

# Pengaruh Penambahan Geopolymer Berbahan Fly Ash Dari PLTU Terhadap Kuat Geser Pada Tanah Pasir Berlempung

Anggi Erfanto<sup>#1</sup>, Roski R. I. Legrans<sup>#2</sup>, Alva N. Sarajar<sup>#3</sup>

<sup>#</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi  
Jl. Kampus UNSRAT Kelurahan Bahu, Manado, Indonesia, 95115

<sup>1</sup>anggibakara9@gmail.com,

<sup>2</sup>legransroski@unsrat.ac.id,

<sup>3</sup>alva\_sarajar@yahoo.com

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh penambahan geopolymer berbahan dasar fly ash dari PLTU terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas tanah pasir berlempung. Penelitian dilakukan melalui pengujian laboratorium terhadap variasi penambahan geopolymer dengan persentase 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap berat tanah yang digunakan pada masing-masing variasi, dengan menggunakan alat uji tekan bebas. Analisa varians (ANOVA) dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan geopolymer berbahan dasar fly ash terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas tanah berlempung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat geser tanah asli adalah 0,625 kg/cm<sup>2</sup>. Setelah penambahan 5% geopolymer kuat geser benda uji menjadi 0,672 kg/cm<sup>2</sup>, pada penambahan 10 % geopolymer kuat geser benda uji menjadi 1,006 kg/cm<sup>2</sup>, pada penambahan 15% geopolymer kuat geser benda uji menjadi 1,088 dan pada penambahan 20% geopolymer kuat geser benda uji menjadi 0,719 kg/cm<sup>2</sup>. Hasil analisa varians menunjukkan bahwa penambahan geopolymer berpengaruh secara signifikan ( $F > 0.05$ ) terhadap kadar air, kuat geser, regangan dan modulus elastisitas. Berdasarkan uji Dunnett, variasi penambahan 15% memberikan selisih kuat geser terbesar terhadap kuat geser tanah asli dibandingkan variasi penambahan yang lain. Berdasarkan analisis statistik tersebut, penggunaan geopolymer yang disarankan untuk memperbaiki tanah adalah penambahan geopolymer dengan rasio 15%.

**Kata kunci** - tanah berlempung, fly ash PLTU, geopolymer, kuat geser

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk tentunya pekerjaan konstruksi juga semakin meningkat.

Pekerjaan konstruksi yang dimaksud adalah seperti pembangunan kawasan perumahan, pekerjaan konstruksi jalan raya dan tol, pembangunan gedung bertingkat sebagai kawasan industri, pembangunan pabrik, dan masih banyak lagi. Pada pelaksanaannya tentu saja banyak hal yang harus di perhitungkan, salah satunya adalah tanah tempat pekerjaan konstruksi tersebut di laksanakan. Namun seringkali ditemukan kondisi tanah yang tidak mendukung untuk dilakukan pekerjaan konstruksi. Kondisi tanah yang dimaksud adalah tanah yang memiliki kemampuan mengalirkan air yang rendah dan kompresibilitas/ kemampumampatan yang tinggi.

Tanah lempung merupakan tanah yang memiliki kemampuan mengalirkan air yang rendah dan kompresibilitas/ kemampumampatan yang tinggi, sehingga menyebabkan tanah lempung memiliki daya dukung yang rendah dan kurang baik untuk dilakukan pekerjaan konstruksi dan perlu metode perbaikan tanah untuk mengatasi masalah tersebut.

Pada tahun 2018 telah dilakukan penelitian untuk perbaikan tanah lempung menggunakan bahan tambahan zeolite. Kalsifikasi tanah yang digunakan pada penelitian tersebut diklasifikasikan ke dalam pasir dengan butiran halus, dengan hasil kuat geser pada tanah asli 0,128 kg/cm<sup>2</sup> dan pada tanah dengan variasi penambahan 20% zeolite kuat geser menjadi 0,546 kg/cm<sup>2</sup>.

Seiring berjalannya waktu dirasa perlu melakukan penelitian untuk perbaikan tanah dengan menggunakan bahan tambahan lain untuk melihat material, dan pada penilitaan kali ini material tambahan yang digunakan adalah geopolymer berbahan fly ash dari PLTU.

**B. Batasan Masalah**

Hal-hal yang akan di teliti dibatasi pada beberapa hal berikut, yaitu :

1. Sampel tanah yang diambil merupakan sampel dengan kondisi tanah terganggu.
2. Material pembentuk geopolymer :
  - a. Fly ash yang digunakan termasuk kedalam kelas C, berasal dari PLTU Amurang, Minahasa selatan.
  - b. Cairan Alkalin yaitu cairan sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dan sodium hidroksida (NaOH) . NaOH yang digunakan dibuat dengan konsentrasi 4M
3. Sifat-sifat kimia dari lempung (mineral lempung) dan fly ash tidak diperiksa.
4. Regangan lateral dari benda uji tidak di periksa
5. Pemeriksaan kuat geser tanah dengan cara pengujian tekan bebas.

**C. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan geopolymer terhadap kadar air, regangan, kuat geser, dan modulus elastisitas tanah.
2. Mengetahui variasi penambahan geopolymer yang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar air, regangan, kuat geser, dan modulus elastisitas.

3. Setelah dilakukan pemeriksaan sifat-sifat fisik, tanah di klasifikasikan menurut sistem Unified Soil Classification system (USCS) sesuai dengan tanah yang diperlukan, jika sampel tanah yang diambil sesuai dengan kriteria maka dilanjutkan dengan pembuatan benda uji untuk pengujian tekan bebas sesuai dengan variasi yang di tentukan
4. Pemeriksaan kuat geser menggunakan pengujian tekan bebas. Dilakukan pada tanah asli, tanah asli + Geopolymer 5%, tanah asli + Geopolymer 10%, tanah asli + Geopolymer 15%, tanah asli + Geopolymer 20%
5. Hasil yang didapat dilakukan analisis statistik, meliputi :
  - a. Analisis varians untuk mengetahui apakah variasi penambahan Geopolymer berpengaruh secara signifikan terhadap Kadar air, regangan, kuat geser, dan modulus elastisitas
  - b. Jika hasil dari analisa varians menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan, maka dilakukan uji dunnet untuk melihat variasi mana yang berpengaruh signifikan terhadap kadar air, regangan, kuat geser, dan modulus elastisitas
  - c. Analisis regresi untuk melihat persamaan yang didapatkan dari variasi penambahan Geopolymer terhadap kadar air, regangan, kuat geser, dan modulus elastisitas.
6. Membuat kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian berikutnya

**II. METODOLOGI PENELITIAN**

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, maka disusun metode penelitian dalam pelaksanaan dengan prosedur sebagai berikut.

1. Pengambilan sampel pada kedalaman 50-100 cm. Dengan menggunakan sekop dan cangkul, kemudian dimasukkan kedalam wadah berbahan plastik agar kadar air tidak berubah
2. Setelah pengambilan sampel, lalu dikukan pemeriksaan sifat-sifat fisik tanah seperti berikut
  - Kadar air
  - Berat jenis
  - Analisa saringan
  - Analisa hidrometer
  - Batas-batas Atterberg

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Karakteristik**

Karakteristik tanah dapat diketahui dari hasil beberapa pengujian sifat fisik tanah di laboratorium, seperti:

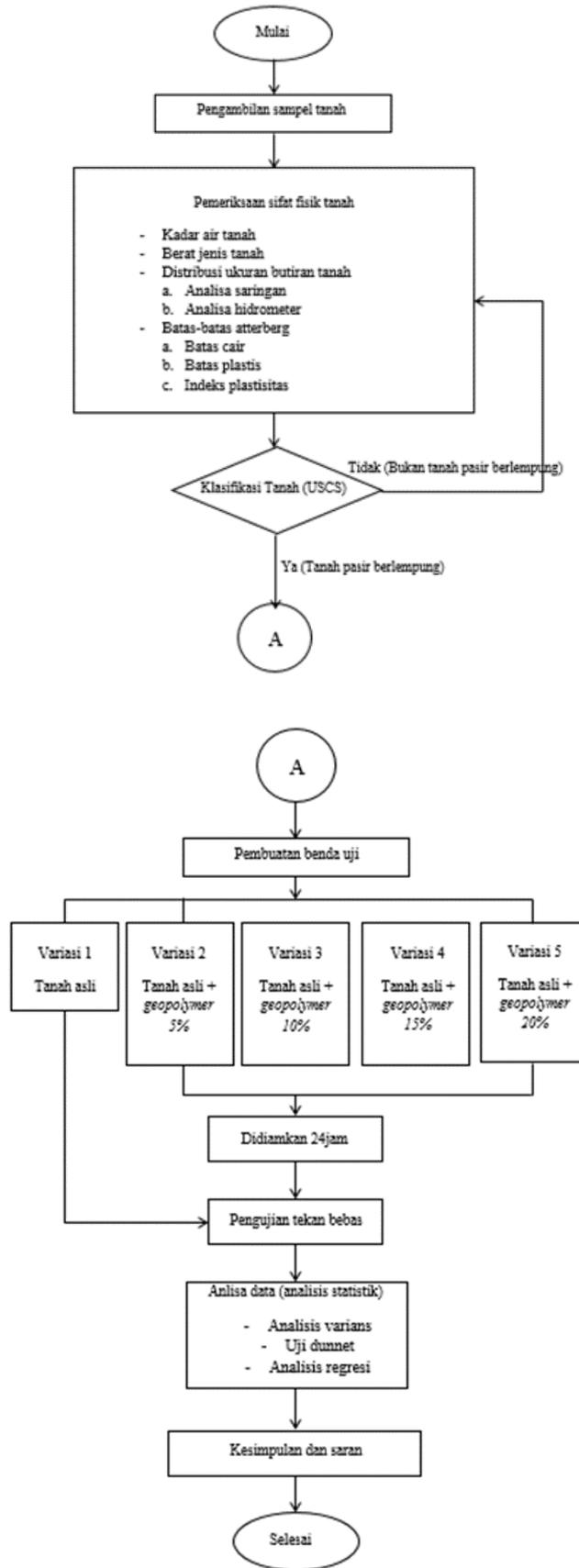
1. Pengujian kadar air
2. Pengujian berat jenis
3. Analisa saringan
4. Analisa hidrometer
5. Pengujian batas-batas atterberg

Hasil dari pemeriksaan sifat fisik tanah di laboratorium ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1. HASIL PENGUJIAN SIFAT FISIK TANAH

No.	Pengujian	Hasil
1	Kadar Air Tanah Asli	30,733%
2	Berat Jenis	2,345
3	Lolos Saringan No.200	19,75%
4	Batas Cair	44,00%
5	Batas Plastis	23,32%
6	Indeks Plastisitas	20,68%

Sumber: Hasil Analisis (2020)



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

**B. Klasifikasi Tanah**

Pengklasifikasian tanah disini menggunakan sistem klasifikasi dari USCS (*Unified Soil Classification System*), yang mana tanah dikelompokkan ke dalam dua kelompok yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus, yang dilihat berdasarkan persentase tanah lolos saringan nomor 200.

Dari Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa tanah yang digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam kelompok pasir dengan butiran halus dengan simbol SC (pasir berlempung, campuran pasir-lempung), hal ini di karenakan contoh tanah tersebut memenuhi kriteria dari tanah pasir berlempung, yaitu :

1. Lebih dari 12% lolos saringan nomor 200 (19.75 %)
2. Indeks plastisitas >7

Berdasarkan hasil pengujian dan pengklasifikasian, maka tanah tersebut merupakan tanah yang dibutuhkan untuk penelitian ini yaitu tanah pasir berlempung.

**C. Pengujian Tekan Bebas Untuk Mengetahui Kuat Geser Tanah**

Dalam pengujian ini menggunakan lima sampel tanah untuk masing-masing variasi, dan diambil nilai rata-ratanya. Hasil pengujian tekan bebas tanah ditunjukkan pada Tabel 2.

TABEL 2. HASIL PENGUJIAN TEKAN BEBAS

Nama	No Sampel	Kadar Air		Regangan		Tegangan Axial		Kuat Geser		Modulus Young	
		W	W	ε	ε̄	σ	σ̄	Cu	C̄u	E50	E50
		%		%		(kg/cm2)		(kg/cm2)		(kg/cm2)	
Tanah asli	1	31,212	31,369	0,088	0,096	1,336	1,250	0,668	0,625	2511,278	2267,609
	2	32,507		0,096		1,430		0,715		2383,333	
	3	31,248		0,094		1,190		0,595		2125,000	
	4	30,861		0,080		1,148		0,574		2411,765	
	5	31,019		0,120		1,144		0,572		1906,667	
Tanah asli + Geopolymer 5%	1	25,432	25,732	0,086	0,078	1,280	1,344	0,640	0,672	2133,333	3227,105
	2	25,738		0,086		1,260		0,630		2625,000	
	3	25,802		0,074		1,120		0,560		3111,111	
	4	26,012		0,070		1,460		0,730		4055,556	
	5	25,677		0,074		1,600		0,800		4210,526	
Tanah asli + Geopolymer 10%	1	25,567	25,424	0,044	0,044	2,220	2,012	1,110	1,006	9250,000	6703,535
	2	25,746		0,060		1,940		0,970		6466,667	
	3	26,463		0,038		1,420		0,710		6454,545	
	4	24,586		0,036		2,260		1,130		1255,556	
	5	24,756		0,044		2,220		1,110		10090,909	
Tanah asli + Geopolymer 15%	1	24,145	26,588	0,026	0,045	3,560	2,176	1,780	1,088	25428,571	11252,381
	2	27,255		0,058		1,850		0,925		6166,667	
	3	27,412		0,050		1,820		0,910		7000,000	
	4	26,728		0,050		1,880		0,940		7833,333	
	5	27,402		0,040		1,770		0,885		9833,333	
Tanah asli + Geopolymer 20%	1	25,672	25,846	0,052	0,048	1,480	1,458	0,740	0,729	4625,000	4911,749
	2	26,311		0,047		1,380		0,690		5307,692	
	3	25,873		0,048		1,460		0,730		5214,286	
	4	25,696		0,054		1,430		0,715		2411,765	
	5	25,677		0,037		1,540		0,770		7000,000	

Sumber: Hasil Analisis (2020)

Berdasarkan hasil di atas, didapatkan nilai tegangan axial sebagai berikut

1. Tanah asli = 1,250 kg/cm<sup>2</sup> = 122,583 kN/m<sup>2</sup>
2. Tanah asli + Geopolymer 5% = 1,344 kg/cm<sup>2</sup> = 131,801 kN/m<sup>2</sup>
3. Tanah asli + Geopolymer 10% = 2,012 kg/cm<sup>2</sup> = 197,309 kN/m<sup>2</sup>

4. Tanah asli + Geopolymer 15% = 2,176 kg/cm<sup>2</sup> = 213,397 kN/m<sup>2</sup>
5. Tanah asli + Geopolymer 20% = 1,458 kg/cm<sup>2</sup> = 142,981 kN/m<sup>2</sup>

Berdasarkan nilai tegangan axial diatas, dapat di ketahui konsistensi tanah tersebut sebagai berikut :

1. Tanah asli = Kaku
2. Tanah asli + *Geopolymer* 5% = Kaku
3. Tanah asli + *Geopolymer* 10% = Kaku
4. Tanah asli + *Geopolymer* 15% = Sangat kaku
5. Tanah asli + *Geopolymer* 20% = Kaku

**D. Analisis Varians**

Dari data yang telah didapat, dilakukan analisis varians untuk melihat apakah penambahan geopolymer berdampak signifikan terhadap kadar air, regangan, kuat geser dan modulus elastisitas. Hasil analisis varians satu jalur ditunjukkan pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa penambahan *Geopolymer* 5%, 10%, 15%, 20% menghasilkan perbedaan/perubahan yang signifikan terhadap kadar air, regangan, kuat geser, dan modulus elastisitas.

**E. Uji Dunnet**

Penambahan *Geopolymer* 5%, 10%, 15%, 20% menghasilkan perbedaan/perubahan yang signifikan terhadap kadar air, regangan, kuat geser, dan modulus elastisitas. Uji Dunnet dilakukan untuk melihat variasi yang memberikan pengaruh terbesar. Hasil uji Dunnet ditunjukkan pada Tabel 4 sd. Tabel 7.

Berdasarkan hasil uji dunnet, semua variasi penambahan *Geopolymer* yaitu penambahan *Geopolymer* 5%, 10%, 15%, 20% memberikan pengaruh yang signifikan atau berbeda nyata terhadap kadar air dan regangan. Pada kuat geser variasi penambahan *Geopolymer* yang memberikan pengaruh yang signifikan atau berbeda nyata adalah variasi penambahan *Geopolymer* 10% dan 15%, sedangkan pada variasi penambahan *Geopolymer* 5% dan 20% tidak memberikan pengaruh yang signifikan atau tidak

berbeda nyata pada kuat geser. Pada modulus elastisitas hanya variasi penambahan *Geopolymer* 15% yang memberikan pengaruh yang signifikan atau berbeda nyata, sedangkan pada variasi penambahan *Geopolymer* 5%, 10%, dan 15% tidak memberikan pengaruh yang signifikan atau tidak berbeda nyata terhadap modulus elastisitas.

**F. Pengaruh Geopolymer**

Dalam penelitian ini *Geopolymer* berbahan dasar fly ash dari PLTU amurang, yang mana fly ash tersebut termasuk ke dalam klasifikasi fly ash Kelas C. Penambahan geopolymer menyebabkan kadar air semakin berkurang (Gambar 2). Hal ini dikarenakan pada fly ash terdapat banyak kandungan silika yang mana saat silika bercampur dengan air menyebabkan partikel menjadi keras yang membuat kadar air semakin berkurang. Berkurangnya kadar air ini juga berpengaruh terhadap perubahan nilai regangan, karena semakin kecil nilai kadar air maka tanah juga akan semakin keras yang menyebabkan nilai regangan juga semakin kecil. Sedangkan untuk kuat geser terjadi peningkatan seiring berkurangnya kadar air, tetapi pada titik tertentu mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena setiap tanah memiliki kadar air maksimum. sesuai dengan yang katakan DAS (1995), penambahan kadar air membuat air mengisi rongga tanah, tetapi setelah mencapai kadar air tertentu penambahan air akan membuat air menempati ruang-ruang pori yang seharusnya dapat oleh partikel-partikel padat dari tanah. Perubahan nilai dari kuat geser dan regangan berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas, karena nilai modulus elastisitas dipadatkan dari pembagian tegangan dengan regangan.

TABEL 3. PERHITUNGAN ANALISIS VARIANS

Terhadap	Sumber	JK	db	RJK	$F_{hitung}$	$F_{tabel}$	Interpretasi
						$\alpha = 0,05$	
Kadar Air	Antar Kelompok	123,425	4	30,85617	50,12129	2,87	Signifikan
	Dalam Kelompok	12,313	20	0,61563			
	Total	135,737	24	-			
Regangan	Antar Kelompok	0,011	4	0,002747	24,35171	2,87	Signifikan
	Dalam Kelompok	0,002	20	0,000113			
	Total	0,013	24	-			
Kuat Geser	Antar Kelompok	0,873	4	0,218287	5,589874	2,87	Signifikan
	Dalam Kelompok	0,781	20	0,03905			
	Total	1,654	24	-			
Modulus Elastisitas	Antar Kelompok	251750445,573	4	62937611	3,92399	2,87	Signifikan
	Dalam Kelompok	320783734,305	20	16039187			
	Total	572534179,878	24	-			

Sumber: Hasil Analisis (2020)

TABEL 4. PERBANDINGAN SELISIH RATAAN DENGAN DLSD KADAR AIR

Perlakuan (kontrol)	Perlakuan (j)	$ \mu_{\text{Kontrol}} - \mu_j $	DLSD	Interpretasi	
T + 0% <i>Geopolymer</i>	T + 5% <i>Geopolymer</i>	5,637	1,141347	Signifikan	*
	T + 10% <i>Geopolymer</i>	5,946		Signifikan	*
	T + 15% <i>Geopolymer</i>	4,781		Signifikan	*
	T + 20% <i>Geopolymer</i>	5,524		Signifikan	*

Sumber: Hasil Analisis (2020)

TABEL 5. PERBANDINGAN SELISIH RATAAN DENGAN DLSD REGANGAN

Perlakuan (kontrol)	Perlakuan (j)	$ \mu_{\text{Kontrol}} - \mu_j $	DLSD	Interpretasi	
T + 0% <i>Geopolymer</i>	T + 5% <i>Geopolymer</i>	0,0176	0,015451	Signifikan	*
	T + 10% <i>Geopolymer</i>	0,0512		Signifikan	*
	T + 15% <i>Geopolymer</i>	0,0508		Signifikan	*
	T + 20% <i>Geopolymer</i>	0,048		Signifikan	*

Sumber: Hasil Analisis (2020)

TABEL 6. PERBANDINGAN SELISIH RATAAN DENGAN DLSD KUAT GESER

Perlakuan (kontrol)	Perlakuan (j)	$ \mu_{\text{Kontrol}} - \mu_j $	DLSD	Interpretasi	
T + 0% <i>Geopolymer</i>	T + 5% <i>Geopolymer</i>	0,0472	0,287456	Tidak Signifikan	tn
	T + 10% <i>Geopolymer</i>	0,3812		Signifikan	*
	T + 15% <i>Geopolymer</i>	0,4632		Signifikan	*
	T + 20% <i>Geopolymer</i>	0,1042		Tidak Signifikan	tn

Sumber: Hasil Analisis (2020)

TABEL 7. PERBANDINGAN SELISIH RATAAN DENGAN DLSD MODULUS ELASTISITAS

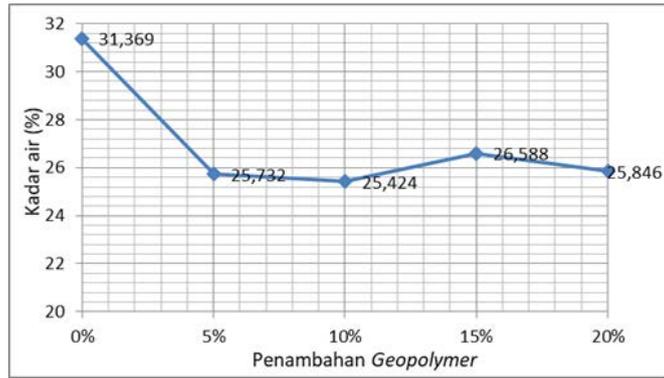
Perlakuan (kontrol)	Perlakuan (j)	$ \mu_{\text{Kontrol}} - \mu_j $	DLSD	Interpretasi	
T + 0% <i>Geopolymer</i>	T + 5% <i>Geopolymer</i>	959,496	5825,712	Tidak Signifikan	tn
	T + 10% <i>Geopolymer</i>	4435,926		Tidak Signifikan	tn
	T + 15% <i>Geopolymer</i>	8984,772		Signifikan	*
	T + 20% <i>Geopolymer</i>	2644,139		Tidak Signifikan	tn

Sumber: Hasil Analisis (2020)

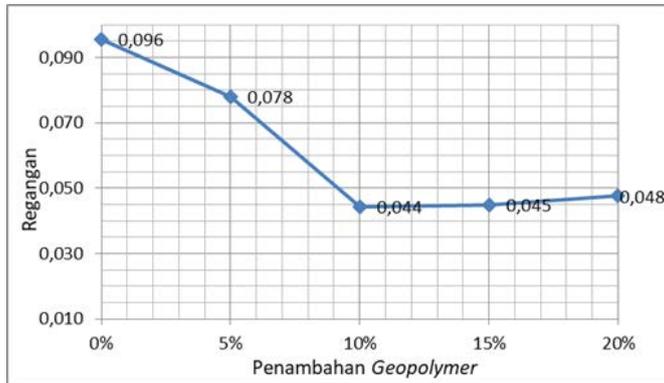
Keterangan :

\* = Berbeda nyata

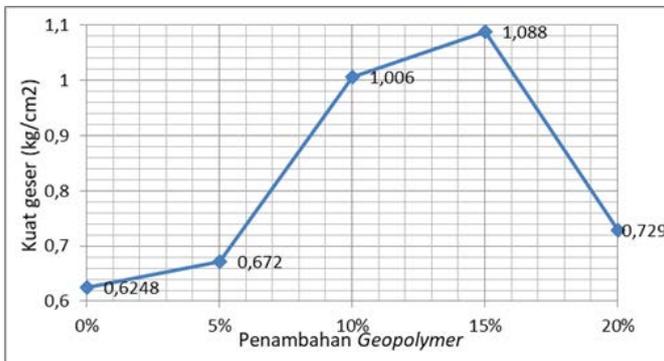
tn = tidak berbeda nyata



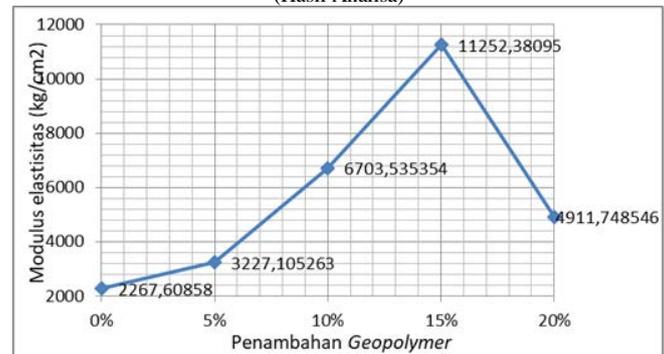
Gambar 2. Grafik Pengaruh Penambahan Geopolymer Terhadap Kadar Air (Hasil Analisa)



Gambar 3. Grafik Pengaruh Penambahan Geopolymer Terhadap Regangan (Hasil Analisa)



Gambar 4. Grafik Pengaruh Penambahan Geopolymer Terhadap Kuat Geser (Hasil Analisa)



Gambar 5. Grafik Pengaruh Penambahan Geopolymer Terhadap Modulus Elastisitas (Hasil Analisa)

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

1. Kadar air pada tanah asli 31,369%, nilai kadar air mengalami penurunan menjadi 25,846% pada tanah asli dengan penambahan Geopolymer 20%. Regangan pada tanah asli 0,096, nilai regangan juga mengalami penurunan menjadi 0,048 pada variasi penambahan Geopolymer 20%. Kuat geser pada tanah asli 0,625 kg/cm<sup>2</sup>, nilai kuat geser mengalami pertambahan menjadi 1,088 kg/cm<sup>2</sup> pada variasi penambahan Geopolymer 15%, tetapi pada variasi penambahan Geopolymer 20% nilai kuat geser mengalami penurunan menjadi 0,729 1,088 kg/cm<sup>2</sup>. Modulus elastisitas pada tanah asli 2267,609 kg/cm<sup>2</sup>, nilai modulus elastisitas mengalami pertambahan menjadi 11252,381 kg/cm<sup>2</sup> pada variasi penambahan Geopolymer 15%, tetapi pada variasi penambahan Geopolymer 20% nilai modulus elastisitas mengalami penurunan menjadi 4911,749 kg/cm<sup>2</sup>. Sistem plambing air buangan yang ada saat ini pada Gedung Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi telah sesuai dengan ketentuan dalam SNI 8153:2015, dimana diameter pipa buangan untuk air limbah (*grey water*) dan air kotor (*black water*) yang terpasang lebih besar dari diameter minimum yang ditentukan dalam SNI 8153:2015. Pipa ven terpasang saat ini untuk Unit A, Unit B dan Unit C Gedung Laboratorium memiliki diameter pipa yang sesuai dengan ketentuan dalam SNI 8153:2015. Pipa ven terpasang pada unit toilet tidak sesuai dengan ketentuan dalam SNI 8153:2015 dimana diameter tersebut lebih kecil dari diameter minimum yang ditentukan.
2. Dari data yang ditunjukkan pada hasil uji dunnet, variasi penambahan Geopolymer 5% memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kadar air dan regangan, tetapi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat geser dan modulus elastisitas. Variasi penambahan Geopolymer 10% memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kadar air, regangan dan kuat geser, tetapi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai modulus elastisitas. Variasi penambahan Geopolymer 15% memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kadar air, regangan, kuat geser, dan modulus elastisitas. Variasi penambahan Geopolymer 20% memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kadar air dan regangan, tetapi tidak

memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat geser dan modulus elastisitas.

##### B. Saran

1. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan jarak variasi yang diperkecil antara 10% - 20%, untuk melihat detail nilai maksimal dari penambahan Geopolymer
2. Dilakukan pengujian sifat fisik tanah lainnya seperti berat jenis, batas cair, dan batas plastis pada tanah dengan campuran geopolymer.
3. Dilakukan pengujian kadar air pada campuran geopolymer.
4. Bisa lakukan pencampuran dengan komposisi Geopolymer yang bervariasi, untuk mengetahui material penyusun geopolymer apa yang paling berpengaruh dalam perubahan nilai kuat geser.

#### KUTIPAN

##### Buku

- [1] Braja M. Das, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Jakarta: Erlangga, 1991.
- [2] Harry Ch. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah I – Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2002.
- [3] D. Panguriseng *Stabilitas Tanah*. Makassar: Universitas 45 Makassar, 2001.
- [4] Balai Riset dan Standardisasi Industri Manado, *Hasil Analisis Pengujian Kimia, Fisik dan Mikrobiologi*. Manado, 2014.
- [5] Abdul K. Yasin, Rido Bayuaji, Tri Eddy Susanto, *Rekayasa Beton Geopolymer Berbasis Fly Ash*. Surabaya: Institut Teknologi 10 November, 2017.
- [6] Sudaryono, *Teori Dan Aplikasi Dalam Statistik*. Yogyakarta: Andi Offset, 2014.
- [7] Sudjana, *Metode Statistika*. Bandung: Tarsito, 1996.

##### Jurnal

- [8] Reki T. Parapaga, Alva N. Sarajar, Roski R. I. Legrans, "Pengaruh Penambahan Zeolite Terhadap Kuat Geser Pada Tanah Berlempung," dalam Jurnal Sipil Statik, Vol. 6, No. 7, hal 501-509, Juli, 2018.
- [9] Ginanjar Bagus Prasetyo, S. Trinugroho, M. Solikin, "Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen," Universitas Muhammadiyah, Surakarta, 2015.

##### Standar Nasional Indonesia

- [10] SNI 2460:2014, *Spesifikasi Abu Terbang Batubara Dan Pozzolan Alam Mentah Atau Yang Telah Dikalsinasi Untuk Digunakan Dalam Beton* Jakarta: Badan Standar Nasional, 2000.