ISSN 2685-0605

Pengaruh Campuran Abu Vulkanik Terhadap Nilai Parameter Kuat Geser Tanah Lempung

Amalia Suni[1] Munirwansyah[2] Banta Chairullah[3]

[1] Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala, Jalan Syech Abdurrauf No. 7 Kopelma Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia*

[2,3,]Dosen, Jurusan Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala, Jalan Syech Abdurrauf No. 7 Kopelma Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia.

[1]amalia.uni@mhs.unsyiah.ac.id*, [2]nir_geotechnical@unsyiah.ac.id, [3]chairullah_bant79@unsyiah.ac.id

**Corresponding author*

ABSTRACT

Expansive soil has high plasticity and causes low shear strength. In the quarry of Jalan Elak Buketrata, Lhokseumawe, Expansive soil is used as a subgrade material and causes the road to cause sliding. To improve the properties of soil, it stabilized with volcanic ash at percentage 0% 7,5% 10% 12,5% and 15%. This study was to determine the effect of volcanic ash on soil shear strength parameters. The measured strength values are moisture content, specific weight, grain sieve analysis, plasticity, compaction and direct shear. According to the USCS system the soil is included in MH group and according to the ASSHTO system it belong to group A-7-5 (34). The values of ϕ and c increased in the mixture of 7,5% to 12,5% and again decreased in the mixture of 15%, These conditions occur in soaked and unsoaked soils. Thus the stabilization of expansive soil in quarry Jalan Elak, Lhokseumawe City is most effective at a mixture of 12,5% volcanic ash.

Keywords: clay soil, stabilization, volcanic ash, shear strength

ABSTRAK

Tanah lempung memiliki sifat plastisitas yang tinggi dan menyebabkan kuat geser menjadi rendah. Pada quarry Jalan Elak Buketrata Lhokseumawe tanah lempung dipakai sebagai material subgrade dan mengakibatkan jalan mengalami retakan memanjang. Untuk memperbaiki sifat tanah lempung dilakukan stabilisasi dengan abu vulkanik pada kadar 0% 7,5% 10% 12,5% dan 15%. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh abu vulkanik terhadap parameter kuat geser tanah. Nilai kekuatan yang diukur adalah kadar air, berat spesifik, analisa saringan butiran, keplastisitasan, pemadatan dan geser langsung. Menurut sistem USCS tanah adalah kelompok MH dan menurut sistem ASSHTO termasuk dalam kelompok A-7-5 (34). Peningkatan nilai ϕ dan c terjadi pada campuran 7,5% sampai 12,5% dan kembali menurun pada campuran 15%, kondisi ini terjadi pada tanah rendaman dan tanpa rendaman. Demikian stabilisasi tanah lempung pada quarry Jalan Elak Kota Lhokseumawe paling efektif pada kadar campuran abu vulkanik 12,5%.

Kata kunci: tanah lempung, stabilisasi, abu vulkanik, ϕ dan c

1. Pendahuluan

Secara umum diketahui tanah didefinisikan sebagai material pembangunan konstruksi yang mengandung partikel mineral dan memiliki keplastisitasan bervariasi tergantung pada kondisi kadar air tanah. Tanah lempung disebut tanah kohesif kerena terdiri dari butiran yang sangat kecil dan memiliki sifat mekanis seperti kuat geser yang rendah [1]. Pelapukan tanah membentuk mineral lempung yang bervariasi dengan ukuran yang sangat kecil. Mineral lempung umumnya memiliki sifat kohesif dan permeabilitas rendah, terdapat tiga komponen penting mineral lempung: montmorillonite, illite, dan kaolinite [1].

Subgrade adalah lapisan dasar pada tanah digunakan untuk tempat perletakan lapis perkerasan, juga mendukung beban yang berada diatasnya, Material ini diambil dari *quarry* dan dibawa ke lokasi pembangunan konstruksi [2].

Penggunaan tanah lempung sebagai material pada lapisan *subgrade* diperkirakan dapat menyebabkan kerusakan pada konstruksi salah satunya perkerasan jalan [3]. Kasus ini terjadi pada *quarry* Jalan Elak Buketrata Lhokseumawe yang mengalami retakan-retakan memanjang dan permukaan bergelombang pada badan jalan.

Usaha penulis untuk meningkatkan nilai kekuatan tanah dilakukan stabilisasi terhadap tanah tersebut. Bahan stabilisasi berupa abu vulkanik yang lolos saringan No. 200 yaitu berukuran < 0,0075 mm. Penggunaan abu vulkanik sebagai bahan stabilisasi diperkirakan berfungsi menjadi *filler* pada pori-pori tanah dan menghasilkan kekuatan tanah yang lebih baik [4]. Kekuatan geser didefinisikan sebagai tegangan geser tertinggi yang dapat bertahan

pada tanah sebelum terjadinya keruntuhan, ada dua unsur pokok untuk menentukan kekuatan geser di dalam tanah yaitu meliputi gaya kohesi yang merupakan tahanan butiran dan gaya gesekan di antara butiran tanah [5].

Stabilisasi tanah dengan bahan stabilisasi yaitu abu vulkanik guna memperbaiki sifat fisis diantaranya berat jenis dan batas atterberg, juga sifat mekanis meliputi kepadatan dan kekuatan geser tanah. Penambahan abu vulkanik pada tanah lempung diambil sebesar 0%, 7,5%, 10%, 12,5% dan 15%. Serangkaian pengujian yang dilakukan, diawali dengan pengambilan sampel tanah dan bahan stabilisasi kemudian dilakukan pengujian sifat fisis seperti kadar air, berat spesifik, analisa saringan, batas plastis dan batas cair. Pencampuran tanah dengan abu vulkanik sebagai bahan stabilisasi dengan persentase yang ditentukan untuk melihat sejauh mana pengaruh campuran abu vulkanik terhadap nilai berat spesifik, indeks plastisitas, kepadatan kering dan kekuatan geser tanah. Pengujian geser langsung dilakukan pada tanah stabilisasi dalam kondisi rendaman dan tak rendaman

2. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimen di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik, Universitas Politeknik Negeri Lhokseumawe. Tanah dicampur dengan bahan stabilisasi berdasarkan persen rencana dan akan dilakukan pemeraman selama empat hari. Hasil penelitian menyajikan data parameter setiap pengujian di laboratorium dan dilakukan pengolahan data dan analisis data.

2.1 Lokasi dan waktu penelitian

Dalam penelitian ini yang menjadi obyek penelitian adalah tanah lempung dalam kondisi terganggu yang berada pada *quarry* Jalan Elak, Buketrata Kota Lhokseumawe dengan koordinat 5º07’45’’N 97º08’’37’’E. Bahan stabilisasi berupa abu vulkanik diambil dari Burni Telong, Pante Raya Kabupaten Bener Meriah dengan letak geografis 4º43’47’’N 96º49’35ºE.

2.2 Metode Pengumpulan Data

Jenis data pada penelitian ini dikelompokkan menjadi dua yaitu; data primer dan sekunder. Data primer dikumpulkan melalui beberapa kegiatan pengujian yang dilakukan oleh peneliti di Laboratorium. Data sekunder berupa ketentuan pengujian standar dan studi literatur.

2.3 Pengolahan data

Prosedur pengujian dan pengolahan data hasil pengujian dilakukan mengacu kepada ketentuan standar pada setiap pengujian meliputi:

1. Pengujian kadar air dilakukan berdasarkan standar ASTM D-2216;
2. Pengujian berat spesifik menyesuaikan pada SKSNI M-09-1989-F;
3. Pengujian Analisa Saringan kering dilakukan berdasarkan ASTM : C-136-46;
4. Pengujian hidrometer dilakukan berdasarkan ASTM D-442-63;
5. Pengujian batas cair dan batas plastis berdasarkan ASTM D 423 – 424;
6. Pengujian pemadatan berdasarkan ASTM : D-698-1997; dan
7. Pengujian geser langsung dilakukan berdasarkan ASTM D-423-424.

2.4 Analisis Data

Berdasarkan serangkaian pengujian yang dilakukan akan memperoleh nilai sifat fisis tanah meliputi kadar air, berat spesifik, analisa saringan, batas cair dan batas plastis, dari nilai-nilai ini dapat diperoleh jenis kelompok tanah tersebut. Kemudian dilakukan pencampuran tanah dengan abu vulkanik sebagai bahan stabilisasi dan dilaksanakan pengujian berat spesifik, batas cair, batas plastis untuk mendapatkan data sifat fisis tanah stabilisasi. Data sifat mekanis tanah diperoleh dari pengujian pemadatan dan geser langsung. Pengujian geser langsung berlaku dalam kondisi rendaman dan tanpa rendaman. Demikian dapat diketahui pengaruh dan manfaat dilakukannya stabilisasi dengan abu vulkanik pada tanah Jalan Elak, Kota Lhokseumawe.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil pengujian sifat fisis dan kandungan mineral tanah asli

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil pengujian sifat fisis tanah asli dalam **Tabel 1** berikut ini.

Tabel 1 Hasil Pengujian Sifat Fisis Tanah Asli

No	Uraian Pengujian	Nilai
1	Kadar Air Tanah Asli	29,38
2	Berat Spesifik (Gs)	2,65
3	Analisa Saringan lolos #200	88,62
4	**Batas-batas Atterberg**	
	Batas Cair (LL)	66,77
	Batas Plastis (PL)	34,58
	Indeks Plastisitas (PI)	32,19

Menurut klasifikasi sistem AASTHO tanah jalan Elak Kota Lhokseumawe tergolong A-7-5 (34) yaitu tanah dengan butiran halus. Sedangkan klasifikasi USCS tanah termasuk dalam kelompok MH yaitu lanau berlempung dengan plastisitas tinggi.Sehubungan dilakukan pengujian PSA dan XRD tanah lempung didapat hasil pengujian PSA dengan butir lolos pada diameter 75 mm = 100% menunjukkan tanah berbutir halus, hasil ini sejalan dengan hasil analisa saringan tanah asli. Hasil pengujian XRD diperoleh bahwa tanah mengandung jenis mineral *Illite*, maka dari itu adanya air di dalam tanah akan mempengaruhi pengembangan tanah yang menyebabkan kuat geser menjadi rendah.`

3.2 Hasil pengujian sifat fisis dan kandungan kimia abu vulkanik

Hasil pengujian berat spesifik abu vulkanik diperoleh Gs = 2,71, dimana nilai ini lebih besar dari nilai berat spesifik tanah asli. Pengujian XRF juga dilakukan terhadap abu vulkanik untuk melihat unsur-unsur yang terkandung di dalamnya. Hasil pengujian XRF dapat dilihat dalam **Tabel 2** berikut ini.

Tabel 2 Kandungan Kimia Abu Vulkanik

Parameter Uji	Metode Uji	Hasil Uji (%)
SiO_2	XRF	10,014
Al_2O_3	XRF	2,172
CaO	XRF	0,121

Tabel 2 menunjukkan bahwa kandungan SiO_2 lebih dominan dari unsur lainnya. Unsur SiO_2 berperan aktif untuk mengikat butiran sehingga mencegah terjadinya pengembangan oleh air.

3.3 Hasil pengujian berat spesifik campuran abu vulkanik

Pengujian berat spesifik dilakukan pada tanah asli dan tanah campuran abu vulkanik. Hasil pengujian diperlihatkan dalam **Tabel 3** berikut.

Tabel. 3 Hasil Pengujian Berat Spesifik

Variasi Persen Campuran Abu Vulkanik	Gs
0%	2,65
7,5%	2,66
10%	2,67
12,5%	2,68
15%	2,69

Dapat dilihat dari **Tabel 3** menunjukkan hasil pengujian berat spesifik pada tanah Jalan Elak Kota Lhokseumawe meningkat secara linear dari nilai berat spesifik tanah asli.

3.4 Hasil pengujian batas-batas *Atterberg* tanah campuran abu vulkanik

Hasil pengujian batas-batas Atterberg meliputi batas cair dan batas plastis. Hasil dari nilai tersebut diperoleh nilai indeks plastisitas (PI). Hasil pengujian dapat dilihat dalam **Tabel 4** berikut ini.

Tabel 4 Hasil pengujian batas-batas *Atteberg* tanah campuran abu vulkanik

Variasi persen campuran abu vulkanik	Batas Cair (LL) %	Batas Plastis (PL) %	Indeks Plastis (PI) %
0%	66,77	34,58	32,19
7,50%	65,19	34,11	31,08
10%	66,38	36,76	29,62
12,50%	63,41	36,81	26,6
15%	59,62	31,41	28,21

Pada **Tabel 4** menunjukkan bahwa semakin bertambahnya persentase abu vulkanik maka batas cair dan nilai PI cenderung menurun dan batas plastis meningkat, namun pada persentase penambahan 15% campuran abu vulkanik nilai PI kembali meningkat, tetapi tidak lebih dari nilai PI tanah asli.

3.5 Hasil pengujian pemadatan

Berdasarkan pengujian pemadatan pada tanah asli dan tanah stabilisasi diperoleh hasil seperti dalam **Tabel 5** berikut ini.

Tabel 5 Hasil Pengujian Pemadatan

Parameter Pemadatan	Penambahan Abu Vulkanik				
	0%	7,5%	10%	12,5 %	15%
$\gamma_{d\ maks}$ (gr/cm^3)	1,26	1,31	1,32	1,34	1,35
γ_d 95% (gr/cm^3)	1,2	1,24	1,25	1,27	1,28
OMC %	35,3	35	34,6	33,6	33
W+ 95%	43,4	39,36	39	38,18	37,16
W- 95%	29,75	29,26	28,49	27,13	27,15

Dapat dilihat dari **Tabel 5** bahwa terjadi peningkatan setiap penambahan persentase abu vulkanik terhadap nilai kepadatan dari 1,26 gr/cm^3 menjadi sebesar 1,35 gr/cm^3. Pada nilai OMC terjadi penurunan secara linear dari 35,3% menjadi 33%. Untuk tanah lempung kepadatan kering pada perencanaan di lapangan harus mencapai $\geq$ 95% nilai kepadatan kering dari hasil laboratoriumnya. Nilai kepadatan 95% pada penelitian ini meningkat dari 1,2 gr/cm^3 menjadi 1,28 gr/cm^3 pada campuran 15%.

3.6 Hasil pengujian kuat geser langsung

Pada penelitian ini dilakukan pengujian geser langsung pada setiap variasi campuran dalam kondisi tanah rendaman dan tanah tak rendaman. Hasil pengujian kuat geser dapat dilihat dalam **Tabel 6** berikut ini.

Tabel 6 Hasil pengujian geser langsung

Campuran Abu Vulkanik	Kuat Geser Redaman maks (τ) (kg/cm²)	Kuat Geser tak Rendaman maks (τ) (kg/cm²)
0%	0,63	0,70
7,50%	0,67	0,70
10%	0,69	0,73
12,50%	0,73	0,75
15%	0,66	0,73

Terjadi peningkatan nilai kuat geser pada hasil pengujian geser langsung hingga persentase 12,5%, campuran abu vulkanik pada tanah dalam kondisi rendam maupun tak rendam. Namun terjadi penurunan kuat geser pada persentase 15%. Parameter kuat geser disajikan dalam **Tabel 7** berikut ini.

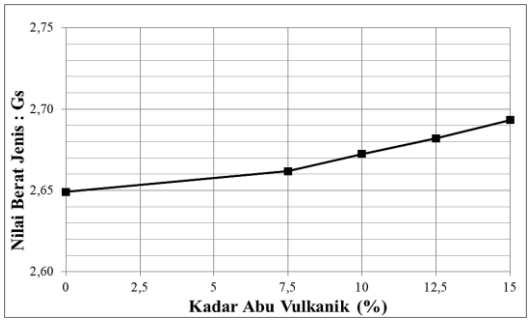
Tabel 7 Parameter kuat geser tanah

Campuran Abu Vulkanik	Rendaman		Tak rendaman	
	Kohesi (kg/cm²)	Sudut Geser (°)	Kohesi (kg/cm²)	Sudut Geser (°)
0%	0,199	24,2	0,219	26,6
7,50%	0,213	25,2	0,239	25,5
10%	0,216	25,9	0,256	26,2
12,50%	0,247	26,2	0,276	26,9
15%	0,222	23,8	0,258	25,5

Diperoleh nilai kohesi tertinggi terjadi pada 12,5% sebesar 0,199 kg/cm² dan 0,276 kg/cm² dan sudut geser tertinggi didapat pada campuran 12,5% sebesar 26,2° dan 26,6° pada tanah rendaman dan tak rendaman

3.7 Pengaruh campuran terhadap berat spesifik tanah stabilisasi

Pengujian berat spesifik memperoleh hasil seperti yang diperlihatkan dalam **Gambar 2**.

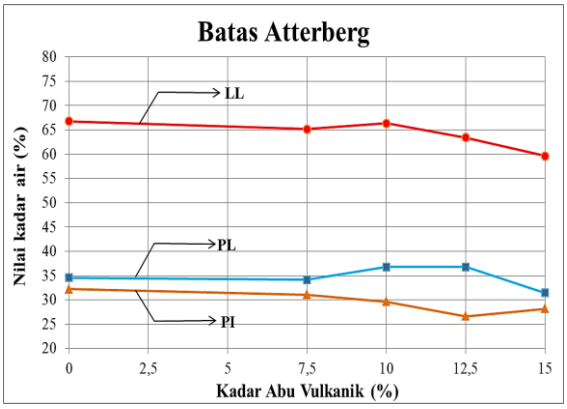


Gambar 2 Hubungan Kadar Abu Vulkanik dengan Berat Spesifik

Berdasarkan **Gambar 2** menunjukkan bahwa semakin bertambahnya persen campuran menyebabkan semakin meningkat nilai Gs tanah. Hal ini diperkirakan karena nilai Gs abu vulkanik lebih besar dari tanah asli sehingga semakin banyak campuran abu vulkanik dapat mempengaruhi kepadatan tanah pada saat pencampuran.

3.8 Pengaruh campuran terhadap batas-batas *Atterberg*

Penambahan abu vulkanik sebagai bahan stabilisasi jelas mempengaruhi batas-batas *Atterberg*. Hal ini terlihat dalam **Gambar 3** betikut ini.



Gambar 3 Hubungan Kadar Abu Vulkanik dengan Batas-Batas *Atterberg*

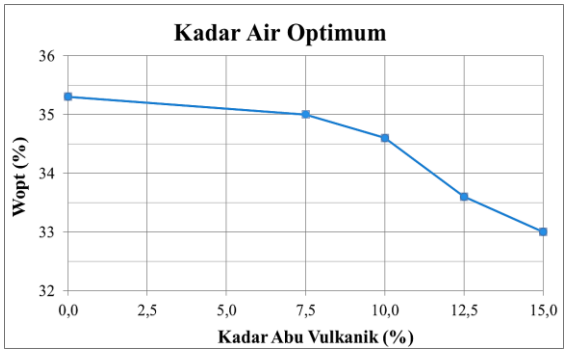
Diperoleh nilai batas cair tertinggi terjadi pada tanah asli, penambahan abu vulkanik sebagai stabilisasi dapat menurunkan nilai batas cair hingga pada penambahan 12,5% menjadi nilai batas cair terendah. Seiring berkurangnya batas cair, terjadi peningkatan pada nilai batas plastis hingga penambahan 12,5%, namun kembali menurun pada penambahan 15%.

Penurunan indeks plastisitas pada tanah campuran disebabkan karena adanya proses hidrasi dari abu vulkanik pada tanah dan pengisian pori-pori tanah. Terkandungnya silika pada abu vulkanik juga memperkuat ikatan antar partikel tanah. Bahan sementasi yang mengelilingi partikel membuat butiran lebih sulit ditembus air sehingga menurunkan penyerapan air dan keplastisitasan. Namun kembali meningkat pada campuran 15% karena abu vulkanik berlebih.

3.9 Pengaruh campuran terhadap pemadatan

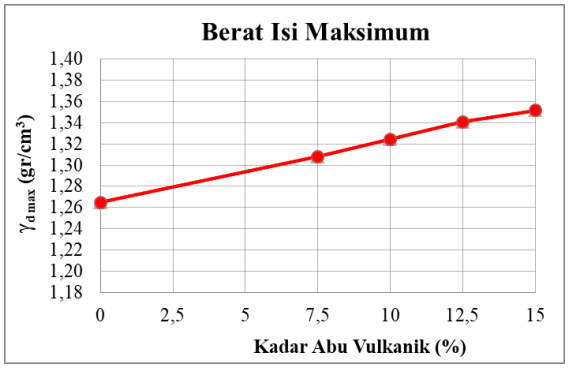
Hasil pengujian pemadatan memperlihatkan adanya pengaruh abu vulkanik terhadap

parameter pemadatan. Pengaruh penambahan campuran abu vulkanik terhadap kadar air optimum (Wopt) dan berat isi tanah Jalan Elak diperlihatkan dalam **Gambar 4** berikut ini.



Gambar 4 Hubungan Kadar Air Optimum dan Abu Vulkanik

Dalam **Gambar 4** menunjukkan semakin besar penambahan abu vulkanik maka semakin menurun kadar air optimum. Berkurangnya nilai kadar air optimum karena keluarnya air pori dari tanah pada saat proses pengujian pemadatan dan tercampurnya tanah dengan abu vulkanik yang menyebabkan air terhalang masuk ke dalam pori tanah sehingga menurunkan penyerapan air ke dalam tanah. Grafik hubungan berat kering isi dan abu vulkanik ditampilkan dalam **Gambar 5** berikut ini.

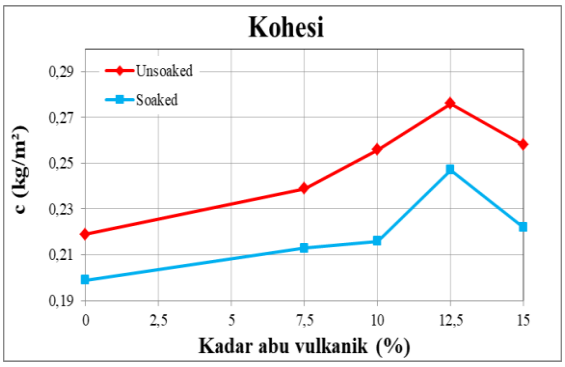


Gambar 5 Hubungan Berat Kering Maksimum (γ_{dmaks}) dengan Kadar Abu Vulkanik

Berdasarkan **Gambar 5** terjadi peningkatan nilai dari berat kering dikarenakan abu vulkanik mengisi rongga pori tanah sehingga kepadatan tanah semakin bertambah guna menghalangi masuknya air dalam rongga pori tanah menyebabkan peningkatan kekuatan tanah karena berkurangnya persentase air yang dikandung pada tanah.

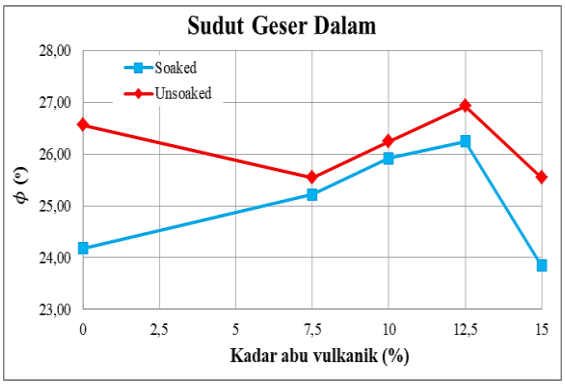
3.10 Pengaruh campuran terhadap kuat geser langsung

Pengujian ini dilakukan pada setiap variasi persentase abu vulkanik. Tanah diuji dalam kondisi tanah rendaman (*soaked*) dan tanah tak rendaman (*Unsoaked*). Hasil pengujian memperoleh nilai ϕ dan c. Grafik hasil nilai kohesi ditampilkan dalam **Gambar 6** berikut ini.



Gambar 6 Hubungan kohesi Tanah *Soaked* dan *Unsoaked* dengan Kadar Abu Vulkanik

Perubahan nilai kohesi terlihat seperti dalam **Gambar 6** yaitu adanya peningkatan hingga pada penambahan 12,5% disebabkan oleh reaksi antar partikel yang telah dicampur dengan abu vulkanik, dimana abu vulkanik memiliki daya ikat sehingga dapat menaikkan nilai kohesi. Perubahan nilai kohesi disebabkan adanya reaksi antar partikel, di mana abu vulkanik memiliki daya ikat, menurunkan sifat sensitif terhadap air sehingga mengurangi penyerapan air dan mengakibatkan tanah menjadi lebih kuat. Grafik hubungan sudut geser dengan kadar abu vulkanik dapat dilihat dalam **Gambar 7** berikut ini.



Gambar 7 Hubungan Sudut Geser Tanah *Soaked* dan *Unsoaked* dengan Kadar Abu Vulkanik

Berdasarkan **Gambar 7** terlihat secara keseluruhan adanya peningkatan nilai sudut geser. Nilai tertinggi sudut geser diperoleh pada campuran 12,5% abu vulkanik. Kemudian terjadi penurunan pada campuran 15%. Kondisi ini terjadi pada tanah kondisi rendaman dan tak rendaman. Naiknya nilai ini diperkirakan karena terjadinya peningkatan bidang kontak antar butiran akibat penambahan abu vulkanik karena butiran abu vulkanik mengisi pori tanah. Akibat peningkatan bidang kontak antar butiran tersebut maka gaya geser yang terjadi semakin besar dan menyebabkan nilai sudut geser meningkat. Namun penambahan abu vulkanik yang berlebih menyebabkan mengecilnya bidang kontak antar partikel tanah, sehingga nilai sudut geser menurun seperti yang terjadi pada persentase abu vulkanik 15%. Terjadi penurunan pada campuran 7,5% dan pada campuran 10% meningkat kembali namun belum melebihi nilai tanah aslinya, dalam kondisi ini campuran abu vulkanik tidak berpengaruh terhadap nilai sudut geser.

4. Kesimpulan

Menurut klasifikasi AASHTO tanah Jalan Elak Kota Lhokseumawe tergolong A-7-5 (34). Menurut klasifikasi USCS tanah disimbolkan menjadi MH yaitu lanau anorganik dengan plastisitas tinggi. Terjadi penurunan pada nilai batas cair terendah pada campuran 15% diiringi peningkatan batas plastis hingga campuran 12,5%. Demikian pula pada indeks plastisitas terjadi penurunan hingga pada 12,5% dan terjadi peningkatan nilai pada campuran 15%. Nilai kepadatan meningkat secara linear hingga campuran 15% serta menjadi nilai tertinggi sebesar 1,35 gr/cm^3 dan diiringi penurunan nilai kadar air optimum sebesar 33% pada campuran 15%. Penambahan abu vulkanik juga berpengaruh pada nilai parameter kuat geser tanah, dimana nilai ϕ dan c meningkat pada campuran 12,5% dan mengalami penurunan pada campuran 15%. Kondisi ini terjadi pada tanah rendaman dan tak rendaman

5. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh abu vulkanik. Penulis memberi saran untuk melanjutkan perhitungan daya dukung tanah dan memvariasikan bahan campuran seperti semen, *fly* ash, serabut kelapa dan lain-lain untuk digunakan dalam penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

[1] H. C. Hardiyatmo, Mekanika Tanah 1, 3rd ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1993.

[2] B. M. Das, Advanced Soil Mechanic, Third Edit. New York, NY 10016, USA: Taylor & Francis.

[3] Anonim, "Modul Bahan Tanah untuk Badan Jalan," in Diklat Penggunaan Bahan dan Peralatan Pekerjaan Jalan dan Jembatan, 1st ed., Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pusat Pendidikan dan Pelatihan Jalan, Perumahan, Permukiman, dan Pengembangan Infrastruktur Wilayah, 2016, pp. 1–24.

[4] Anonim, Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak, 1st ed. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002.

[5] R. N. Mu'minah, "pengaruh abu vulkanik terhadap parameter kuat geser tanah lempung," Universitas Indonesia, tahun 2014.

[6] Darwis, Dasar-Dasar Mekanika Tanah, 1st ed. Makassar: Pena Indis, 2018.

[7] Munirwansyah and R. Pahlevi Munirwan, "Stabilization On Expansive Soil For Road-Subgrade For Geotechnic Disaster Approach," Int. J. Disaster Manag., vol. 1, no. 1, pp. 8–19, 2017.

[8] Munirwansyah, "Kajian Geoteknik Tentang Boundary Condition dan Hubungan Empiris Fungsi Filler untuk Menentukan Stabilitas Material Pondasi Jalan Raya," J. Tek. Sipil Univ. Syiah Kuala, vol. 6, no. 1, pp. 9–16, 2007.

[9] B. Chairullah, "Stabilisasi Lempung Lunak untuk Material Tanah Sub Grade Sub Base Jalan Raya," J. Tek. Sipil dan Univ. Syiah Kuala, vol. 1, no. 1, pp. 61–70, 2011.

[10] S. Rahmaneta, Munirwansyah, and B. Chairullah, "Pengaruh Stabilisasi Kapur Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah Lempung Ekspansif," J. Civ. Eng. Student, vol. 2, no. 1, pp. 8–14, 2020.

[11] T. S. Julis, Munirwansyah, and R. Anggraini, "Pengaruh Kapur Sebagai Stabilizing Agent Terhadap," J. Arsip Rekayasa Sipil dan Perenc., vol. 1, no. 4, pp. 99–107, 2018, doi:

10.24815/jarsp.v1i1.12460.

[12] Marwan and D. Sundary, "Analisis Hubungan Parameter Kuat Geser dengan Koefisien Permeabilitas Tanah Lempung yang diperbaiki Gradasinya.pdf," J. Tek. Sipil Univ. Syiah Kuala, vol. 5, pp. 9–19, 2006.

[15] S. Suwantoro, Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Abu Vulkanik Merapi terhadap Kapasitas Dukung Tanah (CBR Test & UCS Test). 2007.

[16] H. C. Hardiyatmo, Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, 2nd ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2011.

[17] Y. Yudhyantoro, "Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Kepadatan dan Nilai CBR Tanah Gambut Abu Tinggi," J. Tek. Sipil Univ. Syiah Kuala, vol. 2, no. 2, pp. 137–156, 2013.