperoleh untuk tanah yang tidak jenuh, tetapi ramalan waktu terjadinya penurunan sangat tidak dapat dipercaya.
2. Air dan butiran-butiran tanah tidak dapat ditekan.
3. Terdapat hubungan linear antara tekanan yang bekerja dan perubahan volume [$\Delta v = \Delta e + \Delta p$]
4. Koefisien permeabilitas k merupakan suatu konstanta. Ini mungkin benar dilapangan, tetapi dilaboratorium mungkin akan terdapat kesalahan besar

sehubungan dengan asumsi ini yang cenderung menghasilkan kesalahan dalam menentukan waktu terjadinya penurunan

5. Hukum darcy berlaku ($v = k.i$)
6. Terdapat temperatur yang konstan. Perubahan temperatur dari sekitar 10° sampai 20°C (masing-masing merupakan temperatur lapangan dan laboratorium) menghasilkan sekitar 30 persen perubahan dalam viskositas air. Pengujian dilaboratorium harus dilakukan pada temperatur yang diketahui, sebaiknya sama dengan temperatur dilapangan.
7. Konsolidasi merupakan konsolidasi satu dimensi (vertikal), sehingga tidak terdapat aliran atau pergerakan tanah lateral. Ini benar-benar terjadi dalam pengujian dilaboratorium dan pada umumnya juga berlaku dilapangan.
8. Contoh tanah yang digunakan merupakan contoh tidak terganggu. Ini merupakan masalah utama sebab bagaimanapun telitinya contoh itu diambil dia sebenarnya telah tidak terbebani lagi oleh tanah yang berada di atasnya seperti pada keadaan dilapangan. Disamping itu, muka air tanah statis dan tekanan pori akan hilang. Pada tanah yang peka, kesalahan-kesalahan serius mungkin akan dihasilkan pada tanah lainnya, pengaruhnya mungkin akan jauh lebih kecil. Interpretasi data yang teliti akan dapat mempengaruhi kesalahan pengambilan contoh tersebut.

Parameter-parameter konsolidasi suatu tanah adalah indeks tekanan (C_c) dan koefisien konsolidasi (C_v). Indeks tekanan berhubungan dengan berapa besarnya konsolidasi atau penurunan yang akan terjadi. Koefisien konsolidasi berhubungan dengan berapa lama suatu konsolidasi tertentu akan terjadi.

Dari asumsi Terzaghi yang menyatakan bahwa teori konsolidasi satu dimensi adalah pada tanah dalam keadaan jenuh, kekuatan geser tanah yang terjadi adalah kekuatan geser tanah jenuh atau kekuatan geser tanah kondisi *undrained* (C_u).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter untuk sifat fisik tersebut antara lain : kadar air (ω), berat volume (γ_m), berat jenis (G_s), batas atterberg dan distribusi ukuran butir. Dari uji konsolidasi didapat besarnya penurunan (ΔH) dan lamanya waktu penurunan (t), sedangkan parameter hasil uji kuat tekan bebas adalah kekuatan geser *undrained* (C_u).

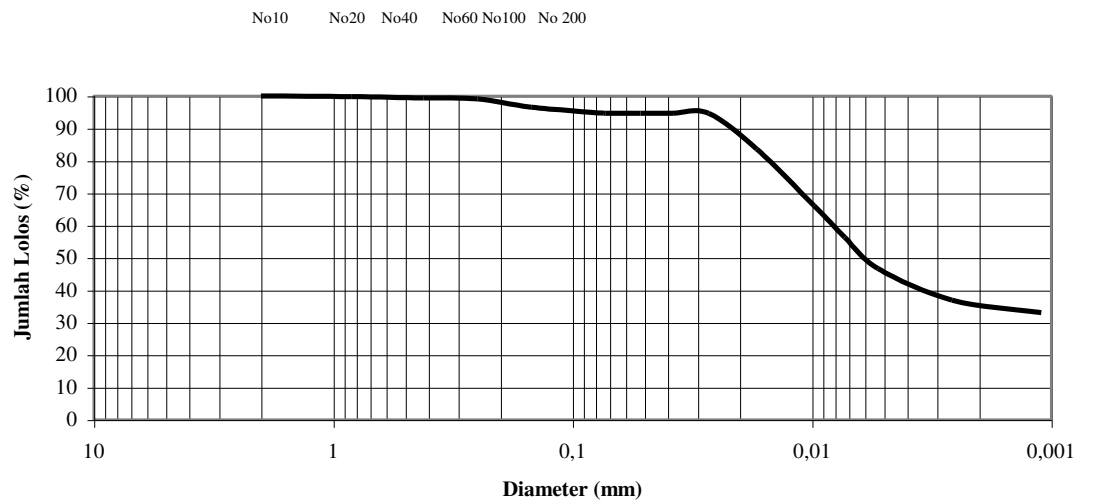
Selanjutnya dengan peningkatan derajat konsolidasi pada uji preloading akan diperoleh lamanya waktu penurunan yang baru dan kekuatan geser *undrained* yang baru (C_u) yang baru pula.

Dalam hal ini yang dipresentasikan adalah nilai dari parameter yang dibahas, sedangkan untuk data hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran. Dari data yang ditampilkan pada tabel .1 merupakan data-data sifat fisik tanah pada daerah Desa Penggalaman Kecamatan Sei Rangas, Kabupaten Banjar km 17 Martapura yang didapat dari pekerjaan laboratorium.

Data Tanah

Tabel .1 Data Tanah di desa Penggalaman Martapura

	Parameter	Hasil Uji
	Kadar air	79,683 %
	Berat volume	1,565 gr/cm ³
	Berat jenis	2.516
	Angka pori	2,27
	Porositas	0,69407
	Derajat kejenuhan	88,318 %
	Batas cair	51,35 %
	Batas plastis	25,65 %
	Indek plastisitas	25,7 %
	Indeks Pemampatan	0.239
	Koefisien Konsolidasi	9,3871 x10 ⁻⁴ cm ² /dt

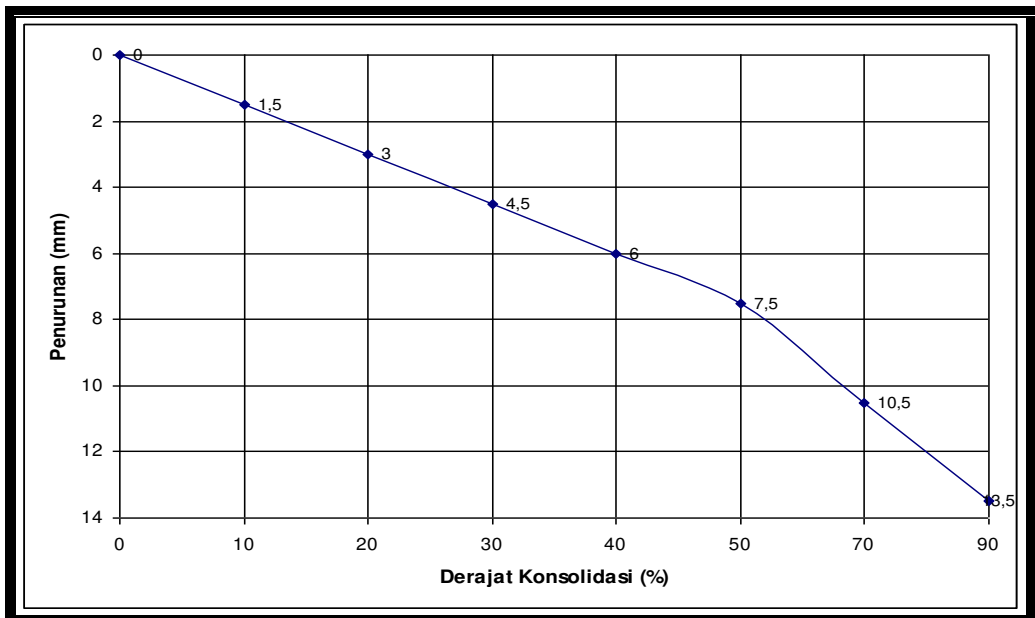


Gambar .1 Kurva analisa pembagian butiran lempung Penggalaman

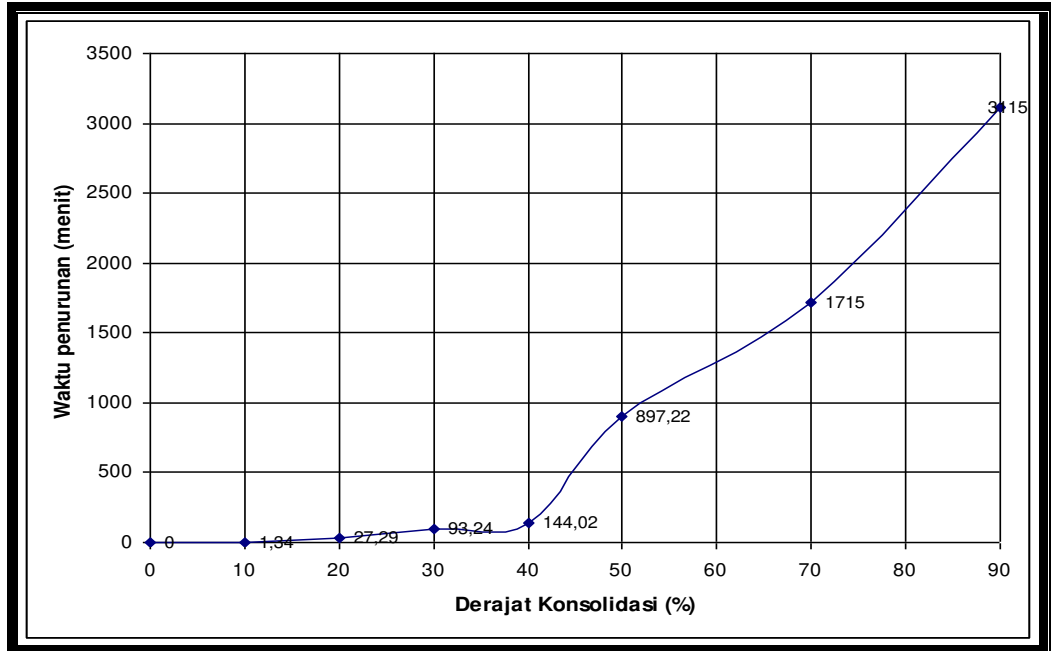
Data Sifat Mekanik

Tabel .2 Data uji preloading tanah lempung Penggalaman

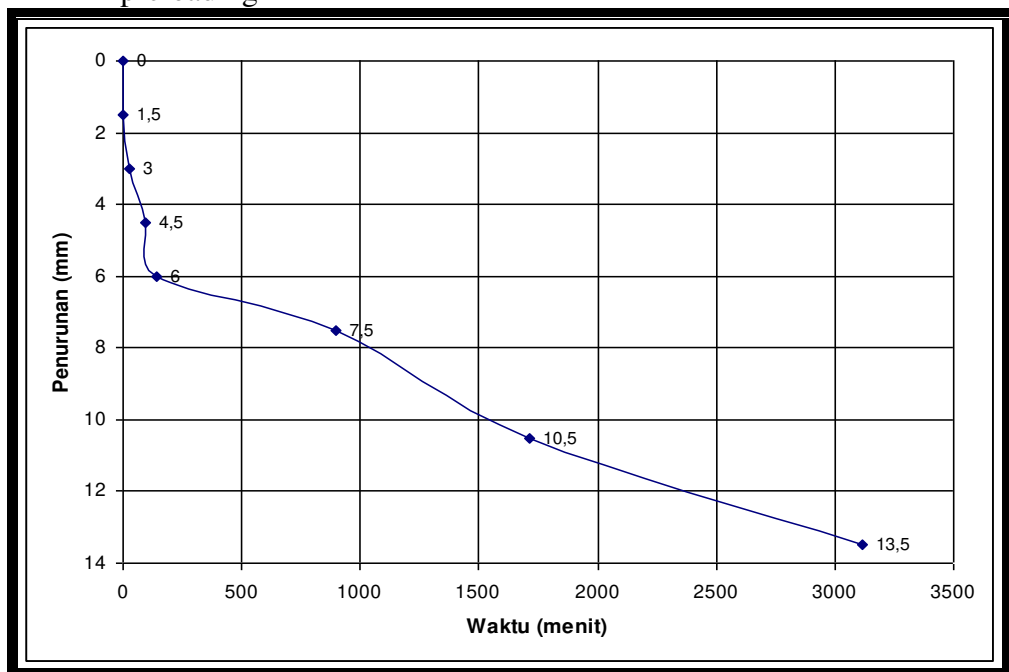
Derajat Konsolidasi (%)	Penurunan (mm)	Waktu (jam)
10	1,5	0,022
20	3,0	0,45
30	4,5	1.33' 24''
40	6	2. 24'0 2''
50	7,5	14.57'2 2''
70	10,5	28.35'
90	13,5	51.55'



Gambar .2 Grafik hubungan penurunan dengan derajat konsolidasi pada uji preloading



Gambar .3 Grafik hubungan waktu dengan derajat konsolidasi pada uji preloading



Gambar .4 Grafik hubungan penurunan dengan waktu pada uji konsolidasi

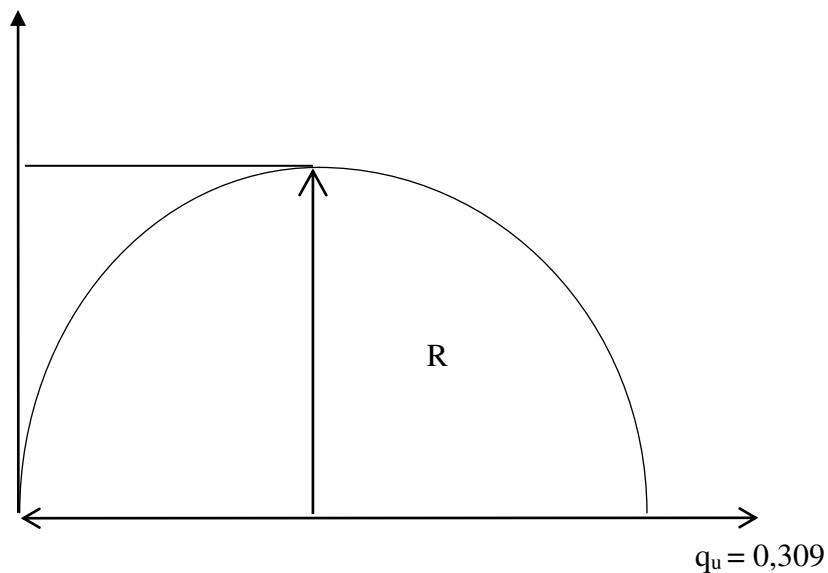
Dari gambar .2 terlihat bahwa derajat konsolidasi berpengaruh terhadap penurunan. Semakin besar derajat konsolidasi yang diberikan semakin besar pula penurunan yang terjadi. Derajat konsolidasi juga memerlukan waktu. Ini terlihat dari gambar .3 jika melihat grafik tersebut secara umum terlihat bahwa data hasil uji Preloading menunjukkan lamanya waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat

konsolidasi tertentu meningkat sesuai dengan besarnya penurunan yang ingin dicapai semakin besar derajat konsolidasi semakin lama pula waktu konsolidasi yang diperlukan. Hubungan Penurunan dengan waktu yang diperlihatkan pada gambar .4 juga menyatakan bahwa semakin lama waktu yang diberikan untuk konsolidasi maka penurunan yang terjadi akan semakin besar pula.

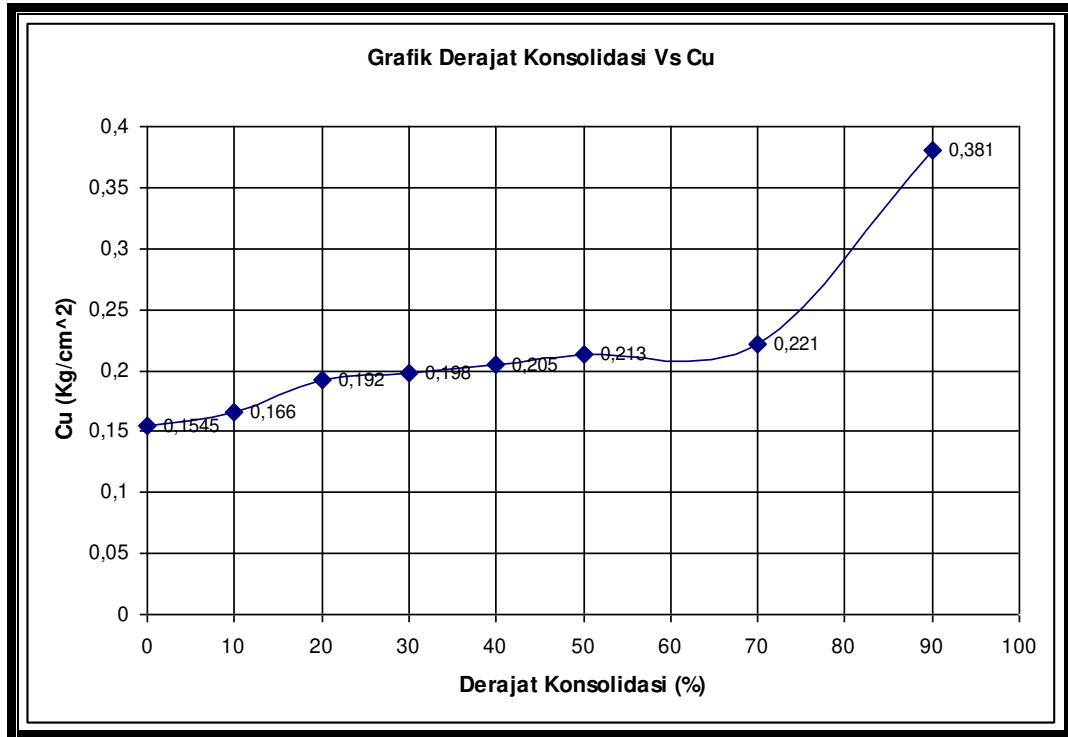
Tabel .3 Data uji Unconfined Compression Test

Derajat Konsolidasi (%)	$C_u = \frac{q_u}{2}$ (Kg/cm ²)
0	0.1545
10	0.166
20	0.192
30	0.198
40	0.205
50	0.213
70	0.221
90	0.381

Contoh :



$$R = C_u = \frac{q_u}{2} = 0,1545 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar .7 Grafik hubungan kekuatan geser tanah dengan derajat konsolidasi
 Gambar .7 memperlihatkan bahwa derajat konsolidasi mempunyai pengaruh terhadap kuat geser tanah. Semakin besar derajat konsolidasi yang diberikan maka akan semakin besar pula C_u tanah tersebut.

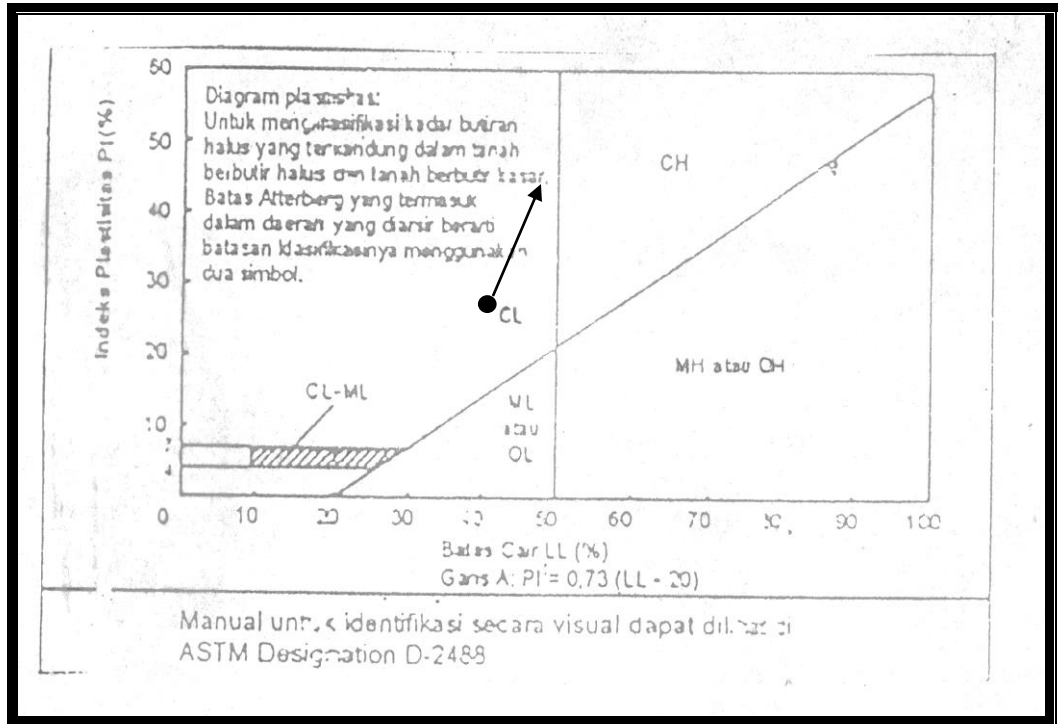
Klasifikasi Tanah Pengalaman Martapura

Untuk memberikan gambaran tentang karakteristik tanah yang diteliti, perlu dilakukan evaluasi berdasarkan standar yang ada. Pada bab sebelumnya telah disebutkan bahwa penulisan ini menggunakan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

Berdasarkan data sifat fisik yang tertera pada tabel .1 dan gambar .1 diketahui bahwa :

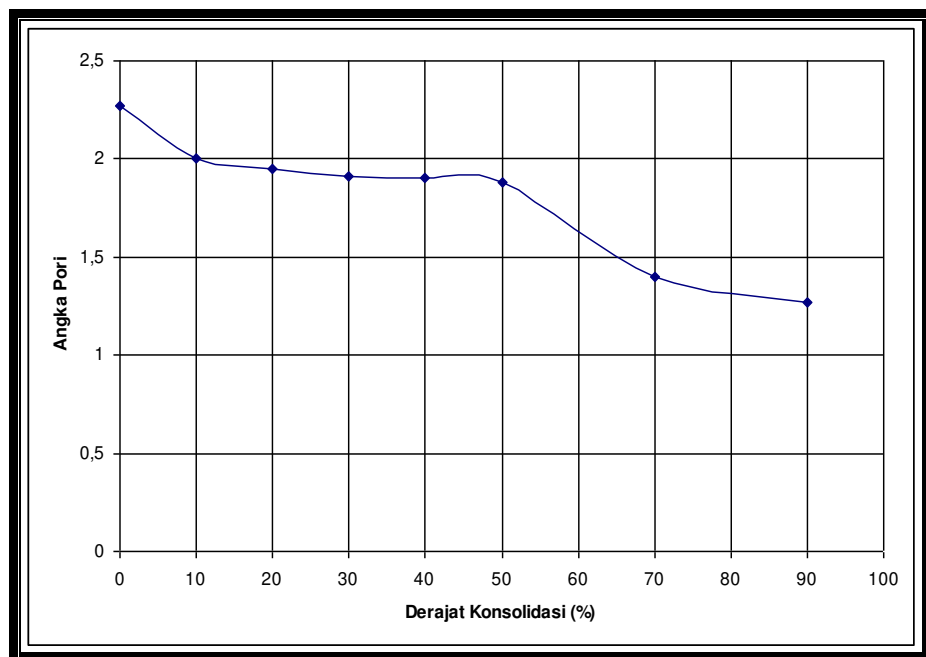
- Fraksi tanah yang lolos saringan # 200 adalah 94,6867 %, nilai ini lebih besar dari 50 %, dengan melihat diagram pada tabel 2.1, maka tanah tergolong berbutir halus
- Batas cair (LL) bernilai 51,35% harga ini lebih besar dari 50 %, maka termasuk High Plasticity (H)
- Dengan melihat grafik gambar 2.1 pula, pertemuan hubungan antara batas cair (LL=51,35 %) dan indeks plastis (PI= 25,7 %), tanah tergolong CH (Inorganis Clay Of High Plasticity, Fat Clay)

Dari uraian tersebut di atas dan gambar .8 , berdasarkan sistem klasifikasi USCS, tanah tergolong kelompok CH yaitu tanah lempung yang memiliki plastisitas tinggi, hal ini ditunjukkan pada letak pertemuan titik di kuadran III.

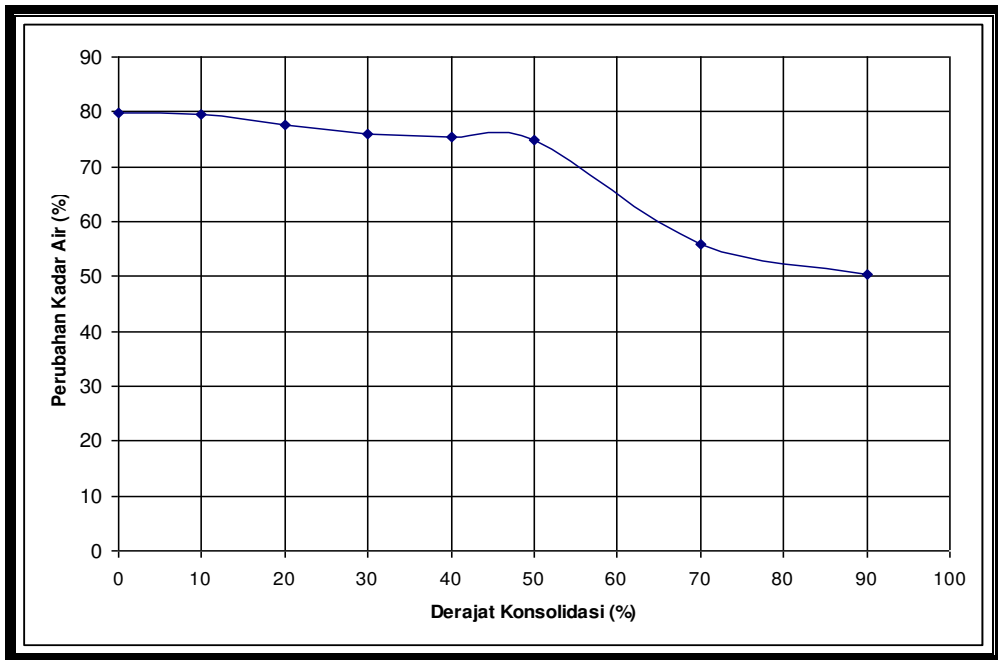


Gambar .8 Grafik penentuan batas cair dan indeks plastis tanah
Preloading Menambah Kekuatan

Peningkatan kekuatan yang disebabkan pemberian preloading pada tanah dimulai dengan berkurangnya angka pori karena keluarnya air yang mengisi rongga tanah. Besarnya pengurangan angka pori dan kadar air akibat terjadinya penurunan, terlihat pada gambar .9 dan gambar .10

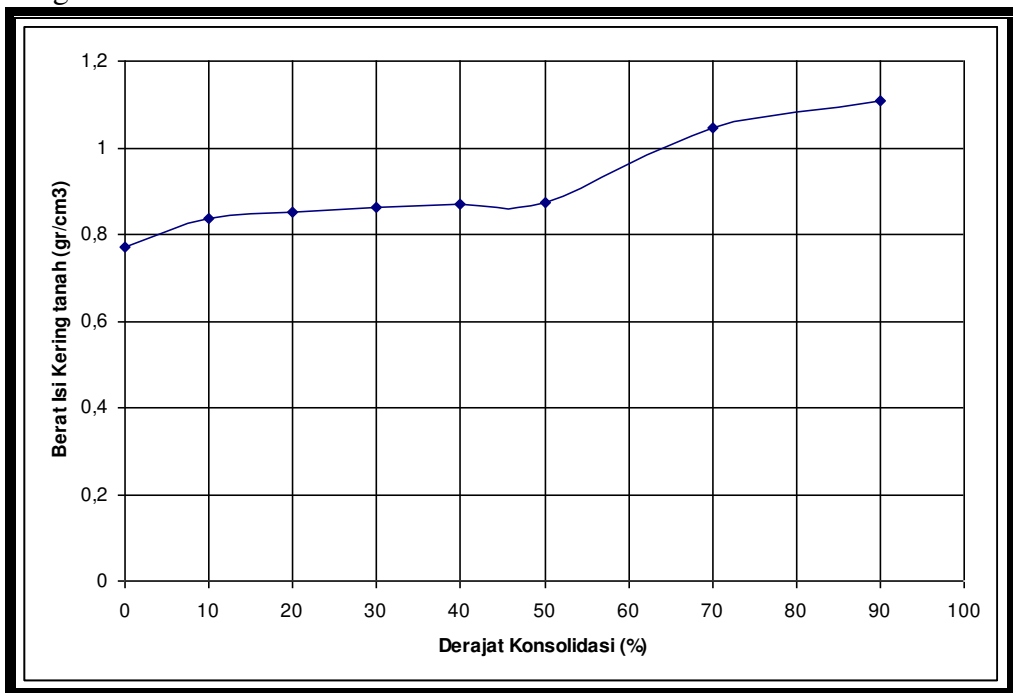


Gambar .9 Grafik hubungan pengurangan angka pori dengan derajat konsolidasi



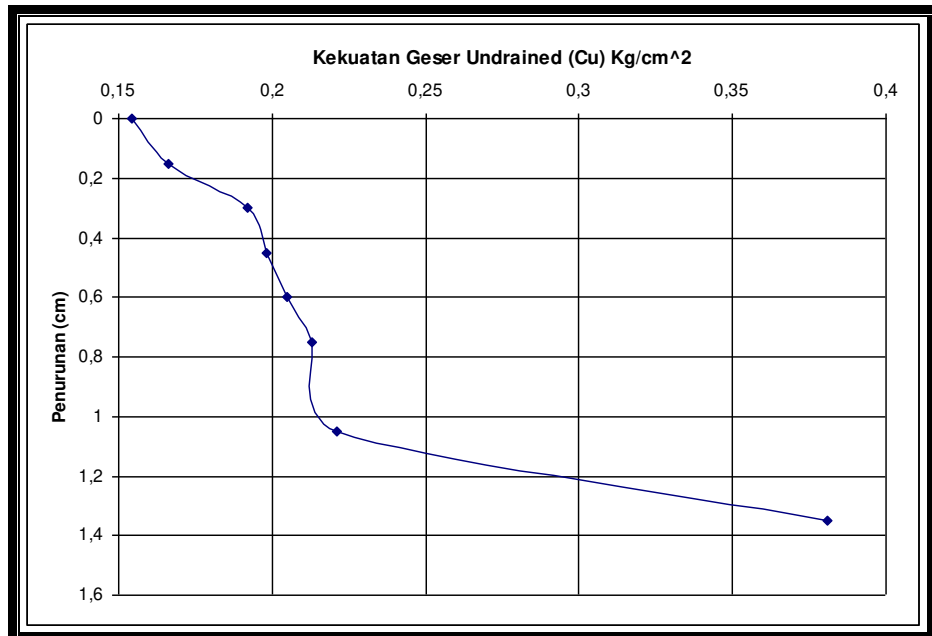
Gambar .10 Grafik hubungan perubahan kadar air dengan derajat konsolidasi

Dengan berkurangnya angka pori tanah berarti kepadatan tanah meningkat pula, hal ini ditunjukkan dari meningkatnya berat isi kering (γ_d) tanah seiring dengan besarnya penurunan. Fenomena ini terlihat pada gambar .11

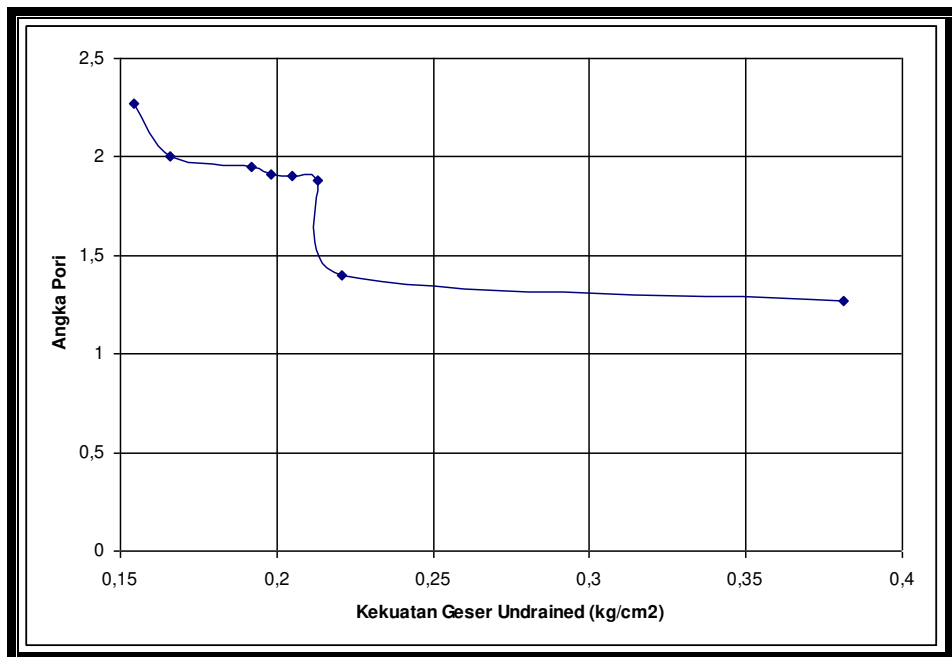


Gambar .11 Grafik hubungan derajat konsolidasi dengan berat isi kering tanah

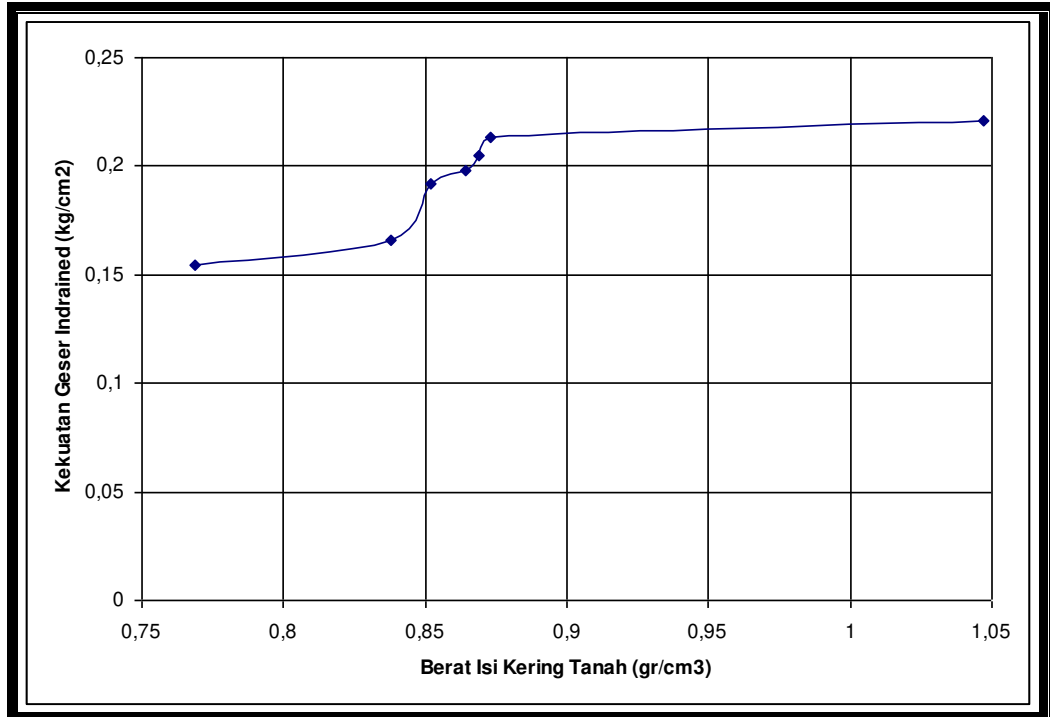
Disamping menjadikan lebih padat pemberian *Preloading* pada akhirnya juga akan meningkatkan kekuatan tanah. Hal ini terlihat dari gambar .12, gambar 13 dan gambar .14 yang memperlihatkan bahwa meningkatnya kekuatan tanah akibat *Preloading* seiring dengan terjadinya penurunan, berkurangnya angka pori dan bertambahnya kepadatan tanah.



Gambar .12 Grafik hubungan penurunan dengan kekuatan geser undrained



Gambar .13 Grafik hubungan kekuatan geser undrained dengan angka pori



Gambar .14 Grafik hubungan kekuatan geser undrained dengan berat Isi kering tanah

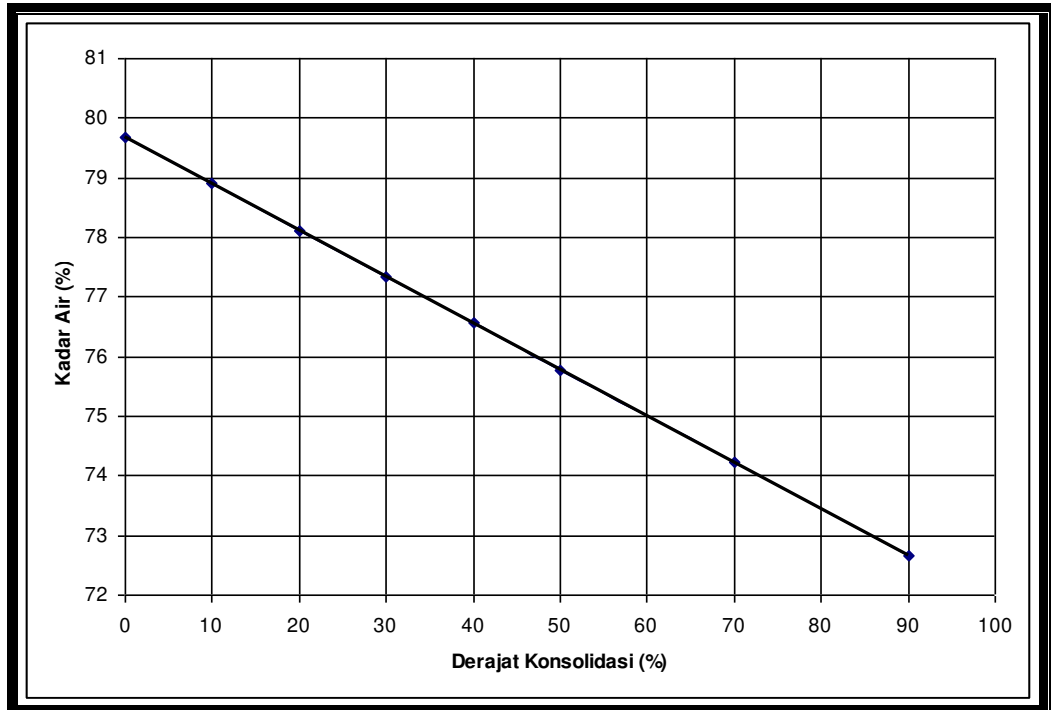
Perbandingan Antara Kadar Air dan Kekuatan Geser Undrained dengan Hasil Teoritis

Berdasarkan Rumus dibawah ini didapatkan kenaikan kadar air teoritis :

$$\Delta W_n = \left(W_n + \frac{1}{G_s} \right) \frac{\Delta H}{H} \rightarrow W_n = 79,683 \%$$

Tabel .4 Data kenaikan kadar air teoritis

Derajat Konsolidasi (%)	ΔW_n (%)	Kadar Air (%) Teoritis
0	0	79,683
10	0,78000444	78,903
20	1,56000889	78,12299
30	2,34001333	77,34299
40	3,12001778	76,56298
50	3,90002222	75,78298
70	5,46003111	74,22297
90	7,02004	72,66296

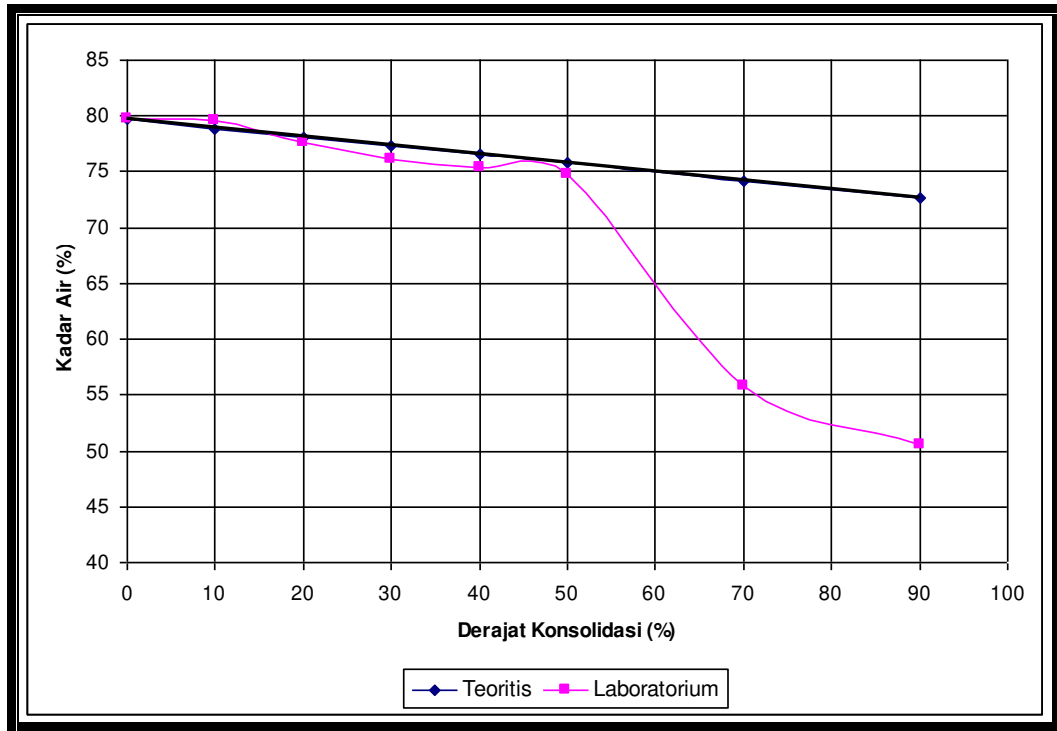


Gambar .15 Grafik derajat konsolidasi dengan kadar air teoritis

Peningkatan kekuatan yang disebabkan pemberian preloading pada tanah membuat berkurangnya kadar air tanah. Pada gambar .15 memperlihatkan penurunan kadar air sebanding dengan derajat konsolidasi dan penurunan kadar air membentuk garis lurus.

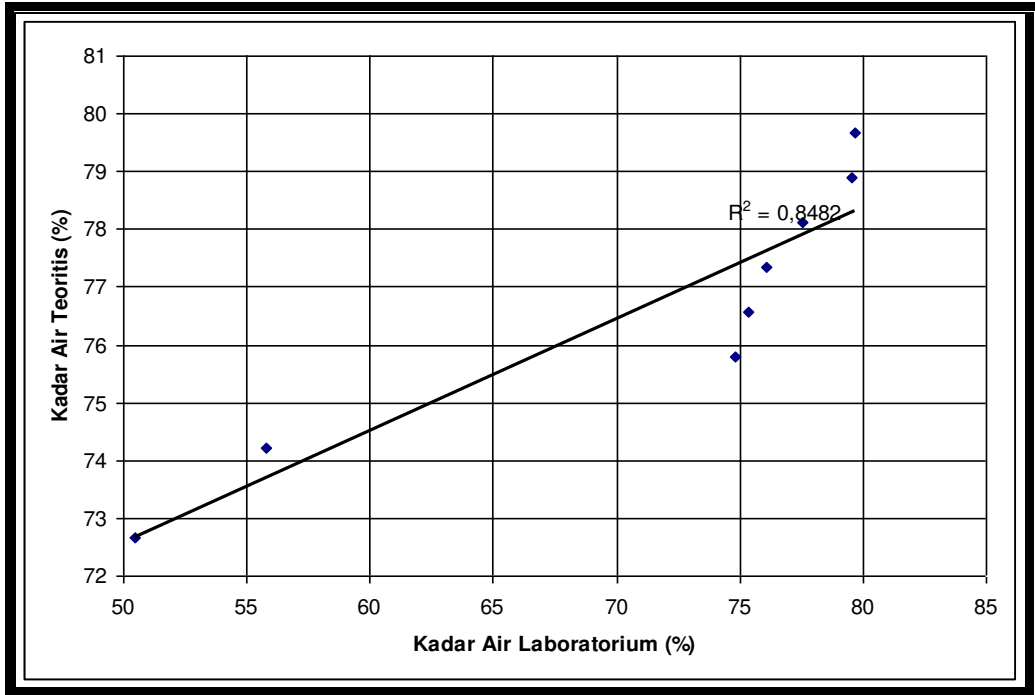
Tabel .5 Data kenaikan kadar air teoritis dan kenaikan kadar air laboratorium

Derajat Konsolidasi (%)	Kadar Air (%) Teoritis	Kadar Air (%) Laboratorium
0	79,683	79,683
10	78,903	79,555
20	78,12299	77,579
30	77,34299	76,051
40	76,56298	75,331
50	75,78298	74,796
70	74,22297	55,781
90	72,66296	50,46



Gambar .16 Grafik perbandingan kadar air teoritis dengan kadar air laboratorium terhadap derajat konsolidasi

Dari Gambar .16 terlihat perbedaan penurunan kadar air antara penurunan kadar air teoritis dengan uji laboratorium. Dimana terlihat penurunan kadar air teoritis membentuk garis lurus sedangkan penurunan kadar air laboratorium penurunannya tidak membentuk garis lurus tetapi membentuk garis yang lebih landai tetapi pada $U > 50\%$ terjadi penurunan yang signifikan. Pada Gambar 4.17 memperlihatkan perbandingan antara hubungan antara kadar air laboratorium dengan kadar air teoritis.



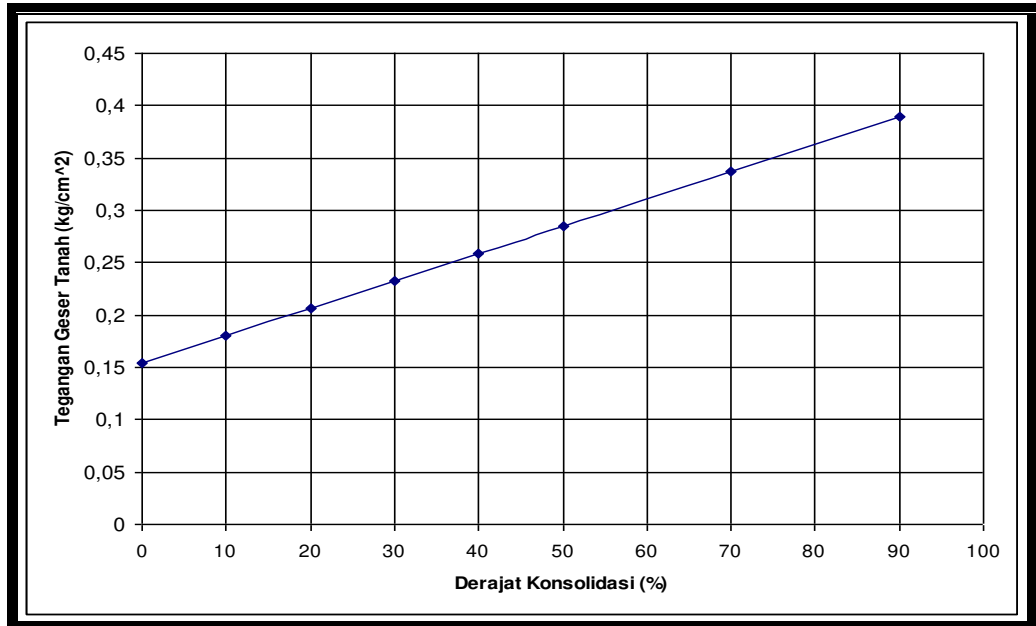
Gambar .17 Grafik hubungan kadar air laboratorium dengan kadar air teoritis

Berdasarkan Rumus dibawah ini didapatkan kenaikan Kekuatan Geser Undrained teoritis :

$$\Delta C_u = \frac{1 + (W_n \times G_s)}{0,434 C_c} \times C_u \times \frac{\Delta H}{H}$$

Tabel .6 Data tegangan geser tanah teoritis

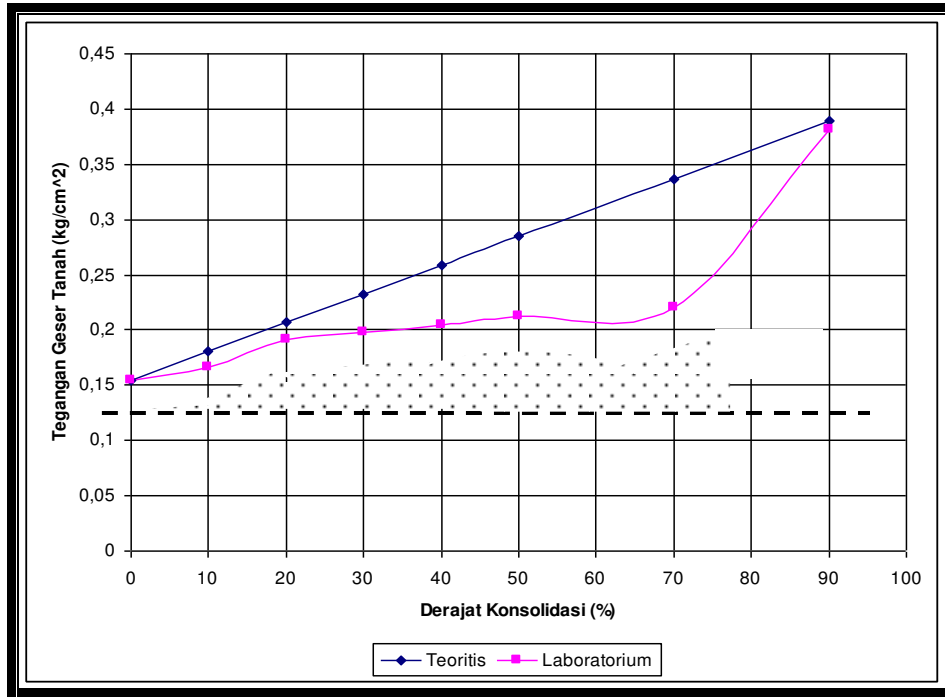
Derajat Konsolidasi (%)	ΔC_u (kg/cm ²)	C_u (kg/cm ²) Teoritis
0	0	0,1545
10	0,02606864	0,18056864
20	0,052137281	0,20663728
30	0,078205921	0,23270592
40	0,104274562	0,25877456
50	0,130343202	0,2848432
70	0,182480483	0,33698048
90	0,234617764	0,38911776



Gambar .18 Grafik derajat konsolidasi dengan tegangan geser undrained teoritis
 Pada gambar .19 memperlihatkan kenaikan tegangan geser tanah sebanding dengan derajat konsolidasi dan kenaikannya membentuk garis lurus.

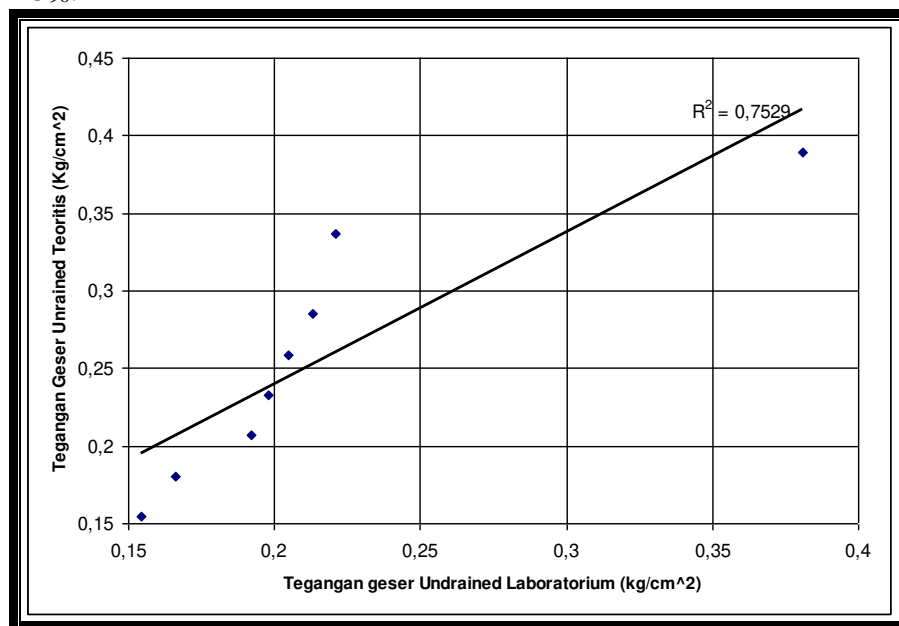
Tabel.7 Data tegangan geser tanah teoritis dan tegangan geser tanah laboratorium.

Derajat Konsolidasi (%)	C_u (kg/cm ²) Teoritis	C_u (kg/cm ²) Laboratorium
0	0,1545	0,1545
10	0,18056864	0,166
20	0,20663728	0,192
30	0,23270592	0,198
40	0,25877456	0,205
50	0,2848432	0,213
70	0,33698048	0,221
90	0,38911776	0,381



Gambar .19 Grafik perbandingan tegangan geser undrained teoritis dengan tegangan geser undrained laboratorium terhadap derajat konsolidasi

Dari Gambar .19 terlihat perbedaan dimana terlihat kenaikan tegangan geser teoritis membentuk garis lurus sedangkan kenaikan tegangan geser laboratorium kenaikannya tidak membentuk garis lurus tetapi membentuk garis yang lebih landai tetapi kenaikan tajam terjadi pada U_{90} .



Gambar .20 Grafik hubungan tegangan geser undrained laboratorium dengan tegangan geser undrained teoritis

Didalam penelitian ini hasil-hasil yang dipresentasikan ternyata agak berbeda dari perhitungan teoritis. Hal ini terlihat pada gambar .17 dan gambar yang memperlihatkan perbandingan antara penurunan kadar air hasil pengujian di laboratorium dengan hasil perhitungan berdasarkan persamaan 2 sebesar $R^2 = 0,8482$, kondisi yang sama juga dapat dilihat pada gambar .20 persamaan antara kenaikan kekuatan tanah hasil pengujian di laboratorium dengan hasil dari perhitungan berdasarkan persamaan 4 sebesar $R^2 = 0,7529$.

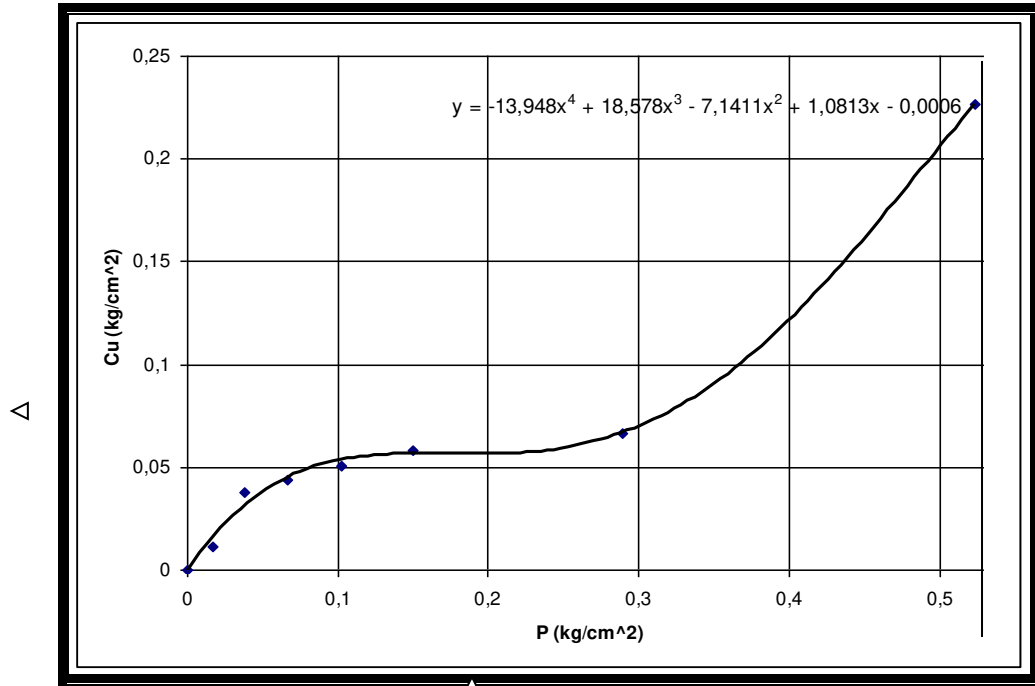
Perilaku Kenaikan Tegangan Geser Akibat Preloading

Penambahan beban / beban luar pada tanah dapat menyebabkan tegangan geser tanah bertambah seiring dengan kenaikan derajat konsolidasi yang diberikan sampai dengan $U = 90 \%$ (konsolidasi primer). Dengan melihat kenaikan Tegangan geser (ΔC_u) pada gambar .19 dan rumus

$$S = \frac{H}{1 + e_0} \times C_c \times \text{Log} \frac{P_0 + \Delta P}{P_0} , \text{ maka didapatkan :}$$

Tabel .8 Data kenaikan tegangan geser tanah laboratorium dan kenaikan penambahan beban luar.

$\Delta C_u \text{ Lab}$ (kg/cm^2)	ΔP (gr/cm^2)	ΔP (kg/cm^2)
0	0	0
0,0115	16,689	0,016689
0,0375	38,309	0,038309
0,0435	66,314	0,066314
0,0505	102,592	0,102592
0,0585	149,586	0,149586
0,0665	289,32	0,28932
0,2265	523,796	0,523796

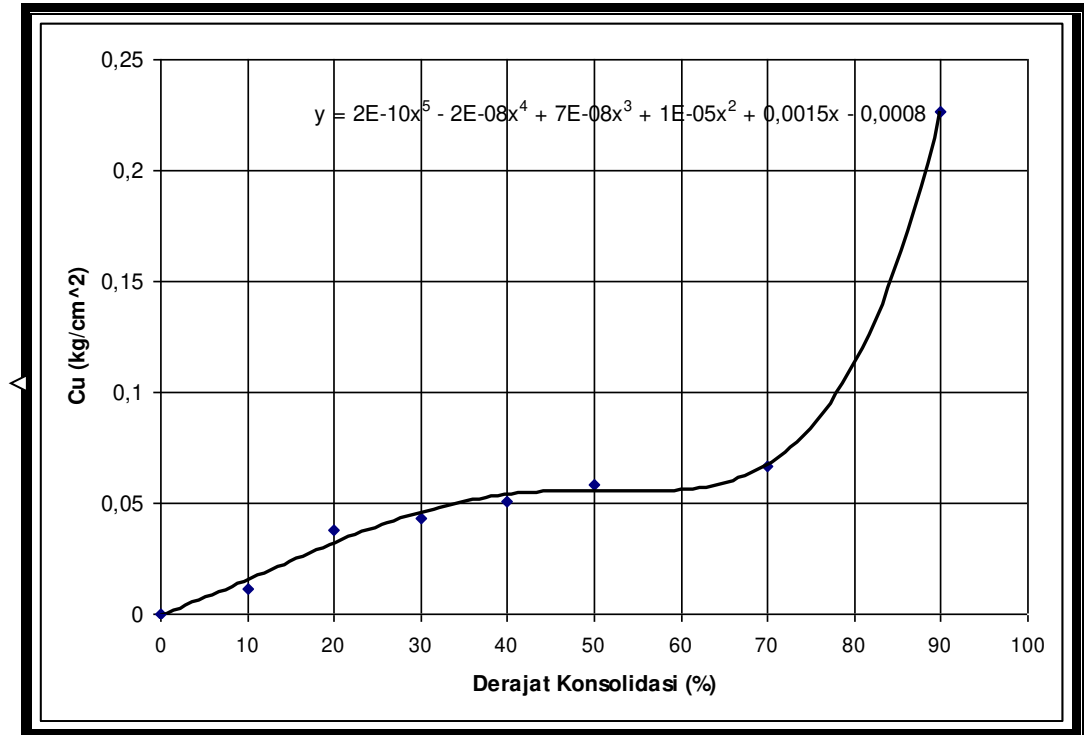


Gambar .21 Grafik hubungan kenaikan beban (ΔP) terhadap kenaikan tegangan geser undrained

Dari gambar .19 pula kita dapat membuat persamaan kenaikan tegangan geser tanah terhadap derajat konsolidasi

Tabel .9 Data kenaikan tegangan geser tanah laboratorium

Derajat Konsolidasi U (%)	ΔC_u lab (kg/cm ²)
0	0
10	0,0115
20	0,0375
30	0,0435
40	0,0505
50	0,0585
70	0,0665
90	0,2265



Gambar .22 Grafik persamaan perubahan kekuatan geser undrained laboratorium dengan derajat konsolidasi.

Dari Gambar .21 dapat ditentukan rumusan Kenaikan Tegangan Geser Laboratorium $\Delta C_u = -13,984(\Delta P)^4 + 18,578(\Delta P)^3 - 7,1411(\Delta P)^2 + 1,0813(\Delta P) - 0,0006$. Sedangkan Dari Gambar .22 dapat ditentukan rumusan Kenaikan Tegangan Geser Laboratorium yaitu :

$$\Delta C_u = 2.10^{-10} U^5 - 2.10^{-8} U^4 + 7.10^{-8} U^3 + 1.10^{-5} U^2 + 0,0015U - 0,0008$$

Kesimpulan

Dari hasil penelitian di laboratorium dan analisis data yang diperoleh dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tanah Lempung Penggalaman Martapura , berdasarkan hasil uji sifat fisik, dapat diklasifikasikan (klasifikasi USCS) bahwa tanah tergolong CH (*Inorganis Clay Of High Plasticity*)
2. Kenaikan C_u diakibatkan dari meningkatnya berat isi tanah akibat berkurangnya kadar air yang dikandungnya karena deformasi pori tanah akibat dari *preloading* yang diberikan.
3. *Preloading* menyebabkan semakin menurunnya kadar air tanah, dari hasil perhitungan teoritis dan hasil pengujian laboratorium diperoleh perbandingan sebesar $R^2 = 0,8482$. ($R^2 > 0,6$)
4. Perbandingan nilai Peningkatan kekuatan tanah hasil di laboratorium dengan hasil teoritis adalah $R^2 = 0,7529$. ($R^2 > 0,6$)

5. Persamaan yang didapat dari hubungan Penambahan beban dengan kenaikan C_u tanah adalah :
$$\Delta C_u = -13,984(\Delta P)^4 + 18,578(\Delta P)^3 - 7,1411(\Delta P)^2 + 1,0813(\Delta P) - 0,0006$$
6. Persamaan yang didapat dari hubungan Derajat Konsolidasi dengan kenaikan C_u tanah adalah :
$$\Delta C_u = 2.10^{-10} U^5 - 2.10^{-8} U^4 + 7.10^{-8} U^3 + 1.10^{-5} U^2 + 0,0015U - 0,0008$$
7. *Preloading* dilakukan sampai dengan $U = 90\%$, yaitu sampai dengan derajat konsolidasi primer.

DAFTAR PUSTAKA

- , *Petunjuk Pemeriksaan Fisik Tanah*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Bowles, J.E, 1991, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Edisi II, Penerbit Airlangga Jakarta
- Craig, R.F. dan Susilo. B., 1994. *Mekanika Tanah*, Edisi keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Das, B.M., 1998 *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jilid I, Penerbit Airlangga, Jakarta
- Hardiyatmo, H.C., 1992, *Mekanika Tanah I* , Penerbit Gramedia Utama Jakarta
- Hardiyatmo, H.C., 2002, *Mekanika Tanah I*, Edisi-3, Penerbit Gajah Mada University Press
- Hardiyatmo, H.C., 2003, *Mekanika Tanah II*, Edisi-3, Penerbit Gajah Mada University Press
- Ma'mun., 1987, *Pengantar Mekanika Tanah I*, Penerbit Media Kampus Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin
- Peck, R. B., dkk, 1974, *Teknik Pondasi*, John Willey & Sons, Inc, alih bahasa Muslikh, MSc., Mphil, Ir, dan H Daruslan, Ir, Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Stamatopoulos, A.C dan Kotzias ,P. C., 1985, *Soil Improvement by Preloading*. A Willey – Interscience Publication, Canada