

**EVALUASI PENGARUH *PALM OIL FUEL ASH* (POFA) BERBASIS
ALKALI-ACTIVATED MATERIAL UNTUK STABILISASI TANAH
SEBAGAI LAPISAN *SUBGRADE***

DISERTASI

MUHAMMAD TOYEB
NIM. 2130922004



**PROGRAM STUDI DOKTOR TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS
2024**

**EVALUASI PENGARUH *PALM OIL FUEL ASH* (POFA) BERBASIS
ALKALI-ACTIVATED MATERIAL UNTUK STABILISASI TANAH
SEBAGAI LAPISAN *SUBGRADE***

DISERTASI

Oleh:

MUHAMMAD TOYEB
NIM. 2130922004

Promotor:

Prof. Ir. ABDUL HAKAM, M.T., Ph.D.
Prof. Dr. Eng. Ir. FAUZAN, S.T., M.Sc (Eng.).
Dr. Ir. ANDRIANI, S.T., M.T.



**PROGRAM STUDI DOKTOR TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS
2024**

**EVALUASI PENGARUH *PALM OIL FUEL ASH* (POFA) BERBASIS
ALKALI-ACTIVATED MATERIAL UNTUK STABILISASI TANAH
SEBAGAI LAPISAN *SUBGRADE***

MUHAMMAD TOYEB
NIM. 2130922004

DISERTASI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Program Strata-3 pada Program Studi Doktor Teknik Sipil,
Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas



**PROGRAM STUDI DOKTOR TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS
2024**

ABSTRAK

Perkuatan tanah dengan cara stabilisasi merupakan prosedur yang dipilih untuk memperbaiki sifat-sifat buruk pada tanah. Bahan semen dan kapur sering digunakan untuk bahan tambah yang dikenal sebagai metode stabilisasi tradisional dan memiliki masalah lingkungan. Inovasi penggunaan bahan tambah lain perlu dikembangkan agar dapat digunakan sebagai alternatif bahan stabilisasi yang ramah lingkungan dan modern. Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi kelayakan POFA teraktivasi alkali aktivator (AAP) sebagai bahan stabilisasi tanah untuk lapisan subgrade.

Bahan-bahan yang digunakan adalah tanah asli untuk timbunan jalan dengan nilai CBR kurang dari 6%, POFA, Sodium silika (Na_2SiO_3) dan Sodium hidroksida (NaOH). Desain campuran dibuat dengan menambahkan sebanyak 20% POFA dan alkali aktivator dari pelarutan NaOH 10M dan Na_2SiO_3 pada rasio (Si/Al) 1.0; 1.5; 2.0; 2.5. Pengujian laboratorium terdiri dari uji properties, pemadatan standar, kuat tekan bebas, CBR dan beban pelat. Pengujian beban pelat dilaksanakan dengan membuat model fisik lapisan subgrade diatas tanah penopang. Validasi hasil uji beban pelat menggunakan analisis numerik dengan metode elemen hingga (FEM). Pemeriksaan kandungan mineral dan mikrostruktur dengan alat X-RF, X-RD dan SEM-EDS.

Berdasarkan metode USCS bahwa tanah asli masuk klasifikasi SP-SC (pasir berlempung bergradasi buruk) dan metode AASHTO dalam klasifikasi A-2-6 (pasir berlempung). Indeks plastisitas (PI) tanah asli menurun dari sedang 11.20% menjadi rendah 3.63% setelah ditambah 20% POFA. Kuat tekan bebas maksimal diperoleh dari campuran alkali aktivator pada rasio 2.5 sebesar 6.84 MPa. Stabilisasi tanah asli pada campuran AAP 2.5 memperoleh peningkatan kekuatan mencapai 10 kali lebih besar dari tanah asli yaitu dari CBR 3.95% menjadi 39.0% dengan kriteria sangat baik dan memenuhi persyaratan teknis CBR 12% minimum. Berdasarkan uji beban pelat, diperoleh kuat dukung ultimit lapisan subgrade sebesar 30 kN dengan penurunan 24.75 mm dan validasi FEM menunjukkan penurunan lebih rendah yaitu 21.91 mm. Pemeriksaan mikrostruktur menunjukkan sintesis aluminosilikat dalam campuran tanah asli terstabilisasi AAP 2.5 berupa ikatan calcium-silicate-hydrate (C-S-H) gel. Dari tinjauan kelayakan teknis, kuat tekan tanah asli terstabilisasi AAP 2.5 setara dengan campuran 10% semen antara 1.81–1.82 MPa. Namun dari tinjauan kelayakan ekonomi memperoleh biaya pembelian bahan sebesar Rp. 82.471,- yang lebih mahal dibandingkan campuran 10% semen sebesar Rp. 19.271,-. Evaluasi kinerja POFA dan alkali aktivator untuk stabilisasi tanah asli sebagai lapisan subgrade memperoleh desain campuran efektif pada variasi AAP 2.5 dan menjadi kebaruan dari penelitian ini. Bahan stabilisasi AAP 2.5 memiliki kinerja mekanis yang telah memenuhi persyaratan teknis, tetapi belum mencapai kelayakan nilai ekonomis.

Kata kunci : Alkali aktivator; Kekuatan; POFA; Subgrade.

ABSTRACT

The soil reinforcement by stabilization is a procedure used to improve the physical properties of poor soil. Cement and lime materials are often used for added materials known as traditional stabilization methods and have environmental issues. Innovation in the use of other additives necessary to be expanded in order to could be used as an alternative to modern and environmentally friendly stabilization materials. The objective of study to evaluate the feasibility of alkali activator-activated POFA (AAP) as a soil stabilization material for subgrade layers.

The materials used consisted of untreated soil for road embankment with CBR value less than 6%, POFA, sodium silica (Na_2SiO_3), and sodium hydroxide (NaOH). Mix design for untreated soil stabilization by adding 20% POFA and alkaline activator solution of combined 10M NaOH and Na_2SiO_3 at ratio (Si/Al) 1.0; 1.5; 2.0; 2.5. The tests carried out consisted of properties test, standard compaction, unconfined compressive strength, CBR and plate load. The Plate load testing was carried out by modeling the subgrade layer above the supporting soil. Validation of plate load test results using numerical analysis by finite element method (FEM). Examination of mineral content and microstructure by X-RF, X-RD and SEM-EDS.

According to the USCS method, the untreated soil was classified as SP-SC (poorly graded clayey sand) and the AASHTO method as A-2-6 (clayey sand). The plasticity index (PI) of the untreated soil decreased from medium 11.20% to low 3.63% after adding 20% POFA. The maximum unconfined compressive strength was obtained from the alkali activator mixture with a ratio of 2.5 at 6.84 MPa. Based on the 7-day treatment requirements for stabilized soil with a minimum 12% soaked CBR value, the stabilization of untreated soil with AAP 2.5 mixture obtained an increase in strength up to 10 times greater, and namely from CBR 3.95% to 39.0% with very good criteria. From the observation of the physical model test of the subgrade layer based on plate load test, the ultimate bearing capacity was found of 30 kN with a settlement of 24.75 mm and the FEM validation results showed a lower settlement of 21.91 mm. Microstructure examination found that the synthetic aluminosilicate in the stabilized soil is calcium-silicate-hydrate (C-S-H) gel. From the technical feasibility review, the compressive strength of soil-AAP 2.5 stabilized is equivalent to 10% cement mixture between 1.81 - 1.82 MPa. However, from the economic feasibility review, the total cost of purchasing materials is Rp. 82,471, which is more expensive than the 10% cement mixture of Rp. 19,271. Evaluation of the soil stabilization method with AAP 2.5 mixture for subgrade is a novelty from this research. It has a mechanical performance that has met the technical requirements as a subgrade layer, but has not yet reached the feasibility of economic value.

Keywords: Alkali activator; POFA; Strength; Subgrade.