

Hubungan Koefisien Rembes dengan Swelling terhadap Variasi Butir Tanah pada Kondisi Padat

Maryam Ayu¹, Ferawati Rahman², M. Arifuddin Karim³, Ali Mallombasi⁴, Muliadi Aminuddin⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia

Jl. Urip Sumoharjo Km 05 Panaikang, Kec. Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231

Email: ¹maryamayu191@gmail.com; ²rahmanfera969@gmail.com; ³arifuddin.karim@umi.ac.id;

⁴alimallombasi@gmail.com; ⁵muliadi.aminuddin@umi.ac.id

ABSTRAK

Air yang mengalir melalui pori pada tanah disebut rembesan terhadap tanah yang ditandai dengan berubahnya volume pori pada tanah, sehingga swelling pun dapat terjadi. Besarnya swelling dipengaruhi oleh ukuran butir dan sifat kohesi pada tanah. Ketika air merembes melalui pori, swelling pun dapat terjadi secara bersamaan meskipun tanah telah dipadatkan dengan pemadatan maksimal. Peristiwa ini menjadi faktor penting pada perencanaan bangunan teknik sipil, terutama pada bangunan air yaitu bendungan, tanggul dan kanal. Ukuran butir pada tanah sangat mempengaruhi besarnya swelling dan rembesan yang terjadi sehingga di buat 4 variasi butiran tanah yaitu 80% halus: 20% kasar, 60% halus : 40% kasar, 40% halus : 60% kasar, dan 20% halus:80% kasar kemudian uji fisis dilakukan sebelum proses pemadatan dengan tekanan maksimum diberikan pada tanah yang akan direndam selama 7 hari untuk melihat swelling yang terjadi. Nilai koefisien rembes dihitung dari beberapa parameter yang diperoleh setelah pengujian swelling. Hasil pengujian dan perhitungan nilai swelling dengan koefisien rembes menunjukkan bahwa semakin banyak butiran kasar pada tanah maka koefisien rembes akan semakin besar dan swelling yang terjadi semakin kecil namun pada tanah dengan variasi 60% halus : 40% kasar, memiliki nilai koefisien rembes lebih kecil dari keempat variasi tanah yang diuji dengan nilai swellingnya lebih rendah sedang tingkat kepadatannya lebih tinggi dari variasi butir tanah 80% halus:20% kasar.

Kata Kunci: koefisien rembesan, *swelling*, kepadatan, variasi butiran.

ABSTRACT

Water that flowing through the voids in the soil called seepage that is characterized by changes in soil void volume, this make swelling happen. The value of swelling is affected by the grain size and the nature of the soil cohesion. When water seeps through the pores, swelling can occur simultaneously even though the soil has been compacted with a maximum compaction (100% strain). This is an important factor for civil engineering for planning the building, especially in the water like dams, dikes and canals. The grain size on the ground greatly affects the amount of swelling and seepage that occurs so researcher created four variations of soil particle that is 80% fine: 20% coarse, 60% fine: 40% coarse, 40% fine: 60% coarse and 20% fine: 80 % coarse then the physical test was done before the compaction process with maximum pressure given on the soil and will be soaked for 7 days to see the swelling that occurs. Coefficient of permeability values calculated from several parameters obtained after swelling test. The results and calculation of the value of swelling with Coefficient of permeability show that the more coarse that contained in soils the coefficient of permeability will become bigger and swelling that occurs is getting smaller, but on the ground with a variation of 60% fine: 40% coarse, having smaller coefficient of permeability than the fourth variations of the soil tested, with swelling's value being lower while the level of density being higher than the 80% fine: 20% coarse.

Keywords: coefficient of permeability, swelling, compaction, variation of soil.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Menurut ilmu mekanika tanah, ada tiga unsur pembentukan tanah yaitu udara, air, dan butir. Secara umum tanah digolongkan menjadi 2 kelompok yaitu tanah berbutir halus jika kadar lempung dan lanaunya lebih dominan, dan tanah berbutir kasar apabila pasir dan kerikil lebih dominan. Sehingga tanah terbagi menjadi 2 sifat yaitu sifat mekanis dan sifat fisis. Sifat mekanis terdiri dari kohesi, sudut geser, kuat tekan. Sifat fisis antara lain kadar air, berat jenis, ukuran butir, porositas. Kedua sifat tersebut sangat erat kaitannya dalam mengetahui perilaku-perilaku tanah. Oleh karena itu setiap pekerjaan-pekerjaan teknik sipil yang bersangkutan langsung dengan tanah perlu diadakan penelitian lebih dalam untuk mengetahui perilaku tanah tersebut.

Salah satu sifat fisis tanah yaitu dapat mengembang akibat adanya daya serap pada tanah tersebut. Tanah ini biasa disebut sebagai tanah mengembang (*expansive soils*) yang mengakibatkan terjadinya *swelling* pada tanah. Peristiwa ini sering ditemukan pada tanah yang berbutir halus karena daya serap airnya yang cukup besar sehingga kembang susut sering kali terjadi. Ketika proses *swelling* terjadi, tanah pun ikut memunculkan sifat lainnya yaitu mengalir atau merembesnya air melalui butirannya. Sifat ini biasa disebut sifat permeabilitas. Sifat permeabilitas ini dipengaruhi oleh pori yang terdapat pada tanah.

Untuk mengetahui terjadinya *swelling* pada tanah dapat di lihat pada saat proses perendaman setelah di padatkan, tanah terkadang menimbulkan sifat mengembangnya akibat adanya sifat

pegassehingga proses perembesan pun ikut terjadi. Dari sifat ini lah maka muncul perilaku-perilaku tanah yang sangat erat kaitannya terhadap daya dukung tanah untuk dijadikan bahan pertimbangan dalam menentukan perlakuan-perlakuan pada tanah tersebut. Secara alami, Rembesan berlebihan yang terjadi pada tanggul mengakibatkan terjadinya erosi yang semakin lama semakin berkembang dan semakin luas, yang kemudian disusul dengan terjadinya longsor atau keruntuhan tanggul. Jalur rembesan dapat terjadi karena retakan akibat penurunan (*settlement*) retak susut pada timbunan yang terbuat dari material lempung berplastisitas tinggi. Rembesan yang keluar melalui tubuh tanggul adalah merupakan salah satu indikator penting untuk mengetahui kondisi keamanan suatu tanggul.

1.2 Tujuan Penelitian

Maksud dari penulisan adalah untuk meneliti hubungan koefisien rembes dengan *swelling* terhadap variasi butiran tanah pada kondisi padat. Tujuan dari penulisan:

- 1) Mengetahui nilai *swelling* dari variasi butiran tanah pada kondisi tanah yang telah dipadatkan.
- 2) Mengetahui nilai Koefisien rembes terhadap variasi butiran tanah
- 3) Mengetahui hubungan antara koefisien rembes dengan *swelling* terhadap variasi butiran tanah pada kondisi padat.

1.3 Batasan Masalah

Agar penulisan ini memberikan sasaran dan arah yang tepat maka pengujian ini dibatasi:

Hubungan Koefisien Rembes dengan Swelling terhadap Variasi Butir Tanah pada Kondisi Padat

- 1) Sampel yang diuji adalah tanah yang memiliki persentase butiran yang berbeda-beda, yaitu 80% halus: 20% kasar, 60% halus : 40% kasar, 40% halus : 60% kasar, 20 % halus : 80% kasar.
- 2) Pengujian Awal
 - a. Pengujian Berat jenis
 - b. Pengujian Kadar air
 - c. Pengujian Analisa Butir
 - d. Pengujian Atterberg Limit
 - a. Pengujian pemadatan
 - b. Pengujian pengembangan (swelling)
- 3) Menghitung Koefisien Rembes dari data yang telah didapatkan

2. Metode Penelitian

Untuk menyelesaikan penelitian ini diperlukan beberapa tahapan, meliputi a) tahapan pendahuluan yaitu

Ada beberapa parameter yang kami gunakan sebelum pengujian

mempersiapkan material yang akan digunakan, b) studi literatur, seperti mempelajari penelitian sejenis yang pernah dilakukan, teori-teori yang menunjang tentang pengembangan (*swelling*) dan koefisien rembes, prosedur pengujian, dan teknik analisis data, c) pengujian laboratorium dimulai dari mempersiapkan bahan uji dengan variasi persentase butiran yang berbeda-beda, yaitu 80% halus : 20% kasar, 60% halus : 40% kasar, 40% halus : 60% kasar, 20 % halus: 80% kasar, melakukan pengujian sifat fisik tanah, kemudian dipadatkan dengan kepadatan kering maksimum, dan dilanjut pengujian pengembangan pada masing-masing sampel lalu menghitung koefisien rembes dari beberapa parameter yang diperoleh setelah pengujian *swelling*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Laboratorium

pengembangan (*swelling*). Adapun hasilnya sebagai berikut:

Tabel 1 Hasil pengujian

Jenis Pengujian	Persentase butiran Halus			
	80%	60%	40%	20%
1. Berat Jenis	2.685	2.577	2.542	2.495
2. Batas Atterberg				
a. Batas Cair (LL)	47.442	42.299	39.238	32.382
b. Batasa Plastis(PL)	31.524	29.109	26.876	20.949
c. Indeks Plastis (IP)	15.918	13.190	12.362	11.433
3. Analisa Butiran				
a. Butiran kasar	16.27	36.49	57.48	76.24
b. Butiran Halus	83.73	63.51	42.52	23.77
c. Cu	10.717	20.083	32.031	15.809
d. Cu	1.054	0.708	0.593	2.849

Tabel 2 Hasil analisa data kompaksi, swelling dan koefisien rembes

Variasi Butiran		Parameter				
		Kompaksi		Swelling	Koefisien Rembes	Angka Pori
		γ_d	w			
80% Halus 20% Kasar	1	1.547	17.420	2.149	2.308E-08	0.795
	2	1.597	19.554	2.143	2.301E-08	0.737
	3	1.670	21.419	2.131	2.289E-08	0.659
	4	1.634	23.133	2.126	2.283E-08	0.705
	5	1.570	25.377	2.120	2.276E-08	0.764
60% Halus 40% Kasar	1	1.572	16.509	1.697	1.815E-08	0.753
	2	1.624	18.270	1.651	1.765E-08	0.692
	3	1.696	20.498	1.606	1.727E-08	0.625
	4	1.648	22.282	1.594	1.701E-08	0.666
	5	1.594	24.212	1.554	1.690E-08	0.717
40% Halus 60% Kasar	1	1.597	15.924	0.097	7.464E-07	0.585
	2	1.661	17.501	0.086	8.006E-07	0.456
	3	1.723	19.652	0.063	7.983E-07	0.472
	4	1.673	21.350	0.046	7.766E-07	0.516
	5	1.616	23.042	0.034	7.542E-07	0.565
20% Halus 80% Kasar	1	1.660	15.012	0.009	4.308E-08	0.543
	2	1.696	16.468	0.006	4.187E-08	0.478
	3	1.731	18.445	0.002	7.441E-07	0.443
	4	1.709	20.216	0.000	7.342E-07	0.456
	5	1.656	21.667	0.000	7.000E-07	0.514

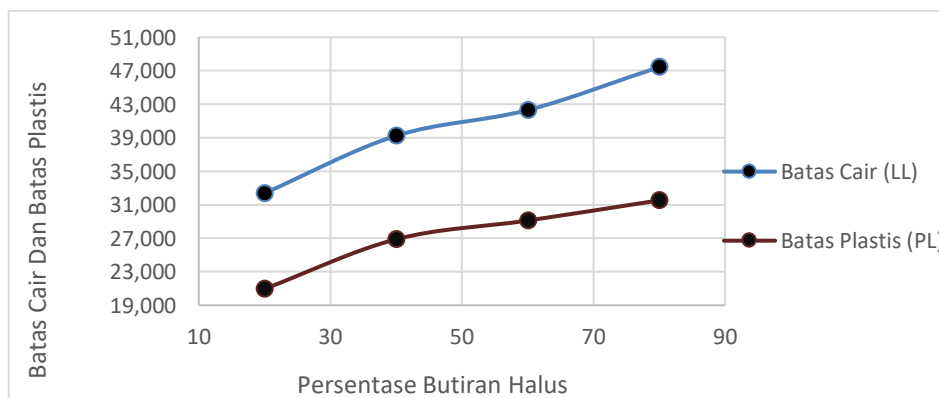
3.2 Pembahasan Hasil Uji Berat Jenis

Banyaknya butiran halus yang terdapat pada tanah akan mempengaruhi berat jenis tanah tersebut. Hasil pengujian berat jenis pada Tabel 1. menunjukkan bahwa berat jenis tanah akan bertambah besar seiring dengan semakin banyaknya butiran halus yang terdapat pada tanah. Kandungan mineral juga menjadi salah satu faktor yang menyebabkan

perbedaan berat jenis dari tanah tersebut, sesuai dengan pernyataan teori.

Hasil Uji Batas-Batas Atterberg

Tabel 1 juga menunjukkan hasil analisa batas atterberg yang digambarkan dengan Gambar 1. yaitu hubungan persentase butiran halus dengan batas cair (LL) dan batas plastis (PL), sedangkan hubungan persentase butiran halus dengan indeks plastis (IP) digambarkan pada Gambar 2.

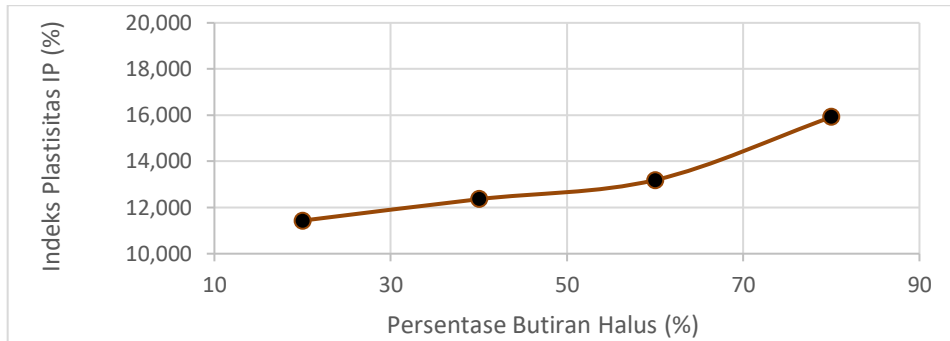


Gambar 1 Hubungan variasi butiran dengan batas cair (LL) dan batas plastis (PL)

Hubungan Koefisien Rembes dengan Swelling terhadap Variasi Butir Tanah pada Kondisi Padat

Nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas yang digambarkan pada Gambar 1. dan Gambar 2. menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya butiran halus pada setiap variasi tanah.

Hal ini menunjukkan bahwa persentase butiran halus terhadap nilai batas cair dan batas plastis serta persentase butiran halus terhadap nilai indeks plastisitas cenderung berbanding lurus.



Gambar 2 Hubungan variasi butiran dengan indeks plastisitas (IP)

Nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas pada variasi butiran tanah 20% halus lebih rendah dibandingkan dengan variasi butiran tanah 40% , 60% dan 80% halus. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak butiran halus pada tanah maka nilai batas cair, batas plastis dan indek plastisitasnya pun akan semakin tinggi. Ini dipengaruhi oleh adanya sifat kohesi pada tanah. Sifat kohesi pada tanah berbutir halus lebih besar dari pada tanah berbutir kasar. Kemampuan tanah berbutir halus untuk menyerap air (*adsorbed water*) lebih besar dibanding dengan tanah berbutir kasar yang cenderung bersifat meloloskan air.

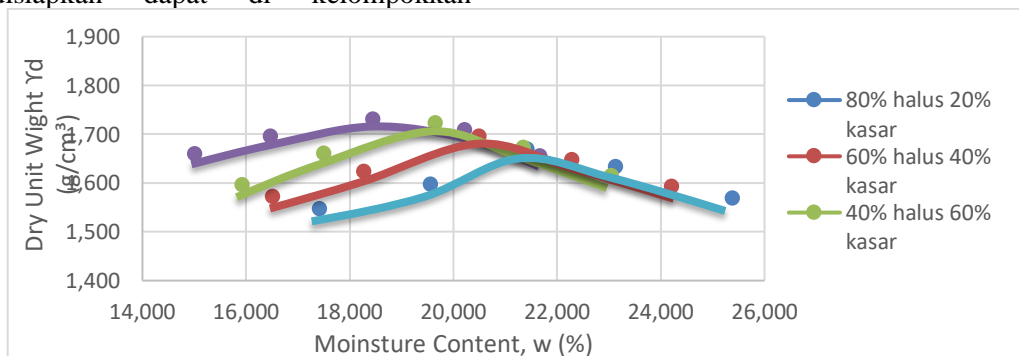
menjadi 4 variasi berdasarkan persentase butirannya. Variasi butiran tanah ini akan digunakan sebagai bahan uji untuk mengetahui sifat swelling dan rembesan pada masing-masing variasinya yang terdiri dari 80% dominan halus, 60% dominan halus, 40% dominan halus, dan 20% dominan halus.

Hasil Uji Analisa Butir

Dari hasil analisa butiran yang terdapat pada Tabel 1, sampel tanah yang telah disiapkan dapat di kelompokkan

Hubungan Antara γ_{dry} dengan Kadar Air

Dari hasil uji kompaksi yang ditunjukkan pada Tabel 2, kadar air akan semakin besar seiring dengan bertambahnya butiran halus pada tanah namun berbanding terbalik dengan kepadatan keringnya γ_d yang semakin rendah, apabila butiran halus pada tanah berkurang, perbandingan ini kemudian di gambarkan pada Gambar 3.

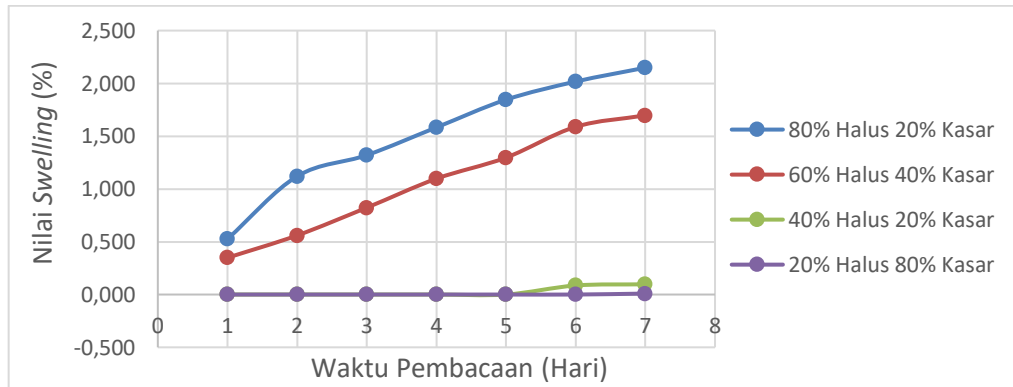


Gambar 3 Hubungan γ_d dan kadar air dari setiap variasi butiran tanah

Hubungan Pengembangan (swelling)

Gambar 4. menggambarkan hubungan antara nilai *swelling* dengan lama waktu perendaman pada setiap variasi butiran. Semakin lama waktu perendaman akan menyebabkan nilai *swelling* terus naik. Hal ini disebabkan karena proses

penyerapan air oleh butiran tanah yang berlangsung secara perlahan-lahan, namun pada waktu tertentu butiran tanah akan berada pada batas kemampuan untuk menyerap air, sehingga pada kondisi tersebut nilai pengembangan akan konstan

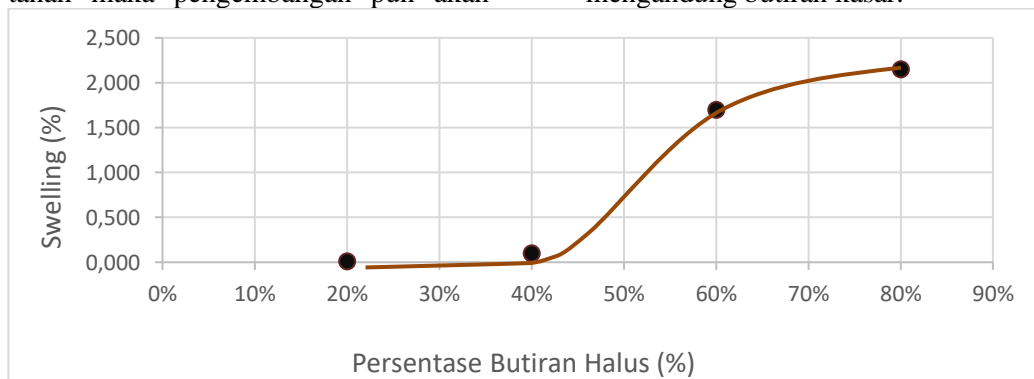


Gambar 4 Hubungan swelling dengan lama waktu perendaman setiap variasi butiran

Hubungan Pengembangan (Swelling) Terhadap Variasi Butiran

Kenaikan nilai pengembangan juga dipengaruhi oleh ukuran butiran tanah. Semakin banyak butiran halus pada tanah maka pengembangan pun akan

semakin tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Peristiwa ini disebabkan akibat adanya kemampuan tanah berbutir halus untuk menyerap air lebih besar dari pada tanah yang lebih banyak mengandung butiran kasar.



Gambar 5 Hubungan persentase butiran halus terhadap swelling

Hubungan Pengembangan (Swelling) Dengan Kepadatan Tanah

Kepadatan kering (γ_d) menjadi salah satu parameter yang mempengaruhi besarnya *swelling* yang dapat terjadi pada tanah. Kepadatan kering (γ_d) yang rendah mengakibatkan nilai *swelling* menjadi tinggi. Hubungan antara *swelling* dengan kepadatan kering (γ_d) dari keempat variasi butiran tanah.

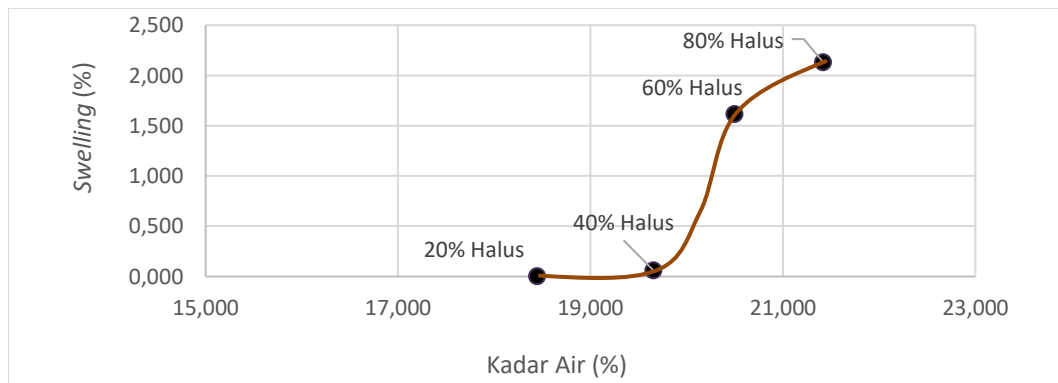
Variasi butiran yang lebih banyak mengandung butiran halus, akan memiliki nilai *swelling* yang lebih besar dengan tingkat kepadatan yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi butiran tanah yang mengandung sedikit butiran halus.

Hubungan Koefisien Rembes dengan Swelling terhadap Variasi Butir Tanah pada Kondisi Padat

Hubungan Pengembangan (Swelling) Dengan Kadar Air

Semakin bertambahnya kadar air pada tanah akan menyebabkan semakin kecilnya *swelling* yang terjadi. Hal ini disebabkan karena semakin banyak air yang terkandung di dalam tanah maka tanah akan mengalami kondisi jenuh. Kondisi jenuh ini menyebabkan tanah tidak mampu lagi untuk menyerap air

sehingga *swelling* yang terjadi pun akan berkurang. Hubungan antara kadar air dengan *swelling* terhadap variasi butiran ditunjukkan pada Gambar 6, dimana semakin banyak butiran halus yang terkandung di dalam tanah maka kadar air dan nilai *swelling* pun akan meningkat. Peristiwa ini dapat terjadi karena daya serap air pada tanah berbutir halus cukup besar.

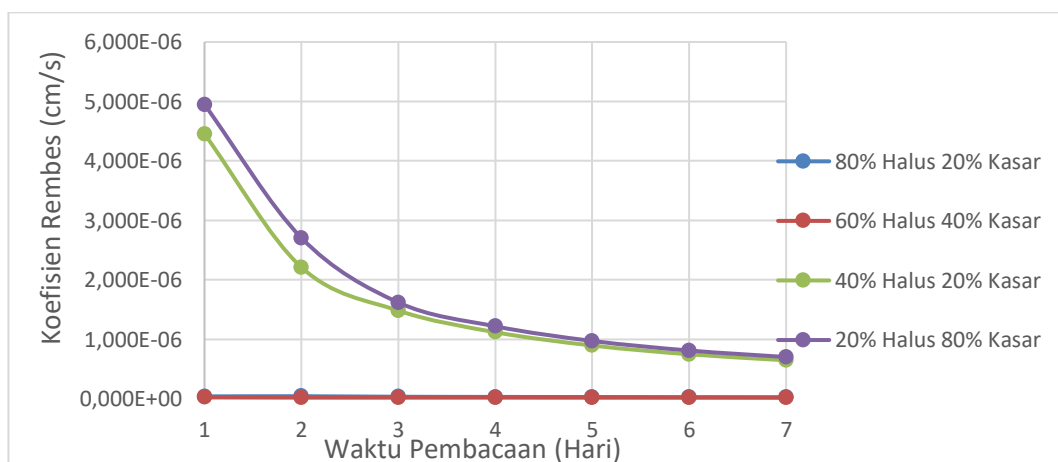


Gambar 6 Hubungan persentase butiran halusterhadap swelling

Hubungan Koefisien Rembes Terhadap Waktu Lama Perendaman

Gambar 7. menunjukkan hubungan koefisien rembes dengan lama waktu perendaman dimana semakakin lama waktu perendaman maka perubahan nilai koefisien rembes akan semakin kecil. Nilai koefisien rembes akan terus

naik namun perubahan kenaikannya akan semakin kecil seiring bertambahnya waktu perendaman. Hal ini disebabkan karena tanah akan mencapai tingkat kejenuhan terhadap air sehingga daya rembes tanah akan berkurang.



Gambar 7 Hubungan Koefisien Rembes dengan lama waktu perendaman setiap variasi butir.

Hubungan Koefisien Rembes Terhadap Variasi Butiran Tanah

Variasi butiran tanah sangat mempengaruhi nilai koefisien rembes.

Semakin besar ukuran butiran tanah maka nilai koefisien rembes pun akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena butiran tanah pada tanah berbutir kasar tidak saling mengikat (lepas) sehingga kemampuan meloloskan air lebih baik dibandingkan dengan tanah berbutir halus yang sukar ditembus oleh air akibat adanya gaya kohesi yang dimilikinya sehingga tanah mampu menyerap dan menahan air hingga mencapai tingkat jenuh, namun berbeda pada kondisi tanah dengan butiran 60% halus, yang memiliki koefisien rembes lebih rendah dari keempat variasi butiran halus lainnya. Ini dikarenakan tanah dengan variasi butiran 60% halus 40% kasar dapat digolongkan dalam tanah dengan gradasi baik sehingga rembesan yang terjadi pun akan semakin kecil.

Hubungan Koefisien Rembes Terhadap Kepadatan Tanah

Koefisien rembes akan semakin kecil seiring dengan bertambah padatnya suatu tanah yang menyebabkan berkurangnya pori untuk dilalui oleh air. Hal ini berlaku untuk tanah yang memiliki butiran halus lebih banyak dari pada butiran kasarnya, sedangkan pada tanah yang lebih banyak mengandung butiran kasar akan memiliki nilai koefisien rembes yang tinggi meskipun tingkat kepadatannya lebih tinggi. Hal ini berdasarkan teori yang menyatakan bahwa adanya sifat butiran kasar yang permeabel atau mampu meloloskan air sehingga air dapat merembes melalui porinya.

Hubungan Koefisien Rembes Terhadap Kadar Air

Semakin banyak butiran halus maka koefisien rembes akan semakin kecil namun kadar air semakin besar. Hal ini disebabkan karena daya serap (koehi) pada butiran halus lebih besar dari pada tanah berbutir kasar sehingga tanah berbutir halus mampu menyerap dan menyimpan air lebih banyak pada porinya hingga mencapai badas jenuh,

dimana tanah berbutir halus tidak mampu lagi menyerap air namun mampu menyimpannya akibat adanya gaya kapiler sehingga tidak akan terjadi perembesan air keluar dari pori yang disebabkan hanya karena gaya berat (*gravity*). Hal ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Laurence D. Wesley dalam bukunya yang berjudul “Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan & Residu” menyatakan bahwa air tidak dapat mengalir keluar dari tanah berbutir halus akibat gaya berat (*gravity*) saja.

Hubungan Koefisien Rembes Terhadap Angka Pori

Semakin banyak butiran halus pada tanah maka angka pori akan semakin banyak sedang koefisien rembesnya akan semakin kecil. Seperti yang digambarkan pada grafik 4.20. Rendahnya koefisien rembes pada tanah berbutir halus juga disebabkan oleh kemampuannya untuk menahan air dalam tanah (gaya kapiler) sehingga air tidak dapat merembes namun karena adanya sifat kohesi maka angka pori akan lebih besar dibandingkan dengan tanah berbutir kasar yang memiliki sifat permeabel lebih besar sehingga air mampu merembes keluar menyebabkan kecilnya angka pori.

Hubungan Koefisien Rembes dengan Swelling

Hubungan antara koefisien rembes terhadap *swelling* dari persentase butiran halus digambarkan pada Grafik 4.21. *Swelling* yang terjadi pada butiran tanah 80% halus, lebih besar dari pada tanah dengan butiran halus 60%, 40%, dan 20% dengan koefisien rembesnya yang semakin kecil. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak butiran halus pada tanah, maka *swelling* akan semakin besar dan koefisien rembesnya akan semakin kecil. Adanya sifat kohesi pada tanah berbutir halus menyebabkan *swelling* akan lebih besar namun karena besarnya gaya kapiler maka koefisien rembesnya akan kecil.

Peristiwa ini berbeda pada kondisi tanah yang lebih banyak mengandung butiran kasar. *Swelling* yang terjadi akan lebih kecil meskipun koefisien rembesnya semakin besar seiring bertambah banyaknya butiran kasar. Faktor yang mempengaruhi hal ini yaitu sifat non kohesi pada tanah berbutir kasar sehingga air akan lolos mengalir pada pori tanah (permeabel) dengan sedikit penyerapan. Kondisi ini menyebabkan tingginya koefisien rembes namun *swelling* yang terjadi sangat kecil bahkan tak terjadi *swelling*. Nmaun pada variasi butiran tanah 60% halus 40% kasar, koefisien rembes lebih kecil dari keempat variasi tanah yang diuji dan *swelling* yang terjadi lebih kecil dari variasi butir tanah 80% halus 20% kasar. Rembesan yang kecil ini dipengaruhi oleh gradasi butiran tanah yang baik sehingga air sukar merembes dan *swelling* pun lebih kecil dari variasi butiran tanah 80% halus.

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

- 1) Dari hasil pengujian pemadatan, maka diperoleh nilai kepadatan dari keempat variasi butiran tanah (20% halus ; 80% kasar, 40% halus ; 60% kasar, 60% halus ; 40% kasar, dan 80% halus ; 20% kasar) diketahui bahwa semakin banyak butiran kasarnya semakin tinggi kepadatan tanah. Nilai *swelling* dari keempat variasi butiran tanah yaitu menunjukkan bahwa semakin banyak butiran kasar yang terkandung dalam tanah maka semakin kecil nilai *swellingnya* sedangkan tingkat kepadatannya semakin tinggi.
- 2) Nilai koefisien rembes pada tanah yang telah dipadatkan dipengaruhi oleh variasi butiran pada tanah. Semakin banyak butiran kasar pada tanah tersebut maka koefisien rembesnya akan semakin besar.
- 3) Dari keempat variasi butiran tanah yang telah dipadatkan dapat terlihat bahwa semakin banyak butiran

kasar pada tanah maka tingkat kepadatan dan koefisien rembesnya akan semakin besar sedangkan nilai *swelling* yang terjadi akan semakin kecil, namun pada kondisi variasi tanah 60% halus;40% kasar memiliki nilai koefisien rembes yang lebih rendah dari keempat variasi tanah yang di uji sedang tingkat kepadatannya lebih tinggi dari pada tanah dengan variasi butiran 80% halus:20% kasar

4.2 Saran

Untuk pembuatan beberapa bangunan teknik sipil terutama pada pembuatan tanggul dan tanah timbunan variasi butiran 60% halus;40% kasar baik digunakan karena memiliki nilai koefisien rembes yang lebih kecil dari keempat variasi butiran tanah yang diuji dengan tingkat kepadatan dan *swelling* berada diantara variasi butiran tanah lainnya.

Daftar Pustaka

- Craig, Robert F., *Mekanika Tanah*, Erlangga. 1989.
- Das, Braja M., *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Erlangga. 1991.
- Ferede,Z.W., *Prediction Of California Bearing Ratio (CBR) from index properties of soil*, Msc.Thesis, Addis Ababa University (AAU). 2010.
- Soedarmo, Dejatmiko. G., Ir dan Purnomo, Edy. S.J., Ir., *Mekanika Tanah 1*, Kanisius. 1993.
- Sartohadi, Junun., Suratman., Jamulya. dan Dewi, Nur Indah Sari., *Pengantar Geografi Tanah*, Pustaka Pelajar. 2012.
- Shahir, Hadi., Pak, Ali., Taiebat, Mahdi. dan Jeremic, Boris., *Evaluation of Variation of Permeability In Liquefiable Soil Under Earthquake Loading*. Volume 40, hal. 74-88, Elsevier Ltd. 2011.
- Wesley, Laurence D., *Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan & Residu*, ANDI Yogyakarta. 2012.