

STABILISASI TANAH EKSPANSIF DENGAN PENAMBAHAN BATUKAPUR DI KECAMATAN LUMBIR, KABUPATEN BANYUMAS, JAWA TENGAH

EXPANSIVE SOIL STABILIZATION WITH THE ADDITION OF LIME STONE IN LUMBIR DISTRICT, BANYUMAS DISTRICT, CENTRAL JAVA

Abyan Wildan Alif Sumantri¹, Wawan Budianta^{1*}, I Wayan Warmada¹

¹Departement Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika 2 Kampus UGM, Yogyakarta

Email: wbudianta@ugm.ac.id

Cara sitasi: A.W. A. Sumantri, W. Budianta, dan I. W. Warmada, "Stabilisasi Tanah Ekspansif dengan Penambahan Batukapur Di Kecamatan Lumbir, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah," *Kurvatek*, vol. 9, no. 2, pp. 175-182, 2024. doi: 10.33579/krvtk.v9i2.5365 [Online].

Abstrak — Tanah ekspansif dijumpai di beberapa lokasi di Kecamatan Lumbir, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah. Keberadaan tanah ekspansif ini mempunyai implikasi terhadap banyaknya kerusakan jalan di lokasi tersebut yang dikarenakan oleh sifat mudah mengembang yang dimiliki oleh tanah ekspansif. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan stabilisasi tanah ekspansif di lokasi penelitian dalam skala laboratorium. Tiga sampel tanah diambil di lokasi penelitian dan dilakukan analisis ukuran butir, kandungan mineralogi dan indeks plastisitas. Percobaan laboratorium penambahan batukapur dilakukan pada tiga perlakuan yaitu 2,5%, 5%, dan 7,5%. Hasil analisis distribusi ukuran butir, menunjukkan bahwa persentase ukuran butir lempung yang rendah dan didominasi oleh ukuran butir lanau dan termasuk ke dalam golongan loam dan silt loam serta menunjukkan ketiga sampel memiliki gradasi yang cukup buruk. Hasil plotting nilai batas atterberg pada grafik plastisitas, sampel termasuk ke dalam kelompok CH (lempung plastisitas tinggi) dan CL (lempung plastisitas rendah). Analisis mineralogi menunjukkan bahwa sampel tanah tersusun atas mineral kaolinit dan monmorilonit. Kemudian, percobaan dengan melakukan penambahan batukapur pada tanah ekspansif dapat menurunkan nilai indeks plastisitas. Penurunan terbesar terjadi pada sampel dengan penambahan batukapur 7,5% yang memiliki nilai penurunan indeks plastisitas sebesar 51,23%. Berdasarkan hasil analisis laboratorium, penambahan batukapur pada tanah ekspansif dapat menstabilkan sifat plastisitas dari tanah ekspansif.

Kata kunci: tanah, ekspansif, banyumas, stabilisasi, gamping

Abstract — Expansive soil was common in the Lumbir Sub-district, Banyumas District, Central Java Province. The presence of expansive soil has a negative impact on road damage because of its swelling behavior. The study aimed to investigate soil expansive stabilization in the study area on a laboratory scale. Three samples were obtained from the study area and analyzed for grain size, mineralogical composition, and plasticity index. The laboratory experimented for stabilization by adding the lime with 2,5%, 5%, and 7,5%. The result of the study showed that the soil samples were dominated by silt size with poor gradation and included in the silt-loam category. Plotting the plasticity chart showed that the soil samples include high and low plasticity. Mineralogical analyses revealed that the soil samples consist of kaolinite and montmorillonite minerals. The result of the laboratory study for the lime addition showed that, in general, the lime could reduce the plasticity index, with the largest reduction occurring for the 7,5% lime addition and generating a 51,23% plasticity index reduction. Based on laboratory analysis, the addition of limestone to expansive soil can stabilize the plasticity properties of the expansive soil.

Keywords: soil, expansive, banyumas, stabilization, lime

I. PENDAHULUAN

Lumbir merupakan sebuah kecamatan yang terdapat di Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1). Lokasi penelitian meliputi Desa Dermaji di Kecamatan Lumbir dan Desa Cihonje serta Desa Cilangkap di Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas (Gambar 1), sedangkan pengambilan sampel batugamping berada di Kecamatan Ajibarang dengan jarak ± 8 Km di sebelah timur lokasi penelitian.

Received September 4, 2024; Revised November 8, 2024; Accepted November 15, 2024

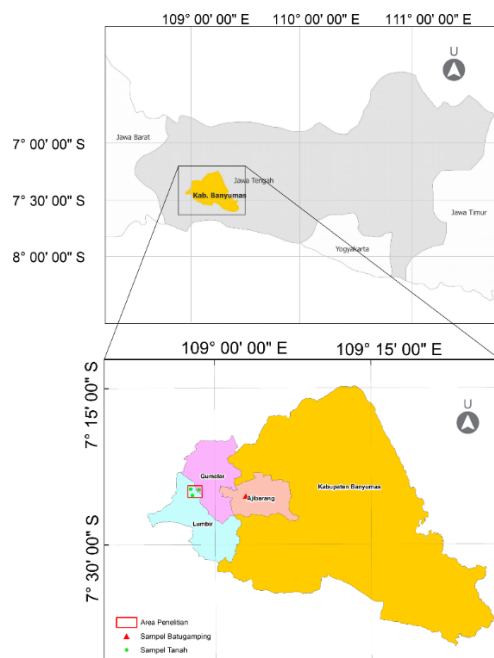
Kecamatan Lumir termasuk daerah yang vital karena dilintasi oleh jalan kolektor nasional Jawa Tengah. Selain jalan kolektor, kecamatan ini juga memiliki jalan alternatif yang kerap dilalui kendaraan yang hendak menuju ke Kecamatan Ajibarang. Masalah yang sering terjadi pada ruas jalan adalah kerusakan jalan akibat dari pengembangan (*swelling*) tanah yang bersifat ekspansif. Permasalahan kegagalan konstruksi teknik akibat dari adanya tanah ekspansif sudah banyak dijumpai [1,2,3]. Perubahan volume ini terjadi karena tanah mengandung mineral lempung filossilikat seperti pada grup mineral smektit yang mampu menyerap dan menghilangkan air. Kembang susutnya tanah ini terjadi saat kondisi tanah basah dan/atau kering. Ketika dalam kondisi basah, tanah akan mengembang, begitu pula sebaliknya [4]. Tanah jenis ini sering ditemukan pada lokasi yang memiliki masalah keteknikan dengan kondisi tanah retak-retak sehingga mengakibatkan masalah lain muncul seperti terganggunya stabilitas lereng, terhambatnya produktivitas agrikultur, dan menyebabkan kerusakan pada konstruksi bangunan [5].

Fenomena tanah ekspansif yang terjadi di Kecamatan Lumir sempat diberitakan pada 29 Desember 2022. Dilaporkan terdapat 4 rumah yang mengalami kerusakan dan jalan amblas yang diakibatkan oleh hujan yang berkelanjutan selama beberapa hari berdasarkan keterangan dari Kepala Pelaksana BPBD Banyumas [6].

Beberapa rekayasa telah dilakukan untuk memecahkan permasalahan mengatasi tanah ekspansif diaman salah satu metode yang digunakan adalah dengan menambahkan sejumlah batukapur pada tahap pemadatan dalam proses konstruksi [7,8,9,10]. Mekanisme reaksi antara batukapur, air, dan lempung berupa pertukaran ion memicu terjadinya penggumpalan dengan cepat sehingga butiran menjadi lebih besar dari sebelumnya sehingga menghasilkan massa yang keras dan kaku. Sifat ekspansif lempung akan berkurang drastis dan tanah menjadi terpadatkan karena butiran batukapur [11,12,13,14]

Salah satu bahan yang dapat digunakan untuk stabilisasi tanah yaitu batukapur atau batugamping. Batugamping atau umum disebut batu kapur tersusun oleh kalsium karbonat (CaCO_3), apabila dipanaskan akan menghilangkan CO_2 dan hanya menyisakan CaO (kalsium oksida) yang selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi kimiawi. Aspek ketersediaan bahan dan keterjangkauan lokasi dengan sumber bahan tentunya perlu diperhatikan untuk melakukan stabilisasi tanah. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Purwokerto & Tegal Skala 1:100.000 [15], Desa Darmakradenan yang berjarak ± 8 Km di sebelah timur lokasi penelitian memiliki tambang batugamping yang termasuk dalam Anggota Batugamping Formasi Tapak. Batugamping ini yang digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah ekspansif di lokasi penelitian.

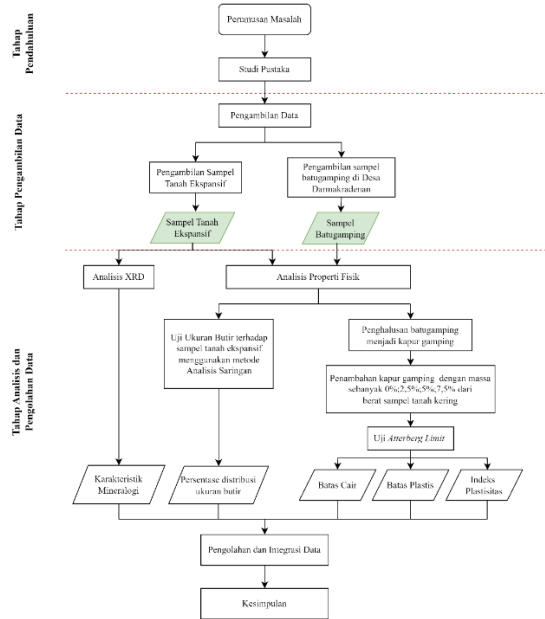
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik tanah ekspansif di lokasi penelitian dan melakukan stabilisasi terhadap tanah ekspansif di lokasi penelitian dalam skala laboratorium.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian (sumber peta: www.gadm.org)

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, antara lain tahap pendahuluan, tahap pengambilan data, serta tahap analisis dan pengolahan data (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram alir tahapan penelitian

A. Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan ini berupa identifikasi awal permasalahan geologi yang diperkirakan hadir di wilayah penelitian. Masalah-masalah yang ditemukan kemudian dirumuskan sebagai dasar untuk melakukan penelitian. Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan informasi melalui buku, jurnal, dan referensi ilmiah lainnya yang relevan baik dengan topik maupun lokasi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

B. Tahap Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data serta pengambilan sampel yang kemudian digunakan dalam analisis di laboratorium. Sampel yang diambil berupa dua sampel tanah dari Desa Dermaji dan satu sampel tanah dari Desa Cihonje (AWAS-25, AWAS-9 dan AWAS-18). Sampel batukapur yang digunakan sebagai bahan stabilisasi diambil dari Desa Darmakradenan yang berjarak 8 km di sebelah timur desa Dermaji.

C. Tahap Analisis dan Pengolahan Data

Analisis yang dilakukan pada tiga sampel tanah tersebut adalah berupa analisis distribusi ukuran butir, uji plastisitas, dan analisis mineralogi. Uji ukuran butir dilakukan dengan metode ayakan dan hidrometer. Uji plastisitas dilakukan pada tiga sampel menggunakan metode *Atterberg Limit* (ASTM D 4318-00) dengan alat Casagrande. Analisis mineralogi dilakukan dengan difraksi sinar X (XRD) dan dilakukan menggunakan metode *clay-oriented aggregates* yang terdiri dari tiga perlakuan, yaitu *air dried*, *ethylene glycol*, dan *550°C heated*.

Percobaan penambahan batukapur pada sampel tanah dilakukan dengan menambah batukapur dilakukan berdasarkan berat kering dari sampel tanah yang digunakan dalam uji *atterberg limit*. Kadar batukapur yang ditambahkan pada penelitian ini adalah 2,5%, 5%, dan 7,5% berat, atau untuk setiap tanah ekspansif dengan volume 1 m³, maka batukapur yang ditambahkan adalah 665 gr, 1,33 kg, dan 1,995 kg (dengan asumsi $\rho_{tanah} = 2,66 \text{ gr/cm}^3$).

III. HASIL DAN DISKUSI

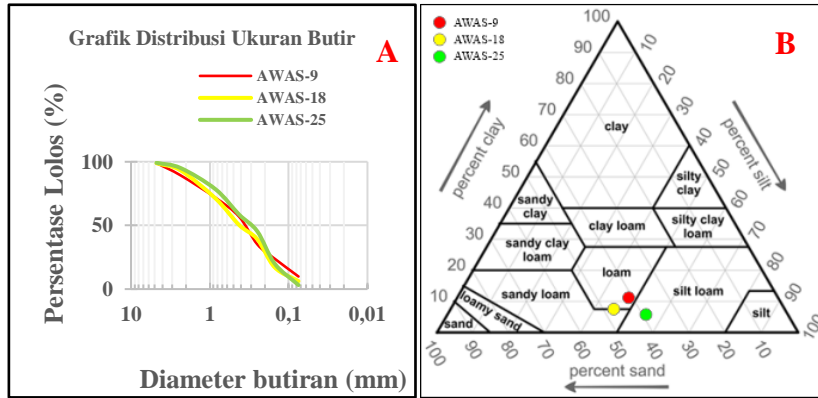
A. Karakteristik Tanah

1. Uji Distribusi Ukuran Butir

Hasil analisis distribusi ukuran butir ditunjukkan dalam Tabel 1. Persentase ukuran butir lempung (*clay*) pada sampel relatif rendah dan didominasi oleh ukuran butir lanau. Dilihat dari grafik distribusi ukuran butir yang ditunjukkan pada Gambar 3, ketiga sampel memiliki gradasi yang cukup buruk. Berdasarkan klasifikasi tanah menurut USDA, sampel tanah AWAS-25 termasuk dalam *silt loam* sedangkan sampel tanah AWAS-9 dan AWAS-18 merupakan *loam*.

Tabel 1. Hasil uji distribusi ukuran butir

Sampel	Ukuran Butir (%)			
	Gravel	Sand	Silt	Clay
AWAS-9	1,07	42,06	46,97	9,89
AWAS-18	1,18	48,47	44,11	6,24
AWAS-25	0,79	40,69	53,35	3,16



Gambar 3. Karakteristik tanah: (A) Prosentase vs diameter ukuran butir, dan (B) Jenis tanah berdasarkan distribusi ukuran butir pada klasifikasi USDA

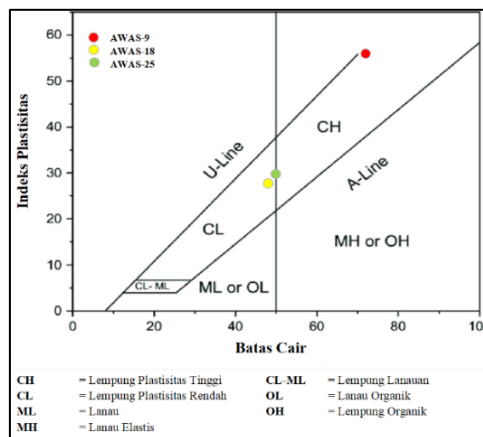
2. Uji Plastisitas

Uji plastisitas meliputi uji batas cair dan uji batas plastis. Batas cair (*liquid limit*) merupakan kadar air pada tanah saat tanah berada pada batas peralihan antara kondisi cair dan kondisi plastis. Batas plastis (*plastic limit*) merupakan kadar air minimum tanah yang masih berada dalam kondisi plastis. Hasil uji plastisitas ditunjukkan dalam Tabel 2.

Menggunakan grafik plastisitas (Gambar 4), dilakukan *plotting* nilai batas cair dan indeks plastisitas pada sampel tanah di daerah penelitian. Nilai batas cair dan indeks plastisitas dapat dilihat pada Tabel 2. Hasilnya, sampel AWAS-9 termasuk dalam kelompok CH (lempung plastisitas tinggi), sedangkan sampel AWAS-18 dan AWAS-25 merupakan CL (lempung plastisitas rendah).

Tabel 2. Hasil uji *Atterberg Limit*

	AWAS-9	AWAS-18	AWAS-25
Batas Plastis	20,39	19,94	21,14
Batas Cair	75,88	48,02	49,66
Indeks Plastisitas	55,49	28,07	28,52



Gambar 4. Hasil uji *Atterberg limit* pada grafik plastisitas

Secara umum, hubungan antara indeks plastisitas dengan ukuran butir lempung dinyatakan sebagai Aktivitas tanah (A_c) [4] yang dinyatakan dalam tiga kelas lempung menurut aktivitasnya. Kelas yang disarankan adalah “tidak aktif” untuk aktivitas di bawah 0,75, “normal” untuk aktivitas antara 0,75 dan 1,25, dan “aktif” untuk nilai aktivitas di atas 1,25.

Berdasarkan hasil uji distribusi ukuran butir dan uji *atterberg limit*, angka aktivitas tanah dari setiap sampel ditunjukkan pada Tabel 3. Mengacu pada pembagian kelas aktivitas tanah tersebut, ketiga sampel termasuk dalam kelas tanah aktif karena nilainya lebih tinggi dari 1,25 dan memiliki potensi untuk mengembang.

Tabel 3. Hasil perhitungan aktivitas tanah [4]

	AWAS-9	AWAS-18	AWAS-25
Indeks Plastisitas	55,49	28,07	28,52
Clay (%)	9,89	6,24	3,16
Aktivitas Tanah (Ac)	5,61	4,5	9,03

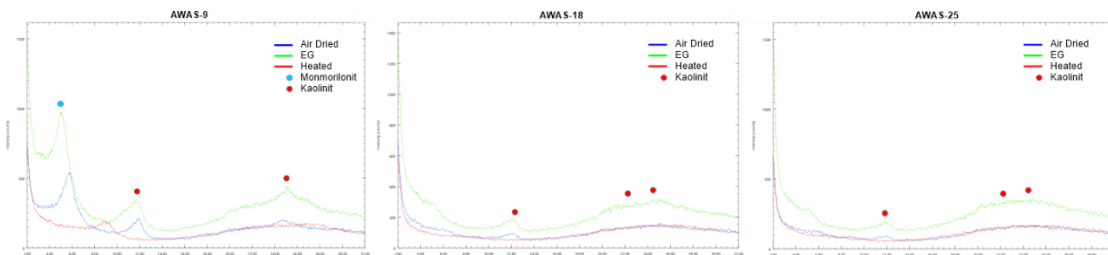
Mengacu pada klasifikasi potensi *swelling* [4], potensi dari sampel AWAS-9 untuk mengembang termasuk dalam kategori sangat tinggi, sedangkan potensi tanah untuk mengembang dari sampel AWAS-18 dan AWAS-25 termasuk tinggi.

Tabel 4. Klasifikasi potensi *swelling* [1]

Potensi Mengembang	Batas Cair	Indeks Plastisitas
Rendah	< 30	0-15
Sedang	30-40	15-35
Tinggi	40-60	20-55
Sangat Tinggi	> 60	> 55

3. Analisis XRD

Terdapat perbedaan kandungan mineral lempung antara sampel AWAS-9 dengan sampel AWAS-18 dan AWAS-25. Sampel AWAS-9 tersusun atas monmorilonit dan kaolinit, sedangkan sampel AWAS-18 dan AWAS-25 tersusun atas kaolinit saja seperti yang ditunjukkan oleh grafik hasil analisis XRD pada Gambar 5 dan Tabel 5.

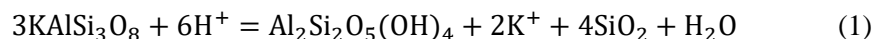


Gambar 5. Grafik analisis XRD dari sampel AWAS-9, AWAS-18, dan AWAS-25

Tabel 5. Kandungan mineral lempung berdasarkan hasil analisis XRD

Kode Sampel	Mineral
AWAS-9	Monmorilonit, Kaolinit
AWAS-18	Kaolinit
AWAS-25	Kaolinit

Perbedaan kandungan mineral lempung dari ketiga sampel terjadi karena perbedaan batuan asal dari masing-masing sampel. AWAS-9 berasal dari pelapukan breksi andesit, sedangkan AWAS-18 berasal dari pelapukan batupasir karbonatan dan AWAS-25 berasal dari pelapukan batulanau tufan. Pada satuan breksi andesit, terjadi pelapukan yang ditandai oleh terbentuknya profil tanah. Pelapukan kimia pada batuan mengakibatkan perubahan gelas vulkanik, piroksen, dan hornblende menjadi monmorilonit [16]. Selain itu, plagioklas mengalami transformasi menjadi kaolinit sebagai dampak dari proses pelapukan tersebut [17]. Sedangkan yang terjadi pada satuan batulanau dan batupasir karbonatan yang memiliki litologi dengan komposisi berupa feldspar adalah pelapukan kimia yang menghasilkan kaolinit dengan rumus kimia sebagai berikut [18].



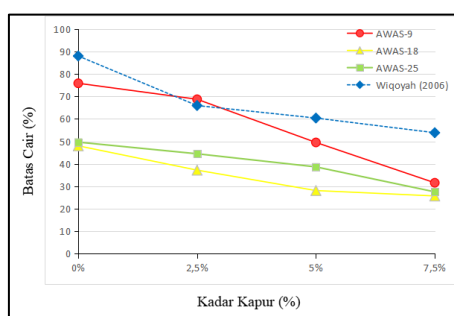
Perbedaan kandungan mineral lempung pada ketiga sampel memengaruhi karakteristik masing-masing sampel. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4, sampel AWAS-9 yang mengandung mineral lempung montmorilonit dan kaolinit memiliki batas cair dan indeks plastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan dua sampel lainnya yang mengandung mineral lempung kaolinit.

B. Pengaruh Penambahan Batukapur terhadap Stabilisasi Tanah Ekspansif

Pengaruh penambahan batukapur pada perubahan nilai batas cair dan batas plastis tanah ekspansif ditunjukkan pada Gambar 6 sampai 8. Penambahan batukapur dengan variasi tertentu menyebabkan

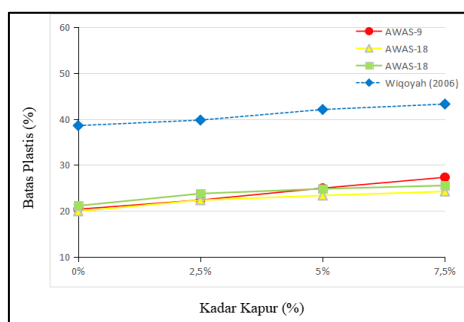
penurunan nilai batas cair tanah. Penambahan batukapur menimbulkan muatan positif (kation) yang mengganggu daya tarik antar partikel tanah, menurunkan kohesi tanah, dan akhirnya menurunkan nilai batas cair [18]. Pada kadar batukapur 0%, tanah dengan kode sampel AWAS-9 memiliki nilai batas cair tertinggi karena mengandung mineral monmorilonit. Sedangkan sampel AWAS-18 dan AWAS-25 memiliki nilai batas cair hampir sama karena mengandung mineral kaolinit. Penurunan nilai batas cair terbesar terjadi pada sampel AWAS-9 dengan penurunan 19,23% saat kadar batukapur meningkat dari 2,5% ke 5%. Gambar 6 menunjukkan semakin tinggi kadar batukapur, semakin rendah nilai batas cair tanah ekspansif.

Pada penelitian Wiqoyah (2006) [19], prosentase penurunan batas cair terbesar terjadi pada penambahan batukapur 2,5% yaitu sebesar 22,07%. Selanjutnya pada penambahan batukapur 5% dan 7,5%, penurunan batas cair lebih kecil dari pada sebelumnya yaitu 5,57% dan 6,53%. Sementara dalam penelitian ini menunjukkan prosentase penurunan batas cair terbesar terjadi pada kadar batukapur 5% dengan penurunan sebesar 19,23%, dan penurunan pada kadar batukapur 2,5% hanya sebesar 7,12%.



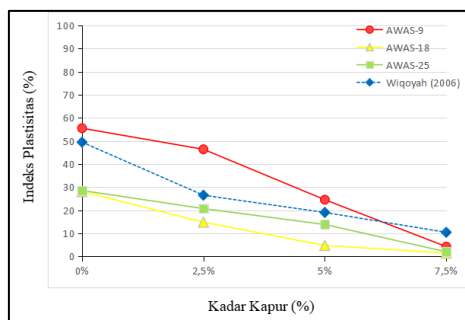
Gambar 6. Hubungan persentase penambahan batukapur dengan nilai batas cair

Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai batas plastis meningkat seiring dengan penambahan kadar batukapur. Kenaikan maksimal batas plastis pada sampel AWAS-9 adalah 6,94%, sedangkan sampel AWAS-18 dan AWAS-25 masing-masing mengalami kenaikan maksimal sebesar 4,31% dan 4,41%. Hasil penelitian Wiqoyah (2006) [19] juga menunjukkan kenaikan batas plastis yang serupa dengan penelitian ini. Karena penelitian hanya mencapai kadar batukapur maksimum 7,5%, belum dapat dipastikan apakah grafik akan terus naik dengan penambahan batukapur lebih dari 7,5%.



Gambar 7. Hubungan persentase penambahan batukapur dengan nilai batas plastis

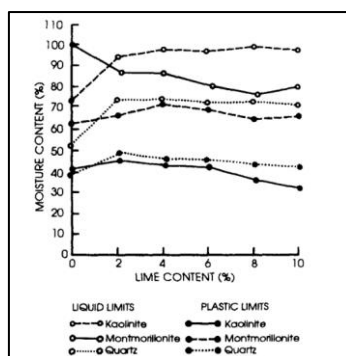
Penambahan batukapur dapat mengurangi batas cair dan meningkatkan batas plastis, yang mengakibatkan penurunan indeks plastisitas. Penambahan kapur menyebabkan munculnya muatan positif (kation) dalam air pori. Kehadiran kation ini memicu terjadinya proses pertukaran ion, yang dapat mengganggu interaksi antara anion pada partikel tanah dan kation pada partikel kapur, serta interaksi antara kation dari kapur dengan anion dalam air. Hal ini menyebabkan tanah kehilangan daya tarik antar partikelnya. Menurunnya daya tarik antar partikel tanah berdampak pada penurunan kohesi tanah, sehingga partikel tanah lebih mudah terlepas dari ikatannya dan menyebabkan turunnya nilai batas cair [18]. Dengan turunnya batas cair dan naiknya batas plastis maka indeks plastisitas juga akan mengalami penurunan. Indeks plastisitas menentukan potensi pengembangan tanah; semakin tinggi nilainya, semakin besar potensi pengembangan tanah. Sebaliknya, penurunan indeks plastisitas mengurangi potensi pengembangan tanah. Gambar 8 menunjukkan penurunan signifikan indeks plastisitas pada sampel AWAS-9 sebesar 51,23% dengan batukapur 7,5%.



Gambar 8. Hubungan persentase penambahan batukapur dengan nilai indeks plastisitas

Ada perbedaan pada prosentase penurunan indeks plastisitas terbesar antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya. Dalam penelitian Wiqoyah (2006) [19], prosentase penurunan terbesar indeks plastisitas sejumlah 22,95% terjadi pada kadar batukapur 2,5%. Sementara, hasil penelitian ini menunjukkan prosentase penurunan terbesar yaitu 21,83% pada kadar batukapur 5%. Perbedaan ini disebabkan oleh jenis tanah dan komposisi mineral lempung yang berbeda antara sampel, serta penggunaan bahan stabilisasi yang berbeda antara penulis dan penelitian sebelumnya.

Kedua penelitian menunjukkan bahwa batukapur dapat menurunkan batas cair dan meningkatkan batas plastis pada tanah ekspansif secara signifikan, menjadikannya efektif untuk stabilisasi tanah ekspansif dengan metode kimiawi. Namun, pada kadar batukapur yang lebih tinggi, batas plastis berhenti mengalami peningkatan dan cenderung menurun. Gambar 9 [20] menunjukkan bahwa batas plastis monmorilonit meningkat hingga kadar batukapur 4%, lalu menurun, dan pada kadar batukapur 8% nilainya lebih rendah dari nilai awal. Batas cair monmorilonit juga berhenti menurun pada kadar batukapur 8%.



Gambar 9. Batas cair dan batas plastis dari kaolinit, montmorillonit, dan kuarsa pada prosentase penambahan batukapur dan *moisture content* yang bervariasi [20]

IV. KESIMPULAN

Karakteristik tanah ekspansif yang dikaji di daerah penelitian terdiri dari karakteristik fisik dan karakteristik mineralogi. Berdasarkan hasil analisis distribusi ukuran butir, tanah di daerah penelitian memiliki persentase ukuran butir lempung (*clay*) yang rendah dan didominasi oleh ukuran butir lanau dan termasuk ke dalam golongan loam dan silt loam. Hasil analisis menunjukkan ketiga sampel memiliki gradasi yang cukup buruk. Menurut hasil plotting nilai batas atterberg pada grafik plastisitas, sampel termasuk ke dalam kelompok CH (lempung plastisitas tinggi) dan CL (lempung plastisitas rendah). Berdasarkan karakteristik mineralogi, tanah di daerah penelitian tersusun atas mineral kaolinit dan monmorilonit. Berdasarkan hasil analisis, penambahan batukapur pada tanah ekspansif dapat memicu terjadinya proses pertukaran ion, yang dapat mengganggu interaksi antara anion pada partikel tanah dan kation pada partikel kapur, serta interaksi antara kation dari batukapur dengan anion dalam air. Hal ini menyebabkan tanah kehilangan daya tarik antar partikelnya sehingga menyebabkan turunnya nilai batas cair dan meningkatkan nilai batas plastis, yang mengakibatkan penurunan indeks plastisitas. Penurunan indeks plastisitas terbesar terjadi pada sampel dengan penambahan batukapur 7,5% yang memiliki nilai penurunan sebesar 51,23%. Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan batukapur pada tanah ekspansif dapat menstabilkan kondisi tanah ekspansif. Hasil di atas adalah hasil dari analisis laboratorium, untuk dapat diterapkan di lapangan, diperlukan beberapa analisis tambahan, seperti analisis kualitas material bangunan dan jalan, analisis kekuatan tanah, daya dukung tanah, dan lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan dukungan dana penelitian melalui hibah penelitian dengan nomor kontrak 1682810/UN1/FTK/DTGL/KU/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Alihudien, R. B. Hamduwibawa, & T. D. Kuryanto, "Identifikasi Potensi Tanah Ekspansif Pada Lokasi Pembangunan Rumah Sakit Unmuh Jember", *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, 6(2), pp. 68-73, 2021.
- [2] A. B. Siswanto, U. Wijaya, & E. Widawati, "Perbaikan Tanah Lunak Untuk Konstruksi Jalan Pada Proyek Jalan Lingkar Utara Brebes Tegal", *Journal of Civil Engineering and Technology Sciences*, 2(1), pp. 31-43, 2023.
- [3] R. Andika, and A. Suhendra, "Studi Analisis Fondasi Tiang Pada Tanah Ekspansif Di Daerah Cikarang Dan Karawang", *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, pp. 795-804, 2023.
- [4] F. H. Chen, *Foundations of Expansive Soils*, Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1975.
- [5] J. D. Nelson, K. C. Chao, D. D. Overton, and E. J. Nelson, *Foundation Engineering for Expansive Soils*, Canada: John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [6] T. Pamuji, "4 Rumah Rusak dan Jalan Amblas Akibat Tanah Bergerak di Lumbir Banyumas", *Radar Banyumas*, 29 Desember 2022. [Online]. Tersedia di: <https://radarbanyumas.disway.id/read/72473/4-rumah-rusak-dan-jalan-kabupaten-amblas-akibat-tanah-bergerak-di-lumbir-banyumas> [Diakses 7 Agustus 2024]
- [7] D. Barman, and S. K. Dash, "Stabilization of expansive soils using chemical additives: A review", *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 14(4), pp. 1319-1342, 2022.
- [8] K. S. R. Kumar, and T. Thyagaraj, "Comparison of lime treatment techniques for deep stabilization of expansive soils", *International Journal of Geotechnical Engineering*, 15(8), pp. 1021-1039, 2021.
- [9] I. Alkiki, Z. Karabash, and A. Aldaood, "Effect of lime treatment on swelling and some geotechnical properties of an expansive soil from mosul city", *Journal of Engineering Science and Technology*, 18(1), pp. 167-186, 2023.
- [10] P. S. K. Raja, and T. Thyagaraj, "Effect of compaction time delay on compaction and strength behavior of lime-treated expansive soil contacted with sulfate", *Innovative Infrastructure Solutions*, 5(1), pp. 14, 2020.
- [11] C. C. Ikeagwuani and D. C., Nwonu, "Emerging Trends in Expansive Soil Stabilisation: A review", *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 11, issue 2, pp. 423-440, 2019.
- [12] A. A. E. Driss, K. Harichane, M. Ghrici, and H. Gadouri "Assessing the effect of moulding water content on the behaviour of lime-stabilised an expansive soil", *Geomechanics and Geoengineering*, 17(3), pp. 896-908, 2022.
- [13] L. Xu, F. Zha, C. Liu, B. Kang, J. Liu, and C. Yu, "Experimental Investigation on Carbonation Behavior in Lime-Stabilized Expansive Soil", *Advances in Civil Engineering*, 2020(1), 7865469.
- [14] A. A. B. Moghal, V. Vydehi, M. B. Moghal, R. Almatrudi, A. AlMajed, and M. A. Al-Shamrani, "Effect of calcium-based derivatives on consolidation, strength, and lime-leachability behavior of expansive soil", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(4), 2020, 04020048.
- [15] M. Djuri, H. Samodra, T. C. Amin, dan S. Gafoer, "Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal, Jawa Skala 1:100.000", 1975.
- [16] A.W. Skempton, "The colloidal activity of clays", in: Proceedings of the third international conference on soil mechanics and foundation engineering, Zurich, Switzerland, ICOSOMEF, 1953, pp. 57-61.
- [17] Q. C. Kautz, and P. C. Ryan, "The 10 Å to 7 Å Halloysite Transition in a Tropical Soil Sequence, Costa Rica" in *Clays and Clay Minerals*, vol. 51, 2003, pp. 252 – 263.
- [18] A. Meunier, *Clays*, Berlin: Springer, 2005.
- [19] Q. Wiqoyah, "Pengaruh Kadar Kapur, Waktu Perawatan, dan Perendaman terhadap Kuat Dukung Tanah Lempung", *Dinamika Teknik Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 16-24, 2006.
- [20] F. G. Bell, "Lime Stabilization of Clay Minerals and Soils", in *Engineering Geology*, v. 42, Dalbridge: Elsevier, 1996, pp. 223-237.



©2024. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.