



PENURUNAN KEKUATAN TANAH TERSTABILISASI *PALM OIL FUEL ASH* BERBASIS ALKALI AKTIVATOR MATERIAL DILINGKUNGAN GAMBUT

Muhammad Toyeb^{1*}, Husni Mubarak², Puspa Ningrum³, Jefri Gunawan Tanjung⁴

¹²³⁴ Program Studi Teknik Sipil; Universitas Abdurrahman Wahid; Jalan Riau Ujung, Nomor 73, Kota Pekanbaru-Riau, Indonesia;
e-mail mtoyeb@gmail.com

Info Artikel

Abstrak

Sejarah Artikel:

Diterima: Mei 2023

Disetujui: Juni 2023

Dipublikasikan: Juni 2023

Keywords:

Pasir; POFA; Alkali; Air Gambut

Air gambut mengandung pH rendah dan bersifat asam yang korosif pada benda tersementasi seperti tanah terstabilisasi *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) berbasis larutan alkali aktivator. Tanah dicampur POFA dengan kadar 5%, 10% dan 15% dan kemudian ditambahkan sodium silika (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH). Benda uji dipersiapkan untuk uji propertis dan uji tekan bebas. Benda uji tekan bebas direndam terlebih dahulu kedalam air gambut selama 0, 7, 14 dan 28 hari. Hasil uji dari sifat fisik tanah menunjukkan campuran POFA menurunkan indeks plastisitas dan meningkatkan kadar air optimum (OMC) serta menurunkan berat volume kering (MDD). Sedangkan hasil uji tekan bebas antara campuran tanah, POFA dan alkali yang menunjukkan terjadi peningkatan kekuatan tanah pada kadar POFA 5% dan 10% diumur 7 hari, masing-masing 760 kPa dan 1312 kPa. Kemudian kekuatan terus turun dengan signifikan lebih dari 50% diumur 28 hari menjadi 365 kPa dan 372 kPa. Sedikit peningkatan kekuatan tanah dengan konsisten terjadi pada penambahan kadar POFA 15% selama umur perendaman. Meskipun kekuatan tanah yang diperoleh diumur 28 hari hampir sama dengan kadar campuran lainnya sebesar 356 kPa. Proses sintesis *aluminasilikat* dengan kadar POFA 15% dapat menambah kekuatan ikatan antar butir tanah yang menjadikan benda uji lebih tahan terhadap serangan asam.

Kata Kunci: Pasir, POFA, Alkali, Air Gambut.

Abstract

Peat water contains low pH and acid caused corrosive on cementation structure as stabilized soilbased alkali activated POFA. The soil samples mixed with different percentages of POFA (5%, 10%, and 15%) and alkali activator solution (sodium silica; Na_2SiO_3) and sodium hydroxide, NaOH) were immersed in peat water for various durations (0, 7, 14, and 28 days). The test results for the physical properties of the soil showed that the addition of POFA decreased the plasticity index and increased the optimum moisture content (OMC) while reducing the dry density (MDD) of the soil mixture. Furthermore, the unconfined compressive strength test indicated that the soil's strength increased at a 5% and 10% POFA content after 7 days of immersion, with strengths of 760 kPa and 1312 kPa, respectively. However, the strength significantly decreased by over 50% after 28 days of immersion, reached 365 kPa and 372 kPa for the respective POFA contents. A slight increase in soil strength was observed with the addition of 15% POFA content during the

immersion period. Although the strength obtained after 28 days was almost the same for all mixtures at 356 kPa, higher levels of aluminosilicate synthesis as 15% POFA can enhance the bonding strength between soil particles, making the test specimen more resistant to acid attack.

Keywords: Sand, POFA, Alkali, Peat Water

✉ Alamat korespondensi:

Jl. Riau Ujung No. 73

E-mail: mtoyeb@gmail.com

ISSN 2527-7073

PENDAHULUAN

Kekuatan tanah memegang peranan penting dalam menjaga kestabilan struktur di atasnya. Diperlihatkan dalam kemampuan dalam menahan beban dan ketahanan terhadap menjaga deformasi berlebih yang ditimbulkan. Tanah yang memiliki daya dukung rendah akan menimbulkan masalah untuk konstruksi di atasnya. Biasanya tanah bermasalah ini akan mendapatkan perlakuan khusus agar kekuatannya dapat meningkat.

Cara stabilisasi selalu diaplikasikan untuk memperbaiki parameter tanah yang tidak sesuai dengan spesifikasi teknis. Salah satunya stabilisasi tanah secara kimiawi dengan mencampur bahan limbah padat dari pabrik kelapa sawit. Limbah tersebut sering diistilahkan dengan sebutan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*). POFA dihasilkan dari proses pembakaran dengan temperature 800 – 1000°C yang digunakan untuk membakar serat, cangkang, tandan buah kosong [1]. POFA dikelompokkan kedalam material bersifat pozzolan seperti juga *fly ash*, *slag*, abu vulkanik dan beberapa percobaan telah dilakukan untuk mengaktifkan sifat pozzolanic menjadi sebuah binder layaknya seperti semen [2]. Sifat pozzolanic yang terkandung dalam POFA yang kaya silica (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) dapat diaktifkan dengan menambahkan larutan alkali. Peranan alkali sangat menentukan dalam proses sintesis senyawa alumina dan silika (*aluminosilicate*) yang terkandung didalam POFA. Alkali yang biasa digunakan dalam campuran terdiri dari sodium silica (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH). Proses sintesis dari senyawa kimia itu akan merubah karakteristik tanah menjadi lebih padat.

Alkali sebagai aktivator senyawa silika dan alumina telah banyak digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanah diberbagai penelitian terdahulu. Campuran pasir dan POFA serta larutan Na_2SiO_3 dan NaOH mampu mencapai kuat tekan tertinggi [3]. Sodium silika dan sodium hidroksida sebagai alkali aktivator dapat meningkatkan kuat tekan dan menghasilkan mikrostruktur lebih padat dan homogen [4]. Alkali aktivator memiliki pengaruh dalam percepatan kekuatan di umur awal pemeraman (Cristelo et al., 2012). Dari beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat bahwa dengan adanya penyertaan larutan alkali dalam campuran POFA

dan tanah terbukti mampu meningkatkan kekuatannya, maka penelitian ini difokuskan pada pengamatan perilaku tanah terstabilisasi yang ditinjau dari kekuatannya bila berada dilingkungan gambut.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar penurunan kekuatan tanah terstabilisasi POFA teraktivasi alkali dalam lingkungan gambut tersebut yang dilaksanakan dengan cara merendam sampel uji dalam air gambut. Sifat air gambut yang memiliki kandungan zat organik tinggi dan menjadikan tingkat pH rendah serta bersifat asam, sehingga air gambut bersifat korosif (Handayani, 2018). Oleh karena itu pentingnya penelitian ini dilakukan sebagai kajian dalam melihat pengaruh air gambut dalam mengubah perilaku tanah terstabilisasi POFA teraktivasi alkali.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut.

Palm Oil Fuel Ash (POFA)

Abu kelapa sawit yang disebut juga dengan *Palm Oil Fuel Ash (POFA)* dihasilkan dari pembakaran limbah padat kelapa sawit pada suhu sekitar 800 - 1.000°C pada pembangkit listrik tenaga uap di pabrik kelapa sawit [5].

Alkali Aktivator

Istilah geopolimer dipopulerkan oleh Davidovits (1994) bagi polimer mineral yang dihasilkan dari geokimia. Geopolimer adalah polimer alumina silikat inorganik yang disintesa dari bahan silika dan aluminium. Bahan silika dan aluminium diperoleh dari bahan alami maupun hasil sampingan industri seperti abu sawit dan abu terbang [6]. Aktivator yang digunakan dalam geopolimerisasi dapat berupa Ca (OH)₂, NaOH, natrium silikat, kombinasi NaOH dan natrium silikat, kombinasi KOH dan NaOH, KOH, potassium silikat dan kombinasinya, serta natrium karbonat.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan dilaboratorium mekanika tanah universitas Abdurrah yang didukung berdasarkan data primer dari hasil uji properties dan uji mekanis. Benda uji dalam kondisi dibentuk kembali (*remoulded*) yang dipersiapkan untuk uji kuat tekan bebas. Tahapan penelitian dilakukan menurut standar nasional Indonesia. Bahan dan alat penelitian dapat dijelaskan berikut.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tanah yang digunakan untuk material timbunan badan jalan. Bahan stabilisasi POFA didapatkan dari pabrik kelapa sawit di Provinsi Riau, Kemudian bahan alkali aktivator berupa sodium silica (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) didapatkan di toko penjual bahan kimia. Selanjutnya bahan rendaman berupa air gambut diambil dari lokasi genangan air gambut dilingkungan sekitar.

Alat

Alat yang digunakan untuk uji properties tanah terdiri dari alat uji saringan agregat halus, alat uji kadar air, alat uji berat jenis, alat uji batas konsistensi dan alat uji pH air. Sedangkan alat uji mekanis terdiri dari alat uji pemadatan standar dan alat uji tekan bebas (UCT).

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian terlebih dahulu menguji propertis bahan tanah dan POFA. Setelah itu dilanjutkan dengan menguji pemadatan standar untuk mendapatkan berat volume kering (MDD) dan kadar air optimum (OMC) dari benda uji. Dimana data OMC akan digunakan sebagai acuan desain kadar campuran larutan alkali. Rasio antara sodium silica dan sodium hidroksida (Si/Al) ditetapkan sebesar 0.5 dan konsentrasi molaritas sodium hidroksida digunakan 10 M. Sebagaimana disebutkan, bahwa penggunaan konsentrasi NaOH 10M menunjukkan performa terbaik dalam mencapai kekuatan tekan [7]. Kemudian kadar POFA yang ditambahkan pada tanah sebesar 5%, 10%, 15% dari berat volume kering tanah. Desain campuran benda uji dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Desain campuran benda uji

Benda uji	Tanah (gr)	POFA (gr)	Rasio Si/Al	Alkali Aktivator (gr)	Si (gr)	Larutan Al (gr)
Tanah	464,4	-	-	-	-	-
Tanah + POFA 5%	441,2	23,2	0,5	69,7	34,8	34,8
Tanah + POFA 10%	417,9	46,4	0,5	83,6	41,8	41,8
Tanah + POFA 15%	394,7	69,7	0,5	97,5	48,8	48,8

Benda uji yang telah dibentuk kembali kemudian diperam yang masing masing untuk tanah asli diperam selama 0 hari dan langsung dilakukan pengujian tekan bebas. Sedangkan untuk tanah terstabilisasi diperam selama 7, 14 dan 28 hari dalam kondisi direndam. Dimana sebelum direndam kedalam air gambut selama umur pemeramannya, terlebih dahulu benda uji dimasukkan kedalam oven pada suhu 80°C selama ± 6 jam untuk memberikan proses percepatan reaksi kimia sintesis *aluminosilicate* dalam pembentukan fase kristalisasi. Proses reaksi polimerisasi (sintesis *aluminosilicate*) membutuhkan panas dan metode perawatan dengan menggunakan oven dengan suhu tinggi serta waktu yang lebih lama cenderung lebih baik untuk mendapatkan kekuatan yang lebih tinggi. [8].

Analisis Data

Beberapa analisis data yang dilakukan untuk mencapai tujuan terdiri dari analisis tanah untuk mendapatkan klasifikasi jenis tanah. Kemudian analisis penentuan kadar air optimum dan berat volume maksimum dan analisis batas konsistensi tanah terhadap kadar campuran POFA. Serta melakukan analisis terhadap hasil uji kuat tekan tanah berdasarkan uji tekan bebas. Keseluruhan analisis ini ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Tahapan penelitian dimulai dari melakukan persiapan bahan POFA yang dilakukan perawatan dengan cara dihaluskan menggunakan mesin penghalus elektrik. Kemudian POFA disaring menggunakan ukuran saringan no. 100 (0.150 mm). Bahan POFA yang telah halus selanjutnya dilakukan perawatan lanjutan dengan memanaskan kembali kedalam oven dengan suhu 250°C selama ± 6 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Properties Tanah dan Air Gambut

Tanah yang telah disediakan dikeringkan terlebih dahulu dibawah sinar matahari sampai dalam kondisi kering udara dan kemudian dilakukan uji properties yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji properties tanah

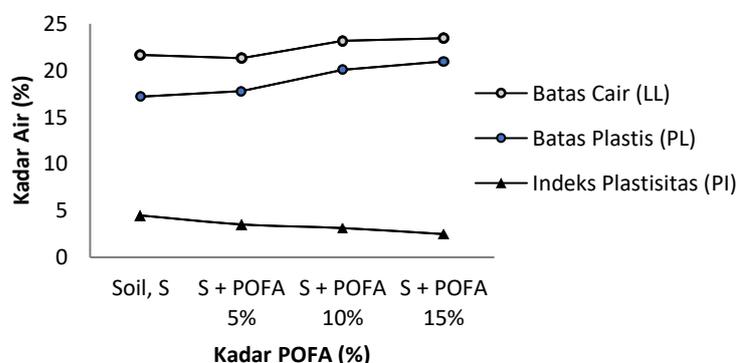
No	Parameter	Tanah
1	Batas cair (<i>LL</i>)	21,68%
2	Batas plastis (<i>PL</i>)	17,20%
3	Indeks Plastisitas (<i>IP</i>)	4,48%
4	Berat spesifik, G_s	2,59
5	Lempung dan lanau (%)	4,2
6	Pasir (%)	95,8
7	Klasifikasi tanah:	
	USCS	SW, SM
	AASHTO	A-a-1

Dari Tabel 2 menunjukkan tingkat parameter tanah asli sebelum dilakukan pencampuran dengan POFA. Kemudian untuk berat spesifiknya sebesar 2,59 masuk kedalam jenis pasir. Adapun dari hasil uji analisis saringan, didapatkan 95.8% tanah mengandung pasir. Maka berdasarkan uji properties ini dapat diberikan klasifikasi tanah menurut USCS masuk kedalam kelompok pasir bergradasi baik dan menurut AASHTO masuk kedalam klasifikasi pasir.

Properties air gambut yang digunakan sebagai bahan rendaman benda uji ditentukan berdasarkan kadar pH yang terkandung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa air gambut mengandung pH 5,5 yang termasuk kedalam golongan asam ($pH < 7$).

Konsistensi Tanah

Tanah memiliki batas konsistensi terhadap campuran POFA yang diuji terhadap batas cair dan batas plastis. Batas cair didapatkan dengan menggunakan alat Casagrande untuk mendapatkan kadar air tanah yang berubah dari kondisi plastis menjadi cair pada 25 ketukan. Sedangkan batas plastis diperoleh dengan menggelengkan tanah diatas bidang datar sampai tanah tersebut mengalami keretakan pada diameter sekitar 3 mm. Hasil uji batas cair dapat dilihat pada Gambar 1.



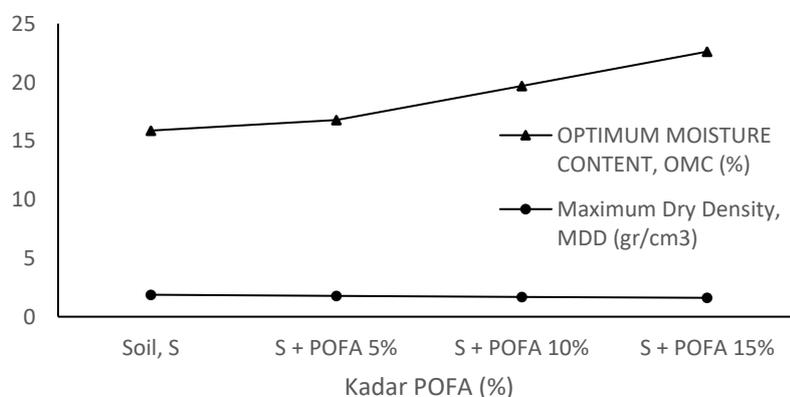
Gambar 1. Batas Konsistensi Tanah

Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan bahwa tanah mengalami perubahan konsistensi setelah dicampur POFA. Batas plastis tanah cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar POFA. Peningkatan batas cair dari tanah asli yang semula dari 21,68% menjadi meningkat sampai penambahan kadar POFA sebesar 15% menjadi 23,46%. Ukuran butiran POFA kecil dari 150 μ m, menjadikan POFA sebagai butiran halus yang menyerap air seperti halnya butiran lempung. Sehingga membutuhkan kadar air yang lebih agar tanah dapat mencapai batas cairnya yang menuju kebatas plastis. Begitu juga dengan batas plastis tanah yang meningkat seiring penambahan kadar POFA. Tambahan POFA menyebabkan agregat butiran halus dalam tanah

bertambah. sehingga batas konsistensi tanah yang dilihat dari selisih dari batas cair dikurangi batas plastis yang diinterpretasikan sebagai tingkat plastisitasnya. Dimana hasil uji menunjukkan indeks plastisitas tanah asli sebesar 4,48% masuk kedalam sifat plastisitas rendah. Cenderung menurun seiring penambahan kadar POFA yang nilai indeks plastisitasnya menjadi 2.48%.

Pengaruh Campuran Tanah dan POFA Pada Pemadatan Standar Laboratorium

Pemadatan dilakukan untuk mendapatkan perubahan pada kadar air optimum (OMC) dan berat volume maksimum (MDD) terhadap penambahan persentase POFA dalam campuran tanah. Hasil pemadatan dengan alat proctor standar dapat dilihat pada Gambar 2.

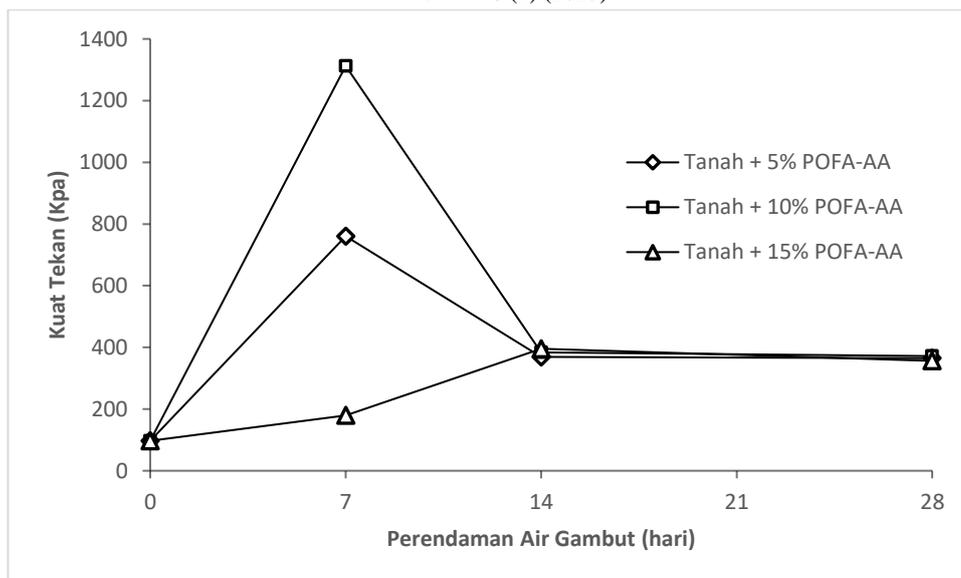


Gambar 2. Nilai OMC dan MDD

Gambar 2 menunjukkan perubahan karakteristik mekanis tanah setelah dicampur POFA dalam parameter OMC dan MDD. Apabila dilihat dari OMC yang cenderung meningkat seiring penambahan kadar POFA yang dimulai dari OMC tanah asli sebesar 14% yang semakin meningkat sampai 21% pada penambahan POFA 15%. Butiran POFA yang halus banyak menyerap air dan menjadikan tanah sedikit lebih lunak. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan tingkat kepadatan yang dapat dilihat pada grafik MDD. Pada tanah asli tingkat kepadatan sebesar 1,88 gr/cm³ terus menurun menjadi 1,61 gr/cm³. Walaupun penurunan hanya sedikit, tetapi sudah dapat mengindikasikan bahwa POFA memiliki pengaruh terhadap perubahan karakteristik mekanis tanah.

Pengaruh Rendaman Air Gambut

Air gambut bersifat asam memiliki sifat korosif pada ikatan material bahan-bahan yang mengandung pozzolan yang mengandung unsur silika dan alumina. Hasil kekuatan tanah terstabilisasi yang direndam dalam air gambut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Air gambut Terhadap Kuat Tekan

Gambar 3 menunjukkan pergerakan kekuatan tanah terstabilisasi yang direndam air gambut dengan beberapa variasi campuran kadar POFA dan satu variasi larutan alkali aktivator. Kenaikan kekuatan tanah secara fluktuatif terjadi pada umur perendaman 7 hari. Tanah terstabilisasi dengan kadar 10% POFA menghasilkan kekuatan tertinggi sebesar 1312 kPa. Dibawahnya terdapat pada kadar 5% POFA dengan kekuatan sebesar 760 kPa. Sedangkan peningkatan terendah terjadi pada kadar 15% POFA sebesar 180 kPa. Reaksi sintesis aluminasilikat yang terjadi pada benda uji begitu cepat diawal-awal umur pemeraman yang diindikasikan dengan adanya peningkatan kekuatan. Lalu kekuatan tanah terstabilisasi cenderung menurun seiring bertambahnya umur perendaman. Dimana pada umur perendaman 14 hari, kekuatan tanah dari semua campuran POFA (5%, 10 dan 15%) hampir menuju ketitik kekuatan yang sama yaitu 369 kPa, 385 kPa, 396 kPa. Tambahan kadar POFA 5% dan 10% tidak menjadikan reaksi sintesis aluminasilikat pada benda uji menjadi ikatan yang kuat, dimana kekuatannya cenderung turun sampai umur 28 hari sebesar 365 kPa dan 372 kPa. Sehingga terjadi penurunan yang signifikan setengah dari kekuatannya. Kehilangan kuat tekan dapat diakibatkan oleh lemahnya ikatan antara produk *aluminosilikat* abu sawit, sehingga geopolimer dari abu sawit kurang stabil dan mudah rusak dalam larutan [9].

Unsur silika dan alumina dalam POFA dengan kadar 5% dan 10% tersebut tidak bereaksi banyak setelah ditambahkan larutan alkali. Tetapi bila dilihat pada campuran 15% POFA, menunjukkan konsistensi peningkatan kekuatan diumur 7 hari dan 14 hari yang kemudian terus konstan peningkatannya sampai umur 28 hari. Material geopolimer memiliki ketahanan lebih tinggi terhadap lingkungan asam karena memiliki ikatan aluminosilikat yang stabil dan tidak mudah bereaksi langsung dengan senyawa asam di lingkungan gambut [9]. Kadar POFA yang

banyak tentunya mengandung unsur silika alumina yang banyak pula, sehingga proses terjadinya reaksi pembentukan ikatan antar butir tanah menjadi lebih maksimal.

SIMPULAN

Berdasarkan uraian penjelasan dari hasil dan pembahasan yang telah dikemukakan, sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan. Bahwa penyertaan POFA dan larutan alkali sangat berpengaruh terhadap perubahan karakteristik tanah. Bahan tanah yang digunakan termasuk kedalam klasifikasi tanah pasir dengan plastisitas rendah. Campuran POFA mampu menurunkan indeks plastisitas tanah. Sedangkan penambahan POFA 5%, 10% dan 15% juga meningkatkan kadar air optimum dan menurunkan berat volume kering dengan sedikit perubahan. Kemudian dari penelitian ini menunjukkan air gambut dapat menurunkan kekuatan tanah terstabilisasi POFA teraktivasi alkali lebih dari 50% kekuatannya bila dalam campuran tersebut hanya ditambahkan 5 dan 10% POFA. Sementara itu dengan campuran 15% POFA menjadikan kekuatan tanah terstabilisasi mampu meningkat dengan konsisten dan bertahan dalam pengaruh rendaman air gambut sampai umur 28 hari, walaupun peningkatan kekuatannya paling rendah dari campuran lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada pihak terkait yang telah membantu dan bekerjasama demi kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. Firoozi, C. Guney Olgun, A. A. Firoozi, and M. S. Baghini, "Fundamentals of soil stabilization," *Int. J. Geo-Engineering*, vol. 8, no. 1, 2017, doi: 10.1186/s40703-017-0064-9.
- [2] P. Ghadir and N. Ranjbar, "Clayey soil stabilization using geopolymer and Portland cement," *Constr. Build. Mater.*, vol. 188, pp. 361–371, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.07.207.
- [3] D. A. Runyut, S. Robert, I. Ismail, R. Ahmadi, and N. A. S. binti Abdul Samat, "Microstructure and Mechanical Characterization of Alkali-Activated Palm Oil Fuel Ash," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 30, no. 7, p. 04018119, 2018, doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002303.
- [4] A. Purbasari, T. W. Samadhi, and Y. Bindar, "The effect of alkaline activator types on strength and microstructural properties of geopolymer from co-combustion residuals of bamboo and kaolin," *Indones. J. Chem.*, vol. 18, no. 3, pp. 397–402, 2018, doi: 10.22146/ijc.26534.

- [5] W. Tangchirapat, C. Jaturapitakkul, and P. Chindaprasirt, "Use of palm oil fuel ash as a supplementary cementitious material for producing high-strength concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 7, pp. 2641–2646, Jul. 2009, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2009.01.008.
- [6] Joseph Davidovits, "Joseph Davidovits. (1994). High-Alkali Cements for 21 sf Century Concretes. ACI Special Publication, 144, 383–398. High-Alkali Cements for 21 sf Century Concretes," *ACI Spec. Publ.*, vol. 144, pp. 383–398, 1994.
- [7] A. N. Hashim, K. Hussin, N. Begum, M. M. Al Bakri Abdullah, K. Abdul Razak, and J. J. Ekaputri, "Effect of Sodium Hydroxide (NaOH) Concentration on Compressive Strength of Alkali-Activated Slag (AAS) Mortars," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 754–755, pp. 300–304, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.754-755.300.
- [8] N. L. Khoiriyah and D. P. Maisytoh, "Karakteristik Mortar Geopolimer Dengan Perawatan Oven Pada Berbagai Variasi Waktu Curing," *J. Tek. Sipil*, vol. 15, no. 1, pp. 1–8, 2016.
- [9] M. Olivia, "Geopolimer Sebagai Material Infrastruktur Berkelanjutan Di Lingkungan Gambut," *Annu. Civ. Eng. Semin.*, p. 6, 2015.