

1.1 Latar Belakang

Tanah lempung ekspansif menjadi salah satu penyebab permasalahan pada tanah dasar (*subgrade*) perkerasan jalan. Salah satu wilayah yang mengandung tanah lempung ekspansif adalah jalan di wilayah kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Wijaya (2020) pada daerah tersebut bahwa karakteristik tanahnya berjenis lempung yang memiliki potensi *swelling* besar. Tanah ekspansif berpotensi *swelling* yang menunjukkan tanah mudah mengalami kembang-susut. Tanah tersebut mudah mengalami perubahan volume karena mengandung banyak kristal *montmorillonite* yang mempunyai gaya tarik kuat terhadap air sehingga partikel tanah terikat secara lemah (Nelson & Miller, 1997). *Montmorillonite* tanah lempung terbentuk akibat dari pelapukan dan erosi batuan yang terletak di daerah tinggi terbawa oleh aliran menuju ke dataran rendah sehingga menjadi butiran halus dan serpihan (Chen, 1975).

Gerakan naik-turun tanah dasar dan perubahan volume tanah secara vertikal akibat adanya tanah lempung ekspansif diawali di bagian tepi perkerasan dan berlanjut ke bagian tengah karena kadar airnya sangat dipengaruhi oleh air hujan ketika musim penghujan dan pengeringan ketika musim kemarau (Hardiyatmo, 2017). Perkerasan jalan yang terletak pada tanah dasar ekspansif membutuhkan biaya pemeliharaan dan rehabilitasi yang besar. Gerakan pengembangan tanah tersebut menyebabkan retak-retak pada perkerasan sehingga mengganggu kenyamanan lalu lintas. Maka dari itu, perlu dilakukan penanganan tanah dasar terhadap pengaruh kembang-susut.

Penanganan tanah lempung ekspansif dapat dilakukan dengan berbagai metode, antara lain: stabilisasi tanah secara kimia, yakni pencampuran tanah dengan kapur, semen, *fly ash*, *bottom ash* atau bahan lainnya (Hardiyatmo, 2010). Penelitian Maryati & Apriyanti (2016) menjelaskan bahwa penggunaan semen sebagai stabilisasi tanah lempung membutuhkan biaya yang mahal. Selain itu, produksi semen menghasilkan emisi karbondioksida (CO₂) yang besar dan menjadi penyebab terjadinya pemanasan global (Ismanti & Yasufuku, 2017). *Fly Ash-Bottom Ash* (FABA) dapat digunakan untuk stabilisasi tanah dan mengurangi potensi perubahan volume. FABA merupakan limbah dari hasil pembakaran batu bara dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Pembakaran batu bara menghasilkan sekitar 80-90% berupa *fly ash* dan 10-20% berupa *bottom ash* (ASTM C-618, 2005). Nugroho dkk. (2022) melakukan penelitian terkait pengaruh penggunaan campuran semen dan bahan pozzolan *fly ash* dengan kadar 15% terhadap nilai CBR (*California Bearing Ratio*) pada tanah lempung ekspansif menunjukkan peningkatan nilai CBR. Penelitian lainnya oleh Zulnasari dkk. (2021) menggunakan *bottom ash* dari sisa pembakaran batu bara pada PLTU. Hasil menunjukkan *bottom ash* dapat berfungsi sebagai pengisi untuk menstabilkan tanah, tetapi apabila kadar berlebihan kekuatan akan menurun secara bertahap.

Davidovits (1994) mempopulerkan istilah geopolimer pertama kali. Geopolimer merupakan material polimerisasi yang disintesa dari bahan silika dan alumina yang tahan terhadap suhu tinggi. *Fly ash* dari limbah pembakaran batu bara digunakan sebagai alternatif pengganti semen

untuk membuat *binder* yang dibutuhkan. *Fly ash* dimanfaatkan dalam campuran geopolimer yang dibuat menggunakan alkali aktivator seperti sodium hidroksida dan sodium silikat. Metode solidifikasi dengan geopolimer merupakan metode efektif untuk mengimobilisasi logam berat dalam *fly ash* seperti Pb (timbal), Cu (tembaga), Cd (kadmium), Cr (kromium) dan Zn (seng). Logam-logam tersebut menyebabkan lingkungan tercemar dan membahayakan kesehatan manusia walaupun dalam PP No 22 Tahun 2021, limbah FABA berstatus limbah non-B3 (non-Bahan Berbahaya dan Beracun). Berdasarkan penelitian Ariozi dkk. (2012) logam-logam berat dapat terikat secara fisik dalam reaksi geopolimerisasi dan tidak menyebabkan pencemaran lingkungan dalam jangka panjang. Penelitian Wijaya dkk. (2019) juga menunjukkan reaksi geopolimerisasi yang terjadi dapat mengimobilisasi logam berat dari limbah *fly ash* sehingga konsentrasi logam berat berada di bawah ambang batas yang diizinkan oleh Peraturan Pemerintah dengan pengujian AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*).

Murmu dkk. (2019) melakukan penelitian terkait tanah lempung tipe CH (*clay high plasticity*) distabilisasi menggunakan pasta geopolimer, yaitu campuran antara *fly ash* dengan larutan alkali berupa sodium hidroksida dan sodium silikat. Kadar pasta geopolimer sebesar 5% hingga 20%. Hasil menunjukkan dengan rasio larutan alkali rendah dan kadar pasta geopolimer optimum 20% nilai PI (*Plasticity Index*) dapat berkurang 24,6% dan nilai UCS (*Unconfined Compressive Strength*) 2,53 MPa atau sekitar 45% nilai CBR. Selain itu, penelitian oleh Syed dkk. (2020) terkait penggunaan geopolimer sebagai bahan stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan kadar pasta sebesar 5% hingga 10% dan larutan alkali sodium hidroksida dan sodium silikat yang digunakan dengan rasio rendah. Hasil menunjukkan kadar optimum pasta geopolimer sebesar 10% meningkatkan nilai UCS menjadi 0,66 MPa dan nilai CBR menjadi 11,7%. Hasil pengujian mikrostruktur juga menunjukkan tanah geopolimer memiliki mikrostruktur yang relatif lebih padat dan tidak berongga sehingga dapat meningkatkan kekuatan tanah.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut dapat disimpulkan pasta geopolimer dengan alkali aktivator rasio rendah untuk stabilisasi tanah lempung ekspansif efektif dari segi kekuatan memenuhi kriteria *subgrade* jalan berdasarkan Bina Marga (2017), yaitu CBR besar dari 6%. Penelitian Maheepala dkk. (2022) menjelaskan tahapan reaksi kimia yang akan terjadi antara geopolimer dan tanah lempung ekspansif. Dimulai dari tumpukan lembaran lempung muatan negatif (anion) dan tercampur dengan molekul air sehingga lapisan lempung tersebar menjadi *double layer*. Terjadi pertukaran reaksi dengan muatan positif (kation) sehingga pori-pori dari lembaran lempung membesar. Apabila tanah dicampur dengan geopolimer, maka ikatan polimerisasi alumina silika hidrat (A-S-H) membentuk partikel tanah yang tersolidifikasi sehingga air tidak mudah masuk ke pori-pori dan tanah tidak mengembang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dilakukan penelitian stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan menggunakan geopolimer FABA untuk *subgrade* jalan yang belum pernah dilakukan sebelumnya. Rumusan masalah yang dipelajari dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana hasil pengujian *initial setting time* dan kuat tekan pasta geopolimer FABA untuk menentukan konsentrasi dan rasio alkali aktivator yang optimum sebagai stabilisasi tanah lempung ekspansif?
2. Bagaimana sifat fisik dan sifat mekanik tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan geopolimer FABA menggunakan pengujian batas *Atterberg limit*, *specific gravity*, distribusi ukuran butiran, *Standard Proctor*, *UCS soaked*, *CBR soaked*, dan *swelling*?
3. Berapa persentase optimum FABA yang digunakan pada pasta geopolimer untuk stabilisasi tanah lempung ekspansif dari sifat fisik dan sifat mekanik?
4. Bagaimana reaksi kimia dan mikrostruktur tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan geopolimer FABA kadar optimum menggunakan pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray*)?
5. Bagaimana hasil kandungan mineral dan kandungan logam berat tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan geopolimer FABA kadar optimum menggunakan pengujian XRD (*X-ray Diffraction*) dan pengujian AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis hasil pengujian *initial setting time* dan kuat tekan pasta geopolimer FABA untuk menentukan konsentrasi dan rasio alkali aktivator yang optimum sebagai stabilisasi tanah lempung ekspansif.
2. Mengkaji sifat fisik dan sifat mekanik tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan geopolimer FABA menggunakan pengujian batas *Atterberg limit*, *specific gravity*, distribusi ukuran butiran, *Standard Proctor*, *UCS soaked*, *CBR soaked*, dan *swelling*.
3. Menentukan persentase optimum FABA yang digunakan pada pasta geopolimer untuk stabilisasi tanah lempung ekspansif dari sifat fisik dan sifat mekanik.
4. Mengidentifikasi reaksi kimia dan mikrostruktur tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan geopolimer FABA kadar optimum menggunakan pengujian FTIR dan SEM-EDX.
5. Mengidentifikasi hasil kandungan mineral dan kandungan logam berat tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan geopolimer FABA kadar optimum menggunakan pengujian XRD dan pengujian AAS.

1.4 Batasan Penelitian

Berikut batasan masalah penelitian yang digunakan.

1. Tanah yang digunakan merupakan tanah lempung ekspansif yang berasal dari daerah Kedung Sari, Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi tanah yang digunakan merupakan tanah terganggu (*disturbed*) pada kedalaman 0,5-1,0 m dari permukaan tanah.

2. Material *fly ash* yang digunakan tipe C berasal dari PLTU Paiton, Malang Jawa Timur. Material limbah *bottom ash* yang digunakan berasal dari PT. Pupuk Sriwidjaja (PUSRI), Palembang, Sumatera Selatan.
3. Persentase pasta geopolimer FABA yang digunakan adalah 12% dari berat kering tanah merupakan pengganti kadar semen optimum dari penelitian sebelumnya.
4. Persentase *fly ash* yang digunakan adalah 70%, 78%, 85%, 92% dan 100%. Persentase *bottom ash* yang digunakan adalah 0%, 8%, 15%, 22% dan 30%.
5. Alkali aktivator molaritas sodium hidroksida (NaOH) yang digunakan adalah 5M dan 8M.
6. Perbandingan sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) yang digunakan adalah 0,5 dan 1,0.
7. Perbandingan berat sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) terhadap berat FABA yang digunakan adalah 0,6 dan 0,8.
8. Perencanaan campuran pasta geopolimer FABA menggunakan metode absolut volume karena tidak adanya standar campuran.
9. Metode stabilisasi atau pencampuran geopolimer FABA dalam bentuk pasta dengan tanah lempung ekspansif menggunakan alat *mixer*.
10. Umur *curing* (perawatan) sampel untuk pengujian UCS adalah 1, 7, 14, 21 dan 28 hari dengan suhu ruang $\pm 27^\circ\text{C}$. Umur *curing* (perawatan) sampel untuk pengujian CBR, *swelling*, XRD, FTIR, SEM-EDX dan AAS adalah 28 hari dengan suhu ruang $\pm 27^\circ\text{C}$.
11. Perendaman pada uji CBR *soaked* selama 4 hari dan uji UCS *soaked* selama 4 jam sesuai standar yang digunakan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengurangi penumpukan limbah pembakaran batu bara, yaitu limbah *fly ash* dan *bottom ash* yang belum termanfaatkan dengan tepat.
2. Meminimalisir penggunaan semen *Portland* karena produksinya melepas karbondioksida (CO_2) ke atmosfer bumi yang memberikan sumbangan terbesar dalam pemanasan global.
3. Menjadi referensi untuk mengembangkan teknologi geopolimer FABA sebagai material stabilisasi tanah lempung ekspansif.