TUGAS AKHIR

PENGARUH ZAT ADITIF ASAM DAN WATERGLASS TERHADAP KUAT GESER PASIR DENGAN PENGUJIAN GESER LANGSUNG

Disusun dan diajukan oleh:

NUSHRAH NUGRAHA
D011 20 1117

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH ZAT ADITIF ASAM DAN WATERGLASS TERHADAP KUAT GESER PASIR DENGAN PENGUJIAN GESER LANGSUNG

Disusun dan diajukan oleh

NUSHRAH NUGRAHA
D011 20 1117

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 23 Oktober 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Ketua Program Studi,	Menyetujui, Pembimbing Utama,
Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng	Prof. Dr. Ir. Abdul Rachman Djamaluddin, MT.
NIP. 196805292002121002	NIP. 19591010198703

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Nushrah Nugraha
NIM : D011201117
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Pengaruh Zat Aditif Asam dan Waterglass terhadap Kuat Geser Pasir dengan Pengujian Geser Langsung}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 25 September 2024

Yang Menyatakan

Nushrah Nugraha

ABSTRAK

NUSHRAH NUGRAHA. *Pengaruh Zat Aditif Asam dan Waterglass terhadap Kuat Geser Pasir dengan Pengujian Geser Langsung* (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Abdul Rachman Djamaluddin, MT.)

Pasir merupakan jenis tanah non kohesif yang tidak mempunyai sifat tarik-menarik antar butiran, sehingga antar butirannya menjadi lepas. Karena tanah pasir ini tidak memiliki sifat tarik-menarik antar butirannya, tanah jenis memiliki daya dukung yang rendah, serta lebih dipengaruhi oleh kepadatan tanah. Parameter yang sangat berpengaruh pada daya dukung tanah pasir seperti kepadatan, kadar air, dan karakteristik butiran pasir itu sendiri. Dalam meningkatkan daya dukung tanah itu sendiri, dibutuhkan upaya perbaikan dan perkuatan tanah dengan tujuan untuk meningkatakna kualitas karakterisktik tanah, utamanya parameter kuat geser tanah sehingga mampu menahan beban tanah atau struktur dengan deformasi yang diizinkan. Untuk meningkatkan parameter kuat geser tanah pasir, diberikan penambahan zat aditif berupa *waterglass* dan asam sulfat dengan metode grouting. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter fisis dan mekanis tanah pasir yang digunakan, serta menyelidiki daya dukung tanah pasir dengan mengukur parameter kohesi dan sudut geser dalam tanah pada pengujian geser langsung. Selain itu, penelitian ini untuk melihat perbandingan nilai yang dihasilkan dari pengujian geser langsung standard. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Bahan *grouting* yang digunakan terbagi dalam dua wadah campuran yang berbeda. Wadah pertama berisi air dan waterglass dengan perbandingan 2:3, sedangkan wadah kedua berisi air dan asam sulfat dengan perbandingan 2,25:47,75. Reaksi yang ditimbulkan oleh kedua campuran ini menghasilkan material berbentuk *jelly* yang padat. Hal inilah yang diharapkan akan meningkatkan parameter kuat geser tanah pasir. Sampel tanah pasir dimasukkan ke dalam wadah khusus yang dapat menampung kapasitas tekanan alat grouting. Setelah itu, *grouting* dilakukan hingga cairan *grouting* keluar pada sela-sela wadah. Hal ini menandakan bahwa cairan *grouting* telah memenuhi dan menyelimuti tanah pasir. Sampel yang telah di-*grouting* akan dicetak dan siap untuk diuji dengan metode geser langsung. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa dengan menggunakan metode *grouting* pada tanah pasir dapat meningkatkan nilai kohesi tanah pasir. Dimana nilai kohesi pada kondisi *Unsaturated* mengalami peningkatan sebesar 79,63% dan pada kondisi *Saturated* sebesar 210,53% dibanding tanah pasir dalam kondisi tanpa stabilisasi.

Kata Kunci: Geser Langsung, *Grouting*, Pasir

ABSTRACT

NUSHRAH NUGRAHA. *The Effect of Additive Acid and Waterglass on the Shear Strength of Sand With Direct Shear Test* (supervised by Prof. Dr. Ir. Abdul Rachman Djamaluddin, MT.)

Sand is a non-cohesive soil that does not have attractive properties between grains, so that the grains become loose. Because this sandy soil does not have cohesive properties between grains, this type of soil has a low bearing capacity, and is more influenced by soil density. Parameters that greatly affect the bearing capacity of sandy soil such as density, water content, and the characteristics of the sand grains themselves. In increasing the bearing capacity of the soil itself, stabilization are needed to improve and strengthen the soil with the aim of increasing the quality of soil characteristics, especially the soil shear strength parameters so that it can withstand soil loads or structures with permissible deformations. To increase the shear strength parameters of sandy soil, additives in the form of waterglass and hydrochloric acid are added using the grouting method. This study aims to determine the physical and mechanical parameters of the sandy soil used, as well as to investigate the bearing capacity of sandy soil by measuring the cohesion parameters and friction angles in the soil in direct shear tests. In addition, this study is to see the comparison of the values resulting from standard direct shear tests. This research was conducted at the Soil Mechanics Laboratory, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. The grouting materials used are divided into two different mixture containers. The first container contains water and waterglass with a ratio of 2:3, while the second container contains water and hydrochloric acid with a ratio of 2,25:47,75. The reaction caused by these two mixtures produces a solid jelly-like material. This is what is expected to increase the shear strength parameters of sandy soil. The sandy soil sample is inserted into a special container that can accommodate the pressure capacity of the grouting tool. After that, grouting is carried out until the grouting liquid comes out between the containers. This indicates that the grouting liquid has filled and covered the sandy soil. The grouted sample will be molded and ready to be tested using the direct shear method. Based on the results of the study, it was found that using the grouting method on sandy soil can increase the cohesion value of sandy soil. Where the cohesion value in Unsaturated conditions increased by 79.63% and in Saturated conditions by 210.53% compared to sandy soil in conditions without stabilization.

Keywords: Direct Shear, Grouting, Sand

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI i
PERNYATAAN KEASLIAN ii
ABSTRAK iii
ABSTRACT iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR GAMBAR vii
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR LAMPIRAN x
KATA PENGANTAR xi
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Ruang Lingkup 3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Definisi Tanah Pasir 4
2.2 Klasifikasi Tanah 5
2.2.1 Klasifikasi Berdasarkan Tekstur 5
2.2.2 Klasifikasi Berdasarkan AASHTO 7
2.2.3 Klasifikasi Berdasarkan USCS 11
2.3 Stabilisasi Tanah 14
2.4 *Grouting* 15
2.5 *Waterglass* (Sodium Silikat) 16
2.5.1 Reaksi 17
2.5.2 Proses 17
2.6 Asam Sulfat 19
2.7 Kuat Geser Langsung 20
2.8 Penelitian Terdahulu 21
BAB 3 METODE PENELITIAN 25
3.1 Lokasi Penelitian 25
3.2 Metode Pengumpulan Data 25
3.3 Kerangka Alir Penelitian 26
3.4 Material 28
3.4.1 Tanah Pasir 28
3.4.2 Material Grouting 28
3.5 Peralatan Laboratorium 29
3.6 Peralatan Lapangan 30
3.7 Standar Pengujian 31
3.8 Pengujian Karakteristik Tanah 31
3.9 Prosedur Pengujian Sampel 32
3.9.1 Uji Sifat Fisis 32
3.9.2 Uji Sifat Mekanis 33
3.10 Proses Pembuatan Bahan *Grouting* 35

3.11 Proses Pembuatan Benda Uji Geser Langsung 35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 37
4.1 Karakteristik Sifat Fisis Tanah..... 37
4.2 Karakteristik Sifat Mekanis Tanah..... 39
4.2.1 Kompaksi (Standard Proctor Test) 40
4.2.2 Geser Langsung (*Direct Shear Test*) 40
4.2.3 Properties Tanah Asli Selama Pengujian Geser Langsung 45
4.3 Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Pasir Setelah Grouting 49
4.3.1 Properties Tanah Setelah *Grouting* Selama Pengujian Geser Langsung 54
4.4 Perbandingan Nilai Terhadap Tanah Asli dengan Tanah Setelah *Grouting* 57
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 63
5.1 Kesimpulan 63
5.2 Saran..... 65
DAFTAR PUSTAKA 66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Klasifikasi USDA 7
Gambar 2 Kisaran nilai batas cair dan indeks plastisitas dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7 10
Gambar 3 Grafik plastisitas 13
Gambar 4 Diagram susunan sampel uji geser langsung 20
Gambar 5 Lokasi pengambilan dan pembuatan sampel penelitian 25
Gambar 6 Bagan alir penelitian 27
Gambar 7 Tanah pasir lepas yang digunakan 28
Gambar 8 Material yang digunakan (a) waterglass, (b) asam sulfat 29
Gambar 9 Bagan alir pembuatan benda uji 36
Gambar 10 Sampel yang telah di-*grouting* 36
Gambar 11 Grafik distribusi ukuran material sampel 38
Gambar 12 Grafik hasil pengujian kompaksi 40
Gambar 13 Hubungan tegangan geser dan tegangan normal pada tanah asli 1 kondisi *Unsaturated* 42
Gambar 14 Grafik deformasi pada pengujian geser langsung tanah asli 1 kondisi *Unsaturated* 42
Gambar 15 Hubungan tegangan geser dan tegangan normal pada tanah asli 2 kondisi *Unsaturated* 43
Gambar 16 Grafik deformasi pada pengujian geser langsung tanah asli 2 kondisi *Unsaturated* 43
Gambar 17 Hubungan tegangan geser dan tegangan normal pada tanah asli kondisi *Saturated* 44
Gambar 18 Grafik deformasi pada pengujian geser langsung tanah asli kondisi *Saturated* 44
Gambar 19 Grafik perbandingan hasil geser langsung kondisi *Unsaturated* dan *Saturated* 45
Gambar 20 Grafik perbandingan nilai angka pori sebelum uji dan waktu uji geser langsung pada tanah asli 46
Gambar 21 Grafik perbandingan nilai kadar air sebelum uji dan waktu uji geser langsung pada tanah asli 46
Gambar 22 Grafik perbandingan nilai porositas sebelum uji dan waktu uji geser langsung pada tanah asli 47
Gambar 23 Grafik perbandingan nilai derajat kejenuhan sebelum uji dan waktu uji geser langsung pada tanah asli 47
Gambar 24 Grafik perbandingan nilai berat isi basah sebelum uji dan waktu uji geser langsung pada tanah asli 48
Gambar 25 Grafik perbandingan nilai berat isi kering sebelum uji dan waktu uji geser langsung pada tanah asli 48
Gambar 26 Hubungan tegangan geser dan tegangan normal pada tanah setelah *grouting* 1 kondisi *Unsaturated* 50
Gambar 27 Grafik deformasi pada pengujian geser langsung tanah setelah *grouting* 1 kondisi *Unsaturated* 50
Gambar 28 Hubungan tegangan geser dan tegangan normal pada tanah setelah *grouting* 2 kondisi *Unsaturated* 51

Gambar 29 Grafik deformasi pada pengujian geser langsung tanah setelah *grouting* 2 kondisi *Unsaturated* 51
Gambar 30 Hubungan tegangan geser dan tegangan normal pada tanah setelah *grouting* 3 kondisi *Unsaturated* 52
Gambar 31 Grafik deformasi pada pengujian geser langsung tanah setelah *grouting* 3 kondisi *Unsaturated* 52
Gambar 32 Hubungan tegangan geser dan tegangan normal pada tanah setelah *grouting* 1 kondisi *Saturated*..... 53
Gambar 33 Grafik deformasi pada pengujian geser langsung tanah setelah *grouting* 1 kondisi *Saturated*..... 53
Gambar 34 Grafik perbandingan nilai angka pori sebelum uji dan waktu uji geser langsung pada tanah setelah *grouting*..... 54
Gambar 35 Grafik perbandingan nilai kadar air sebelum uji dan waktu uji geser langsung pada tanah setelah *grouting* 55
Gambar 36 Grafik perbandingan nilai porositas sebelum uji dan waktu uji geser langsung pada tanah setelah *grouting* 55
Gambar 37 Grafik perbandingan nilai derajat kejenuhan sebelum uji dan waktu uji geser langsung pada tanah setelah *grouting*..... 56
Gambar 38 Grafik perbandingan nilai berat isi basah sebelum uji dan waktu uji geser langsung pada tanah setelah *grouting*..... 56
Gambar 39 Grafik perbandingan nilai berat isi kering sebelum uji dan waktu uji geser langsung pada tanah setelah *grouting*..... 57
Gambar 40 Grafik perbandingan nilai kuat geser pada tanah asli dan tanah setelah *grouting* pada kondisi *Unsaturated* dan *Saturated*\ 58
Gambar 41 Grafik perbandingan nilai angka pori pada tanah asli dan tanah setelah *grouting* pada kondisi *Unsaturated* dan *Saturated* 60
Gambar 42 Grafik perbandingan nilai kadar air pada tanah asli dan tanah setelah *grouting* pada kondisi *Unsaturated* dan *Saturated* 60
Gambar 43 Grafik perbandingan nilai porositas pada tanah asli dan tanah setelah *grouting* pada kondisi *Unsaturated* dan *Saturated* 61
Gambar 44 Grafik perbandingan nilai derajat kejenuhan pada tanah asli dan tanah setelah *grouting* pada kondisi *Unsaturated* dan *Saturated*..... 61
Gambar 45 Grafik perbandingan nilai berat isi basah pada tanah asli dan tanah setelah *grouting* pada kondisi *Unsaturated* dan *Saturated* 62
Gambar 46 Grafik perbandingan nilai berat isi kering pada tanah asli dan tanah setelah *grouting* pada kondisi *Unsaturated* dan *Saturated* 62

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Klasifikasi ukuran partikel 5
Tabel 2 Persentase butiran halus jenis tanah berdasarkan USCS 6
Tabel 3 Klasifikasi material subgrade jalan 8
Tabel 4 *Unified Soil Classification System* (USCS) (Berdasarkan material yang lolos saringan 76.2 mm) 12
Tabel 5 Urutan material utama *grouting* 18
Tabel 6 Urutan material *grouting* kimia berdasarkan pengaplikasian 18
Tabel 7 Faktor viskositas konsentrasi sodium silikat 19
Tabel 8 Penelitian terdahulu terkait topik penelitian 21
Tabel 9 Alat-alat yang digunakan untuk pengujian sifat fisis tanah 29
Tabel 10 Alat-alat yang digunakan untuk pengujian sifat mekanis tanah 30
Tabel 11 Standard pengujian sifat fisis tanah 31
Tabel 12 Standard pengujian sifat mekanis tanah 31
Tabel 13 Jenis pengujian dan jumlah benda uji yang akan diuji 32
Tabel 14 Komposisi bahan *grouting* 35
Tabel 15 Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik tanah pasir 37
Tabel 16 Rekapitulasi hasil analisa saringan 38
Tabel 17 Rekapitulasi hasil pengujian geser langsung tanah asli 41
Tabel 18 Rekapitulasi hasil pengujian geser langsung tanah setelah *grouting* 49
Tabel 19 Rekapitulasi perbandingan pengujian geser langsung tanah asli dan setelah *grouting* 57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengujian fisis tanah asli 68
Lampiran 2 Pengujian mekanis tanah asli..... 70
Lampiran 3 Properties tanah asli saat uji geser langsung 77
Lampiran 4 Properties tanah setelah *grouting* saat uji geser langsung 87
Lampiran 5 Dokumentasi selama penelitian..... 89

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, atas segala kebaikan dan karunia-Nya kepada setiap insan intelektual, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebaik-baiknya suri tauladan. Penyusunan tugas akhir yang berjudul "**PENGARUH ZAT ADITIF ASAM DAN WATERGLASS TERHADAP KUAT GESER PASIR DENGAN PENGUJIAN GESER LANGSUNG**" merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak hanya dari penulis sendiri melainkan berkat ilmu, arahan, bimbingan serta bantuan dari berbagi pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT., IPM., ASEAN.Eng.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Prof. Dr. Ir. Abd Rahman Djamaluddin, MT.** selaku dosen pembimbing dan kepala laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta kesabarannya dalam menghadapi kualitas keilmuan penulis dari awal penelitian hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan, kesehatan serta kemudahan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
4. Bapak **Prof. Dr. Eng. Tri Harianto, S.T., M.T.** selaku Kepala Laboratorium Riset Geoteknik Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
5. Seluruh bapak/ibu dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mengajar dan membimbing kami selama masa perkuliahan.

6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. **Bapak Irwan** dan **Bapak Hairullah** selaku mahasiswa S3 yang telah membantu dan memfasilitasi selama penelitian dan ajarannya dalam menyelesaikan tugas ini.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Asriadi Mahmud** dan ibunda **St. Rasyidah** atas semua kasih sayang yang begitu tulus, doa yang tiada henti, ajaran dan bimbingan hidupnya serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis dari ditiupnya ruh penulis hingga saat ini.
2. Saudara-saudari kandung penulis **Nurul Fakhri**, **Marini Hanafathin**, **Muthiah Afifah**, dan **Fahmi Prayata** yang telah menjadi teman bertumbuh, bermain, dan berdiskusi dari kecil hingga saat ini.
3. Teman-teman **asisten Laboratorium Mekanika Tanah. Kelvin Kala Sanderan, Andi Alifia Ramadhanti, Melda Batara, dan Aisa** yang senantiasa menjadi teman diskusi serta belajar bersama dari tahun 2022 hingga saat ini.
4. Rekan-rekan **Laboratorium Mekanika Tanah** yang senantiasa membantu dan jadi teman berdiskusi selama proses perkuliahan dan penelitian, serta memberikan semangat dan dorongan dalam menyelesaikan tugas akhir.
5. Rekan-rekan **se”penelitian” Kak Nanda Zhafira Arvis, M. Afif Dzulfaqar Idris, dan Kelvin Kala Sanderan** yang selalu membantu pengujian dan serta diskusi selama penelitian berlangsung hingga selesai.
6. Para sobat **Adu Nazib** terkhusus **Alif Gamayo Putrasela** yang senantiasa menjadi teman cerita penulis dikala sedih maupun senangnya. Penulis mengucap banyak terima kasih karena mempunyai tempat bercerita.
7. Teman-teman **VEPOINCE** yang masih solid menjalin silaturahmi dari Sekolah Menengah Atas hingga saat ini.
8. Saudara-saudari **ENTITAS 2021**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2020

yang senantiasa memberikan warna serta pengalaman yang sangat berharga selama masa perkuliahan.

9. Rekan-rekan **kerja ADHI-ABIPRAYA, KSO.** pada proyek Pembangunan Jaringan Perpipaan Air Limbah 2 Kawasan Inti Pemerintahan Ibu Kota Nusantara (KIPP IKN) yang memberi ilmu dan pengalaman kerja baru selama magang dan meneliti.
10. Serta semua insan yang pernah singgah, mencintai dan berinteraksi dengan penulis. Penulis mengucap banyak terima kasih karena telah mewarnai jalan hidup dan jalan berpikir, sehingga penulis dapat menjadi manusia yang lebih baik dari hari kemarin.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan, dan dukungan hingga terselesainya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhirnya semoga Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan kebaikan dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Makassar, September 2024

Nushrah Nugraha

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pasir umumnya dapat ditemui di mana saja, baik itu di lokasi *existing* maupun sebagai material konstruksi. Pasir umumnya digunakan dalam berbagai pengaplikasian konstruksi, seperti fondasi bangunan, jalan raya, bendungan, atau terowongan. Pasir merupakan jenis tanah non kohesif yang tidak mempunyai sifat tarik menarik antar butiran, sehingga antar butirannya menjadi lepas. Karena tanah pasir ini tidak memiliki sifat tarik-menarik antar butirannya, tanah jenis ini memiliki daya dukung yang rendah, serta lebih dipengaruhi oleh kepadatan tanah.

Untuk mengetahui daya dukung suatu tanah, diperlukan investigasi dan analisis tanah untuk memperoleh parameter-parameter yang dibutuhkan. Sifat mekanik pasir, terutama kuat gesernya sangat penting diketahui untuk memastikan stabilitas dan keamanan struktur yang didirikan di atasnya. Kuat geser pasir dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kepadatan, kadar air, dan karakteristik butiran pasir itu sendiri.

Dalam meningkatkan daya dukung tanah itu sendiri, dibutuhkan upaya perbaikan dan perkuatan tanah dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas karakteristik tanah, utamanya parameter kuat geser tanah sehingga mampu menahan beban tanah atau struktur dengan deformasi yang diizinkan (Fauziek dan Suhendra 2018). Metode perkuatan tanah memiliki banyak opsi, seperti penggunaan geosintetik, pencampuran tanah dengan zat aditif, perkuatan dengan injeksi, penggunaan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) untuk mempercepat konsolidasi tanah, dan masih banyak lagi.

Salah satu upaya peningkatan kuat geser pasir adalah penambahan zat aditif. Zat aditif dapat mengubah sifat fisik dan kimia pasir sehingga meningkatkan interaksi antar butiran dan mengurangi deformasi. Hal ini tentunya dapat meningkatkan kohesi dan sudut geser dalam pasir. Metode penambahan zat aditif ini dapat dipadukan dengan metode injeksi/*grouting*.

Metode *grouting* dapat dilakukan untuk memperbaiki kondisi tanah yang berpotensi likuifaksi, *grouting* mampu mengubah tanah jenis kepasiran sifat lepas

menjadi padat. Metode-metode stabilisasi tanah pasir telah banyak dilakukan seperti penambahan pasir dan kapur (Widorini, dkk., 2020 dan Wulansari C S., dkk., 2022), penambahan pasir dan semen (Widodo T, Ekowati R,. 2014). Tetapi penggunaan asam dan waterglass masih minim. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba menjelaskan karakteristik tanah pasir yang diberi tambaham zat aditif asam dan waterglass, serta parameter-parameter yang diperlukan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan asam dan waterglass. Harapan dari peneliti bahwa zat aditif tersebut dapat mempengaruhi parameter sudut geser tanah. Untuk mengetahui lebih lanjut dilakukan penelitian dengan judul "**PENGARUH ZAT ADITIF ASAM DAN WATERGLASS TERHADAP KUAT GESER PASIR DENGAN PENGUJIAN GESER LANGSUNG**".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, perumusan masalah dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik fisis dan mekanis pasir yang digunakan pada penelitian?
2. Bagaimana pengaruh campuran asam dan *waterglass* terhadap nilai *properties* pasir pada uji geser standard?
3. Bagaimana pengaruh campuran asam dan *waterglass* terhadap nilai mekanis pasir pada uji geser standard?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada latar belakang di atas, tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik pasir yang digunakan pada penelitian.
2. Mengetahui nilai mekanis uji geser standard pasir terhadap campuran asam dan *waterglass*.
3. Mengetahui nilai properties pasir selama uji geser standard terhadap campuran asam dan *waterglass*.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi tentang pengaruh penambahan campuran asam dan waterglass terhadap nilai mekanis uji geser standard pada pasir.
2. Memberikan informasi tentang pengaruh penambahan campuran asam dan waterglass terhadap nilai properties pada pasir selama uji geser standard.

1.5 Ruang Lingkup

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan lebih terarah, diperlkan batasan dalam penulisan laporan akhir ini. Adapun ruang lingkup yang dijadikan batasan dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium.
2. Material tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir.
3. Bahan stabilisasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah asam sulfat dan *waterglass*.
4. Penelitian ini hanya meneliti sifat fisis dan mekanis, tidak meneliti unsur kimia dari tanah dan bahan stabilisasi yang digunakan.
5. Penelitian ini menguji sifat-sifat fisis dan mekanis pasir.
6. Sifat fisis dan mekanis yang diteliti adalah:
    a. Pengujian berat jenis.
    b. Pengujian kadar air.
    c. Pengujian analisa saringan.
    d. Pengujian pemadatan standard (kompaksi standard).
    e. Pengujian uji geser langsung standard.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Tanah Pasir

Tanah dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu kohesif dan tidak kohesif. Pada tanah yang tidak memiliki kohesi, seperti pasir bersih, partikel-partikel berinteraksi terutama melalui gesekan geser dan saling mengunci. Sedangkan untuk tanah kohesif, seperti tanah liat, juga rentan terhadap perubahan gaya antarpartikel lain yang tampak membuatnya saling menempel. Tanah kohesif terdiri dari lempung dan lanau berperilaku sangat berbeda dibandingkan dengan tanah non kohesif, yang terdiri dari lanau nonplastik, pasir, dan kerikil. Sebagian besar metode analisis dan desain dalam rekayasa geoteknik, termasuk desain pondasi berlaku hanya pada tanah kohesif dan non kohsesif (Coduto dkk. 2016)

Menurut James K. Mitchell dan Konichi Soga (2005), pasir diilustrasikan dengan ukuran partikel yang sangat besar yang dapat ditemukan dalam suatu tanah, dimana ukuran-ukuran yang berbeda ditampilkan dengan skala yang sama. Urutan besarnya perbedaan ukuran partikel yang ditemukan pada suatu tanah dapat diketahui dari representasi yang dibandingan dengan kurva distribusi ukuran atau grafasi tanah, dimana diameter partikel ditunjukkan dalam skala logaritmik. Asal mula tanah yang tidak kohesif dapat dilihat oleh gradasinya. Endapan teras alluvial dan endapan aeolian cenderung memiliki gradasi yang buruk. Endapan glasial seperti lempung boulder dan tanah liat liat umumnya memiliki gradasi yang baik, mengandung berbagai macam ukuran partikel. Partikel-partikel yang kecil pada tanah yang bergradasi baik masuk ke dalam rongga di atara partikel-partikel yang lebih besar. Tanah tanpa kohesi bergradasi baik relaitf mudah dipadatkan hingga mempunyai kepadatan tinggi melalui getaran.

Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0.74 mm – 5 mm, yang berkisar dari kasar (3 mm – 5 mm) sampai halus (<1 mm) (Bowles, 1989). Sedangkan menurut Hardiyatmo (1996:1) tanah pasir merupakan tanah yang butirannya dapat terlihat oleh mata, tetapi ukurannya kurang dari 2 mm. Tanah pasir disebut pasir kasar jika diameter butirannya berkisar antara 2 mm – 0.6 mm dan disebut pasir halus bila diameter ukuran butirannya 0.2 mm – 0.06 mm. Tanah

granular, seperti tanah pasir dan kerikil tidak memiliki kohesi atau mempunya kohesi namun sangat kecil hingga dalam hitungan daya dukung sering diabaikan. Tanah granular memiliki permeabilitas yang besar, karena itu pada tiap-tiap pembebanannya, air selalu terdrainase dari rongga porinya. Maka, hitungan daya dukung pasir selalu didasarkan pada kondisi *Saturated* dengan penggunaan parameter tegangan efektif (φ'=0 dan c'=0). Nilai sudut geser dalam pasir sangat dipengaruhi oleh kerapatan relative yang nilainya berkisar antara 28°-45°, pada umumnya diambil sekitar 30°-40°.

2.2 Klasifikasi Tanah

Menurut (Das 1995), sistem klasifikasi tanah merupakan sistem pengaturan jenis-jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaian. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang bervariasi tanpa penjelasan yang terperinci. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangka untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indek tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem terebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannnya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat tanah yang sangat bervariasi.

2.2.1 Klasifikasi Berdasarkan Tekstur

Menurut (Das 2010), tekstur tanah mengacu pada kenampakan permukaannya. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran masing-masing partikel yang ada di dalamnya. Tabel 1 dan 2 meunjukkan bahwa tanah dibagi menjadi kerikil, pasir, lanau, dan lempung berdasarkan dari ukuran partikelnya.

Tabel 1 Klasifikasi ukuran partikel

Nama Organisasi	Ukuran Butir (mm)			
	Kerikil	**Pasir**	**Lanau**	**Lempung**
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 – 0.06	0.06 – 0.002	< 0.002

U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 – 0.05	0.05 – 0.002	< 0.002
Amerian Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76.2 - 2	2 – 0.075	0.075 – 0.002	< 0.002
Unified Soil Classification System (USCS)	76.2 – 4.75	4.75 – 0.075	Butir halus (Lanau dan Lempung) < 0.075	

Sumber : (Das, Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition, 2010)

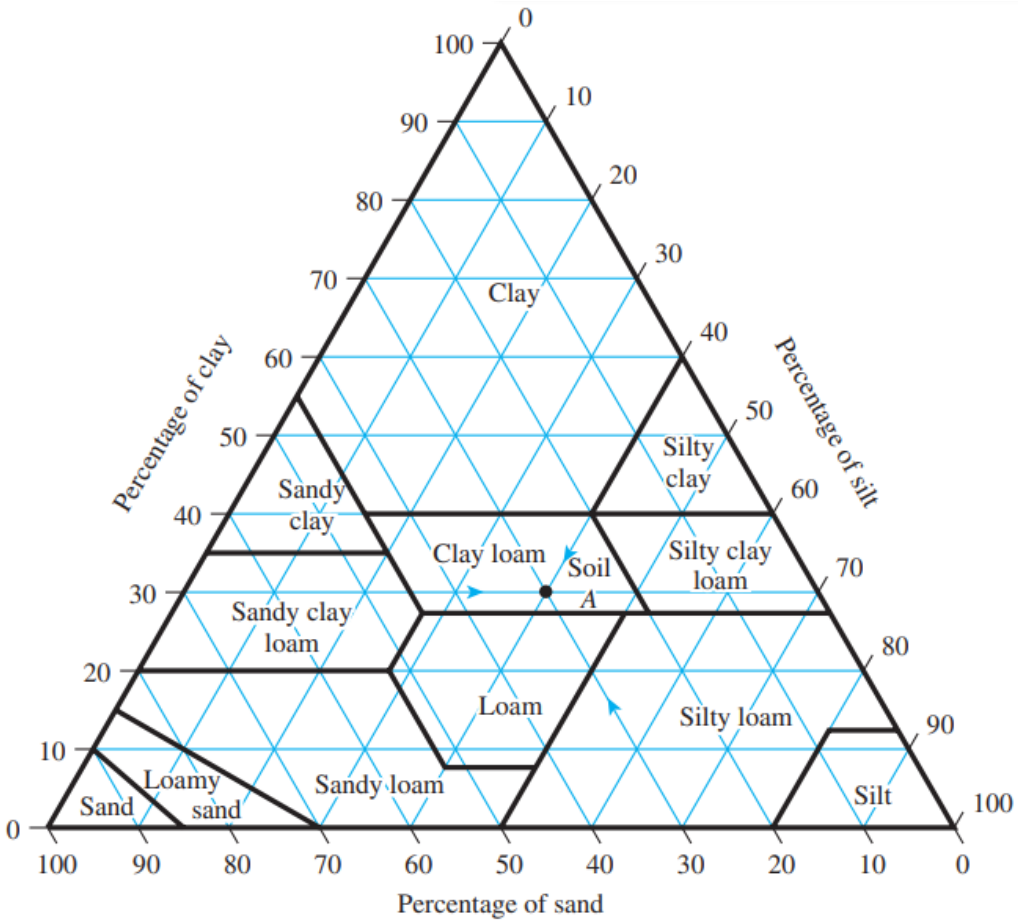
Tabel 2 Persentase butiran halus jenis tanah berdasarkan USCS

Ukuran (mm)		**Persentase Butiran Halus**
76.2	100	
4.75	100	100 – 100 = 0% Kerikil
0.075	62	100 – 62 = 38% Pasir
-	0	62 – 0 = 62% Lanau dan Lempung

Sumber: (Das, Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition, 2010)

Dalam kebanyakan kasus, tanah alami merupakan campuran partikel-partikel dari beberapa kelompok ukuran. Dalam sistem klasifikasi tekstur, tanah diberi nama berdasarkan komponen utamanya, seperti lempung berpasir, lempung kelanauan, dan seterusnya. Gambar 1 menunjukkan sistem klasifikasi tekstur yang dikembangkan oleh *U.S. Department of Agriculture* (USDA). Metode klasifikasi ini didasarkan pada batas ukuran partikel seperti di bawah ini:

- Ukuran Pasir : diamater 2.0 hingga 0.05 mm
- Ukuran Lanau : diameter 0.05 hingga 0.002 mm
- Ukuran Lempung : diameternya lebih kecil dari 0.002 mm



Gambar 1 Klasifikasi USDA
Sumber: (Das, Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition, 2010)

Penggunaan grafik di atas paling mudah dipahami jika ditunjukkan dengan sebuah contoh. Jika ukuran distribusi partikel tanah A menunjukkan 30% pasir, 40% lanau, dan 30% lempung, klasifikasi tekstur dapat ditentukan dengan melihat arah parah yang ditunjukkan pada gambar 1. Tanah ini termasuk dalam zona *clay loam*. Dengan catatan bahwa grafik ini hanya berdasarkan tanah yang lolos saringan No. 10. Oleh karena itu, jika ukuran distribusi partikel suatu tanah sedemikian rupa sehingga persentase tertentu partikel tanah berdiameter lebih besar dari 2 mm, maka perlu dilakukan koreksi.

2.2.2 Klasifikasi Berdasarkan AASHTO

Sistem klasifikasi tanah AASHTO dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *The Public Road Administration Classification System*. Klasifikasi AASHTO yang digunakan saat ini dapat dilihat di table 3. Menurut system ini, tanah diklasifikasikan menjadi tujuh kelompok besar: A-1 hingga A-7. Tanah

diklasifikasikan di kelompok A-1, A-2, dan A-3 adalah material kerikil 35% atau kurang dari partikel lolos saringan No. 200. Tanah yang 35% melewati saringan No. 200 dapat diklasifikasikan dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Jenis tanah ini biasanya bertipe lanau dan lempung. Berikut kriteria klasifikasi system ini:

1. Ukuran butir
    a. Kerikil: fraksi yang lolos saringan 75 mm (3") dan tertahan pada saringan No. 10 (2 mm).
    b. Pasir: fraksi yang lolos saringan No. 10 (2 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 (0.075 mm).
    c. Lanau dan Lempung: fraksi yang lolos saringan No. 200 (0.075 mm).
2. Plastisitas: istilah lanau digunakan bila fraksi halus tanah mempunyai indeks plastisitas 10 atau kurang. Istilah lempung digunakan apabila fraksi halusnya mempunyai indeks plastisitas 11 atau lebih.
3. Jika ditemukan batu bulat (*cobbles*) dan bongkahan besar (*boulders*) (ukuran lebih dari 75 mm), maka tidak termasuk dari bagian contoh tanah yang dijadikan dasar klasifikasi. Namun, persentase material tersebut tetap dicatat.

Untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan table 3, data pengujian harus dipilih dari kiri ke kanan. Melalui proses eliminasi, kelompok pertama dari kiri yang cocok dengan data uji adalah kelompok yang benar.

Tabel 3 Klasifikasi material subgrade jalan

Klasifikasi Umum	**Material kerikil (35% atau kurang dari total sample yang melewati saringan No. 200)**						
Klasifikasi Kelompok	**A-1**		**A-3**	**A-2**			
	A-1-a	**A-1-b**		**A-2-4**	**A-2-5**	**A-2-6**	**A-2-7**
Analisa Saringan (persentase lolos)							
No.10	50 max						
No. 40	30 max	50 max	51 min				
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max
Karakteristik fraksi yang lolos Saringan No. 40							
Batas Cair				40 max	41 min	40 max	41 min
Indeks Plastisitas	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min
Jenis bahan penyusun secara umum	Batu, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil kelanauan atau kelempungan dan pasir			
Penilaian Subgrade secara umum	Excellent to good						

Klasifikasi Umum	**Material Lanau-Lempung (lebih dari 35% dari total sampel yang melewati saringan No. 200)**			
Klasifikasi Kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5[a] A-7-6[b]
Analisa Saringan (persentase lolos) No. 10 No. 40 No. 200	36 min	36 min	36 min	36 min
Karakteristik fraksi yang lolos Saringan No. 40				
Batas Cair	40 max	41 min	40 max	41 min
Indeks Plastisitas	10 max	10 max	11 min	11 min
Jenis bahan penyusun secara umum	Tanah kelanauan		Tanah kelempungan	
Penilaian Subgrade secara umum	Fair to poor			

[a] Untuk A-7-5, PI =< LL – 30

[b] Untuk A-7-6, PI > LL – 30

Sumber: (Das, Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition, 2010)

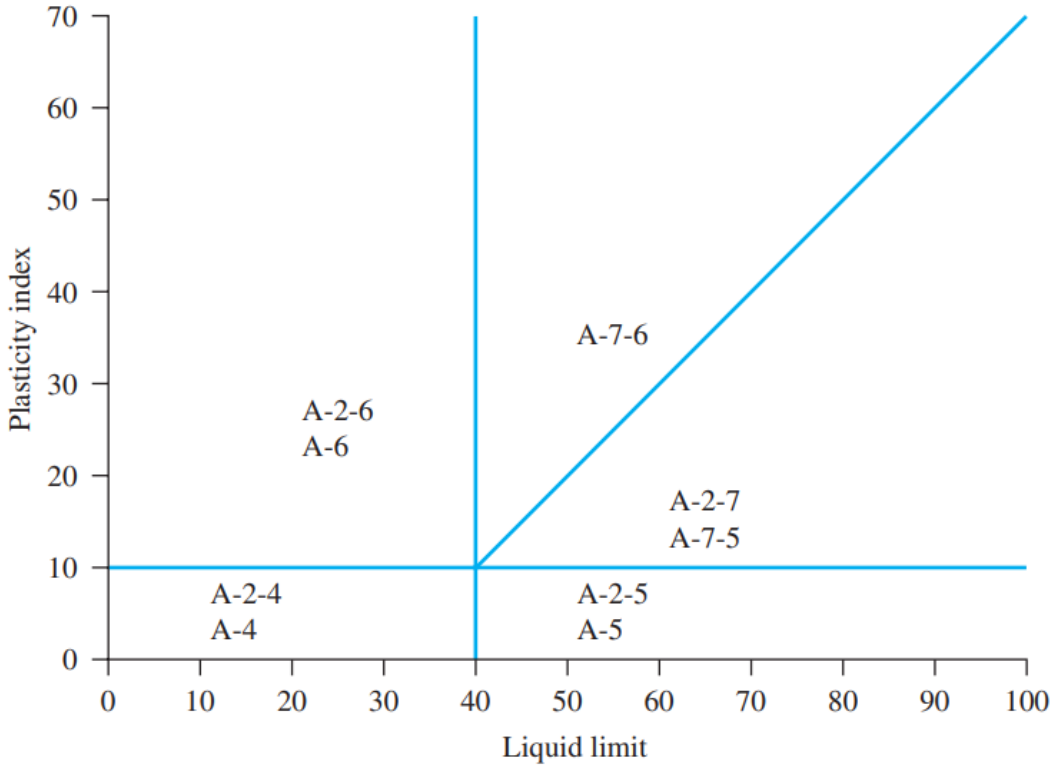
Gambar 2 menunjukkan plot kisaran batas cair dan indeks plastisitas untuk tanah yang termasuk dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7. Untuk mengevaluasi kualitas suatu tanah sebagai bahan dasar jalan raya, kita juga harus memasukkan angka yang disebut Indeks Kelompok (*Group Index*) (GI) dengan kelompok dan subkelompok tanah. Indeks ini ditulis dalam tanda kurung setelah penulisan kelompok atau subkelompok. Persamaan GI dapat dilihat di bawah ini:

$$GI = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(PI - 10) \quad (1)$$

Dimana F_{200} = persentase lolos saringan No. 200

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas



Gambar 2 Kisaran nilai batas cair dan indeks plastisitas dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7
Sumber: (Das, Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition, 2010)

Suku pertama pada persamaan (1) yaitu, $(F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)]$ adalah indeks golongan parsial yang ditentukan dari batas cair. Suku kedua yaitu, $0.01(F_{200} - 15)(PI - 10)$ adalah indeks kelompok parsial yang ditentukan dari indeks plastisitas. Berikut beberapa aturan dalam menentukan GI:

1. Jika persamaan (1) menghasilkan GI negatif, diambil 0
2. Group *Index* (GI) dihitung dari persamaan (1) dibulatkan ke bilangan bulat terdekat (misalnya GI 3.4 dibulatkan menjadi 3; GI 3.5 dibulatkan menjadi 4).s
3. Tidak ada batas atas *Group Index* (GI).
4. Indeks kelompok tanah yang termasuk golongan A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, dan A-3 adalah selalu 0.
5. Saat menghitung Group Index (GI) tanah yang termasuk golongan A-2-6 dan A-2-7, gunakan indeks GI untuk PI, atau

$$GI = 0.01(F_{200} - 15)(PI - 10) \quad (2)$$

Secara umum, kualitas kinerja suatu tanah sebagai bahan dasar Subgrade berbanding terbalik dengan *Group Index* (GI).

2.2.3 Klasifikasi Berdasarkan USCS

Sistem pengklasifikasian ini diusulkan oleh Casagrande pada tahun 1942 untuk digunakan di pekerjaan konstruksi lapangan terbang yang dilakukan T*he Army Corps of Engineering* selama perang dunia II. Bekerja sama dengan *U.S. Bureau of Reclamation*, sistem ini direvisi pada tahun 1952. Saat ini, digunakan secara luas oleh para insinyur (*ASTM Test Designation* D-2487). Klasifikasi berdasarkan USCS ini dapat dilihat pada tabel 4. Sistem ini mengklasifikasikan tanah menjadi dua kategori besar:

1. Tanah berbutir kasar yaitu berkerikil dan berpasir dengan material sampel kurang dari 50% lolos saringan No. 200. Simbol grup dimulai dengan awalan G atau S. G singkatan dari kerikil (*gravel*), dan S untuk pasir (*sand*).
2. Tanah berbutir halus yang 50% atau lebih lolos saringan No. 200. Simbol kelompok dimulai dengan awalan M yang berarti lanau anorganik, C untuk lempung anorganik, atau O untuk lanau organik dan lempung. Simbol Pt digunakan untuk gambut dan tanah organik tinggi lainnya.

Simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi adalah:

- W : bergradasi baik (*well graded)*
- P : bergradasi buruk (*poorly graded)*
- L : plastisitas rendah (batas cair kurang dari 50)
- H : plastistias tinggi (batas cair lebih dari 50)

Tabel 4 *Unified Soil Classification System* (USCS) (Berdasarkan material yang lolos saringan 76.2 mm)

Kriteria Penamaan Simbol Kelompok				Simbol Kelompok
Tanah berbutir kasar Lebih dari 50% yang tertahan Saringan No. 4	**Kerikil** Lebih dari 50% fraksi kasar yang tertahan Saringan No. 4	Kerikil bersih kurang dari 5% butir halus	$C_u \geq 4$ dan $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
			$C_u < 4$ dan/atau $C_c < 1$ atau $C_c > 3^c$	GP
		Kerikil dengan butir halus lebih dari 12%	PI < 4 atau plot grafik di bawah garis "A" (Gambar 3)	GM
			PI > 7 dan plot grafik pada atau di atas garis "A" (Gambar 3)	GC
	Pasir 50% atau lebih fraksi kasar yang lolos Satingan No. 4	Pasir bersih kurang dari 5% butir halus	$C_u \geq 6$ dan $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
			$C_u < 6$ dan/atau $C_c < 1$ atau $C_c > 3^c$	SP
		Pasir dengan butir halus lebih dari 12%	PI < 4 atau plot grafik di bawah garis "A" (Gambar 3)	SM
			PI > 7 dan plot grafik pada atau di atas garis "A" (Gambar 3)	SC
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos Saringan No. 200	**Lanau dan Lempung** Batas cair kurang dari 50	Inorganic	PI > 7 dan plot grafik pada atau di atas garis "A" (Gambar 3)	CL
			PI < 4 atau plot grafik di bawah garis "A" (Gambar 3)	ML
		Organic	$\frac{Batas\ cair-kering\ oven}{Batas\ cair-tidak\ kering} < 0.75$; lihat Gambar 3; zona OL	OL
	Lanau dan Lempung Batas cair 50 atau lebih	Inorganic	PI plot grafik pada atau di atas garis "A" (Gambar 3)	CH
			PI plot grafik di bawah garis "A" (Gambar 3)	MH
		Organic	$\frac{Batas\ cair-kering\ oven}{Batas\ cair-tidak\ kering} < 0.75$; lihat Gambar 3; zona OH	OH
Tanah Organik Tinggi	Terutama bahan organik, berwarna gelap, dan berbau organik			Pt

[a]Kerikil dengan kandungan 5-12% butir halus memerlukan dual simbol: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC

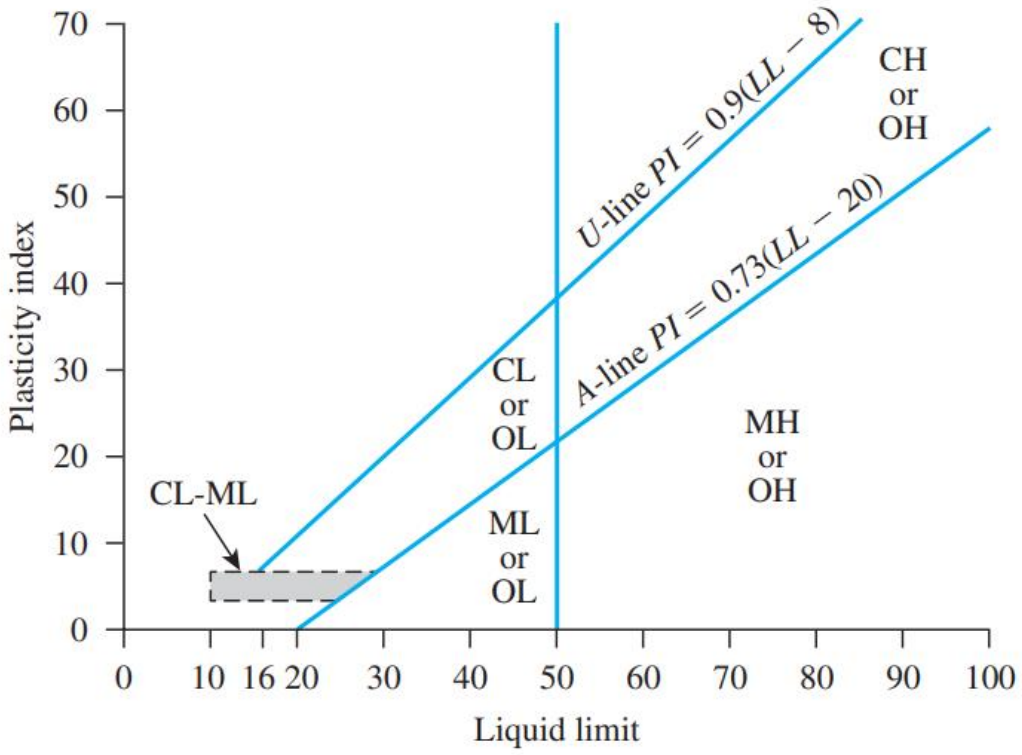
[b]Pasir dengan kandung 5-12% butir halus memerlukan dual simbol: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC

[c]$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $Cc = \frac{(D_{30})}{D_{60}\ x\ D_{10}}$

[d]Jika $4 \leq PI \leq 7$ dan plot berada dalam area yang tertandai pada Gambar 3, gunakan dual simbol GC-GM atau SC-SM

[e]Jika $4 \leq PI \leq 7$ dan plot berada dalam area yang tertandai pada Gambar 3, gunakan dual simbol CL-ML

Sumber: (Das, Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition, 2010)



Gambar 3 Grafik plastisitas
Sumber: (Das, Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition, 2010)

Untuk klasifikasi yang tepat berdasarkan sistem ini, beberapa atau seluruh informasi berikut harus diketahui:

1. Persentase kerikil-yaitu, fraksi yang lolos saringan 76.2 mm dan tertahan saringan No. 4 (4.75 mm).
2. Persentase pasir-yaitu, fraksi yang lolos saringan No. 4 (4.75 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 (0.075 mm).
3. Persentase lanau lempung-yaitu, fraksi yang lebih halus dari saringan No. 200
4. Koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c).
5. Batas cair dan indeks plastisitas bagian tanah yang lolos saringan No. 40.

Simbol golongan tanah berbutir kasar-berkerikil adalah GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GM, GW-GC, GP-GM, dan GP-GC. Demikian juga dengan simbol tanah berbutir halus adalah CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML, dan Pt. Dalam menggunakan angka-angka ini, kita perlu mengingat bahwa pada tanah:

- Fraksi halus = persentase lolos saringan No. 200
- Fraksi kasar = persentase tertahan saringan No. 200
- Fraksi kerikil = persentase tertahan saringan No. 4

- Fraksi pasir = (persentase tertahan saringan No. 200) – (persentase tertahan saringan No. 4)

2.3 Stabilisasi Tanah

Menurut (Bowles 1996), untuk memperoleh signifikansi meningkatnya daya dukung suatu tanah dapat dicapai dengan mengubah sifat-sifat tanah seperti kohesi (c) dan kepadatan. Biasanya peningkatan kepadatan disertai dengan peningkatan (c) (dengan asumsi tanah bersifat kohesif). Pemadatan tanah selalu meningkatkan *density*, yang mengakibatkan turunnya angka pori dan mengurangi penurunan jangka Panjang. Pemadatan tanah biasanya meningkatkan modulus regangan-regangan, sehingga penurunan secara tiba-tiba (*immediate settlement*) juga menurun.

Ada beberapa cara untuk meningkatkan parameter-parameter tanah sebagai berikut:

1. **Stabilisasi mekanis**. Metode ini gradasi ukuran butir tanah pada lokasi diubah. Jika tanah di lokasi didominasi oleh kerikil, bahan pengikat ditambahkan (bahan yang melewati saringan No. 40 atau No. 100) yang berguna untuk mengisi kekosongan dan meningkatkan kohesi.
2. **Pemadatan (*compaction*)**. Metode ini merupakan cara yang paling eknomis untuk mencapai kepadatan tanah yang baik untuk tanah non kohesif maupun tanah kohesif.
3. ***Preloading***. Langkah ini diambil untuk mengurangi penurunan tanah di masa depan dan juga dapat meningkatkan kekuatan geser. Metode ini biasanya dikombinasi dengan *drainage*.
4. **Drainase (*drainage*)**. Cara ini dilakukan untuk menghilangkan air tanah dan mempercepat penurunan dengan *preloading*. Hal ini juga dapat meningkatkan kekuatan geser, bergantung pada kadar air.
5. ***Densification***. Metode ini menggunakan peralatan yang bergetar dan sangat berguna pada pasir, pasir kelanauan, dan kerikil kepasiran.
6. **Penggunaan perkuatan *in situ***. Pendekatan ini digunakan dengan batu, pasir, semen, atau kapur kolom. Metode ini menghasilkan apa yang biasa disebut dengan tanah komposit. Kadang-kadang sejumlah kecil serat plastic

atau fiberglass pendek dapat dicampur dengan tanah untuk meningkatkan kekuatan tanah.

7. ***Grouting***. Metode ini dilakukan dengan cara menyuntikkan zat kental cair, kadang bercampur dengan sejumlah volume tanah. Umumnya, cairan yang digunakan adalah campuran air dan semen atau air dan kapur, dan/atau dengan bahan tambahkan seperti pasir halus, tanah lempung *bentonite*, atau *fly ash*. Penggunaan bahan kimia juga tidak jarang digunakan pada metode ini.
8. ***Geotextiles***. Penggunaan geotekstil befungsi sebagai penguatan tetapi bisa juga berfungsi untuk tujuan lain sesuai dengan produk yang digunakan.
9. **Stabilisasi kimiawi**. Metode ini jarang digunakan karena memakan lebih banyak biaya. Secara umum, bahan kimia yang digunakan adalah asam fosfat, kalsium sulfat, dan lain-lain.

2.4 *Grouting*

Menurut (Nonveiller 1989), *Grouting* adalah teknik stabilisasi tanah yang melibatkan penyuntikan bahan cair (*grout*) ke dalam tanah untuk memperbaiki sifat mekanisnya. Tujuan utama dari *grouting* adalah mengurangi porositas tanah, meningkatkan kekuatan tanah, mengurangi permeabilitas, dan mengisi retakan atau rongga dalam tanah atau batuan. Teknik ini sering digunakan dalam konstruksi terowongan, fondasi bangunan, dan proyek stabilisasi lereng. *Grouting* mempunyai pengaplikasian yang luas pada dunia teknik sipil modern, seperti:

1. Untuk mengurangi permeabilitas pada formasi di bawah pondasi struktur hidroteknik.
2. Untuk memeriksa pengangkatan pada struktur, atau untuk emncegah bahaya erosi tanah pada pondasi.
3. Untuk meningkatkan kekuatan material di awah pondasi struktur berat, dan atau untuk mengurangi deformasi material pada pondasi (konsolidasi).
4. Untuk menghubungkan elemen struktur yang berbeda dalam struktur yang homogen dengan menginjeksi lapisan di antara elemen-elemen tersebut dengan material *grout*.
5. Untuk pemasangan kabel pada beton prategang.

6. Untuk mengangkat dan menegakkan bangunan dengan struktur miring.
7. Untuk mengisi rongga antara lapisan batuan dan terowongan yang disebut *contact grouting*.
8. Untuk rehabilitasi dan perkuatan bangunan-bangunan tua bersejarah.
9. Untuk pembangunan beton bawah air dengan menyuntikkan ronga-rongga dari batu-batuan awal sesuai dengan prosedur.
10. Dan masih banyak lagi aplikasi lainnya.

Ada beberapa jenis material yang digunakan dalam *grouting*, seperti di bawah ini:

1. ***Cementitious grouting***, menggunakan campuran air dan semen yang disuntikkan ke dalam tanah. Digunakan untuk mengisi rongga besar dan memperkuat struktur tanah atau batuan.
2. ***Clay grouting***, menggunakan tanah lempung seperti bentonite yang dicampur dengan air untuk mengurangi permeabilitas tanah.
3. ***Chemical grouting***, menggunakan bahan kimia seperti sodium silikat (*waterglass*), kalsium sulfat, atau asam fosfat. Reaksi kimia antara bahan grouting dan tanah meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah.

Pada buku *Chemical Grouting* (U.S. Army Corps of Engineers 1995) *Chemical grouting* adalah proses menyuntikkan larutan reaktif secara kimia yang bersifat seperti cairan tetapi bereaksi setelah waktu yang telah ditentukan menjadi padat, setengah padat, atau gel. *Chemical grouting* memerlukan peralatan grouting yang dirancang khusus sehingga larutan reaktif sering kali dibentuk dengan mengatur komposisi cairan dalam *on-line continuous mixer*.

2.5 *Waterglass* (Sodium Silikat)

Dalam buku (U.S. Army Corps of Engineers 1995), material sodium silikat merupakan material yang paling sering digunakan karena bahannya yang aman dan ramah lingkungan. Sodium silikat telah digunakan pada beberapa jenis penggunaan *grouting*. Hampir semua system didasarkan pada reaksi larutan silikat membentuk koloid yang berpolimerisasi lebih lanjut untuk membentuk gel yang mengikat partikel tanah atau sedimen menjadi satu dan mengisi ruang pori.

2.5.1 Reaksi

Larutan soodium silikat bersifat basa. Saat larutan basa ini dinetralkan, silikia koloidal akan beragregasi membentuk gel jika sodium silikat mempunyai konsentrasi di atas 1% atau 2% (berdasarkan volume). Tiga jenis material *grouting* alkali silikat biasanya dikenali berdasarkan reaktan yang digunakan dengan larutan silikat

1. Reaktan asam (asam fosfat, hdirogen sulfat, natrium fosfat, larutan karbon dioksida).
2. Garam alkali tanah dan aluminium (kalsium sulfat, magnesium fosfat, magnesium sulfat, aluminium sulfat).
3. Senyawa organic (glyoxal, ester asetat, etilen karbonat formamide).

2.5.2 Proses

Sodium silikat dan cairan reaktan bisa diinjeksi sebagai cairan terpisah, atau sodium silikat bisa dilakukan pencampuran terlebih dahulu untuk membentuk satu cairan yang akan diinjeksi. Larutan yang disuntikkan ada dua proses, yaitu:

1. *Two-solution process*

   Dalam pendekatan ini, larutan natrium silikat disuntikkan ke dalam bahan yang akan di*grouting*. Larutan reaktan, biasanya merupakan larutan kalsium sulfat, ditambahkan pada langkah kedua. Pendekatan ini dilaporkan menghasilkan hasil peningkatan kekuatan terbesar pada tanah yang diinjeksi, namun dapat menjadi pertimbangan karena teknik paling mahal yang digunakan.

   a. Teknik dua komponen dapat membuat pembentukan gel dengan sangat cepat. Pengerasan yang cepat ini bisa sangat berguna dalam menghambat aliran air. Keuntungan tambahannya adalah sifat pengerasan yang permanen dari cairan injeksi.
   b. Pengerasan cepat yang terjadi pada teknik dua komponen membatasi volume tanah atau sedimen yang dapat diolah dari satu titik injeksi. Ini biasanya tidak memungkinkan untuk mengontrol pencampuran silikat dan reaktan di bawah permukaan. Beberapa komponen injeksi yang

tidak bereaksi mungkin terjadi ketika system dua komponenn digunakan.

2. *One-solution process*

a. Proses ini melibatkan injeksi dari campuran sodium silikat dan reaktan yang akan menyebabkan silikat membentuk gel. Larutan terpisah ini disiapkan dan dicampur secara menyeluruh. Proses ini bergantung pada *delay* permulaan gelasi. Proses ini menawarkan keuntungan berupa pembentukan gel yang lebih seragam, distribusi gel yang lebih baik selama injeksi, dan hasil injeksi yang lebih kuat.

Tabel 5 Urutan material utama *grouting*

Type	**Property**					
	Penetration in Grouted Units	**Durability**	**Ease of Application**	**Potential Toxicity**	**Permeability of Materials**	**Relative Costs**
Portland-cement based grouts	L	H	M	L	N	L
Silicates	H	M	H	L	N	L
Acrylates	H	M	H	M	L	H
Lignins	H	M	H	H	L	H
Urethanes	M	H	M	H	H	H
Resins	L	H	M	H	M	H

N = non-flammable; L = low; M = moderate; H = high

Sumber: (U.S. Army Corps of Engineers, Chemical Grouting, 1995)

Tabel 6 Urutan material *grouting* kimia berdasarkan pengaplikasian

Application	**Type**				
	Sodium Silicate	**Acrylate**	**Lignin**	**Urethane**	**Resins**
Adding strength	C	C	C	R	R
Reducing water flow	C	C	C	U	R
Concrete repair	U	U	U	C	C
Sewer repair	U	U	U	C	C
Load transfer and support	U	U	U	C	U
Installation of anchors	R	R	R	U	C

C = commonly used; U = used; R = rarely used

Sumber: (U.S. Army Corps of Engineers, Chemical Grouting, 1995)

b. Reaktan yang digunakan dalam *One-solution process* menetralkan alkalinitas sodium silikat dengan cara yang mirip dengan *Two-solution*

process, tetapi reaktan diencerkan dan bahan yang bereaksi lambat (seperti reagen organic) digunakan. Sodium bikarbonat dan formamide adalah reaktan yang umum melibatkan pencampuran formamide, natrium aluminat, dan sodium silikat. Formamide menyebabkan gelasi, dan natrium aluminat mempercepat pembentukan gel setelah permukaan gelasi.

c. Konsentrasi larutan silikat yang mungkin digunakan dalam *grouting* dapat bervariasi dari 10 hingga 70 persen volume, tergantung pada bahan yang digrouting dan hasil yang diinginkan. Dalam system yang menggunakan amida sebagai reaktan, konsentrasi amida dapat bervariasi dari kurang dari 1 hingga lebih dari 20 persen volume. Namun secara umum, konsentrasi amida berkisat antara 2 dan 10 persen. Amida adalah reaktan penghasil gel utama dalam proses satu larutan. Konsentrasi akselerator ditentukan oleh waktu gel yang diinginkan, viskositas material *grouting* bergantung pada persentase silikatnya. Oleh karena itu, konsentrasi silikat yang tinggi lebih kental daripada konsentrasi silikat yang rendah dan memiliki peluang kecil memasuki ruang pori.

Tabel 7 Faktor viskositas konsentrasi sodium silikat

Konsentrasi Sodium Silikat (%)	**Faktor Viskositas (dikomparasi dengan air)**
10	2.5
20	3.2
30	3.5-4.5
40	4.0-6.0
50	5.2-12
60	8.0-20
70	92

Sumber: (U.S. Army Corps of Engineers, Chemical Grouting, 1995)

2.6 Asam Sulfat

Asam sulfat (HCl) adalah larutan cair dari gas hydrogen sulfat. Asam ini merupakan salah satu asam kuat yang paling umum digunakan dalam berbagai

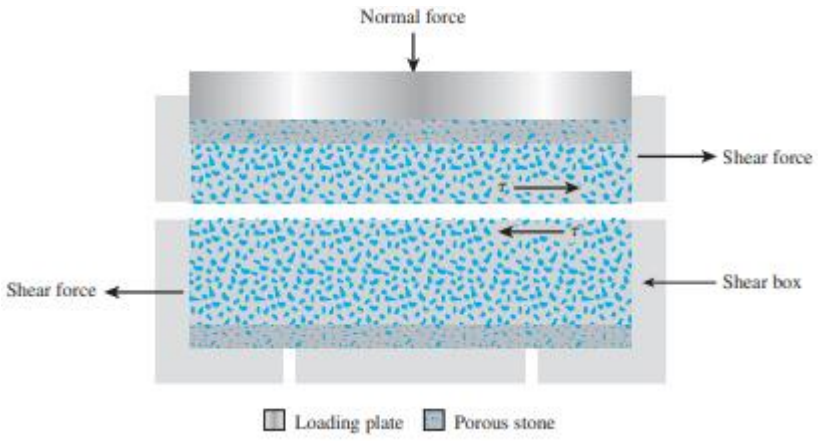
industry dan laboratorium. Asam sulfat murni berupa cairan bening, tidak berwarna, dan bersifat sangat korosif.

2.7 Kuat Geser Langsung

Menurut (Bowles 1996), pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat geser langsung (Gambar 4). Untuk kondisi air pori yang terkontrol dan untuk penelitian pembalikan tegangan, digunakan alat geser sederhana. Ada beberapa konfigurasi uji geser sederhana langsung, namun yang paling umum menggunakan sampel bulat setinggi 2,0 cm dengan luasnya 50 cm^2. Beban di atas mencegah deformasi lateral selama konsolidasi dan beban vertikal. Memindahkan tutup atas ke sampug menghasilkan tegangan geser, dan dengan memantau deformasi dan menyesuaikan beban vertikal, sampel dapat digeser pada volume dan kadar air yang konstan.

Menurut **Hardiyatmo (2002),** kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, 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 butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.



Gambar 4 Diagram susunan sampel uji geser langsung
Sumber: (Das, Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition, 2010)

Oleh karena itu, kekuatan geser tanah dapat diukur dengan rumus:

$$\tau = c + (\sigma - u) \tan \varphi \qquad (3)$$

Keterangan:

τ = kuat geser tanah (kN/m^2)

σ = tegangan normal efektif pada bidang runtuh (kN/m^2)

u = tekanan air pori (kN/m^2)

c = kohesi tanah efektif (kN/m^2)

φ = sudut geser dalam tanah (°)

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian terdahulu mengenai stabilisasi tanah metode *grouting* atau penggunaan material waterglass atau asam sulfat dengan tujuan meningkatkan daya dukung tanah telah dilakukan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8 Penelitian terdahulu terkait topik penelitian

Penulis	Judul	Tujuan dan Hasil Penelitian	Sumber
Angelina Lynda (2013)	Karakteristik Kuat Geser Tanah Dengan Stabilisasi Biogrouting Bakteri *Bacillus Subtilis*	Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui hasil stabilisasi yang optimum dan pengaruh mekanis yang terjadi akibat pencampuran larutan bakteri *Bacillus subtilis* pada tanah pasir berlempung. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa hasil stabilisasi yang optimum membutuhkan larutan bakteri *Bacillus subtilis*, larutan sementasi, dan tanah pasir berlempung dengan perbandingan 1:1:11. Serta karakteristik mekanis tanah mengalami peningkatan nilai kohesi sebesar 297% dan peningkatan nilai sudut geser dalam sebesar 6,86% terhadap tanah asli.	Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
Hervé Kouamo Tchakouté, Claus Henning	*Mechanical and microstructural properties of mekaolin-*	Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan sifat mekanik dan mikrostruktur semen geopolymer berbahan dasar metakaolin diperoleh pada	*Apply Clay Science* 140, Hal. 81-87

Rüscher (2017)	*based geopolymer cement form soidum waterglass and phosphoric acid solution as hardeners: A comparative study*	kondisi yang sama dengan menggunakan sodium waterglass dan asam fosfat sebagai pengerasnya. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan semen geopolymer berbahan dasar fosfat sebesar 93.8 MPa, sedangkan semen geopolimier berbahan dasar alkali sebesar 63.8 MPa. Perbedaan besarnya kuat tekan tersebut dapat dikaitkan dengan terbentuknya berlinit ($AlPO_4$) pada struktur semen geopolymer berbahan dasar fosfat yang berfungsi sebagai pengisi dan memperkuat struktur mikro kedua semen geopolymer ini bersifat homogen dan berstruktur kompak. Secara umum, ditemukan bahwa semen geopolymer berbahan dasar fosfat memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan semen geopolymer berbahan dasar alkali.	
Sera Desiana (2012)	Pengaruh Variasi *Waterglass* Terhadap Kadar Air dan Kadar Lempung Pada Pasir Cetak	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi *waterglass* terhadap kadar air pada pasir cetak dan pengaruh variasi *waterglass* terhadap kadar lempung pada pasir cetak. Variasi kadar *waterglass* yang digunakan yaitu 0%, 15%, 25%, dan 40%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi penambahan *waterglass* pada pasir cetak, maka semakin meningkat pula kadar air dan kadar lempungnya. Kadar air paling besar pada variasi *waterglass* 40% sebesar 7,14%	Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret

		dan kadar lempung sebesar 26,64%.	
Mingting Zhu, Haitong Sui, Honglu Yang (2018)	*The differences between soil grouting with cement slurry and cement-water glass slurry*	Dua rangkaian percobaan *grouting* tirai sekeliling di bawah tekanan geografis yang berbeda, yaitu 100 kPa, 150 kPa, dan 200 kPa telah dilakukan. Uji beban berlebih pada terowongan dilakukan untuk mengevaluasi efek *grouting* dari seluruh percobaan *grouting* tirai di sekitarnya. Pada hasil saat ini, sebelum 240 detik, tekanan *grouting* meningkat secara perlahan untuk kedua *slurry*; setelah 240 detik peningkatan laju tekanan *grouting* untuk *cement-water glass slurry* meningkat dengan cepat, sedangkan untuk *cement slurry* kira-kira tetap konstan. Tren peningkatan tekanan *grouting* untuk *cement-water glass slurry* serupa dengan viskositasnya. Efek *grouting* dari *cement-water glass slurry* lebih baik dibandingkan *cement slurry* dan kualitas *grouting* menurun seiring dengan tekanan awal.	*IOP Conf. Series: Earth and Environ-mental Science* 108
Zaikun Zhao, Tichang Wang, Liang Zhang, Jiabin Ruan, Siqin Lv, Yu Xing Hongbo Yin (2023)	*Experimental studi on the compressive strength of unsaturated loess with different contents of grout material and water glass*	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan loess tak jenuh dengan perbandingan bahan *grouting* terhadap *sodium silikat* yang bervariasi. Specimen berukuran standar disiapkan untuk kelompok uji yang berbeda (bahan *grouting*: 15%-33%; kadar kering *sodium silikat*: 3%-5%; kadar air awal: 15%-25%), dan kuat tekan bebasnya diukur setelah masa pemeraman 28 hari. Hasil percobaan menunjukann	*2023 5th International Conference on Civil Architecture and Urban Engineering (ICCAUE 2023) Atlantis Highlight in Engineering 25.*

	bahwa kuat tekan loess tak jenuh meningkat secara monoton seiring dengan peningkatan kandungan *sodium silikat*, meningkat dengan semakin tinggi kadar air awal, dan menurun dengan meningkatnya jumlah bahan *grouting* dalam dengan kisaran parameter yang ditentukan. Bobot dampak ketiga factor terhadap kuat tekan dalam rentang parameter percobaan dapat diurutkan sebagai berikut: *sodium silikat* > bahan *grouting* > kadar air awal.	