

Penentuan Parameter Kuat Geser *Clay Shale* berdasarkan Variabel Kejenuhan terhadap Kelongsoran

Andri Krisnandi Somantri¹, M. Shouman², Azmi M. Fathurrohman³

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail: andri_krisnandi@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail: sho_labo@yahoo.co.id

³Mahasiswa Program Pascasarjana Terapan Rekayasa Infrastruktur, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail: fathurrohman.azmi@gmail.com

ABSTRAK

Clay shale merupakan jenis tanah ekspansif yang akan mengalami pengembangan atau peningkatan volume apabila berkontak dengan air. Kelongsoran *clay shale* dapat terjadi sebelum kondisi jenuh total tercapai. Dalam rangka proses perancangan instrumen, perlu adanya penelitian awal untuk meninjau pengaruh tingkat kejenuhan *clay shale* terhadap parameter kelongsoran, sehingga tingkat kejenuhan *clay shale* sesaat sebelum runtuh dapat diketahui. Penelitian dilaksanakan dengan pengujian sifat fisis lalu dilanjutkan dengan pengujian sifat mekanis juga secara kimia. Pengujian-pengujian sifat fisis yakni, pengujian berat isi, kadar air dan batas *atterberg*. Untuk pengujian sifat mekanis, digunakan triaksial dan *swelling*. Sementara, pengujian secara kimia dilaksanakan pengujian X-Ray *Diffraction* (XRD) dan Kapasitas Tukar Kation (KTK). Variabel yang diuji memiliki variasi nilai derajat kejenuhan yang didapat dari pengaturan nilai koefisien β sebesar 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 dan 1,0 saat pengujian triaksial. Selanjutnya, beberapa nilai sudut geser dalam dan kohesi yang diperoleh dari pengujian triaksial dimodelkan dalam *software* PLAXIS menggunakan geometri lereng eksisting sebelum terjadi kelongsoran beserta pembebanannya. Dari pemodelan, dicari kondisi lereng dengan nilai faktor keamanan paling mendekati 1 untuk digunakan pada instrumen pendeteksi kelongsoran. Penelitian ini juga menghasilkan grafik korelasi tingkat kejenuhan terhadap parameter kuat geser yang dapat digunakan untuk perancangan perkuatan lereng yang bidang gelincirnya di lapisan *clay shale*.

Kata Kunci

Clay Shale, Kejenuhan, Koefisien β , Triaksial

1. PENDAHULUAN

Clay shale merupakan salah satu jenis tanah ekspansif yang akan mengalami pengembangan atau peningkatan volume apabila berkontak dengan air. Kelongsoran pada tanah jenis *clay shale* tersebut dapat terjadi sebelum kondisi jenuh total tercapai. Dalam rangka proses perancangan instrumen tersebut, perlu adanya penelitian awal untuk meninjau pengaruh tingkat kejenuhan *clay shale* terhadap parameter kelongsoran, sehingga tingkat kejenuhan pada *clay shale* sesaat sebelum runtuh dapat diketahui.

Penelitian *clay shale* dilaksanakan dengan pengujian sifat fisis lalu dilanjutkan dengan pengujian sifat mekanis juga secara kimia. Pengujian-pengujian sifat fisis yakni, pengujian berat isi, kadar air dan batas *atterberg*. Untuk pengujian sifat mekanis, digunakan triaksial dan *swelling*. Sementara, untuk pengujian secara kimia dilaksanakan pengujian X-Ray

(KTK). Variabel yang diuji memiliki variasi nilai derajat kejenuhan yang didapat dari pengaturan nilai koefisien β sebesar 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 dan 1,0 saat pengujian triaksial. Selanjutnya, beberapa nilai sudut geser dalam dan kohesi yang diperoleh dari pengujian triaksial dimodelkan dalam *software* PLAXIS menggunakan geometri lereng eksisting sebelum terjadi kelongsoran beserta pembebanannya. Dari pemodelan dicari kondisi lereng dengan nilai faktor keamanan paling mendekati 1 untuk digunakan pada instrumen pendeteksi kelongsoran. Penelitian ini juga menghasilkan grafik korelasi tingkat kejenuhan terhadap parameter kuat geser yang dapat digunakan untuk perancangan perkuatan lereng yang bidang gelincirnya di lapisan *clay shale*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kelongsoran

Kelongsoran ialah perpindahan material pembentuk lereng yang bergerak ke arah bawah dan keluar

faktor pendorong dalam hal ini tegangan geser yang terjadi lebih besar bila dibandingkan faktor penahan, yakni kuat geser^[2]. Rasio antara faktor keamanan dengan pendorong disebut dengan faktor keamanan (FK). Nilai FK yang disarankan ialah lebih dari 1,3 menurut Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

2.2 Clay Shale

Clay shale memiliki kandungan *monmorillonite* yang menjadikannya termasuk jenis tanah ekspansif yang akan mengalami pengembangan atau peningkatan volume apabila berkontak dengan air^[3]. *Monmorillonite* adalah mineral dengan luas permukaan besar dan sangat mudah menyerap air dalam jumlah besar bila dibandingkan dengan mineral lainnya.

2.3 Pengujian Triaksial

Pengujian triaksial adalah pengujian yang paling sering digunakan untuk menentukan parameter kuat geser yang termasuk didalamnya sudut geser dalam dan kohesi^[4]. Tipe cara pengujian yang akan digunakan adalah *Consolidated-Undrained* (CU), yakni pada saat pemberian tegangan isotrop atau tegangan ke segala arah, kondisi katup pada mesin triaksial dibiarkan terbuka sehingga terjadi proses konsolidasi, lalu pada saat pemberian tegangan geser, kondisi katup ditutup sehingga tidak terjadi drainase atau pengaliran^[5].

2.4 Swelling Test

Tanah jenis ekspansif dengan kemampuan mengembang yang cukup besar menghasilkan tekanan untuk melawan beban yang bekerja diatasnya ketika air tersedia untuk bertambahnya volume^[6]. Besarnya tekanan *swelling* dipengaruhi oleh batas cair, berat isi kering serta kadar air awal^[7].

2.5 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Komponen dasar pengujian XRD, yakni sumber sinar-X, benda uji, dan detektor sinar^[8]. Pengujian XRD dapat digunakan untuk menentukan komposisi mineral yang terdapat pada tanah jenis ekspansif, dengan cara membandingkan intensitas garis difraksi dari berbagai mineral terhadap garis bahan standar^[7].

2.6 Software PLAXIS

PLAXIS merupakan salah satu *software* yang digunakan dalam pemodelan bidang geoteknik. Pemilihan PLAXIS dalam penelitian ini dikarenakan PLAXIS memiliki kelebihan, dimana *software* lain seperti GEOSTUDIO hanya dapat mengeluarkan nilai faktor keamanan, sedangkan dalam PLAXIS deformasi dapat diketahui, sehingga dapat membantu

material yang digunakan dalam pemodelan lereng adalah *mohr coulomb* yang merupakan model sederhana yang handal dan telah diketahui lama dalam praktek rekayasa teknik sipil. Model ini dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan dengan pendekatan ‘reduksi phi-c’ atau reduksi sudut geser dalam dan kohesi^[10].

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Penelitian

Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 beserta uraian penjelasan yang dipaparkan pada sub bab selanjutnya.

3.2 Pengambilan Material Benda Uji

Pengambilan benda uji berupa *clay shale* diambil dari lokasi lereng yang mengalami longsor dengan cara pemboran metode DS (*Disturbed Soil*).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.3 Pengambilan Material Benda Uji

Benda uji untuk pengujian triaksial CU dibuat masing-masing 3 (tiga) benda uji untuk 5 variasi nilai koefisien β 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 dan 1,0 dengan 1 (satu) cadangan benda uji untuk masing-masing variasi nilai derajat kejenuhan, sehingga total benda uji triaksial adalah 20 buah. Uraian cara memperoleh derajat kejenuhan tertentu diuraikan pada sub bab 2.3 Pengujian Triaksial. Untuk pengujian lainnya terdapat pada tabel kebutuhan benda uji yang

Tabel 1. Kebutuhan Benda Uji dalam Penelitian

Jenis Pengujian	Banyaknya Sampel
Pengujian Sifat Fisis	
Pengujian Berat Jenis	3
Pengujian Gradasi	1
Pengujian Batas-batas <i>Atterberg</i>	1
Pengujian Secara Kimia	
Pengujian X-Ray <i>Diffraction</i>	1
Pengujian Kapasitas Tukar Kation	1
Pengujian Sifat Mekanis	
Pengujian Pengembangan	1
Pengujian Triaksial	16

3.4 Pengujian Sifat Fisis

Pengujian sifat fisis dilaksanakan untuk mengetahui beberapa parameter pada *clay shale* yang dibutuhkan dalam pelaksanaan pengujian *swelling*. Pengujian yang dilaksanakan, yakni berat isi, kadar air, dan batas *atterberg*.

3.5 Pengujian Secara Kimia

Pengujian sifat fisik XRD dilaksanakan untuk mengetahui komposisi kandungan mineral benda uji dengan analisis gelombang pantulan sinar X pada bidang atom. Data hasil pemeriksaan dihasilkan dari perekaman berupa grafik berpuncak pada skala sudut 2θ yang diubah menjadi jarak dengan hukum Bragg.

Pengujian Kapasitas Tukar Kation (KTK) dilakukan untuk mengetahui kemampuan koloid tanah dalam mempertukarkan kation. Di dalam tanah, komponen yang mempunyai muatan adalah lempung dan bahan organik tanah. Semakin halus butiran dan semakin tinggi kadar mineral lempung dan bahan organik, maka nilai KTK yang diberikan akan semakin tinggi^[11].

3.6 Pengujian Sifat Mekanis

Pada pengujian sifat mekanis digunakan pengujian *swelling* dan triaksial. Pengujian *swelling* pada *clay shale* dilaksanakan menggunakan *geonor*. Hasil akhir dari pengujian berupa nilai tingkat potensi *swelling* berdasarkan tekanan *swelling*. Apakah tingkat potensi *swelling* dari *clay shale* termasuk kedalam *low*, *medium*, *high*, dan *very high*.

Pelaksanaan pengujian triaksial digunakan tipe *Consolidated Undrained* (CU) dan pengaturan variasi nilai derajat kejenuhan dilakukan saat tahapan awal, yakni tahapan *saturated* dengan menyatel *cell pressure* dan *back pressure*. Hasil pengujian dari triaksial berupa tegangan-tegangan efektif digunakan untuk penggambaran lingkaran mohr untuk mengetahui parameter tanah lainnya, yakni kohesi dan sudut geser dalam.

3.7 Pemodelan Menggunakan PLAXIS

Pemodelan lereng pada PLAXIS digunakan parameter tanah berupa sudut geser dalam dan kohesi sebagai data *clay shale* yang akan dimodelkan. Kemudian, untuk geometri lereng digunakan data geometri lereng eksisting yang diperoleh dari pihak instansi terkait.

Pada semua pemodelan lereng yang dilaksanakan berdasarkan variasi tingkat derajat kejenuhan akan didapat faktor keamanan yang berbeda. Batas tingkat kejenuhan pada lereng sesaat sebelum longsor/runtuh adalah model lereng yang menunjukkan nilai faktor keamanan paling mendekati 1. Adapun data-data lain yang telah diperoleh selama penelitian akan disusun menjadi beberapa grafik hubungan antara derajat kejenuhan dan parameter kelongsoran.

3.8 Quality Control

Standar pada pelaksanaan pengujian sifat fisis dan mekanis selama penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis dilaksanakan dengan 3 (tiga) buah sampel dari kedalaman 18,5 – 19,0 m. Adapun hasil yang didapat dari pelaksanaan pengujian berat jenis ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Standar Pelaksanaan Pengujian Penelitian

Jenis Pengujian	Standar
Pengujian Berat Jenis	ASTM D-422
Pengujian Gradasi	ASTM D-2216-98
Pengujian <i>Atterberg</i>	ASTM D-4318-84
Pengujian X-Ray <i>Diffraction</i>	ASTM C-958-92
Pengujian Kapasitas Tukar Kation	ASTM D-7503-10
Pengujian <i>Swelling</i>	ASTM D-4546-90
Pengujian Triaksial	ASTM D-4767-88

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Jenis

Kedalaman	18,5 - 19,0 m		
Nomor Picnometer	37	35	31
Berat Picnometer (gr)(W1)	46,32	45,07	47,12
Berat Pic.+Tanah Kering (gr)(W2)	78,70	79,50	79,00
Berat Pic.+Tanah+Air (gr)(W3)	172,40	181,80	175,50
Berat Pic.+Air (gr)(W4)	152,72	160,55	156,00
Berat Tanah Kering (gr)(W5)	32,38	34,43	31,88
Berat Jenis	2,55	2,61	2,58
Berat Jenis rata-rata	2,579		
Suhu (°C)	27	27	27
Koreksi (k)	0,9983	0,9983	0,9983
Berat Jenis rata-rata setelah koreksi	2,575		

4.2 Hasil Pengujian Batas Atterberg

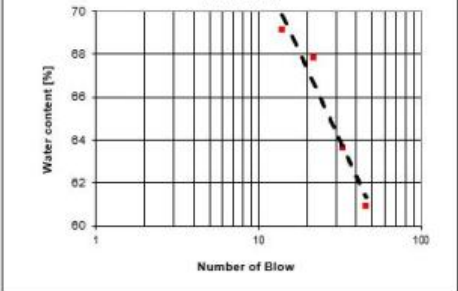
Pengujian batas-batas *atterberg* yang dilaksanakan ialah pengujian batas plastis dan batas cair menggunakan sampel dari kedalaman 18,5 – 19,0 m. Berdasarkan hasil dari pengujian batas-batas

bahwa nilai batas plastis (PL) sebesar 20,41 %, dan batas cair (LL) sebesar 65,37 %. Dari kedua nilai batas cair dan plastis dapat dihitung nilai indeks plastisitas atau *plasticity index* (PI).

Tabel 4. Hasil Pengujian Batas Atterberg

Depth :	18,50 - 19,0 m							
Testing	Liquid Limit (LL)				Plastic Limit (PL)			
No.	C	A	D	B	H	C2	A3	
Wt of can	14,35	14,40	14,60	14,60	14,64	14,65	14,27	
Wt of wet soil + can	32,70	34,20	32,60	32,30	18,00	18,30	18,50	
Wt of dry soil + can	25,20	26,20	25,60	25,60	17,40	17,70	17,80	
Wt of moisting	7,50	8,00	7,00	6,70	0,60	0,60	0,70	
Wt. of dry soil	10,85	11,80	11,00	11,00	2,76	3,05	3,53	
Water content	69,12	67,80	63,64	60,91	21,74	19,67	19,83	
Average							20,41	
Number of blow	14	22	33	46				
Limit value	LL = 65,37				PL = 20,41			

Flow Curve



Plastic Limit (PL) = 20,41 %
Liquid Limit (LL) = 65,37 %
Plastic Index (PI) = 44,95 %

PI ialah sebuah parameter yang menunjukkan keplastisan suatu tanah, dimana semakin tinggi nilai PI, maka dapat diketahui bahwa tanah semakin plastis. Nilai PI merupakan selisih antara nilai batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Adapun nilai PI yang didapat berdasarkan perhitungan, yakni sebesar 44,95 %

4.3 Hasil Pengujian Gradasi

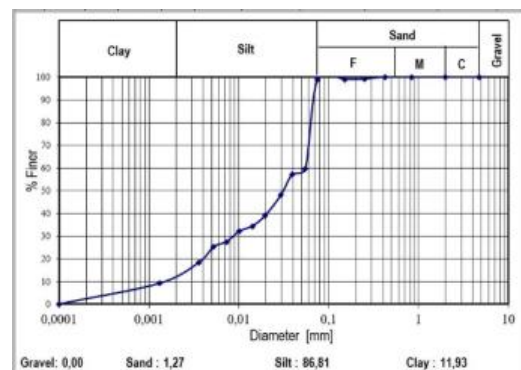
Menentukan gradasi atau distribusi ukuran butir tanah dilaksanakan sesuai dengan jenis ukuran butir tanah. Adapun cara menganalisa ukuran butir tanah dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu analisa saringan untuk tanah berbutir kasar, analisa *hydrometer* untuk tanah berbutir halus, dan analisa gabungan. Adapun hasil dari pengujian gradasi ditunjukkan pada Tabel 5.

Hasil analisa gabungan yang ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 2 menunjukkan fraksi lanau mendominasi dari susunan *clay shale* tersebut. Hasil pengujian berupa persentase dari fraksi lempung akan digunakan untuk analisis kecenderungan keaktifan tanah tersebut.

Tabel 5. Hasil Pengujian Gradasi Analisis Saringan dan Hidrometer

Saringan					W _{max} : 150 gram				
Sieve No.	Diameter [mm]	Wt. retained [gram]	% Retained	% passing					
4	4,750	0,00	0,00	100,00					
10	2,000	0,00	0,00	100,00					
20	0,840	0,00	0,00	100,00					
40	0,425	0,00	0,00	100,00					
80	0,190	1,40	0,93	99,07					
100	0,150	0,20	0,13	99,83					
200	0,075	0,30	0,20	99,73					
		1,90	1,27						

No. Sample :- 0		Hydrometer										W _s = 47,00	
Date	Time	Rh	T	C	Rh + C	Zr	M	D	N	N'			
08-Sep	0	27	27	0	27	8,757	0,0129	0,0000	93,88	61,80			
08-Sep	0.25	27	27	0	27	8,757	0,0129	0,0764	93,88	61,80			
08-Sep	0.5	26	27	0	26	9,025	0,0129	0,0548	90,41	59,51			
08-Sep	1	25	27	0	25	9,294	0,0129	0,0393	86,93	57,22			
08-Sep	2	21	27	0	21	10,368	0,0129	0,0294	73,02	48,06			
08-Sep	5	17	27	0	17	11,443	0,0129	0,0195	59,11	38,91			
08-Sep	10	15	27	0	15	11,980	0,0129	0,0141	52,16	34,33			
08-Sep	20	14	27	0	14	12,249	0,0129	0,0101	48,68	32,04			
08-Sep	40	12	27	0	12	12,786	0,0129	0,0073	41,73	27,47			
08-Sep	80	11	27	0	11	13,054	0,0129	0,0052	38,25	25,18			
08-Sep	180	8	27	0	8	13,860	0,0129	0,0036	27,82	18,31			
08-Sep	1440	4	27	0	4	14,935	0,0129	0,0013	13,91	9,16			
		5						0,00					



Gambar 2. Grafik Hasil Analisis Gabungan

4.4 Hasil Pengujian XRD

Dari pengujian XRD yang telah dilaksanakan diketahui bahwa mineral yang terkandung dalam tanah yakni *quartz*, *halloysite*, *muscovite*, *gismondine*, *calcite*, dan *montmorillonite*.

4.5 Hasil Pengujian KTK

Tanah yang digunakan dalam pengujian KTK merupakan tanah dari kedalaman 11,50 – 12,00 m yang merupakan tanah jenis *clay shale* menurut tim dari Jasamarga berdasarkan serabut-serabut putih yang terdandungnya. Hasil pengujian yang dilaksanakan di laboratorium tekMIRA menunjukkan tanah yang ditinjau memiliki nilai KTK sebesar 22,52 (meq/100 gram). Berdasarkan Tabel 6 tanah diprediksi mengandung Haloisit dan Illit.

Tabel 6. Nilai KTK Mineral Lempung^[12]

Lempung	KTK
Kaolinit	3 - 15
Halosit	10 - 40
Illit	10 - 40
Vermikulit	100 - 150
Montmorillonit	80 - 150

4.6 Hasil Pengujian Swelling

Nilai *swelling potential* yang diperoleh dari pengujian sebesar 25,32% dengan *swelling pressure* sebesar 0,192 kg/cm². Nilai *swelling potential* tersebut sesuai dengan nilai perkiraan berdasarkan korelasi yang telah diperoleh, yakni 5 – 25 %, dalam kategori *high swelling potential*.

4.7 Hasil Pengujian Triaksial

Pengujian triaksial dilaksanakan setelah nilai koefisien β sesuai dengan yang direncanakan. Variasi nilai koefisien β yang digunakan, yakni 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 dan 1,0. Hasil pengujian triaksial berupa kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) yang digunakan dalam pemodelan menggunakan PLAXIS ditunjukkan Tabel 7.

Tabel 7. Tabel Nilai Kohesi dan Sudut Geser Hasil Pengujian Triaksial

Tegangan Efektif											
Parameter	Satuan	Tegangan Total					Tegangan Efektif				
		Variasi Nilai Koefisien β									
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Kohesi	(kN/m ²)	7,8	5,7	3,5	10,1	13,8	4,7	7,5	7,3	10,2	13,1
Sudut Geser Dalam	(°)	18,1	19,4	21,2	17,9	17,1	24,1	22,5	25,2	24,7	22,6

4.8 Hasil Pemodelan dengan PLAXIS

Lapisan tanah yang ditinjau dan divariasikan kejenuhannya merupakan lapisan tanah *clay shale* saja, sementara parameter lapisan tanah lain dan pembebanannya tidak berubah sesuai data yang didapat dari Jasamarga. Variasi parameter pada lapisan *clay shale* yang digunakan untuk pemodelan lereng Jembatan Cisomang ditunjukkan Tabel 8.

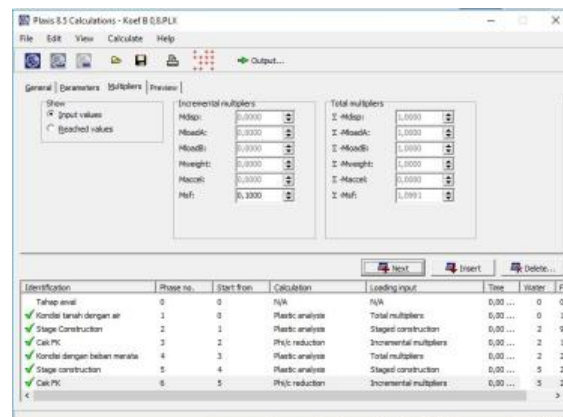
Pemodelan lereng menghasilkan (FK) beserta bidang longsorannya. Pemodelan yang dilakukan merupakan bagian lereng tepian arah Jakarta yang diketahui memiliki potensi longsor yang tinggi bila dibandingkan dengan tepian arah Bandung. Hasil pemodelan PLAXIS berupa nilai Faktor Keamanan (FK) disajikan dalam Tabel 4.13. Sementara salah satu hasil pemodelan ditunjukkan Gambar 3 dan 4. Rangkuman hasil pemodelan PLAXIS berupa nilai FK disajikan dalam Tabel 10.

Tabel 8. Variasi Parameter untuk Pemodelan pada Lapisan *Clay Shale*

Parameter	Satuan	Variasi Nilai β				
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Berat Isi Jenuh	(kN/m ³)	18,17	20,23	20,26	20,13	20,53
Berat Isi Tidak Jenuh	(kN/m ³)	13,79	15,60	15,55	15,50	15,88
Kohesi	Total Stress	7,8	5,7	3,5	10,1	13,8
	Effektif Stress	4,7	7,5	7,3	10,2	13,1
Sudut Geser Dalam	Total Stress	18,1	19,4	21,2	17,9	17,1
	Effektif Stress	24,1	22,5	25,2	24,7	22,6
Modulus Elastisitas	(kN/m ²)	17250				
Poisson Ratio	(kN/m ²)	0,35				

Tabel 9. Faktor Keamanan (FK) pada Pemodelan Cisomang Semua variasi

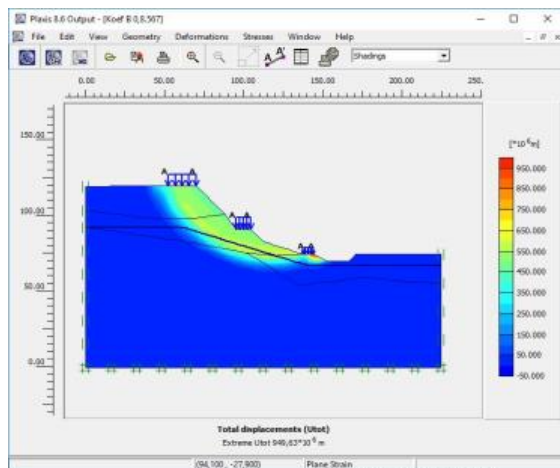
Parameter	UU	Variasi Nilai β				
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Faktor Keamanan	Tegangan Total	0,997	0,961	0,901	1,099	1,103
	Tegangan Efektif	1,194	1,157	1,196	1,180	1,181



Gambar 3. Nilai FK Lereng Jembatan Cisomang Tepian Arah Jakarta dengan Parameter tanah dari Variasi Pemberian Nilai Koefisien β sebesar 0,8

Tabel 10. Faktor Keamanan (FK) pada Pemodelan Lereng Cisomang Semua Variasi

Parameter	UU	Variasi Nilai β				
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Faktor Keamanan	Tegangan Total	0,997	0,961	0,901	1,099	1,103
	Tegangan Efektif	1,194	1,157	1,196	1,180	1,181



Gambar 4. Bidang Longsor Lereng Jembatan Cisomang Tepian Arah Jakarta Variasi Pemberian Nilai Koefisien β sebesar 0,8

4.9 Karakteristik Sampel Uji Menurut Hasil Pengujian Sifat Fisis dan Kimia

Hasil dari serangkaian pengujian yang telah dilaksanakan, diketahui bahwa sampel yang diuji merupakan jenis tanah *clay shale* dengan didominasi lanau yang memiliki sifat lempung yakni *swelling*, plastisitas, dan kohesif yang tinggi. Nilai aktivitas (A) tanah menunjukkan sampel uji termasuk kedalam tanah aktif yang memiliki kandungan *montmorillonite* sebagai salah satu komponen utama pada *clay shale*.

Kandungan mineral lempung dalam tanah telah diketahui lebih rinci berdasarkan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dan pengujian Kapasitas Tukar Kation (KTK) yang telah dilaksanakan di laboratorium Puslitbang tekMIRA. Hasil yang didapat dari XRD menunjukkan bahwa tanah mengandung beberapa mineral lempung, termasuk *montmorillonite* yang merupakan penyusun *clay shale*. Namun dari nilai KTK menunjukkan bahwa *montmorillonite* tidak mendominasi 100 gram sampel tanah yang digunakan dalam pengujian KTK.

Pengujian KTK tersebut menunjukkan hasil yang berbeda bila dibandingkan pengujian sifat tanah lainnya yang menunjukkan bahwa kandungan *montmorillonite* mendominasi tanah yang ditinjau. Hal tersebut terjadi dikarenakan perbedaan kedalaman sampel tanah yang digunakan pada pengujian. Diketahui bahwa pada pengujian KTK dan XRD digunakan sampel tanah dari kedalaman 11,50 – 12,00 meter, dimana tanah *clay shale* dapat ditemukan mulai dari kedalaman 10 meter

Pada kedalaman awal, diperkirakan kandungan *montmorillonite* sudah ada dengan ditandainya serabut putih, namun belum cukup mendominasi mineral lainnya, seperti mineral *halosite* dan *illite*. Dari hasil pengujian sifat fisis berupa *swelling potential* dengan sampel dari kedalaman 16,00 – 16,50 menunjukkan nilai *swelling potential* yang masuk dalam kategori *high*, begitu pun dalam pengujian sifat fisis lainnya yang telah dilaksanakan. Dimana semakin dalamnya pengambilan sampel, maka sifat *clay shale* yang didominasi mineral lempung *montmorillonite* semakin terlihat.

4.10 Karakteristik Sampel Uji Menurut Pengamatan di Lapangan

Penentuan lokasi dan kedalaman pemboran berdasarkan peta statigrafi yang dimiliki PT. Jasamarga berdasarkan hasil investigasi tanah sebelumnya. Sampel uji diambil dengan metode pemboran terganggu dikarenakan kerasnya lapisan tanah yang dibor. Wujud tanah yang dijadikan sampel memiliki warna abu-abu gelap, berserat putih, dan keras.

Adanya serat putih yang ditemukan dari mulai kedalaman 10 m merupakan indikasi dari jenis *clay shale* yang ditinjau oleh pihak PT. Jasamarga. Wujud *clay shale* yang menjadi sampel uji ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Sampel Uji *Clay Shale* dari Lereng Jembatan Cisomang

4.11 Korelasi Derajat Kejenuhan dengan Parameter Kuat Geser

Pengujian sampel triaksial UU memiliki nilai derajat kejenuhan 0,98, sedangkan variasi pengaturan koefisien β pada saat pengujian triaksial menghasilkan derajat kejenuhan yang berbeda dengan waktu penjenjutan yang berbeda pula. Dimana dari pengujian triaksial dengan kondisi tersebut juga menghasilkan nilai parameter tanah yang berbeda-beda. Kemudian variasi parameter tanah tersebut dimodelkan, sehingga menghasilkan

berdasarkan pengaturan koefisien β ditunjukkan Tabel 11.

Tabel 11. Nilai Derajat Kejenuhan Berdasarkan Variasi Koefisien β

Parameter	Variasi Nilai β				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Derajat Kejenuhan (Sr)	0,95	1,17	1,19	1,16	1,21

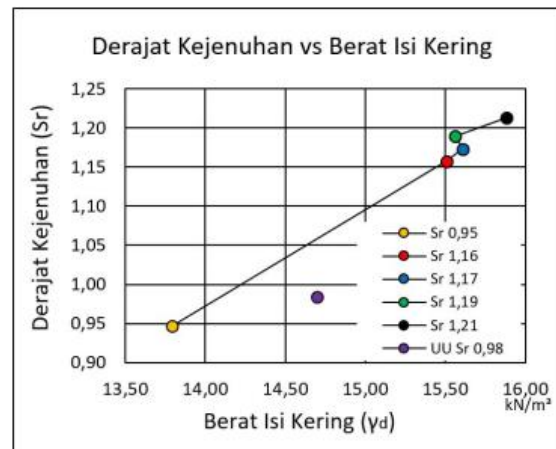
Korelasi derajat kejenuhan dengan parameter kuat geser berupa kohesi dan sudut geser dalam dapat diketahui dari pengujian triaksial yang dilengkapi dengan pengujian sufat fisis dan kimia. Dari pengujian-pengujian indek propertis tanah dan pemodelan menggunakan PLAXIS juga menghasilkan korelasi derajat kejenuhan dengan parameter tanah lainnya yang ditunjukkan dalam Tabel 12.

Tabel 12. Korelasi Derajat Kejenuhan dengan Parameter Tanah Lainnya

Parameter	Satuan	UU Sr	Sr 0,98	Sr 0,95	Sr 1,16	Sr 1,17	Sr 1,19	Sr 1,21
Berat Isi Kering	(kN/m^3)		14,70	13,79	15,51	15,61	15,56	15,88
Kohesi	Tegangan Total	(kN/m ²)	25,8	7,8	10,1	5,7	3,5	13,8
	Tegangan Efektif			4,7	10,2	7,5	7,3	13,1
Sudut Geser Dalam	Tegangan Total	(°)	9,5	18,1	17,9	19,4	21,2	17,1
	Tegangan Efektif			24,1	24,7	22,5	25,2	22,6
Waktu Penjenuhan	menit	-		80	90	140	150	153
Faktor Keamanan	Tegangan Total	-	1,058	0,997	1,099	0,961	0,901	1,103
	Tegangan Efektif			1,194	1,180	1,157	1,196	1,181

a. Korelasi Derajat Kejenuhan dengan Berat Isi Kering

Berat isi adalah perbandingan antara berat tanah total (butiran tanah dan air dalam pori) dengan volume total tanah (udara, air, dan butiran tanah). Sedangkan berat isi kering ialah berat isi dalam kondisi tanah kering setelah dikeringkan dengan cara dimasukan ke oven selama 24 jam. Korelasi derajat kejenuhan dengan berat isi kering ditunjukkan pada Gambar 6 berikut:



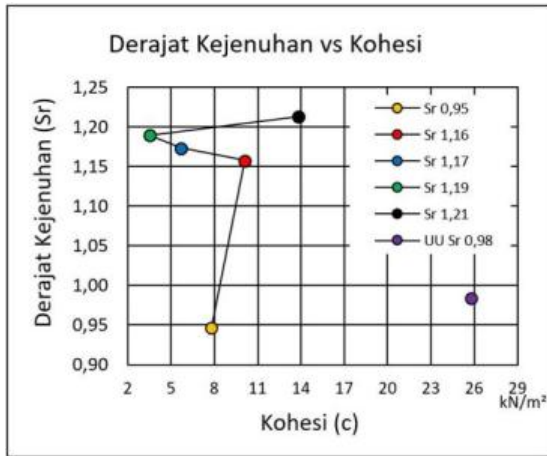
Gambar 6. Korelasi Derajat Kejenuhan dengan Berat Isi Kering

Gambar 6 menunjukkan semakin tinggi nilai derajat kejenuhan tanah mengakibatkan semakin tingginya nilai berat isi tanah kering. Fenomena tersebut diakibatkan pengaruh dari waktu penjenuhan dan pengeringan. Sebelumnya telah diketahui bahwa lempung memiliki struktur yang rumit dan partikel kecil (mikroskopis) yang memungkinkan banyaknya terbentuk pori Partikel lempung yang kecil memberikan luas permukaan yang lebar, ditambah dengan sifat mineral lempung yang menarik molekul air, sehingga banyak air yang akan terserap.

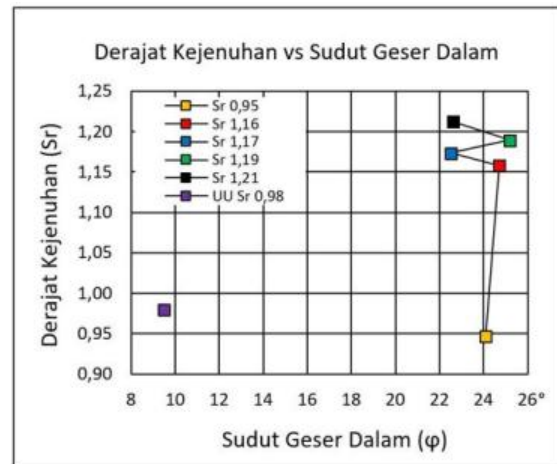
Waktu penjenuhan yang lama mengakibatkan derajat kejenuhan yang semakin tinggi, yang menandakan semakin tingginya volume air yang mengisi pori tanah. Saat proses pengeringan, ada kemungkinan beberapa partikel air masih tertahan dalam pori. Sementara pengeringan dilakukan seragam, yakni dengan waktu 24 jam. Sehingga semakin tinggi volume air dalam pori, maka akan semakin banyak pula kemungkinan partikel air yang tertahan dalam pori.

b. Korelasi Derajat Kejenuhan dengan Parameter Kuat Geser

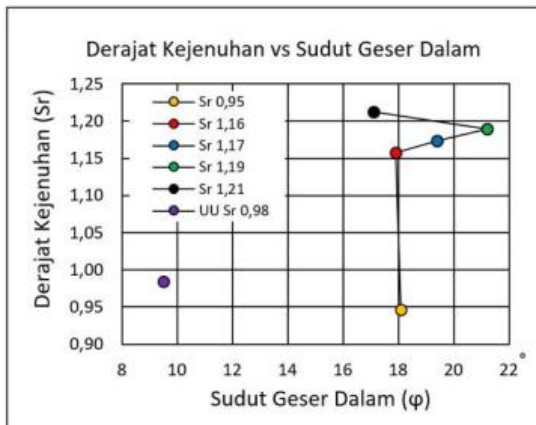
Kohesi dan sudut geser dalam merupakan parameter kuat geser pada tanah, dimana semakin tinggi nilai keduanya, maka akan semakin tinggi pula nilai kuat geser yang dihasilkan. Perubahan kedua parameter tersebut dapat dipengaruhi oleh air. Adapun korelasi derajat kejenuhan dan parameter kuat geser berdasarkan pengujian triaksial ditunjukkan pada Gambar 7– 10.



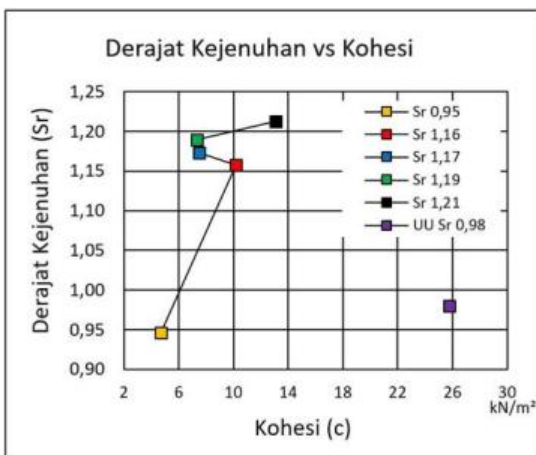
Gambar 7. Korelasi Derajat Kejuhan dengan Kohesi (Tegangan Total)



Gambar 10. Korelasi Derajat Kejuhan dengan Sudut Geser Dalam (Tegangan Efektif)



Gambar 8. Korelasi Derajat Kejuhan dengan Sudut Geser Dalam (Tegangan Total)



Gambar 9. Korelasi Derajat Kejuhan dengan Kohesi (Tegangan Efektif)

Tabel 13. Nilai Kohesi dan Sudut Geser berdasarkan Nilai Derajat Kejuhan

Parameter	Satuan	UU Sr 0,98	Sr 0,95	Sr 1,16	Sr 1,17	Sr 1,19	Sr 1,21
Kohesi	Tegangan Total	(kN/m²)	25,8	7,8	10,1	5,7	3,5
	Tegangan Efektif		4,7	10,2	7,5	7,3	13,1
Sudut Geser Dalam	Tegangan Total	(°)	9,5	18,1	17,9	19,4	21,2
	Tegangan Efektif		9,5	24,1	24,7	22,5	25,2

Berdasarkan Gambar 7 – 10 dan Tabel 13 terlihat bahwa variasi nilai derajat kejuhan memberikan perubahan nilai yang beragam. Pada umumnya peningkatan nilai derajat kejuhan akan menurunkan nilai kohesi dan sudut geser dalam. Hal tersebut terlihat pada beberapa nilai kohesi pada variasi nilai derajat kejuhan 0,95 ; 1,17 dan 1,19, saat tegangan efektif maupun total menunjukkan penurunan. Sementara pada sudut geser dalam, perubahan nilai tidak begitu signifikan, penurunan terjadi pada derajat kejuhan 0,95 ; 1,16 dan 1,21.

Mayoritas nilai kohesi dan sudut geser dalam mengalami penurunan, meskipun ada beberapa yang mengalami peningkatan. Peningkatan yang terjadi karena beberapa hal, salah satunya pembacaan yang kurang teliti saat pengujian triaksial berlangsung, atau kurang homogenya sampel uji yang menyebabkan perbedaan kandungan komposisi mineral lempung mengingat sampel uji diambil dari variasi kedalaman 11,00 – 22,00 meter. Dimana semakin banyak komposisi *montmorillonite* maka akan semakin besar penurunan kohesi dan sudut geser yang disebabkan oleh air.

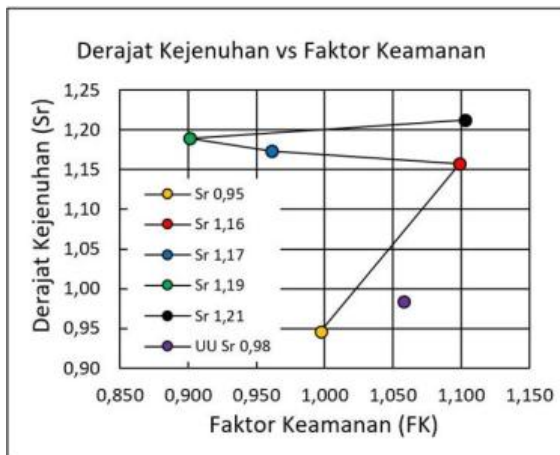
c. Korelasi Derajat Kejuhan dengan Faktor Keamanan

Pada nemodelan lereng jemabatan Cisomang denoan

berdasarkan 5 variasi pengaturan nilai koefisien β . Dari pengujian triaksial didapat 2 (dua) kohesi dan sudut geser dalam, sehingga jumlah pemodelan menjadi 10 pemodelan. Untuk lebih jelasnya, disajikan grafik korelasi derajat kejenuhan dengan faktor keamanan pada Tabel 14 dan Gambar 11 - 12.

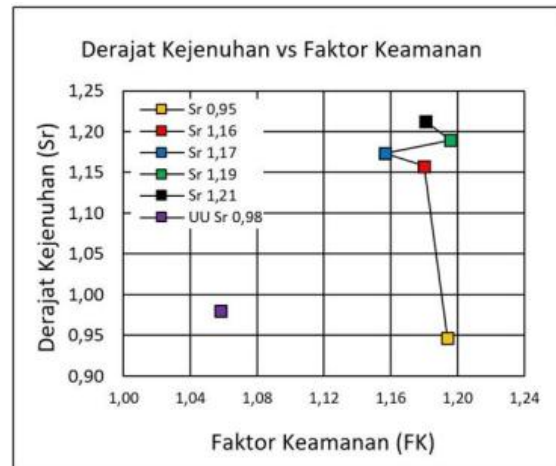
Tabel 14. Korelasi Derajat Kejenuhan dengan Faktor Keamanan

Parameter	UU Sr 0,98	Sr 0,95	Sr 1,16	Sr 1,17	Sr 1,19	Sr 1,21
Faktor Keamanan						
Tegangan Total	1,058	0,997	1,099	0,961	0,901	1,103
Tegangan Efektif		1,194	1,180	1,157	1,196	1,181



Gambar 11. Korelasi Derajat Kejenuhan dengan Faktor Keamanan (Tegangan Total)

Berdasarkan Tabel 14 terlihat bahwa semakin tinggi nilai derajat kejenuhan, maka semakin rendah nilai dari faktor keamanan. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai FK dari variasi derajat kejenuhan 1,16 ; 1,17 dan 1,19 pada tegangan total. Penurunan juga ditunjukkan oleh nilai FK dari variasi derajat kejenuhan 0,95 ; 1,16 dan 1,17 pada tegangan efektif. Penurunan nilai FK terjadi karena nilai parameter kuat geser (kohesi dan sudut geser dalam) yang menurun selama peningkatan derajat kejenuhan.



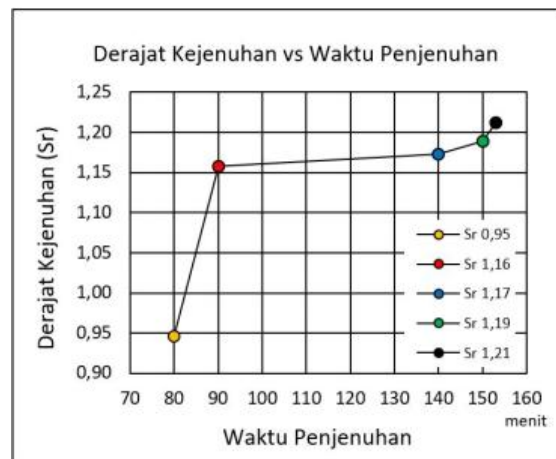
Gambar 12. Korelasi Derajat Kejenuhan dengan Faktor Keamanan (Tegangan Efektif)

d. Korelasi Derajat Kejenuhan dengan Waktu Penjenuhan

Pada pengujian triaksial dilakukan 3 kali pengujian dengan nilai σ_3 50 ; 100 dan 150 kPa. Dimana sebelum tahapan geser, ketiga sampel tersebut dijenuhkan terlebih dahulu. Waktu penjenuhan yang disajikan merupakan rata-rata dari waktu penjenuhan yang dipakai untuk menjenuhkan setiap variasi derajat kejenuhan. Grafik dan tabel korelasi derajat kejenuhan dengan waktu penjenuhan disajikan pada Gambar 13 dan Tabel 15.

Tabel 15. Korelasi Derajat Kejenuhan dengan Waktu Penjenuhan

Parameter	Satuan	Sr 0,95	Sr 1,16	Sr 1,17	Sr 1,19	Sr 1,21
Waktu Penjenuhan	menit	80	90	140	150	153



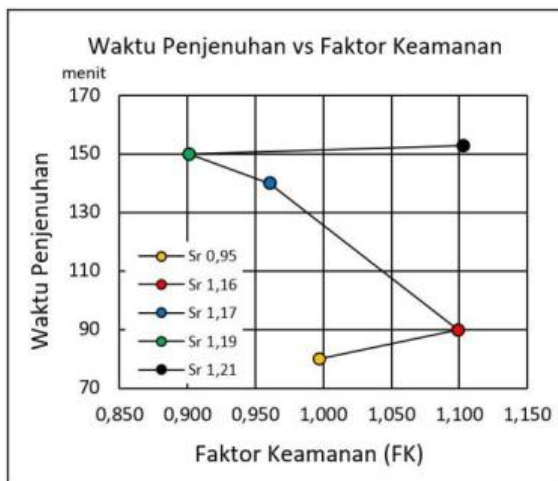
Gambar 13. Korelasi Derajat Kejenuhan dengan Waktu Penjenuhan

Berdasarkan Gambar 13 dan Tabel 15 terlihat bahwa

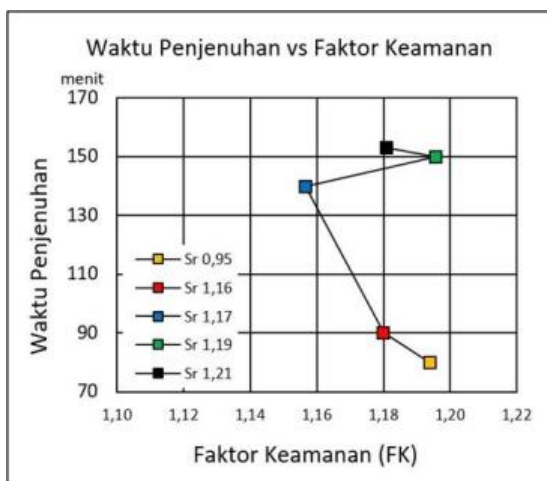
yang dibutuhkan untuk menjenuhkan akan semakin meningkat/lama.

e. Korelasi Waktu Penjenuhan dengan Faktor Keamanan

Gambar 13 sebelumnya diketahui bahwa penambahan nilai derajat kejenuhan sejalan dengan penambahan waktu penjenuhan yang dibutuhkan. Dari hal tersebut diketahui bahwa korelasi waktu penjenuhan vs faktor keamanan memiliki pola yang sama. Dimana penaikan waktu penjenuhan mengakibatkan penurunan nilai FK seperti pada Gambar 14 dan 15.



Gambar 14. Korelasi Waktu Penjenuhan dengan Faktor Keamanan (Tegangan Total)



Gambar 15. Korelasi Waktu Penjenuhan dengan Faktor Keamanan (Tegangan Efektif)

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari serangkaian pengujian fisis,

ditinjau memiliki nilai *swelling potential* tinggi sebesar 25,32% dan termasuk ke dalam lempung kaku (*clay stiff*) dengan memiliki kandungan mineral lempung *halloysite* dan *montmorillonite*, dimana pada kedalaman awal sekitar 11, 50 meter *halloysite* mendominasi berdasarkan nilai Kapasitas Tukar Kation sebesar 22,52 meq/100grn, namun pada beberapa kedalaman sekitar 16,00 meter *montmorillonite* Ca mendominasi berdasarkan perhitungan nilai aktivitas tanah (A) sebesar 3,77.

Pemberian variasi nilai koefisien β 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 dan 1,0 memberikan nilai derajat kejenuhan yang berbeda-beda. Semakin tinggi nilai koefisien β , maka nilai derajat kejenuhan juga akan semakin tinggi 0,95 ; 1,17 ; 1,19 ; 1,16 dan 1,21. Selain itu, derajat kejenuhan semakin tinggi, waktu yang dibutuhkan untuk penjenuhan pun semakin tinggi.

Peningkatan nilai derajat kejenuhan meningkatkan berat isi kering dengan nilai terbesar 15,88 kN/m³ saat derajat kejenuhan sebesar 1,21, menurunkan nilai kohesi dengan terkecil sebesar 3,5 kN/m² saat derajat kejenuhan sebesar 1,19, menurunkan nilai sudut geser dalam dengan nilai terkecil 17,1° saat derajat kejenuhan sebesar 1,21.

Berdasarkan variasi parameter lapisan *clay shale* yang diperoleh dari pengujian triaksial, dilakukan 10 pemodelan lereng jembatan Cisombang dan pembebanannya yang masing-masing menghasilkan FK. Peningkatan nilai derajat kejenuhan mengakibatkan penurunan nilai FK dengan nilai terkecil sebesar 0,901 saat derajat kejenuhan sebesar 1,19. Sedangkan FK yang paling mendekati 1,0 ialah 0,997 saat nilai derajat kejenuhan sebesar 0,95.

5.2 Saran

Hal berikut ini dianjurkan untuk mempermudah penelitian tentang topik ini ke depannya, antara lain, untuk mengurangi kesalahan atau kecerobohan saat pengujian triaksial, gunakan mesin triaksial yang baik kondisinya, dimana angka dan garis masih terlihat jelas pada saat pembacaan. Tidak menutup kemungkinan, tanah yang ditinjau memiliki komposisi mineral lempung yang berbeda untuk setiap kedalaman tertentu, sehingga baiknya dilakukan pengujian yang mewakili setiap kedalaman, meskipun hal tersebut memang akan sangat lebih mahal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan berkontribusi dalam penelitian ini. Khususnya, penulis mengucapkan

Bandung yang telah memberikan dana bantuan penelitian, serta dukungan dari KBK Geoteknik dan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Novotný, “*Varnes Landslide Classification*”, *Czech Republic Development Cooperation*, 1978.
- [2] G. M. Soedrajat, “*Bencana Gerakan Tanah di Indonesia*”, Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi Bencana Geologi, 2008.
- [3] O. S. O. Siregar, “*Studi Pengaruh Derajat Kejenuhan (koefisien B) Terhadap Kekuatan Geser Pada Tanah Ekspansif Berdasarkan Test Consolidated Undrained*”, Universitas Indonesia, 2014.
- [4] M. Wambes, S. Monintja, dan F. J. Manoppo, “*Pengaruh Derajat Kejenuhan Terhadap Kuat Geser Tanah*”, 2013.
- [5] S. A. Nugroho, A. I. Putra, dan R. Ermina, “*Korelasi Parameter Kuat Geser Tanah Hasil Pengujian Triaksial, dan Unconfined Compression Strength (UCS)*”, Universitas Riau, 2010.
- [6] W. A. Tama. A, E. Priadi, dan Aprianto, “*Analisa Deformasi Tanah Lempung Bentonite*”, 2006.
- [7] R. Yuliet, A. Hakam, dan G. Febrian, “*Uji Potensi Mengembang Pada Tanah Lempung Dengan Metoda Free Swelling Test*”, Universitas Andalas, 2011.
- [8] Jamaluddin. K, “*X-RD (X-Ray Diffraction)*”, Universitas Haluoleo, 2010.
- [9] G. Herman, dan T. Liong, “*Analisa Stabilitas Lereng dengan Limit Equilibrium dan Finite Element*”, Tugas Akhir - Sarjana, Binus University, 2011.
- [10] M. Arif, dan A. Widodo, “*Analisa Balik Kelongsoran*”, Tugas Akhir Program Sarjana, Institut Teknologi Surabaya, 2006.
- [11] K. Sasongko, “*Muatan Tanah*”, Universitas Gajah Mada, 2013.
- [12] K. Widiatmono, dan H. Siswanto, “*Stabilisasi Tanah Lempung dengan Kapur Pertanian (CaCO₃) di Daerah Rawa Pening Kabupaten Semarang*”, Universitas Dipenogoro, 2007.