



## PENGARUH RASIO ALKALI AKTIVATOR DALAM CAMPURAN TANAH-POFA BERDASARKAN UJI TEKAN BEBAS

Muhammad Toyeb<sup>1\*</sup>, Puspa Ningrum<sup>2</sup>

<sup>1\*,2</sup> Program Studi Teknik Sipil; Universitas Abdurrahman  
Jalan Riau Ujung Nomor 73 Kota Pekanbaru-Riau, Indonesia  
Alamat E-mail [mtoyeb@gmail.com](mailto:mtoyeb@gmail.com)

### Info Artikel

#### Sejarah Artikel:

Diterima: April 2024  
Disetujui: April 2024  
Dipublikasikan: Juni 2024

#### Keywords:

Tanah; POFA; Alkali Aktivator; Kekuatan

### Abstrak

Stabilisasi tanah modern telah menyertakan faktor bahan ramah lingkungan dalam desain campurannya. Penambahan larutan Alkali aktivator dalam campuran tanah terstabilisasi memberikan alternatif pilihan pada inovasi material pengikat untuk butir-butir tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tambahan alkali aktivator pada campuran tanah-POFA dalam perubahan karakteristik kekuatan tanah melalui uji tekan bebas. Alkali aktivator berupa Sodium silika ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) yang disiapkan dengan rasio (Si/Al: 1.0, 1.5, 2.0, 2.5) serta konsentrasi molaritas  $\text{NaOH}$  sebesar 10M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stabilisasi tanah-POFA hanya memberikan sedikit peningkatan kekuatan tanah untuk pasir berlempung gradasi buruk. Tetapi dengan penambahan larutan alkali aktivator memberikan peningkatan kekuatan yang signifikan. Dimana kuat tekan bebas tertinggi diperoleh dari rasio 2.5 dan memiliki karakteristik sebagai material pengikat yang cepat mengeras diawal umur perawatan.

**Kata Kunci:** Tanah, POFA, Alkali Aktivator, Kekuatan

### Abstract

Modern soil stabilization has included environmentally friendly materials in the mixture design. Adding an alkali activator provides an alternative to the innovation of the binder agent for soil stabilization. This study aims to know the effect of adding the alkali activator soluble for soil-POFA mixture on changes in the soil strength characteristic through an unconfined compression test (UCT). The alkali activators are sodium silica ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) and Sodium Hydroxide ( $\text{NaOH}$ ). They prepare with a ratio Si/Al: 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, and  $\text{NaOH}$  concentrated at 10M. Compressive strength to the soil-POFA mixture obtained slightly increased strength, and the soil is clayey sand poorly graded. However, adding the alkali activator increases the soil strength significantly. Thus, the soil-POFA with the alkali activators gained the maximum compressive strength on a ratio of 2.5, and it all has the characteristic of rapid hardening in the initial period as a binder agent.

---

## PENDAHULUAN

Metode stabilisasi tradisional dari bahan semen dan kapur selalu digunakan untuk solusi perkuatan kedalam campuran tanah yang memiliki karakteristik kuat dukung rendah. Juga dikenal sebagai bahan *pozzolan* dengan fungsi pengikat (*binder*) dan mampu menurunkan indeks plastisitas tanah serta keunggulan lainnya. Tapi bahan-bahan ini memberikan dampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan. Dalam produksi semen perlu energi pembakaran yang besar dengan temperature 1450-1550° C dan mengeluarkan emisi karbondioksida keudara setara dengan jumlah produksinya tersebut [1].

Saat ini telah dikembangkan bahan *pozzolan* ramah lingkungan dengan performa sebanding dengan bahan semen, bila disertakan larutan aktivator dalam campurannya. Bahan *pozzolan* tersebut dikenal dengan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA). Merupakan limbah perkebunan kelapa sawit dan berasal dari hasil pembakaran cangkang, serat dan tandan buah kosong [2]. Penggunaan POFA kedalam campuran tanah, mampu menurunkan indeks plastisitas tanah dari sedang menjadi rendah [3]. Sifat *pozzolan* dalam POFA dapat diaktifkan dengan menambahkan larutan alkali aktivator seperti Sodium silika ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Sodium hidroksida (NaOH). Layaknya seperti semen, beberapa percobaan telah dilakukan pada bahan *pozzolan* lainnya seperti abu vulkanik, *slag* dan *fly ash* yang memberikan peningkatan kekuatan tanah [4].

Berbagai penelitian telah melakukan kajian tentang pengaruh peningkatan kekuatan tanah dari penambahan larutan alkali aktivator kedalam campuran tanah-POFA. Kombinasi campuran antara pasir dan POFA dengan sodium silika ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan sodium hidroksida (NaOH) menghasilkan kuat tekan tertinggi bila dibandingkan dengan campuran tanpa menggunakan salah satu alkali aktivator tersebut [5]. Campuran alkali aktivator kedalam tanah terbukti merubah struktur menjadi padat dan homogen serta menambah kuat tekan [6]. Penggunaan alkali aktivator sekarang ini banyak diperkenalkan sebagai binder alternatif selain dari bahan semen dan kapur [7]. Keunggulan lainnya dari alkali aktivator terdapat pada percepatan peningkatan kekuatan diawal perawatan atau cepat mengeras [8].

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh larutan alkali aktivator yang ditambahkan kedalam campuran stabilisasi tanah-POFA. Guna mendapatkan seberapa besar peningkatan kekuatan yang terjadi selama masa perawatan. Sehingga dapat memberikan hipotesis awal tentang keunggulan penggabungan alkali aktivator untuk mereaksikan sifat *pozzolan* pada bahan POFA. Oleh karena itu, penelitian ini penting diajukan untuk memperkenalkan produk *binder* ramah

lingkungan dimasa mendatang dan dapat mengurangi pemakaian bahan semen untuk pekerjaan konstruksi khususnya metode stabilisasi tanah modern.

## **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 [9]. Limbah padat kelapa sawit terdiri dari cangkang, serabut dan tandan buah kosong yang dibakar bersama-sama sebagai bahan bakar ketel uap (*boiler*).

### **Alkali Aktivator**

Istilah geopolymer 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 [10]. Aktivator yang digunakan dalam geopolimerisasi dapat berupa  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , NaOH, natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), kombinasi NaOH dan natrium silikat, kombinasi KOH dan NaOH, KOH, potassium silikat dan kombinasinya, serta natrium karbonat.

## **METODE**

### **Bahan**

Bahan tanah asli diperoleh dari pekerjaan galian tanah untuk timbunan jalan dan POFA diperoleh dari pabrik pengolahan kelapa sawit di Provinsi Riau. Sedangkan alkali aktivator yang terdiri dari Sodium silica ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Sodium hidroksida (NaOH) didapatkan pada toko penjual bahan-bahan kimia.

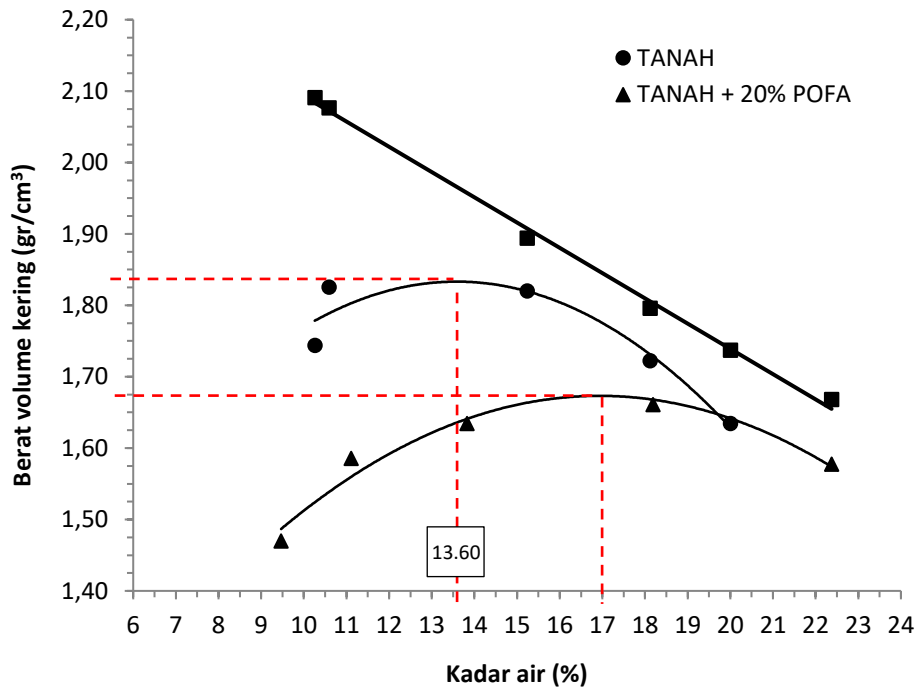
### **Alat**

Alat yang digunakan untuk uji properties tanah terdiri dari alat uji saringan agregat, alat uji kadar air, alat uji berat jenis, alat uji batas-batas konsistensi. Sedangkan alat uji mekanis terdiri dari alat uji pemadatan standar dan alat uji tekan bebas (UCT). Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Abdurrab.

**Prosedur Penelitian**

Uji properties tanah dilakukan untuk mendapatkan klasifikasi tanah yang terdiri dari Analisa ukuran butir (SNI ASTM C136:2012), pemeriksaan kadar air (SNI 1965:2008), pemeriksaan berat jenis (SNI 1964:2008) pemeriksaan batas cair (SNI 1966:2008) dan batas plastis (SNI 1966:2008). Benda uji disiapkan dalam kondisi dibentuk kembali (*remoulded*) dalam bentuk silinder berdiameter 47 mm dan tinggi 94 mm.

Bahan POFA ditambahkan sebanyak 20% dari berat kering tanah dan ditambahkan air berdasarkan OMC sebanyak 13.60%. Sedangkan larutan alkali aktivator yang ditambahkan dalam campuran tanah-POFA adalah sebanyak 17.0% yang semuanya diperoleh dari pengujian pemadatan standar seperti dalam Gambar 1. Kadar air optimum yang diperoleh dari percobaan pemadatan campuran tanah-POFA tersebut digantikan oleh larutan alkali aktivator.



Gambar 1. Penentuan Kadar Air Optimum

Kemudian larutan alkali aktivator yang terdiri dari bahan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (Si) dan  $\text{NaOH}$  (Al) dipersiapkan dengan rasio (Si/Al) 1.0, 1.5, 2.0 dan 2.5. Dengan tingkat konsentrasi molaritas  $\text{NaOH}$  terlarut dalam 1 liter larutan sebesar 10 M. Performa terbaik dalam mencapai kekuatan tekan ditunjukkan dengan penggunaan konsentrasi  $\text{NaOH}$  10M [11]. Benda uji kemudian disiapkan dan dibungkus dengan plastik transparan untuk pengujian tekan bebas (UCS) dalam umur perawatan selama 0, 7, 14 dan 28 hari dengan desain campuran yang dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Desain campuran benda uji

Benda uji	Tanah (gr)	POFA (gr)	OMC (%)	Rasio Si/Al	Alkali Aktivator (gr)	Si (gr)	Larutan Al (gr)
TA	350	-	13.6	-	-	-	-
TA + POFA 20%	280	70.0	17.0	-	-	-	-
TA + POFA 20% + AA	280	70.0	17.0	1.0	59.5	29.8	29.7
TA + POFA 20% + AA	280	70.0	17.0	1.5	59.5	35.7	23.8
TA + POFA 20% + AA	280	70.0	17.0	2.0	59.5	39.7	19.8
TA + POFA 20% + AA	280	70.0	17.0	2.5	59.5	42.5	17.0

Ket : TA= Tanah Asli ; AA= Alkali Aktivator ; Si= Silika ; Al= Alumina

### Analisis Data

Analisis data yang dilakukan terdiri dari penentuan klasifikasi jenis tanah menurut metode USCS dan AASHTO. Kemudian melakukan analisis terhadap hasil uji kuat tekan bebas benda uji berdasarkan umur perawatan dan variasi campuran. Bentuk analisis ditampilkan dalam uraian singkat yang ditunjukkan dalam bentuk tabel dan grafik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji Properties Tanah

Uji properties tanah terdiri dari beberapa pengujian untuk dapat menentukan dugaan jenis tanah yang digunakan sebagai bahan penelitian. Hasil uji properties tanah asli dengan penentuan klasifikasi jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji properties tanah

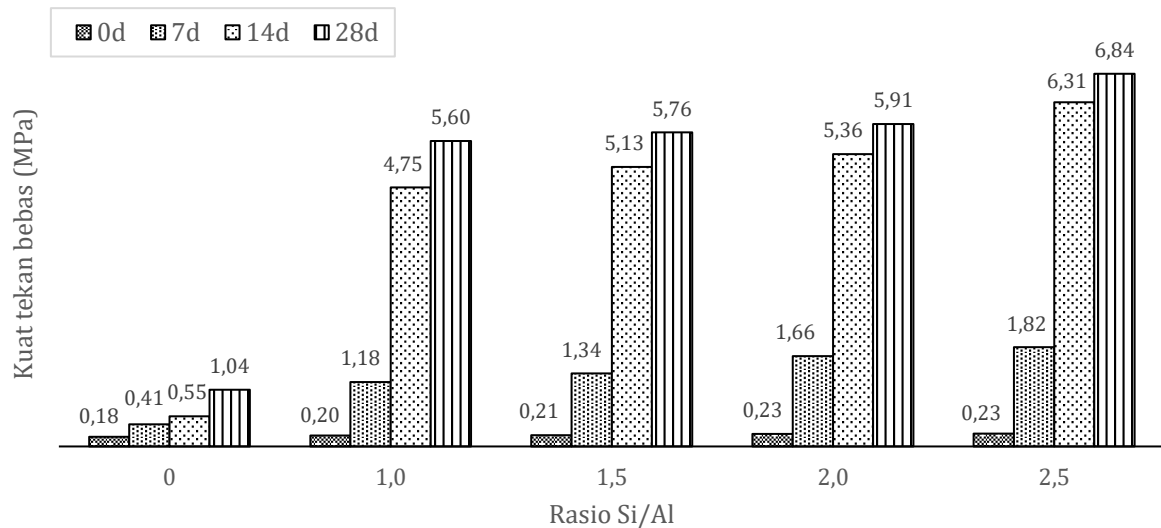
No	Parameter	Tanah
1	Batas cair ( <i>LL</i> )	31,59%
2	Batas plastis ( <i>PL</i> )	20,39%
3	Indeks Plastisitas ( <i>IP</i> )	11,20%
4	Berat spesifik, <i>G<sub>s</sub></i>	2,66
5	Lempung dan lanau (%)	5,12%
6	Pasir (%)	94,88%
7	Klasifikasi tanah:	
	USCS	SP, SC
	AASHTO	A-2-6

Hasil uji properties tanah asli menunjukkan bahwa tanah dengan indeks plastisitas 11.20% adalah masuk kedalam tingkat plastisitas sedang (7% - 17%). Gradasi butiran tanah yang tertahan saringan no. 200 (0.075mm) sebanyak 94.88% dan tidak ada yang tertahan saringan no. 4 (4.75 mm) serta sebanyak 5.12% (5% - 12%) lolos saringan no. 200, maka menurut sistem klasifikasi USCS memiliki batasan klasifikasi symbol dobel yaitu SW-SM (pasir bergradasi baik - pasir berlanau) dan SP-SC (pasir gradasi buruk - pasir berlempung). Tanah asli memiliki indeks

plastisitas sedang yang lebih besar dari 7%, maka tanah masuk kedalam jenis SP-SC (pasir gradasi buruk - pasir berlempung). Kemudian menurut klasifikasi AASHTO, tanah yang lebih kecil 35% lolos saringan no. 200 dan batas cair 31.59% (40 maks), masuk dalam kelompok antara A-2-4 dan A-2-6. Selanjutnya dengan indeks plastisitas lebih besar dari 11% dan indeks kelompok 1.42 kurang dari 4 maks, maka tanah dapat ditentukan masuk dalam kelompok A-2-6 (pasir).

**Pengaruh Penambahan Larutan Alkali Aktivator**

Alkali aktivator punya peranan penting dalam proses pengembangan kekuatan pada campuran tanah-POFA. Beberapa variasi rasio alkali aktivator yang ditambahkan dapat berpengaruh pada perubahan karakteristik tanah seiring umur perawatan. Perubahan karakteristik tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Rasio Akali Aktivator Dalam Campuran Tanah-POFA

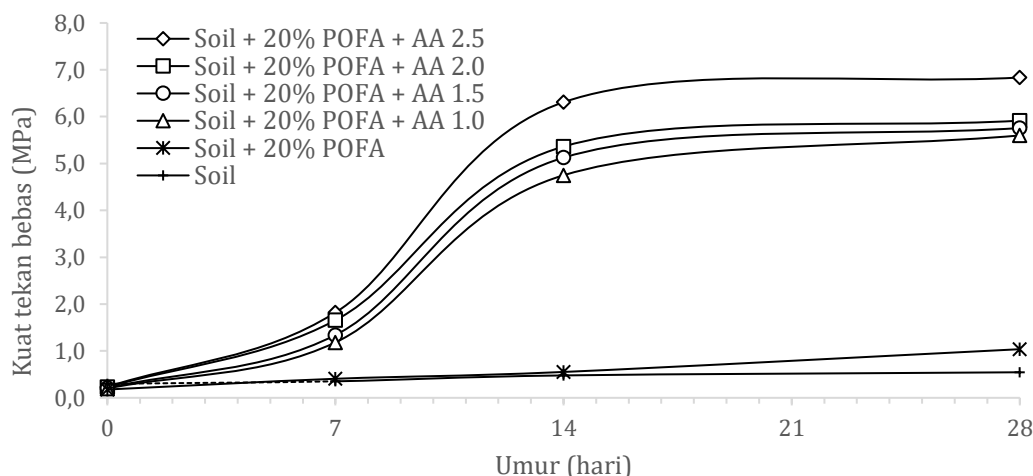
Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan karakteristik pada kenaikan kuat tekan tanah bila ditambahkan alkali aktivator dengan kenaikan angka rasio Si/Al. Namun, stabilisasi tanah dengan mencampurkan POFA saja, dengan hasil uji yang memberikan peningkatan tidak signifikan pada kuat tekan tanah. Hanya terlihat sedikit kenaikan kekuatan pada perawatan umur 28 hari, dengan hasil kuat tekan bebas maksimal sebesar 1.04 MPa [12]. Tetapi dengan penambahan larutan alkali aktivator, kuat tekan tanah-POFA mengalami peningkatan signifikan dari sebelumnya.

Peningkatan kekuatan tanah terstabilisasi sudah tampak pada perawatan umur 7 hari, dimana kuat tekan stabilisasi tanah-POFA sebesar 0.41 MPa, mengalami peningkatan kekuatan dari penambahan variasi rasio (Si/Al) 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 yang mencapai 4 kali peningkatan dari kuat tekan semula tersebut. Dimana menghasilkan kuat tekan bebas maksimal sebesar 1.82 MPa dirasio 2.5. Pada perawatan umur 14 hari, kuat tekan stabilisasi tanah-POFA sebesar 0.55 MPa

yang kemudian mengalami peningkatan kekuatan maksimal mencapai 11 kali menjadi sebesar 6.31 MPa dirasio 2.5. Sedangkan perawatan umur 28 hari, kuat tekan stabilisasi tanah-POFA mengalami peningkatan kekuatan mencapai 6 kali menjadi sebesar 6.84 MPa dirasio 2.5. Maka, penyertaan alkali aktivator dengan rasio 2.5 dalam campuran tanah-POFA memberikan nilai maksimal pada kuat tekan tanah terstabilisasi. Sehingga Sodium silica ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) memiliki pengaruh signifikan pada pengembangan kekuatan tanah terstabilisasi. Juga sebagai aktivator terbaik dalam proses pencapaian pengembangan kekuatan [5].

### Pengaruh Umur Perawatan

Perawatan pada benda uji berguna untuk memberikan terjadinya proses reaksi kimiawi dalam campuran dalam mencapai kekuatan maksimal. Benda uji mengalami masa perawatan yang masing-masing ditetapkan sebagai pelaksanaan pengujian kuat tekan bebas yakni selama umur 0, 7, 14, 28 hari. Walaupun dengan penyertaan rasio 2.5 memberikan nilai maksimal, tetapi rasio lainnya perlu dipertimbangkan untuk memperkuat analisis tentang pengembangan kekuatan tanah dan hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Umur Perawatan

Pengaruh umur perawatan menunjukkan peningkatan kekuatan tanah dari masing-masing benda uji. Pada pengujian untuk tanah asli, umur perawatan memberikan sedikit kenaikan kuat tekan selama 0, 7, 14, 28 hari yang masing-masing sebesar 0.30, 0.35, 0.48, 0.55 MPa. Kemudian bila dicampur POFA dapat meningkatkan sedikit kenaikan kuat tekan tanah pada umur 28 hari saja dari 0.55 MPa menjadi 1.04 MPa.

Selanjutnya untuk stabilisasi tanah-POFA dengan penambahan alkali aktivator berdasarkan rasio (Si/Al) 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, sangat mempengaruhi peningkatan kekuatan seiring umur perawatan. Dimana pada Gambar 3 menunjukkan peningkatan kuat tekan bebas meningkat seiring umur perawatannya. Dimana kuat tekan tanah tertinggi ditunjukkan pada penambahan alkali

aktivator dengan rasio 2.5. Selama perawatan dari umur 0 sampai 7 hari, masing-masing benda uji mengalami kenaikan kuat tekan. Dimana peningkatan kuat tekan bebas tertinggi mencapai 7 kali kenaikan menjadi 1.82 MPa. Sedangkan perawatan dari umur 7 sampai 14 hari, peningkatan kuat tekan bebas tertinggi hanya mencapai 3 kali kenaikan kekuatan menjadi 6.31 MPa yang. Selanjutnya perawatan dari umur 14 sampai 28 hari, kuat tekan tertinggi hanya meningkat sedikit kenaikan kuat tekan menjadi 6.84 MPa. Maka pencapaian peningkatan maksimal benda uji terjadi pada perawatan umur 7 hari karena mampu memberikan performa kenaikan kekuatan tanah hingga 7 kali lebih banyak dari umur perawatan lainnya.

## SIMPULAN

Berdasarkan uraian penjelasan dari hasil dan pembahasan yang telah dikemukakan, sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut.

1. Stabilisasi tanah menggunakan POFA hanya mampu meningkatkan sedikit kekuatan tanah.
2. Penyertaan larutan alkali aktivator dengan penggunaan rasio (Si/Al) 2.5, mampu memberikan kenaikan nilai kuat tekan bebas maksimal dalam campuran tanah-POFA.
3. Stabilisasi tanah-POFA dengan tambahan larutan alkali aktivator memiliki pengaruh sebagai *binder* dengan karakteristik cepat mengeras diawal umur perawatan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

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

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Garcia-Lodeiro, A. Palomo, and A. Fernández-Jiménez, *An overview of the chemistry of alkali-activated cement-based binders*. Woodhead Publishing Limited, 2015.
- [2] 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.
- [3] M. Toyeb, A. Hakam, Fauzan, and Andriani, "Palm Oil Fuel Ash (POFA) as Agro-Waste to Modern Stabilization On Subgrade," *J. Tek. Sipil*, vol. 12, no. 2, pp. 165–171, 2023, doi: 10.24815/jts.v12i2.34639.
- [4] 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.
- [5] 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.



- [6] 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.
- [7] H. H. Abdullah, M. A. Shahin, and M. L. Walske, "Review of fly-ash-based geopolymers for soil stabilisation with special reference to clay," *Geosci.*, vol. 10, no. 7, pp. 1–17, 2020, doi: 10.3390/geosciences10070249.
- [8] N. Cristelo, S. Glendinning, L. Fernandes, and A. Teixeira, "Effect of calcium content on soil stabilisation with alkaline activation," *Constr. Build. Mater.*, vol. 29, pp. 167–174, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.10.049.
- [9] W. Tangchirapat, C. Jaturapitakkul, and P. Chindapasirt, "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.
- [10] Joseph Davidovits, "Joseph Davidovits. (1994). High-Alkali Cements for 21<sup>st</sup> Century Concretes. ACI Special Publication, 144, 383–398. High-Alkali Cements for 21<sup>st</sup> Century Concretes," *ACI Spec. Publ.*, vol. 144, pp. 383–398, 1994.
- [11] 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.
- [12] Toyeb, Muhammad, Hakam, Abdul, and Andriani, "The strength and economic benefit of soil stabilization with Palm Oil Fuel Ash (POFA) as agro-waste," *E3S Web Conf.*, vol. 464, p. 11001, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202346411001.