PENGARUH KADAR KAPUR TERHADAP KUAT GESER DAN PERMEABILITAS TANAH BERBUTIR KASAR

Arman Setiawan
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa
Email: arman_c97@yahoo.com

ABSTRAK

Pasir tanah dalam kondisi padat cenderung memiliki sifat yang baik. Namun dalam kondisi tertentu, seperti saat dalam kondisi longgar dan jenuh air, mungkin memiliki kekuatan geser rendah bila ada beban siklik seperti gempa bumi. Dalam keadaan ini lapisan pasir kehilangan kekuatan gesernya atau menurun. Secara umum, kekuatan geser tanah pasir disumbangkan oleh nilai sudut gesek internal. Untuk meningkatkan kekuatan geser, perbaikan tanah sering dilakukan dengan inklusi serat atau campuran semen. Penelitian ini bertujuan untuk menguji perubahan kekuatan geser dan permeabilitas antara butir kasar (granular) ditambah dengan kapur. Penelitian ini menggunakan eksperimen yaitu dengan eksperimen untuk mendapatkan hasil, dengan pengaruh kapur pada konstruksi jalan raya atau bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio tegangan geser maksimum terjadi pada persentase campuran 12% yaitu $c = 0,1313 \text{ kg / cm}^2$ dan $\phi = 11,537^\circ$ dibandingkan dengan tanah asli yaitu $c = 0,016 \text{ kg / cm}^2$ dan $\phi = 27,607^\circ$. Pada pengujian Permeabilitas kenaikan maksimum terjadi pada campuran 12% yaitu $k = 0,00243 \text{ cm / detik}$ dibandingkan dengan tanah asli yaitu $k = 0,00826 \text{ cm / detik}$.

Kata Kunci: *Tanah Pasir, Kapur, Kekuatan Geser, Permeabilitas*

1. PENDAHULUAN

Tanah pasir dalam kondisi padat cenderung memiliki sifat-sifat yang baik. Namun pada kondisi tertentu, seperti bila dalam kondisi lepas dan jenuh air, dapat memiliki kuat geser yang rendah ketika terjadi beban siklik seperti gempa bumi. Pada keadaan ini lapisan pasir kehilangan kuat gesernya atau berkurang.

Secara umum, kuat geser tanah pasir disumbangkan oleh nilai sudut gesek internal. Guna meningkatkan kuat gesernya, perbaikan tanah pasir sering dilakukan dengan inklusi serat atau campuran semen. Kapur dan abu sekam padi sebagai bahan stabilisasi tanah lempung sudah banyak diteliti, namun penggunaannya untuk tanah pasir belum banyak dikaji. Untuk itu dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh campuran kapur dan abu sekam padi terhadap kuat geser tanah pasir.

Pada kebanyakan penelitian, teknik perbaikan tanah yang sering digunakan adalah teknik stone-column atau stone-piers. Teknik ini mampu mengurangi resiko kerusakan struktur akibat peristiwa likuifaksi. Namun demikian teknik perbaikan tanah lainnya seperti teknik kolom dengan bahan kapur atau semen dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengurangi resiko likuifaksi. Selain itu, teknik kolom ini juga dapat digunakan sebagai fondasi untuk bangunan gedung. Dalam perkembangannya, bahan untuk kolom dapat berupa colloidal-silica yaitu silika dalam bentuk gel atau cair. Pada sisi lain, abu sekam padi yang banyak mengandung pozzolan

silika (SiO_2) padat yang berukuran mikro merupakan bahan yang sangat baik jika dicampur dengan kapur. Hasil reaksi kapur-abu sekamp padi akan membentuk bahan penyusun semen. Untuk itu penggunaannya dengan kapur untuk mitigasi likuidasi adalah suatu alternatif pemanfaatan bahan.

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menguji perubahan kuat geser dan permeabilitas antara tanah berbutir kasar (*granuler*) yang di tambah dengan kapur. Sedangkan Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya pengaruh penambahan kapur pada tanah berbutir kasar (*granuler*) terhadap kuat geser dan permeabilitas.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Struktur Tanah

Struktur tanah merupakan sifat fisik tanah yang menggambarkan susunan keruangan partikel-partikel tanah yang bergabung satu dengan yang lain membentuk agregat. Dalam tinjauan morfologi, struktur tanah diartikan sebagai susunan partikel-partikel primer menjadi satu kelompok partikel (*cluster*) yang disebut agregat, yang dapat dipisah-pisahkan kembali serta mempunyai sifat yang berbeda dari sekumpulan partikel primer yang tidak teragregasi. Dalam tinjauan edafologi, sejumlah faktor yang berkaitan dengan struktur tanah jauh lebih penting dari sekedar bentuk dan ukuran agregat. Dalam hubungan tanah-tanaman, agihan ukuran pori, stabilitas agregat, kemampuan teragregasi kembali saat kering, dan kekerasan (*hardness*) agregat jauh lebih penting dari ukuran dan bentuk agregat itu sendiri. Struktur tanah berpengaruh terhadap gerakan air, gerakan udara, suhu tanah, dan hambatan mekanik perkecambahan biji serta penetrasi akar tanaman. Karena kompleksnya peran struktur, maka pengukuran struktur tanah didekati dengan sejumlah parameter. Beberapa parameter tersebut antara lain bentuk dan ukuran agregat, agihan ukuran agregat, stabilitas agregat, persentase agregat, porositas (BV, BJ), agihan ukuran pori, dan kemampuan menahan air.

2.2. Klasifikasi Tanah

2.2.1. Ukuran Butiran dan Gradasi

Ukuran butiran dan gradasi sangat penting bagi sifat – sifat mekanis dari sebuah tanah. Definisi berarti ini, dengan referensi terhadap ukuran butiran, digunakan :

Blok (batu guling) Batu (Kerakal) Kerikil Pasir	Partikel – pertikel berbutir kasar yang dapat diidentifikasi dengan pemeriksaan okuler dan lebih teliti dengan analisis saringan
Lumpur Tanah Liat	Partikel – partikel berbutir halus. Partikel – partikel tak dapat dilihat dengan secara visual sendiri – sendiri. Diidentifikasi dan diklasifikasi dengan analisis hydrometer dan uji – uji khusus lainnya.

Tanah yang digradasi secara seragam dengan partikel – partikel kurang lebih sama ukurannya, mempunyai sebuah koefisien uniformitas (keseragaman) :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \text{ kurang dari } \sim 5 \dots\dots\dots 1)$$

Dimana D_{60} dan D_{10} adalah diameter partikel yang sesuai dengan nilai 60 dan 10 persen pada kurve gradasi. Tanah yang digradasi baik, mempunyai sebuah koefisien uniformitas (keseragaman) C_u lebih besar dari pada ~ 5 . Dalam hal ini rongga di antara partikel – partikel yang lebih besar diisi dengan partikel – partikel yang lebih kecil dan tanah yang digradasi baik membuat sebuah urukan yang lebih stabil daripada tanah yang digradasi uniform.

2.3. Stabilisasi Tanah

2.3.1. Stabilisasi Tanah Berbutir Kasar Dengan Kapur (*Lime Stabilization*)

Dengan penambahan kapur akan mereduksi plastisitas tanah, meningkatkan kekuatan dan daya tahan, meningkatkan penyerapan air dan pengembangan (swelling) yang diakibatkan oleh air. Pada keadaan ini efek stabilisasi adalah karena proses kimia tertentu dan bukanlah suatu penguatan akibat perlakuan mekanis. Proses kimia ini mengubah struktur tanah dengan cara pembentukan agregat butir yang lebih besar (flokulasi), dan hal inilah yang sangat menguntungkan untuk suatu konstruksi. Penambahan kapur mempengaruhi karakteristik pemadatan, yaitu kadar air optimum (w_{opt}) naik, berat volume kering maksimum (γ_{dmaks}) turun dan kurva pemadatan lebih datar.

Peningkatan kekuatan (*strength*) akibat dari stabilisasi berbutir kasar dengan kapur disebabkan 3 reaksi yang terjadi, yaitu: penyerapan air (*hydration of soil*), flocculation/pertukaran ion (*ion exchange*), dan *cementation* (pengerasan)/reaksi pozolan (*pozzolanic reaction*). Mekanisme lainnya adalah karbonisasi (*carbonation*), reaksi ini menyebabkan sedikit peningkatan kekuatan, sehingga dapat diabaikan. Reaksi cepat (*short term reaction*) meliputi hidrasi untuk kapur hidup dan flokulasi. Reaksi lambat (*long term reaction*) meliputi sementasi (*cementation*) dan karbonisasi (*carbonation*).

2.4. Analisa Sifat Mekanis Tanah

2.4.1. Permeabilitas Tanah

Permeabilitas adalah kemampuan bahan yang berpori untuk melewatkan aliran (rembesan) dari fluida (air / minyak) melalui rongga pori – porinya. Jamulya dan Suratman Woro Suprodjo (1983), mengemukakan bahwa permeabilitas adalah cepat lambatnya air merembes ke dalam tanah baik melalui pori makro maupun pori mikro baik ke arah horizontal maupun vertikal. Tanah adalah kumpulan partikel padat dengan rongga yang saling berhubungan. Rongga ini memungkinkan air dapat mengalir di dalam partikel melalui rongga dari satu titik yang lebih tinggi ke titik yang lebih rendah. Sifat tanah yang memungkinkan air melewatinya pada berbagai laju alir tertentu disebut permeabilitas tanah. Sifat ini berasal dari sifat alami granuler tanah, meskipun dapat dipengaruhi oleh faktor lain (seperti air terikat di tanah liat). Jadi, tanah yang berbeda akan memiliki permeabilitas yang berbeda.

2.4.2. Kuat Geser Tanah

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis - analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng, dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Menurut teori Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi oleh karena akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang rumahnya, dinyatakan oleh persamaa :

$$\tau = f(\sigma) \dots\dots\dots 2)$$

Dengan τ adalah tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan (*failure*), dan σ adalah tegangan normal pada saat kondisi tersebut. Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir - butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

- 1) Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
- 2) Gesekan antara butiran - butiran tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Coulomb (1776) mendefenisikan $f(\sigma)$ sebagai :

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \dots\dots\dots 3)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alur Penelitian

Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3.2. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas yaitu kadar kapur
2. Variabel terikat yaitu kuat geser dan permeabilitas tanah berbutir kasar.

3.3. Notasi Sampel

Tabel 1 Notasi Sampel dalam setiap pengujian

No	Jenis Percobaan	Komposisi Campuran	Berat Material			Berat
			Tanah (gr)	Kapur (gr)	Air (ml)	Campuran (gr)
1	Kompaksi (Standar Proktor Test)	Tanah Asli	10000	0		10000
		Tanah + 4% Kapur	10000	416,67		10416,67
		Tanah + 6% Kapur	10000	638,30		10638,30
		Tanah + 8% Kapur	10000	869,57		10869,57
		Tanah + 10% Kapur	10000	1111,11		11111,11
		Tanah + 12% Kapur	10000	1363,64		11363,64
2	Geser Langsung (Direact Shear)	Tanah Asli	450	0		450
		Tanah + 4% Kapur	450	18,75		468,75
		Tanah + 6% Kapur	450	28,72		478,72
		Tanah + 8% Kapur	450	39,13		489,13
		Tanah + 10% Kapur	450	50,00		500,00
		Tanah + 12% Kapur	450	61,36		511,36
3	Rembesan (Permeabilitas)	Tanah Asli	1000	0		1000
		Tanah + 4% Kapur	1000	41,67		1041,67
		Tanah + 6% Kapur	1000	63,83		1063,83
		Tanah + 8% Kapur	1000	86,96		1086,96
		Tanah + 10% Kapur	1000	111,11		1111,11
		Tanah + 12% Kapur	1000	136,36		1136,36
			57250	5037,17		73737,17243

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah

Tabel 2 Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah

No	Pengujian		Hasil Uji	Satuan
1.	Berat Jenis		2,66	
2.	Analisa Saringan			
	No. Saringan	Ukuran Partikel (mm)		
	4	4,750	100	%
	40	0,425	99,98	%
	50	0,300	83,84	%
	60	0,250	63,54	%
	80	0,180	31,26	%
	100	0,150	18,66	%
	200	0,075	1,60	%
3.	Atterberg Limit		NON PLASTIS	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Gambar 2. Grafik pengujian analisa saringan

4.2. Penelitian Sifat Mekanis Tanah

4.2.1. Pengujian Kompaksi (*Proctor Test*)

Gambar 3. Grafik pengujian kompaksi

4.2.2. Pengujian Permeabilitas

Tabel 3. Pengujian Permeabilitas

No. Test		1	2
Luas potongan melintang buret ($a=1/4pd^2$)	cm ²	0,785	0,785
Luas potongan melintang sampel ($A=1/4pD^2$)	cm ²	32,979	32,979
Tinggi puncak hidrolik (h)	cm	108,7	108,7
Panjang sampel (L)	cm	10	12
Waktu pengujian (t)	menit	30	30
Temperatur (T)	°C	28	28
Volume air yang terkumpul (Q)	cm ³	84	78
Koefisien Permeabilitas (QL/ hAt)	cm/menit	0,0078	0,0087
Koefisien Permeabilitas Rata-rata	cm/menit	0,008257	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

4.2.3. Pengujian kuat geser

Gambar 4. Grafik pengujian geser langsung

Dengan nilai kuat geser tanah granular :

$$\tau = 0,0161 + (0,92964)(tg 27,607) = 0,502 \text{ kg/cm}^2$$

4.3. Pembahasan

Tabel 4. Hubungan nilai kadar , berat isi variasi kapur

Komposisi Campuran	Kadar air (%)	Berat Isi (gr/cm ³)
Tanah Asli	11,00	1,88
Tanah asli + Kapur 4%	11,16	1,83
Tanah asli + Kapur 6%	11,32	1,79
Tanah asli + Kapur 8%	11,58	1,75
Tanah asli + Kapur 10%	11,88	1,73
Tanah asli + Kapur 12%	11,92	1,69

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Gambar 5. Grafik hubungan nilai kadar air , berat isi variasi kapur

Hal tersebut disebabkan karena mengecilnya rongga – rongga antara partikel campuran tanah akibat penambahan kapur. Penurunan berat volume kering maksimum, salah satu penyebabnya adalah semakin lepas (*loose*) / tidak padat antar partikel dan terjadinya peningkatan kadari air optimum.

Tabel 5. Hasil pengujian permeabilitas variasi kapur

Komposisi Campuran	Koefisien Permeabilitas rata - rata (cm/menit)
Tanah Asli	0,00825
Tanah asli + Kapur 4%	0,00694
Tanah asli + Kapur 6%	0,00569
Tanah asli + Kapur 8%	0,00424
Tanah asli + Kapur 10%	0,00321
Tanah asli + Kapur 12%	0,00243

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Gambar 6. Grafik hubungan nilai koefisien permeabilitas variasi kadar kapur

Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai k menurun seiring dengan bertambah kadar campuran kapur. Pada campuran kapur 12%, nilai k sebesar 0,00243 cm/menit. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan rembesan air bergantung pada volume total dari ruangan pori di dalam tanah. Kecilnya ukuran pori tersebut sebagai akibat rekasi kimia yang berupa pengikat kapur oleh partikel pasir. *Exchangeable cation* yang terdapat pada kapur mengganti lapisan air yang mengelilingi partikel pasir sehingga tanah menjadi lebih buruk. Butiran - butiran tanah tersebut bila dipadatkan akan menghasilkan ukuran pori yang lebih kecil walaupun volumenya berkurang.

Tabel 6. Hasil pengujian kuat geser variasi kapur

Komposisi Campuran	Kohesi (kg/cm^2)	Kuat Geser (kg/cm^2)	Sudut Geser Dalam ($^\circ$)
Tanah Asli	0,016	0,502	27,607
Tanah asli + Kapur 4%	0,081	0,454	21,873
Tanah asli + Kapur 6%	0,093	0,369	16,602
Tanah asli + Kapur 8%	0,101	0,359	15,562
Tanah asli + Kapur 10%	0,105	0,320	13,050
Tanah asli + Kapur 12%	0,113	0,305	11,537

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Gambar 7. Hubungan Nilai Sudut Geser Variasi Kadar Kapur

Semakin kuat ikatan antar butir akan menghasilkan nilai kuat geser semakin tinggi dan begitu pula sebaliknya. Dari analisa yang dilakukan sebagaimana diuraikan di atas, dapat disimpulkan bahwa stabilisasi dengan kapur pada tanah berbutir kasar (pasir) ini dapat memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang telah didapat dalam penelitian ini maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan klasifikasi tanah sistem *USCS*

Tanah pasir Jl. Ahmad Yani Kecamatan Benteng Kepulauan Selayar dikelompokkan ke dalam tanah berbutir kasar yaitu lebih 50% butiran yang lolos saringan No. 4 (4,750 mm), pasir

kurang dari 5% yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Dengan hasil perhitungan C_u dan C_c diperoleh $C_u = 2,168$, $C_c = 1,106$, maka tanah ini dikelompokkan tanah dengan simbol SP - SM yaitu pasir dengan gradasi buruk.

2. Berdasarkan klasifikasi tanah system *AASHTO*
Tanah pasir ini dikelompokkan ke dalam material granuler yaitu kurang dari 35% lolos saringan no. 200, dengan simbol klasifikasi kelompok (A-1; A3; A2). Tipe material pada tanah ini adalah pasir halus, dengan penilaian umum sebagai tanah dasar adalah sangat baik sampai baik.
3. Terjadinya peningkatan nilai kohesi (c) dan menurunnya sudut geser dalam (ϕ) pada pengujian Kuat Geser Langsung dengan variasi campuran kapur. Peningkatan maksimum terjadi pada persentase 12% yaitu $c = 0,113 \text{ kg/cm}^2$ dan $\phi = 11,537^\circ$. Hal ini disebabkan karena kapur memiliki tingkat penyerapan air, sehingga memiliki daya ikat antara partikel. Ikatan antara butiran mampu saling mengunci.
4. Pada pengujian permeabilitas nilai koefisien permeabilitasnya (k) menurun seiring bertambahnya variasi campuran kapur. Penurunan maksimum terjadi pada persentase 12% yaitu $k = 0,00243 \text{ cm/menit}$. Hal ini disebabkan karena mengecilnya ukuran pori pada tanah pasir yang distabilisasi dengan kapur.

5.2. Saran

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan apabila ingin mengembangkan penelitian ini.
2. Dapat dipertimbangkan mengenai alternative bahan stabilisasi lain untuk tanah berbutir kasar, khususnya pasir supaya dapat diperoleh perbandingan yang lebih baik guna memperbaiki kondisi tanah pasir tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 2006, " *Pedoman, Penuntun dan Tata Cara Penulisan Tugas Akhir* ", JTS FT Universitas " 45 " Makassar.
2. Anonim, 2015, " *Penuntun Prakaikum Mekanika Tanah* ", Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa", Makassar
3. ARBA, 1959. *Lime Stabilization and Lime Modification*. Amerika
4. Akhmad Irfan, Gatot 2011. *Analisis Kekuatan Geser Tanah Pada Berbagai Tekstur Tanah*. (Online) (<http://www.Google.com> diakses pada 19 Januari 2017)
5. Agus, Lucky. 2006. *Karakteristik Kuat Tarik Tanah Pasir Yang Distabilisasi Dengan Campuran Kapur Dan Abu Sekam Padi*. (Online) (<http://www.Google.com> diakses pada 19 Januari 2017)
6. Agus Setyo. 2011. *Karakteristik Kuat Geser Tanah Pasir dengan Campuran Kapur dan Abu Sekam Padi*. (Online) (<http://www.Google.com> diakses pada 28 Maret 2017)
7. Panguriseng, Darwis. 2001. *Stabilisasi Tanah*. Universitas 45. Makassar.
8. Panguriseng, Darwis. 2001. *Mekanika Tanah I dan Gologi Rekayasa*. Universitas 45. Makassar.
9. Panguriseng, Darwis. 2001. *Mekanika Tanah II dan Mekanika Batuan*. Universitas 45. Makassar.

10. Trissiyana, 2015. *Pengaruh Waktu Pemeraman dengan Penambahan Kapur Sebagai Bahan Additive Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai CBR Tanah*. (Online) (<http://www.Google.com> diakses pada 28 Maret 2017).
11. Yus Yudhyanto, 2013. *Analisis Kepadatan Dan Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah Lempung Yang Distabilisasi Kapur*. (Online) (<http://www.Google.com> diakses pada 24 juli 2017)