

**TUGAS AKHIR**

**KARAKTERISTIK KUAT GESER TRIAKSIAL PADA TANAH  
PASIR DENGAN STABILISASI GEOPOLIMER**

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik  
di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



**M. Afzalurrahman**

**20180110254**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

**2022**

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Afzalurrahman  
NIM : 20180110254  
Judul : Karakteristik Kuat Geser Triaksial pada Tanah Pasir  
dengan Stabilisasi Geopolimer

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak mana pun.

Yogyakarta, 11 Februari 2022

Yang membuat pernyataan



M. Afzalurrahman

## HALAMAN PERSEMBAHAN



Tugas akhir ini dikerjakan atas izin dari Allah SWT dan dipersembahkan kepada-Nya atas ilmu, karunia, kesehatan dan kemudahan yang telah diberikan sehingga dalam pengerjaan Tugas Akhir dapat terselesaikan.

Tugas akhir ini juga merupakan bentuk ucapan terima kasih kepada Bapak Azhar Caniago, S.E. dan Ibu Erni Tanjung selaku sponsor utama berlangsungnya perkuliahan ini. Kakak Fildzah Rayhana, S.E., dan Femmy Rafni, S.P. serta keluarga besar.

Kepada Ibu Dr. Willis Diana, S.T., M.T., Prof. Dr. Eng. Agus Setyo Muntohar, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.(Eng.) dan Bapak Dr. Ir. Edi Hartono, S.T., M.T. yang telah membimbing, memberi arahan dan memberikan ilmunya sehingga Tugas Akhir dapat terselesaikan. Serta Bapak/Ibu Dosen Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang telah mengajarkan ilmu yang bermanfaat.

Kepada teman-teman grup penelitian Geopolimer yang telah memberikan dukungan baik berupa tenaga dan motivasi. Serta kepada diri saya sendiri yang telah berjuang serta mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi agama, bangsa, dan negara.

## PRAKATA



*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Segala puji bagi Allah SWT yang menguasai segala sesuatu. Sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kuat geser triaksial pasir yang distabilisasi dengan geopolimer.

Selama penyusunan tugas akhir ini, banyak rintangan yang penyusun dapatkan, tetapi berkat bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih atas kerja sama dan dukungan dari berbagai pihak selama proses penelitian hingga penyusunan tugas akhir ini kepada:

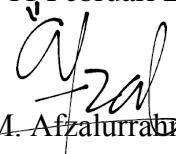
1. Bapak Puji Harsanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah,
2. Ibu Dr. Willis Diana, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir,
3. Prof. Agus Setyo Muntohar, Ph.D.(Eng). selaku Dosen Penguji Tugas Akhir,
4. Prof. Agus Setyo Muntohar, Ph.D.(Eng). dan Bapak Dr. Ir. Edi Hartono, S.T., M.T. yang telah membantu mengarahkan jalannya penelitian ini.

Akhirnya, setelah segala kemampuan dicurahkan serta diiringi dengan doa untuk menyelesaikan tugas akhir ini hanya kepada Allah SWT semua dikembalikan.

*Wallahu a'lam bi Showab.*

*Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Yogyakarta, 11 Februari 2022

  
M. Afzalurrahman

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
PRAKATA .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG .....	xv
DAFTAR SINGKATAN .....	xvi
DAFTAR ISTILAH .....	xvii
ABSTRAK .....	xviii
<i>ABSTRACT</i> .....	xix
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Lingkup Penelitian .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	4
2.1 Tinjauan Pustaka .....	4
2.2 Landasan Teori .....	7
2.2.1 Kuat Geser Tanah .....	7
2.2.2 Triaksial <i>Unconsolidated Undrained</i> .....	8
2.2.3 Triaksial <i>Consolidated Undrained</i> .....	9
2.2.4 Diagram $p - q$ dan Lintasan Tegangan .....	10
BAB III. METODE PENELITIAN .....	13
3.1 Bahan atau Materi .....	13
3.2 Alat .....	15
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian .....	17
3.4 Tahapan Penelitian .....	17
3.4.1 <i>Mix Design</i> .....	19
3.4.2 Pencetakan Benda Uji .....	19

3.4.3 Uji Triaksial .....	20
3.5 Analisis Data.....	23
<b>BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>24</b>
4.1 Hasil Pengujian.....	24
4.1.1 Pengujian Triaksial <i>Unconsolidated-Undrained</i> .....	24
4.1.2 Pengujian Triaksial <i>Consolidated-Undrained</i> .....	37
4.2 Pengaruh Penambahan Molaritas NaOH pada Campuran Geopolimer terhadap Nilai Parameter Kuat Geser Pasir.....	42
4.3 Pengaruh Penambahan Rasio Larutan Alkali Aktivator pada Campuran Geopolimer terhadap Nilai Parameter Kuat Geser Pasir.....	45
4.4 Pengaruh Lama Pemeraman pada Penambahan Geopolimer dengan Molaritas yang Sama Terhadap Parameter Kuat Geser Pasir .....	47
4.5 Pengaruh Geopolimer Terhadap Kuat Geser Pasir.....	51
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>54</b>
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran .....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xix</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>56</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data pengujian sifat fisik dan mekanis tanah serta standar pengujian..	14
Tabel 3.2 Variasi kadar benda uji .....	19
Tabel 4.1 Tegangan benda uji konsentrasi molaritas NaOH 12M.....	28
Tabel 4.2 Tegangan benda uji konsentrasi molaritas NaOH 14M.....	29
Tabel 4.3 Persentase perubahan nilai tegangan dalam umur pemeraman.....	30
Tabel 4.4 Parameter tekanan air pori.....	41

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kriteria kegagalan Mohr-Coulomb (Muntohar, 2009).....	8
Gambar 2.2 Selubung keruntuhan pada Lingkaran Mohr tegangan total hasil uji triaksial kondisi <i>UU</i> (Muntohar, 2009).....	9
Gambar 2.3 Selubung keruntuhan tegangan total dan tegangan efektif pada uji triaksial <i>CU</i> (Muntohar, 2009).....	10
Gambar 2.4 Selubung keruntuhan tegangan total dan tegangan efektif pada uji triaksial <i>CU</i> (Muntohar, 2009).....	11
Gambar 2.5 Lingkaran Mohr pada kurva $p - q$ (Muntohar, 2009) .....	11
Gambar 2.6 Tipikal lintasan tegangan uji triaksial : (a) kondisi terkonsolidasi-tak terdrainase untuk tanah lempung terkonsolidasi normal; (b) kondisi terkonsolidasi-tak terdrainase untuk tanah lempung terkonsolidasi berlebih; (c) terkonsolidasi-terdrainase (Muntohar, 2009) .....	12
Gambar 3.1 Lokasi pengambilan sampel tanah ( <i>Google earth</i> , 2021) .....	13
Gambar 3.2 Tanah Pasir .....	13
Gambar 3.3 Bahan alkali aktivator : (a) Sodium silikat dan (b) Natrium hidroksida .....	14
Gambar 3.4 <i>Fly ash</i> atau abu terbang tipe F .....	15
Gambar 3.5 Bagian cetakan : (a) Tampak atas cetakan, (b) Tampak samping cetakan, (c) Tabung cetakan, (d) Penekan, (e) Pelat ganjal .....	16
Gambar 3.6 <i>Digital triaxial test machine</i> .....	17
Gambar 3.7 Diagram alir penelitian.....	18
Gambar 3.8 Pemeraman benda uji .....	20
Gambar 3.9 Benda uji terpasang pada alat.....	21
Gambar 3.10 Benda uji setelah pengujian.....	21
Gambar 3.11 Benda uji setelah pengujian.....	22
Gambar 4.1 Grafik hubungan tegangan-regangan NaOH 12M umur 7 hari dengan rasio LAA : (a) 1 dan (b) 1,5.....	24
Gambar 4.2 Grafik hubungan tegangan-regangan NaOH 12M umur 7 hari dengan rasio LAA : (a) 2 dan (b) 2,5.....	25
Gambar 4.3 Grafik hubungan tegangan-regangan NaOH 12M umur 14 hari dengan rasio LAA : (a) 1 dan (b) 1,5 .....	25
Gambar 4.4 Grafik hubungan tegangan-regangan NaOH 12M umur 14 hari dengan rasio LAA : (a) 2 dan (b) 2,5 .....	26
Gambar 4.5 Grafik hubungan tegangan-regangan NaOH 14M umur 7 hari dengan rasio LAA : (a) 1 dan (b) 1,5.....	26
Gambar 4.6 Grafik hubungan tegangan-regangan NaOH 14M umur 7 hari dengan rasio LAA : (a) 2 dan (b) 2,5.....	27
Gambar 4.7 Grafik hubungan tegangan-regangan NaOH 14M umur 14 hari dengan rasio LAA : (a) 1 dan (b) 1,5 .....	27
Gambar 4.8 Grafik hubungan tegangan-regangan NaOH 14M umur 14 hari dengan rasio LAA : (a) 2 dan (b) 2,5 .....	28



Gambar 4.9 Perubahan nilai tegangan deviatorik maksimum pada benda uji dengan konsentrasi NaOH 12M .....	30
Gambar 4.10 Perubahan nilai tegangan deviatorik maksimum pada benda uji dengan konsentrasi NaOH 14M .....	30
Gambar 4.11 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 12M, LAA 1, umur 7 hari .....	31
Gambar 4.12 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 12M, LAA 1,5, umur 7 hari.....	31
Gambar 4.13 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 12M, LAA 2, umur 7 hari .....	32
Gambar 4.14 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 12M, LAA 2,5, umur 7 hari.....	32
Gambar 4.15 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 12M, LAA 1, umur 14 hari.....	32
Gambar 4.16 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 12M, LAA 1,5, umur 14 hari.....	33
Gambar 4.17 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 12M, LAA 2, umur 14 hari.....	33
Gambar 4.18 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 12M, LAA 2,5, umur 14 hari.....	33
Gambar 4.19 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 14M, LAA 1, umur 7 hari .....	34
Gambar 4.20 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 14M, LAA 1,5, umur 7 hari.....	34
Gambar 4.21 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 14M, LAA 2, umur 7 hari .....	34
Gambar 4.22 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 14M, LAA 2,5, umur 7 hari.....	35
Gambar 4.23 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 14M, LAA 1, umur 14 hari.....	35
Gambar 4.24 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 14M, LAA 1,5, umur 14 hari.....	35
Gambar 4.25 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 14M, LAA 2, umur 14 hari.....	36
Gambar 4.26 Lingkaran Mohr benda uji dengan NaOH 14M, LAA 2,5, umur 14 hari.....	36
Gambar 4.27 Selubung keruntuhan sampel NaOH 12M dan 14M pada uji triaksial UU .....	37
Gambar 4.28 Grafik hubungan tegangan dan regangan pada sampel CU-12M, P1, 3D.....	38
Gambar 4.29 Grafik hubungan tegangan dan regangan pada sampel CU-12M, P1, 7D.....	39
Gambar 4.30 Lingkaran Mohr sampel CU-12M, P1, 3D.....	39
Gambar 4.31 Lingkaran Mohr sampel CU-12M, P1, 7D.....	40
Gambar 4.32 Lintasan tegangan sampel CU-12M, P1, 3D.....	40

Gambar 4.33 Lintasan tegangan sampel CU-12M, P1, 7D.....	40
Gambar 4.34 Selubung modifikasi pengujian triaksial CU .....	41
Gambar 4.35 Nilai kohesi dengan variasi molaritas NaOH dan rasio alkali aktivator pada sampel umur 7 hari .....	42
Gambar 4.36 Nilai sudut gesek internal dengan variasi molaritas NaOH dan rasio alkali aktivator pada sampel umur 7 hari .....	43
Gambar 4.37 Nilai kohesi dengan variasi molaritas NaOH pada sampel umur 14 hari.....	44
Gambar 4.38 Nilai sudut gesek internal dengan variasi molaritas NaOH pada sampel umur 14 hari.....	44
Gambar 4.39 Nilai kohesi dengan variasi rasio alkali aktivator pada molaritas NaOH 12M.....	45
Gambar 4.40 Nilai kohesi dengan variasi rasio alkali aktivator pada molaritas NaOH 12M.....	46
Gambar 4.41 Nilai kohesi dengan variasi rasio alkali aktivator pada molaritas NaOH 14M.....	47
Gambar 4.42 Nilai kohesi dengan variasi rasio alkali aktivator pada molaritas NaOH 12M.....	47
Gambar 4.43 Nilai kohesi dengan variasi umur pada molaritas NaOH 12M .....	48
Gambar 4.44 Nilai sudut gesek internal dengan variasi umur pada molaritas NaOH 12M.....	48
Gambar 4.45 Nilai kohesi dengan variasi umur pada molaritas NaOH 14M .....	49
Gambar 4.46 Nilai sudut gesek internal dengan variasi umur pada molaritas NaOH 14M.....	50
Gambar 4.47 Nilai kohesi pasir pada pengujian triaksial <i>CU</i> .....	51
Gambar 4.48 Nilai kohesi pasir pada pengujian triaksial <i>CU</i> .....	51
Gambar 4.49 Kuat geser pasir pada molaritas NaOH 12M .....	52
Gambar 4.50 Kuat geser pasir pada molaritas NaOH 14M .....	52
Gambar 4.51 Kuat geser pasir pada pengujian triaksial <i>CU</i> .....	53

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. DATA SIFAT FISIK PASIR .....	56
LAMPIRAN 2. <i>MIX DESIGN</i> .....	61
LAMPIRAN 3. UJI TRIAKSIAL <i>UNCONSOLIDATED-UNDRAINED</i> .....	65
LAMPIRAN 4. UJI TRIAKSIAL <i>CONSOLIDATED-UNDRAINED</i> .....	81

## DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

Simbol	Dimensi	Keterangan
A	[L <sup>2</sup> ]	Luas alas
c	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]	Kohesi
c'	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]	Kohesi efektif
DR	[%]	Kepadatan relatif
e <sub>min</sub>	[-]	Angka pori minimum
e <sub>max</sub>	[-]	Angka pori maksimum
G <sub>s</sub>	[-]	Berat jenis
L	[L]	Tinggi benda uji
ΔL	[L]	Perubahan tinggi benda uji
$\bar{A}$	[-]	Parameter tekanan air pori
τ	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]	Kuat geser tanah
σ <sub>1</sub>	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]	Tegangan aksial
σ <sub>1</sub> '	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]	Tegangan aksial efektif
σ <sub>3</sub>	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]	Tegangan sel
σ <sub>3</sub> '	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]	Tegangan sel efektif
u <sub>d</sub>	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]	Tekanan air pori
φ	[°]	Sudut gesek internal
φ	[°]	Sudut gesek internal efektif

## DAFTAR SINGKATAN

UU	: <i>Unconsolidated Undrained</i>
CU	: <i>Consolidated Undrained</i>
LAA	: Larutan alkali aktivator
DR	: <i>Relative Density</i>

## DAFTAR ISTILAH

1. *Triaxial Unconsolidated Undrained*  
Pengujian untuk mengetahui nilai parameter kuat geser tanah. Dilakukan dengan memberikan tekanan sel disekeliling benda uji. Tegangan deviatorik diberikan melalui bagian atas benda uji. Tidak diperkenankan terjadinya drainase air pori. Parameter kuat geser dalam bentuk kohesi dan sudut gesek internal dalam tegangan total.
2. *Triaxial Consolidated Undrained*  
Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai parameter kuat geser tanah. Benda uji dikonsolidasi dengan memberikan tekanan sel, pada proses ini air pori diperbolehkan terdrainase hingga proses konsolidasi selesai. Tekanan air pori dapat diukur pada pengujian ini. Parameter kuat geser dalam bentuk kohesi dan sudut gesek internal dalam tegangan efektif.
3. Geopolimer  
Geopolimer adalah bahan-bahan non alam dengan kandungan silika dan alumina yang mengalami polimerisasi.
4. Geopolimerisasi  
Geopolimerisasi adalah proses kompleks dari reaksi kimia dari suatu senyawa. Geopolimer yang berbentuk gel dihasilkan melalui reaksi antara material silika alumina.
5. Polimerisasi  
Polimerisasi adalah proses kimia berupa reaksi pengikatan molokul sederhana yang identik (monomer) menjadi rantai polimer.
6. Polimer  
Polimer adalah makromolekul yang terbentuk dari susunan molekul sederhana yang berulang
7. Disolusi  
Disolusi adalah proses pemutusan rantai kimia suatu senyawa.