

PENGARUH CAMPURAN KAPUR DAN SERBUK ARANG TEMPURUNG KELAPA UNTUK MENINGKATKAN KUAT GESER TANAH LEMPUNG

Roland Billy Sumampow

Jack H. Ticoh, Steeva G. Rondonuwu

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

email: rolandsumampow@gmail.com

ABSTRAK

Kekuatan tanah memiliki peran penting dalam memikul beban guna menunjang kestabilan struktur bangunan dimana tanah sebagai dasar kekuatan yang harus memiliki kapasitas dukung dan kuat geser yang tinggi. Dalam penelitian ini dilakukan dengan serangkaian pengujian di laboratorium untuk mendapatkan sifat fisik tanah asli dan dilakukan pengujian triaksial dengan metode Unconsolidated Undrained (UU test/quick test) untuk mengukur kuat geser dengan kombinasi kapur 5% dan variasi arang tempurung kelapa 1% sampai 4%.

Hasil pengujian karakteristik tanah yang diperoleh berdasarkan klasifikasi USCS yaitu jenis tanah pasir berlempung dan untuk hasil kuat geser terbesar pada variasi kapur 5% tambah serbuk arang tempurung kelapa 2% yaitu sebesar 5.561 kg/cm². Dari hasil di atas menunjukkan bahwa nilai parameter kuat geser naik setelah menggunakan campuran kapur dan serbuk arang kelapa. Dan untuk hasil analisis statistik pengaruh campuran kapur dan serbuk arang kelapa terhadap tanah asli memiliki hasil yang bersifat tidak signifikan terhadap kohesi, sudut geser tanah, dan kuat geser. Hal ini dibuktikan dengan harga F empiris yang ada lebih kecil dari F teoritis.

Kata Kunci: Kapur, Serbuk Arang Tempurung Kelapa, Triaksial, F empiris, F teoritis.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam pembangunan konstruksi sipil tanah merupakan material yang sangat penting dalam memikul beban konstruksi di atas, seiring pembangunan tersebut kita sering mendapatkan masalah dalam terbatasnya lahan dan mengakibatkan tidak dapat dihindarinya pembangunan di atas tanah lempung. Secara umum tanah lempung adalah suatu jenis tanah kohesif yang mempunyai sifat yang kurang menguntungkan dalam konstruksi sipil yaitu kuat geser rendah dan kompresibilitasnya yang besar.

Kuat geser yang rendah mengakibatkan lemahnya daya dukung tanah sedangkan indeks pemampatan yang besar mengakibatkan terjadinya penurunan yang signifikan. Oleh karena itu terbatasnya lahan tidak dapat dihindarinya pembangunan diatas tanah lunak maka perlu diadakan stabilisasi.

Stabilisasi ialah suatu tindakan yang dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat fisis dan mekanis tanah. Tujuan dari stabilisasi tanah yaitu untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan peningkatan parameter tanah

seperti kohesi, sudut geser dalam dan kepadatan tanah. Ada beberapa cara stabilisasi tanah yang dapat dilakukan salah satunya dengan menambahkan bahan kimia kapur dan arang tempurung kelapa.

Berdasarkan penjelasan diatas maka penulis tertarik melakukan penelitian tentang stabilisasi tanah dengan bahan campuran kapur dan arang tempurung kelapa khusus untuk mengetahui seberapa besar pengaruh campuran tersebut dengan kadar yang sudah ditentukan terhadap parameter nilai kuat geser tanah. Salah satunya dengan pengujian yang dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat Triaksial pada kondisi "Unconsolidated Undrained".

Rumusan Masalah

Pada dasarnya tidak semua tanah layak untuk digunakan sebagai dasar konstruksi. Salah satunya jenis tanah lempung yang memiliki sifat dan kondisi tanah yang tidak mendukung adanya untuk melakukan suatu proses pekerjaan konstruksi. Maka dibutuhkan metode perbaikan tanah untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Berdasarkan latar belakang yang ada dapat

dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu seberapa besar pengaruh campuran kapur dan serbuk arang tempurung kelapa terhadap perubahan nilai kuat geser tanah lempung.

Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini:

1. Material tanah yang akan digunakan adalah jenis tanah lempung yang di ambil dari Desa Wori, Kecamatan Minasaha Utara.
2. Kapur yang digunakan adalah kapur Padam yang di peroleh dari toko bahan bangunan.
3. Serbuk Arang Tempurung Kelapa berasal dari hasil pembakaran, yang digunakan lolos Saringan No 100.
4. Sifat-sifat kimia dari kapur dan serbuk arang tempurung kelapa tidak diperiksa.
5. Pemeriksaan kuat geser tanah dengan cara uji Triaksial *Unconsolidated Undrained Test (UU Test)*.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mendapatkan pengaruh penambahan campuran kapur dan serbuk arang tempurung kelapa terhadap nilai kuat geser tanah lempung.
2. Mendapatkan perbandingan nilai parameter kohesi dan sudut geser dalam pada tanah asli dan pada tanah yang sudah di campur kapur dan serbuk arang tempurung kelapa.

Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu:

1. Memberikan referensi kepada mahasiswa lainnya jika ada yang mengambil topik bahasan yang sama.
2. Menambah ilmu pengetahuan yang mungkin kelak akan diperhadapkan dalam kondisi pekerjaan dimana menggunakan metode stabilisasi tanah.

LANDASAN TEORI

Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopis dan sub-mikroskopis yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tidak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Selain itu, permeabilitas

lempung sangat rendah (*Terzaghi dan Peck, 1987*).

Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0.002 mm (=2 *mikron*). Dari segi mineral (bukan ukurannya), yang disebut tanah lempung ialah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang “menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila di campur dengan air” (*Grim, 1953*). Dari segi ukuran, partikel-partikel tersebut memang dapat digolongkan sebagai partikel lempung. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid (<1 *mikron*) dan ukuran 2 *mikron* merupakan batas atas (paling besar) dari ukuran partikel mineral lempung.

Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah pada prinsipnya adalah untuk perbaikan mutu tanah yang kurang baik. Menurut *Bowles (1989)* apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau mudah tertekan, atau apabila mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan.

Kapur

Kapur telah dikenal sebagai salah satu bahan stabilisasi tanah yang baik, terutama bagi stabilisasi tanah lempung yang memiliki sifat kembang-susut yang besar. Bahan kapur adalah sebuah benda putih dan halus terbuat dari batu sedimen, membentuk bebatuan yang terdiri dari mineral kalsium. Adanya unsur cation Ca^{+2} pada kapur dapat memberikan ikatan antar partikel yang lebih besar yang melawan sifat mengembang dari tanah.

Batu kapur terbentuk dari kulit kerang dan batu karang yang merupakan hasil pengendapan kerangka binatang-binatang lembek yang halus dan hidup di dasar laut. Pengendapan ini berlangsung terus hingga beribu-ribu tahun dan oleh karena pergeseran dan pengangkatan dari dasar laut akhirnya muncul ke permukaan laut (*Soetopo dan Bhakti, 1977*).

Batu kapur pada umumnya bukan CaO murni akan tetapi mengandung oksida-oksida lain dalam jumlah tertentu yang merupakan pengotoran dari batuan kapur. Tabel 2 menunjukkan komposisi susunan kimia kapur.

Kelebihan kapur sebagai bahan pengikat

ini sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat kapur sebagai berikut:

1. Kapur mempunyai sifat plastic yang baik, dalam arti tidak getas.
2. Sebagai bahan pengikat, kapur dapat mengeras dengan mudah dan cepat sehingga memberikan kekuatan pengikat kepada dinding.
3. Mudah dikerjakan, tanah harus melalui proses pabrik.

Tabel 2. Komposisi Kapur

No.	Unsur Kimia	Prosentase (%)
1	Karbonat (CO ₃)	97
2	Kalsium oksida (CaO)	29,77 - 55,56
3	Magnesium oksida (MgO)	21 - 31
4	Silikat (SiO ₂)	0,14 - 2,14
5	Aluminium oksida Al ₂ O ₃ dan Ferro Fe ₂ O ₃	0,5

Sumber: Soetopo dan Bhakti, 1977.

Arang Tempurung Kelapa

Arang tempurung kelapa adalah produk yang diperoleh dari pembakaran tidak sempurna terhadap tempurung kelapa. Sebagai bahan bakar, arang lebih menguntungkan dibanding kayu bakar. Arang memberikan kalor pembakaran yang lebih tinggi, dan asap yang lebih sedikit. Arang dapat ditumbuk, kemudian ditempa menjadi briket dalam berbagai macam bentuk. Briket lebih praktis penggunaannya dibanding kayu bakar. Arang dapat diolah lebih lanjut menjadi arang aktif, dan sebagai bahan pengisi dan pewarna pada industri karet dan plastik

Arang tempurung kelapa selama ini lebih sering kita kenal sebagai bahan bakar untuk pemanggangan ikan atau makanan lain. Di balik kehitaman arang tempurung itu, ternyata menyimpan nilai ekonomis yang lebih tinggi lagi. Tempurung kelapa yang dijadikan arang dapat ditingkatkan nilai ekonomisnya dengan menjadikannya karbon aktif. Cara membuat karbon aktif dari tempurung kelapa juga relatif lebih mudah

Karbon aktif berfungsi sebagai filter untuk menjernihkan air, pemurnian gas, industri minuman, farmasi, katalisator, dan berbagai macam penggunaan lain. Tempurung kelapa adalah salah satu bahan karbon aktif yang kualitasnya cukup baik dijadikan karbon aktif. Bentuk dan ukuran, dan kualitas tempurung kelapa harus diperhatikan ketika membuat

karbon aktif.

Tempurung kelapa yang akan dijadikan karbon aktif sebaiknya berbentuk setengah atau seperempat ukuran tempurung.

Tabel 3. Komposisi Kimia Arang Tempurung Kelapa

Komponen	Presentase %
Lignin	29.4
Air	8
Abu	0.6
Komponen ekstraktif	4.2
Selulosa	26.6
Uronat anhidrat	3.5
Nitrogen	0.1
Hemiselulosa	27.7

Sumber: Suhardiyo, 1995.

Teori Mohr Coloumb

Mohr (1980) mengatakan sebuah teori tentang keruntuhan pada material yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja.

Hubungan antara tegangan normal dan geser pada sebuah bidang keruntuhan dapat dinyatakan dalam bentuk berikut.

$$\tau_f = f(\sigma)$$

dengan:

$$\tau = \text{tegangan geser (kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma = \text{tegangan normal (kN/m}^2\text{)}$$

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

- Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya
- Gesekan antar butir-butir tanah

Coulomb (1776) mendefinisikan:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

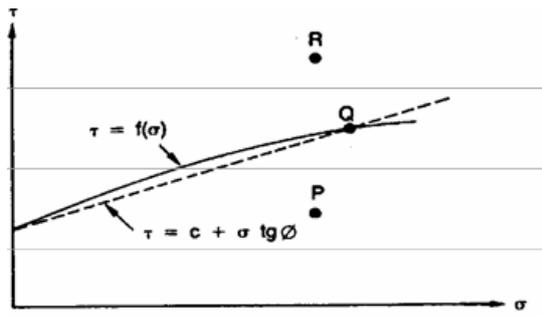
dimana:

$$t = \text{kuat geser tanah (kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma = \text{tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m}^2\text{)}$$

$$c = \text{kohesi tanah (kN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \text{sudut geser dalam tanah (derajat)}$$



Gambar 1. Kriteria kegagalan Mohr-Coloumb

Analisis Statistik Analisis Varians

ANOVA umumnya akan menjadi ciri dari analisis statistik penelitian eksperimental, yaitu suatu penelitian yang berusaha menguji akibat, efek, atau pengaruh variable tertentu terhadap variable lain yang diteliti. Melalui ANOVA akan didapatkan suatu harga yang mengindikasikan besarnya pengaruh suatu variable terhadap variable lain yang disebut rasio F atau koefisien F. Nilai F digunakan untuk melihat taraf signifikansi dari hasil-hasil uji ANOVA.

Untuk melakukan interpretasi pada hasil ANOVA digunakan tabel nilai-nilai F sebagai kriterianya. Apabila harga F empiris lebih besar atau sama dengan F teoritis, hasil ANOVA diinterpretasikan signifikan, yang artinya terdapat perbedaan antara kelompok-kelompok data yang diteliti. Sebaliknya, apabila F empiris lebih kecil dari pada F teoretis, hasil ANOVA diinterpretasikan tidak signifikan, yang artinya tidak terdapat perbedaan antara kelompok-kelompok data yang teliti (Sudaryono, 2014).

Uji Dunnet

Uji Dunnet digunakan untuk mengetahui perbandingan control dengan perlakuan lainnya. Metode ini hanya membutuhkan satu nilai pembanding yang digunakan untuk membandingkan antara control dengan uji perlakuan lainnya.

Interpretasi pada uji Dunnet yaitu dengan membandingkan selisih rata-rata dengan DLSD. Apabila selisih rata-rata > DLSD dapat diinterpretasikan signifikan, yang berarti terdapat perbedaan atau berbeda nyata, dan apabila selisih rata-rata ≤ DLSD dapat diinterpretasikan tidak signifikan, yang berarti tidak terdapat perbedaan atau tidak berbeda nyata.

Analisis Regresi

Analisis regresi adalah suatu analisis yang mengukur pengaruh variable bebas terhadap variabel terikat. Jika melibatkan satu variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y), pengukuran pengaruh ini dinamakan analisis regresi linier sederhana, yang dirumuskan dengan $Y = a + bX$. Koefisien regresi b adalah kontribusi besarnya perubahan nilai variabel bebas (X). Semakin besar nilai koefisien regresi, semakin besar kontribusi perubahan dan sebaliknya.

Salah satu yang khas dari analisis regresi adalah persamaan yang dihasilkannya. Persamaan tersebut berguna untuk memprediksi atau meramal seberapa jauh pengaruh satu atau beberapa variabel bebas/independent terhadap variabel bergantung/dependent (Sudaryono, 2014).

METODOLOGI PENELITIAN

Umum

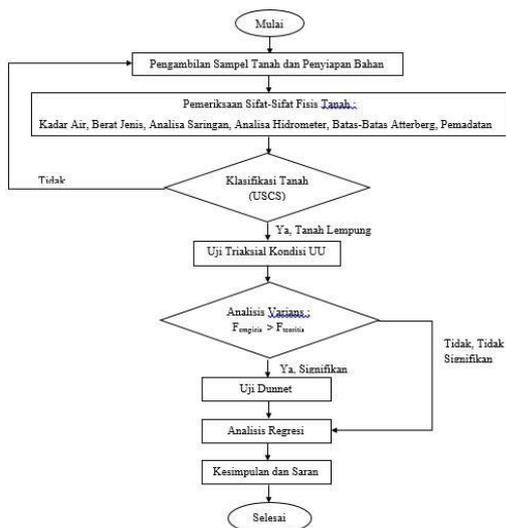
Metode penelitian dalam penulisan tugas akhir ini terdiri dari dua tahap yaitu penelitian eksperimental dan analisis hasil penelitian (grafik dan tabel). Sebelum dilaksanakan pengujian utama. Dilakukan pengujian penunjang untuk mengetahui tentang karakteristik tanah yang akan digunakan. Pelaksanaan pengujian sampel dilakukan melalui prosedur-prosedur laboratorium yang sesuai menurut standar ASTM (*American Society Of Testing Material*) dan SNI (Standar Nasional Indonesia). Pengujian utama kali ini yang akan dilakukan yaitu pengujian Pemadatan dan Triaksial.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data bisa diartikan sebagai kegiatan yang dilakukan untuk merubah data hasil dari sebuah penelitian menjadi informasi yang nantinya bisa dipergunakan untuk mengambil sebuah kesimpulan. Tujuan dari analisis data adalah untuk mendeskripsikan sebuah data sehingga bisa dipahami, dan juga untuk membuat kesimpulan mengenai karakteristik populasi yang berdasarkan data diperoleh dari sampel. Teknik analisis data di dalam penelitian ini menggunakan analisis statistik (Paparaga, 2018), yaitu :

1. Analisis varians/ANOVA;
2. Uji Dunnet;
3. Analisis Regresi.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil dari pemeriksaan sifat fisik tanah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Karakteristik Tanah

Karakteristik Tanah	
Kadar Air	25.661%
Berat Jenis	2.724
Distribusi Butiran:	
Kerikil (Gravel)	0.000%
Pasir Kasar (Coarse Sand)	9.372%
Pasir Sedang (Medium Sand)	30,376%
Pasir Halus (Fine Sand)	48.446%
Lanau dan Lempung (Silt Clay)	11.806%
Batas-batas Atterberg:	
Batas Cair	41.826%
Batas Plastis	19.688%
Indeks Plastisitas	22.137%

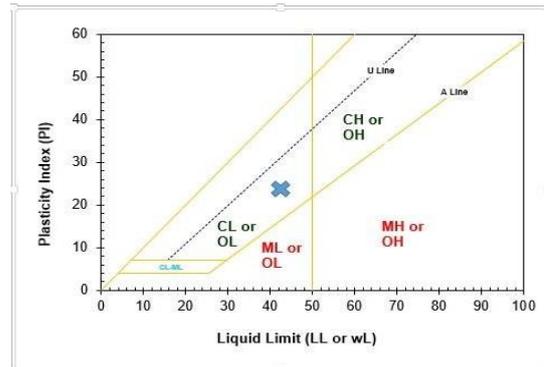
Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil dari pemeriksaan sifat fisik tanah pada tabel 4 maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

- Berdasarkan klasifikasi USCS jika tanah yang lolos saringan No. 200 kurang dari 50% maka tanah tersebut dikategorikan sebagai tanah berbutir kasar.
- Hasil pemeriksaan menunjukkan, bahwa berdasarkan klasifikasi USCS tanah tersebut termasuk dalam symbol SW-SC (lih. Tabel 4.2). SW (*Well-Graded Sand*) artinya jenis tanah pasir tergradasi baik. SC merupakan

jenis tanah pasir berlempung, karena tanah tersebut berbutir kasar 50% butiran tertahan saringan No. 200. Namun tanah yang diuji semuanya lolos saringan No. 4 dan mengandung banyak butiran halus.

- Tabel klasifikasi USCS untuk data batas cair dan indeks plastisitas di plot pada diagram plastis sehingga di dapat identifikasi tanah yang spesifik. Hasil bisa dilihat pada gambar 3

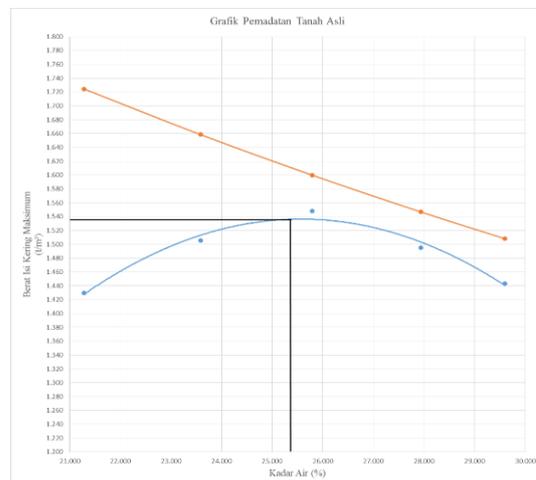


Gambar 3. Diagram plastisitas berdasarkan klasifikasi USCS

Karena nilai batas cairnya kurang dari 50 maka tanah tersebut memiliki plastisitas rendah dan dapat dilihat pada gambar 3 bahwa hasil plot menunjukkan suatu titik X, yang mana titik itu menjelaskan jenis tanah yang diuji. Dengan merujuk pada hasil diatas maka tanah tersebut termasuk kedalam kelompok CL yaitu lempung non organik dengan plastisitas rendah. Dengan Indeks Plastisitas sebesar 22.137%.

Hasil Uji Pematatan

Hasil pemeriksaan tanah ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Grafik Pematatan Tanah

Berdasarkan grafik tersebut, maka diperoleh:

- Kadar Air Optimum (W_{opt}) = 25.504 %
- Berat Isi Kering Maksimum (γ_{dmax}) = 1.539 t/m^3

Hasil Uji Triaksial

Dari gambar 5 dapat dilihat penambahan campuran kapur dan serbuk arang kelapa menunjukkan bahwa adanya peningkatan terhadap nilai kohesi.



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Kohesi terhadap Variasi Campuran

Nilai kohesi pada tanah asli sebesar 2.132 t/m^2 naik menjadi 3.116 t/m^2 pada variasi campuran kapur 5% + serbuk arang kelapa 3%.



Gambar 6. Grafik Hubungan antara Sudut Geser Dalam terhadap Variasi Campuran

Pada gambar 6 terlihat bahwa nilai sudut geser dalam terjadi peningkatan seiring penambahan variasi campuran. Pada tanah asli diperoleh nilai sebesar 9.39° naik menjadi 18.82° pada variasi kapur 5% + serbuk arang kelapa 4%.

Nilai kuat geser pada tanah asli (lihat Gambar 7) diperoleh sebesar 3.597 kg/cm^2 dan naik menjadi 5.651 kg/cm^2 . Pada variasi kapur 5% + serbuk arang kelapa 3%.



Gambar 7. Grafik Hubungan Kuat Geser Dalam terhadap Variasi Campuran

Analisis Statistik

Analisis statistik yang digunakan pada penelitian ini yaitu Analisis Varians dan Analisis Regresi, yang akan dipaparkan sebagai berikut:

Analisis Varians Analisis Varians 1 Jalur

Berdasarkan analisis varians satu jalur diperoleh hasil seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 6. Ringkasan analisis varians 1 jalur

Terhadap	Sumber	Jk	db	Rk	F Empiris	F Teoritis	Interpretasi
Kohesi	Antar Kelompok	1.915	2	0.957	0.0298	3.89	TIDAK SIGNIFIKAN
	Dalam Kelompok	385.126	12	32.093	-	-	-
	Total	387.042	14	-	-	-	-
Sudut Geser	Antar Kelompok	157.075	2	78.537	0.0750	3.89	TIDAK SIGNIFIKAN
	Dalam Kelompok	12554.699	12	1046.224	-	-	-
	Total	12711.774	14	-	-	-	-
Kuat Geser	Antar Kelompok	7.666	2	3.833	0.0318	3.89	TIDAK SIGNIFIKAN
	Dalam Kelompok	1443.008	12	120.250	-	-	-
	Total	1450.675	14	-	-	-	-

Berdasarkan analisis varians, penambahan campuran kapur dan serbuk arang memiliki pengaruh yang tidak signifikan terhadap kohesi, sudut geser, dan kuat geser. Hal ini telah dibuktikan dengan harga F empiris yang ada lebih kecil dari pada F teoritis, maka tidak perlu dilakukan analisis statistik lain yaitu Uji Dunnet.

Analisis Regresi

Berdasarkan analisis regresi, diperoleh persamaan terhadap kohesi sudut geser dan kuat geser seperti dibawah ini.

Tabel 7. Ringkasan analisis regresi

Terhadap	Persamaan	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (r^2)
Kohesi	Linier	$Y = 2.4793 - 0.0097 X$	0.0015
Sudut Geser	Linier	$Y = 10.007 - 2.2627 X$	0.9778
Kuat Geser	Linier	$Y = 4.131 - 0.3788 X$	0.5614

PENUTUP

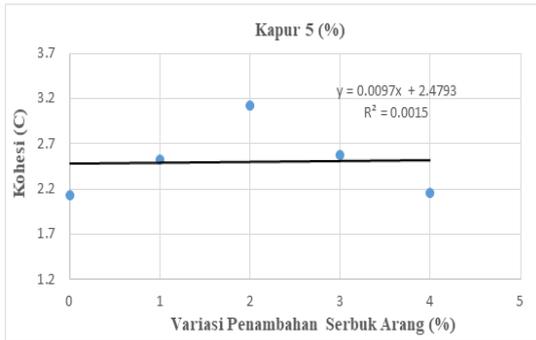
Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa:

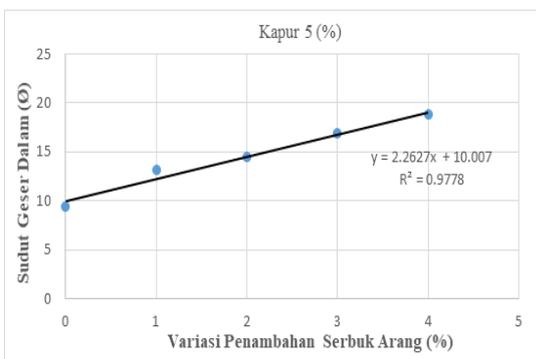
1. Dari hasil pengujian yang sudah dilakukan bahwa dengan adanya campuran kapur dan serbuk arang tempurung kelapa terhadap kuat geser memberikan pengaruh yang tidak signifikan hal itu dibuktikan lewat metode analisis yang dilakukan.
2. Hasil pengujian triaksial didapatkan nilai parameter kohesi sudut geser dan kuat geser dalam sebelum dan sesudah di campur kapur dan serbuk arang tempurung kelapa, Pada tanah asli didapatkan nilai kohesi sebesar 2.132 t/m² dan untuk nilai kohesi terbesar pada campuran tanah + kapur 5% + serbuk arang kelapa 2% sebesar 3.116 t/m². Untuk nilai sudut geser dalam pada tanah asli 9.39° dan untuk nilai sudut geser dalam terbesar diperoleh pada presentase campuran tanah + kapur 5% + serbuk arang kelapa 4% sebesar 18.82°. Dan untuk nilai kuat geser pada tanah asli 3.597 kg/cm² dan untuk nilai kuat geser terbesar pada campuran tanah + kapur + serbuk arang kelapa 2% sebesar 5.651 kg/cm².

Saran

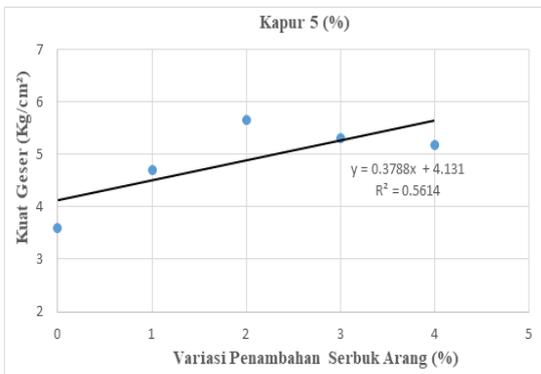
1. Perlu diadakan pengujian laboratorium tentang campuran kapur dan serbuk arang tempurung kelapa dengan variasi yang berbeda.
2. Perlu diadakan pengujian dengan bahan campuran dengan kombinasi yang lain. Misalnya dengan bahan-bahan seperti abu jerami, abu batu apung, abu rotan atau bahan penstabil lain. Selain itu dengan jenis tanah yang berbeda
3. Alat triaksial yang digunakan harus dikalibrasi minimal 1 tahun sekali dan pada saat diperlukan. Agar mencegah terjadinya kesalahan saat pembacaan beban, pelaksanaan pengujian dan dalam melakukan analisis perhitungan.



Gambar 8. Grafik Hubungan Kohesi (C) dan Variasi Penambahan Kapur dan Serbuk Arang Tempurung Kelapa



Gambar 9. Grafik Hubungan Sudut Geser Dalam dan Variasi Penambahan Kapur dan Serbuk Arang Tempurung Kelapa



Gambar 10. Grafik Hubungan Kuat Geser Dalam dan Variasi Penambahan Kapur dan Serbuk Arang Tempurung Kelapa

DAFTAR PUSTAKA

American Society of Testing and Materials (2006). *ASTM Book of Standard*. United States on America.
 Bowles, J. E., 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Penerbit Erlangga. Jakarta.

Grim, R. E., 1953. *Clay Mineralogy*. Mc Graw Hill Book Company Inc. New York

Parapaga, R. T., Sarajar, A. N., Legrans, R. I., 2018. *Pengaruh Penambahan Zeolite terhadap Kuat Geser pada Tanah Berlempung*. Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.7 Juli 2018 (501-509) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi Manado.

Sutopo, Edi W., Bhakti, P., 1997. *Ilmu Bahan Bangunan*, Depdikbud, Jakarta.

Suhardiyono, L., 1995. *Tanaman Kelapa: Budidaya dan Pemanfaatannya*. Kanisius, Yogyakarta.

Sudaryono, 2014. *Teori Dan Aplikasi Dalam Statistik*. Yogyakarta: Andi Offset.

SNI 03-6371-2000, *Tata Cara Pengklasifikasian Tanah untuk Keperluan Teknik dengan Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah*. Badan Standardisasi Nasional.

Terzaghi, K., Peck, R. B., 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*. Penerbit Erlangga, Jakarta.