



Peningkatan Parameter Kuat Geser *Clay Shale* Menggunakan *Xanthan Gum* Modifikasi *Polyvinyl Alcohol* (PVA)

Chandra Ismail, *Heriansyah Putra, Apriadi

Divisi Rekayasa Infrastruktur Berkelanjutan, Fakultas Teknik dan Teknologi,
IPB University, Bogor

*)heriansyahptr@apps.ipb.ac.id

Received: 13 September 2024 Revised: 27 Oktober 2025 Accepted: 31 Oktober 2025

Abstract

The highly expansive characteristics of clay shale lead to several issues in construction. This study aimed to evaluate the use of xanthan gum (XG), polyvinyl alcohol (PVA), and their combination to improve the shear strength parameters of clay shale. A series of experiments were performed, starting from physical property tests, including specific gravity, gradation, and Atterberg limits, and mechanical property tests using the direct shear test to evaluate the effect of the addition of Xanthan Gum and polyvinyl alcohol or their combination on the soil parameters. Xanthan gum and polyvinyl alcohol were mixed with clay shale using dry and wet mixing methods. The study results show that adding xanthan gum and polyvinyl alcohol, and their combination, improves the plasticity index by 156%, 98%, and 6%, respectively. The modification of XG using polyvinyl alcohol was also reported to increase the cohesion and internal friction angle by 200% and 103%, respectively. This study concludes that the addition of polyvinyl alcohol as a modification of xanthan gum is an effective way to improve the soil strength of clay shale.

Keywords: *Clay shale, cohesion, polyvinyl alcohol, plasticity index, xanthan gum*

Abstrak

Karakteristik kembang susut pada tanah clay shale dapat menimbulkan berbagai permasalahan dalam konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan xanthan gum (XG), polyvinyl alcohol (PVA) dan kombinasi keduanya untuk meningkatkan parameter kuat geser tanah clays hale. Berbagai pengujian laboratorium dilakukan, mulai dari pengujian properties fisik berupa pengujian berat jenis, gradasi dan batas atterberg serta properties mekanis berupa pengujian kuat geser tanah untuk mengevaluasi pengaruh penambahan xanthan gum dan PVA beserta kombinasinya terhadap parameter tanah. Xanthan gum dan PVA dicampurkan ke dalam tanah menggunakan metode dry mixing dan wet mixing secara terpisah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan xanthan gum, PVA dan modifikasinya mampu meningkatkan nilai indeks plastisitas tanah berturut-turut sebesar 156%, 98% dan 6%. Modifikasi xanthan gum menggunakan polyvinyl alcohol mampu meningkatkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam pada clay shale sebesar 200% dan 103%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penambahan PVA pada Xanthan Gum mampu meningkatkan kekuatan clay shale secara efektif.

Kata kunci: *Clay shale, kohesi, polyvynyl alcohol, sudut gesek dalam, xhantan gum*

Pendahuluan

Tanah merupakan bagian yang memiliki peran penting dalam konstruksi yang berfungsi menyangga konstruksi di atasnya. Fungsinya sangat penting karena tanah mendistribusikan beban dari konstruksi ke bawahnya, menjaga kestabilan, dan meminimalkan risiko keruntuhan atau pergerakan yang dapat membahayakan struktur dan keamanan

penghuninya. Perilaku tanah dalam menanggapi beban struktural, sifat kompresi, perluasan, dan daya dukungnya merupakan faktor kunci yang harus diperhitungkan dalam perencanaan dan desain konstruksi. Permasalahan yang sering kali dihadapi dalam mengatasi tanah dasar yang kurang baik salah satunya adalah sifat yang kontras terhadap sifat mengembang dan menyusut akibat adanya perubahan kadar air (Firda & Yulianti,

2022). Sifat yang kontras dan bergantung pada kondisi eksternal tersebut terdapat pada salah satu jenis tanah ekspansif yaitu *clay shale*.

Clay shale adalah batuan sedimen berbutir halus yang terbentuk dari pemadatan mineral berukuran lanau dan lempung, dan termasuk dalam kategori batuan sedimen seperti lempung yang umumnya tersusun atas lapisan-lapisan tipis dengan proporsi tidak beraturan, sangat licin dan mudah dipisahkan sepanjang bidang lapisannya. (Ariesnawan, 2015). *Clay shale* merupakan jenis tanah ekspansif yang ketika bereaksi dengan air akan mengalami pengembangan atau peningkatan volume, dan merupakan material transisi antara tanah dan batuan. Tanah jenis ini memiliki sifat yang sangat keras dan terbentuk dari kelompok lempung akibat adanya tekanan (Hartono & Santoso, 2021). Namun, *clay shale* akan sangat mudah sekali mengalami penurunan durabilitas dan kuat geser ketika terekspos langsung oleh perubahan cuaca (Wirmanda *et al.*, 2017).

Secara alami *clay shale* bersifat keras, kaku dan sulit digali karena terbentuk dari suatu material hasil pelapukan *clay stone*. Menurut Rahayu (2019), *clay shale* tidak lagi menjadi material fungsional dalam konstruksi karena yang semula berbentuk batuan akan bergradasi hingga menyerupai tanah berbutir halus. Proses tersebut disebabkan oleh pelapukan akibat aktivitas organisme, kondisi cuaca, topografi, dan air tanah. Proses pelapukan nya juga menyebabkan masalah dalam rekayasa geoteknik seperti stabilitas lereng yang disebabkan salah satunya oleh penurunan kuat geser tanah (Lutfiyani 2022).

Penelitian mengenai stabilisasi *clay shale* dengan perkuatan kimiawi maupun mekanik telah banyak dilakukan dengan berbagai metode sebagai upaya optimalisasi pemanfaatannya. Penelitian yang dilakukan oleh Yogaswara dan Alatas (2022), penambahan semen portland sebagai bahan aditif stabilisasi *clay shale* dengan kadar optimum 15% mampu meningkatkan nilai *slake durability indeks* sebesar 68%.

Penambahan semen *Portland composite cement* (PCC) pada *clay shale* juga dilakukan oleh Hartono dan Santoso (2021). Kadar semen optimum 10% pada 56 pukulan akan meningkatkan nilai CBR sebesar 38,40% dan menurunkan pengembangan sebesar 0,60% dengan metode *dry mix* sebagai metode optimum dibandingkan metode *spray mix* dengan rata-rata peningkatan sebesar 5,5%.

Selain semen, penambahan kalsium karbonat cair (CaCO_3) dengan kadar optimum 2 Mol/L sebanyak 80% mampu menghasilkan peningkatan nilai

kohesi sebesar 0,289 kg/cm² dan nilai sudut gesek dalam sebesar 11,13° (Lutfiyani 2022). Namun, bahan kimia perbaikan tanah, seperti semen memiliki beberapa masalah lingkungan, termasuk emisi karbon dioksida yang sangat besar, zat beracun, dan peningkatan pH tanah di sekitarnya dan air bawah tanah (Chang *et al.*, 2016).

Alternatif bahan stabilisasi tanah yang prospektif untuk perbaikan tanah adalah biopolimer. Biopolimer merupakan bahan aditif ramah lingkungan yang ketika berikatan dengan tanah mampu mereduksi hidrolik konduktivitas dan meningkatkan nilai kohesi tanah (Amalia *et al.*, 2021; Saputro & Putra, 2025). Kemampuan suatu biopolimer untuk memperbaiki sifat dan perilaku suatu tanah bergantung pada jenis tanah dan komposisinya, jenis dan kualitas biopolimer (Chen *et al.*, 2020). Biopolimer adalah polimer yang diciptakan secara alami oleh proses biologis dan terdiri dari unit monomer yang dikombinasikan menjadi struktur yang lebih besar. *Polinukleotida* (RNA dan DNA), polipeptida (terbuat dari asam amino), dan polisakarida adalah tiga bentuk utama biopolimer. Polisakarida adalah rantai karbohidrat yang terdiri dari banyak unit monosakarida yang merupakan biopolimer yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi perkuatan tanah (Cho & Chang, 2018).

Beberapa jenis polisakarida telah terbukti efektif dalam memperbaiki sifat tanah seperti *xanthan gum*, guar gum, dan karagenan (Chang *et al.*, 2020; Saputro & Putra, 2025; Zulfikar *et al.*, 2023). *Xanthan gum* adalah biopolimer jenis polisakarida yang diproduksi oleh *Xanthomonas campestris*, yang terdiri dari dua glukosa, dua manosa, dan satu unit asam glukuronik yang sebagian besar membentuk struktur helical (García-Ochoa *et al.*, 2000). Penambahan *xanthan gum* dengan kadar optimum 2% dapat meningkatkan nilai batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas sebesar masing-masing 70%, 14%, dan 200% pada tanah lanau.

Penelitian yang sama juga telah membuktikan bahwa *xanthan gum* dengan kadar optimum 2% dapat meningkatkan nilai kohesi tanah lanau hingga 200% (Bagheri *et al.*, 2023). Selanjutnya jenis biopolimer polisakarida yang terbentuk dari hasil ekstraksi kacang gawar atau *cyamopsis tetragonoloba* yaitu *guar gum* yang digunakan dengan kadar optimum 2% mampu meningkatkan nilai batas cair, plastis, dan susut sebesar masing-masing 44, 80, dan 105% (Sujatha & Saisree, 2019). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Soldo *et al.* (2020), penambahan *guar gum* mampu meningkatkan nilai kohesi tanah sebesar 20%. Baik *xanthan gum* maupun *guar gum* menurunkan nilai sudut gesek internal berturut-turut sebesar 37% dan

27% (Bagheri *et al.*, 2023; Soldo *et al.*, 2020). Karagenan merupakan *sulphated polysaccharide* yang diperoleh dari ekstraksi alga merah yang digunakan secara luas sebagai bahan aditif makanan karena kemampuan penebalan, gelas, dan stabilisasi yang sangat baik. (Ni *et al.*, 2022). Karagenan merupakan bahan potensial untuk stabilisasi tanah likuefaksi telah terbukti dapat meningkatkan nilai kohesi serta sudut gesek internal tanah berturut-turut sebesar 60% dan 92% (Zulfikar *et al.*, 2023).

Xanthan gum dipilih sebagai bahan biopolimer ramah lingkungan yang paling efektif dalam meningkatkan parameter kekuatan tanah (Hamza, Nie, Aziz, Ijaz, Fang, *et al.*, 2023). *Xanthan gum* terbukti lebih efektif daripada guar gum dalam meningkatkan kuat geser tanah terutama nilai kohesi khususnya pada tanah ekspansif. Namun, berdasarkan Lee *et al.* (2023), *xanthan gum* memiliki sifat *non-gelling* (gel lemah) dalam keadaan terhidrasi dan daya tahan tanah menurun pada kondisi jenuh. Hal tersebut perlu diperbaiki dengan menambahkan bahan aditif seperti *polyvinyl alcohol* (PVA), yang merupakan bahan dengan keunggulan potensial untuk pembentukan film yang mampu diperbaiki kelemahan penggunaan *xanthan gum* pada stabilisasi tanah. PVA berpotensi digunakan untuk mengagregasi tanah lempung (Mirzababaei *et al.*, 2017), dan juga merupakan polimer *biodegradable* yang larut dalam air dengan rantai atom karbon yang dapat degradasi di lingkungan oleh mikroorganisme dan mampu membangun ikatan hidrogen dengan air.

Stabilisasi tanah menggunakan PVA dengan campuran *fiber reinforcement* mampu meningkatkan daktilitis dan nilai UCS pada lempung lunak dari 6,1 kPa menjadi 44,1 kPa (6 kali lebih tinggi). Hasil tersebut didapatkan dari penambahan kadar PVA optimum sebesar 1,5% (Mirzababaei *et al.*, 2017). Berdasarkan potensi penggunaan biopolimer sebagai bahan perbaikan pada berbagai jenis tanah dan minimnya metode perbaikan pada tanah *clay shale*, sehingga pada penelitian ini dievaluasi efektivitas penggunaan *xanthan gum* yang dikombinasikan dengan PVA untuk memperbaiki tanah *clay shale*.

Metode

Bahan penelitian

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel *clay shale* yang berasal dari lahan milik PT. Lobunta Kencana Raya yang berlokasi di kawasan Sentul City, Bogor. Bahan stabilisasi yang digunakan berupa biopolimer *xanthan gum* yang diproduksi oleh Fufeng dan *polyvinyl alcohol* bubuk yang diproduksi oleh Sains Laboratory.

Prosedur penelitian

Penelitian ini dimulai dengan pengujian properties tanah *clay shale* untuk mengetahui karakteristik sampel tanah yang diuji. Selanjutnya sampel tanah dicampur dengan beberapa variasi biopolimer *xanthan gum* dan *polyvinyl alcohol* untuk menghasilkan tanah sampel untuk pengujian geser langsung. Sampel tanah ini selanjutnya dievaluasi menggunakan uji geser langsung untuk mengetahui besarnya pengaruh penambahan *xanthan gum* dan PVA sifat fisik dan mekanis tanah *clay shale*.

Pengujian properties *clay shale*

Pengujian properties tanah dilakukan untuk mengetahui sifat fisik tanah meliputi kadar air, gradasi butir, berat jenis dan batas Atterberg tanah. Parameter kadar air pada *clay shale* sangat penting diketahui karena perubahannya menjadi faktor terjadinya kembang susut (Wirmanda *et al.*, 2017). Kadar air tanah didapatkan dengan pengujian yang mengacu pada BSN (2019).

Gradasi atau sebaran ukuran butir tanah diperoleh untuk mendapatkan klasifikasi tanah *clay shale*. Pengujian gradasi pada penelitian ini menggunakan saringan No. 200. Berdasarkan BSN (2008a), pengujian analisis butiran tanah yaitu uji analisis saringan. Penentuan distribusi ukuran berbutir halus menggunakan prinsip hidrometer sederhana (ASTM 2002).

Klasifikasi jenis tanah berbutir halus menggunakan segitiga tekstur (USDA 1937). Pengujian berat jenis yang berdasarkan BSN (2008b) dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis tanah *clay shale*. Pengujian batas Atterberg yang dilakukan terdiri dari pengujian batas cair yang mengacu pada BSN (2008c) dan pengujian batas plastis serta indeks plastisitas tanah yang mengacu pada BSN (2008d).

Pencampuran sampel *clay shale*

Pencampuran sampel tanah dilakukan dengan dua bahan stabilisasi yaitu *xanthan gum*, PVA dan modifikasi antar keduanya. *Clay shale* memiliki kepadatan kering tanah ($\rho_d = 1,12 \text{ g/cm}^3$), berat solid tanah ($W_s = 100,47 \text{ gram}$) dan kadar air sebesar 35%. *Xanthan gum* ditambahkan dengan variasi 1%, 2%, dan 3%. Sementara itu, pada sampel yang berbeda juga ditambahkan PVA dengan variasi 1, 2, dan 3%. Kondisi eksperimental sampel *clay shale* ditampilkan pada Tabel 1. Sementara itu, kombinasi bahan stabilisasi *xanthan gum* dan *polyvinyl alcohol* dilakukan pada kondisi optimum tiap variasi dari hasil uji geser langsung, dengan tiga kombinasi *xanthan gum* : PVA 1: 3, 2:2 dan 3:1, seperti ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Variasi kondisi eksperimental dari sampel clay shale

Sampel	Bahan tambah			
	Xanthan gum		Polyvinyl alcohol	
	%	gram	%	gram
Kontrol	0	0	0	0
XG1	1	1	0	0
XG2	2	2	0	0
XG3	3	3	0	0
P1	0	0	1	1
P2	0	0	2	2
P3	0	0	3	3

Tabel 2. Kondisi eksperimental untuk variasi sampel modifikasi clay shale

Sampel	Level optimal 2 gram			
	Xanthan gum		Polyvinyl alcohol	
	%	gram	%	gram
MD1	25	0,5	75	1,5
MD2	50	1	50	1
MD3	75	1,5	25	0,5

Pencampuran bahan stabilisasi dilakukan dengan tiga variasi. *Xanthan gum* yang memiliki sifat penurunan kekuatan pada kondisi jenuh (Lee *et al.*, 2023), dicampurkan ke dalam tanah dengan metode kering, mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh (Zulfikar *et al.*, 2023). Sedangkan PVA dicampurkan ke dalam tanah setelah dilarutkan ke dalam air atau dengan metode basah. *Polyvinyl alcohol* dicampur dengan *aquades* menggunakan *magnetic stirrer* dengan suhu 90° selama 45 menit. Setelah *polyvinyl alcohol* larut, diamkan hingga mencapai suhu ruangan. Selanjutnya dituangkan pada *clay shale* dan diaduk hingga merata.

Setelah mendapatkan kadar optimum dari bahan stabilisasi *xanthan gum* dan *Polyvinyl Alcohol*, pencampuran kombinasi dilakukan menggunakan metode basah dan metode kering. Sampel *clay shale* dicampur dengan menggunakan *xanthan gum* menggunakan metode kering. Selanjutnya larutan *polyvinyl alcohol* dituangkan ke dalam campuran *clay shale* dan *xanthan gum* lalu diaduk hingga tercampur merata.

Pengujian geser langsung

Pengujian geser langsung dilakukan untuk menilai efektivitas bahan *xanthan gum* dimodifikasi dengan *polyvinyl alcohol* pada nilai kohesi atau gaya tarik-menarik antar partikel dan sudut gesek dalam atau gesekan antara butir tanah, dan mengacu pada BSN (2016). Benda uji adalah sampel *clay shale treated* dan *untreated clay shale* sebagai kontrol. Pengujian geser langsung menggunakan tiga variasi beban normal yaitu 0,5 kgf, 1,5 kgf dan 3,3 kgf.

Hasil dan Pembahasan

Properties clay shale

Pengujian properties tanah terdiri dari 6 parameter yaitu, kadar air, berat jenis, batas cair, batas plastis, Indeks plastisitas dan jenis tanah. Sampel *clay shale* kondisi lapang dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100° selama 24 jam. *Clay shale* memiliki berat jenis partikel sebesar 2,35, batas cair sebesar 41,60 %, batas plastis sebesar 21,97% dan indeks plastis sebesar 19,62 %. Berdasarkan USCS, *clay shale* termasuk jenis CL atau lempung anorganik. *Clay shale* merupakan jenis tanah berbutir halus. Sistem pengayakan atau gradasi tidak cukup untuk menganalisis tanah berbutir halus. Sehingga pada penelitian ini hasil gradasi tidak ditampilkan dan pengujian distribusi partikel tanah hanya menggunakan saringan No. 200. Analisis butir halus untuk menentukan jenis tanah dilakukan menggunakan metode hidrometer sederhana. Prinsip sederhana yang digunakan dalam analisis butir halus adalah prinsip sedimentasi.

Analisis hidrometer dimulai setelah sedimen dan air tercampur rata, setelah itu partikel mengendap dari kolom air sesuai dengan hukum Stokes. Kepadatan suspensi sedimen air bergantung pada konsentrasi dan berat jenis sedimen yang ada dalam campuran. Jika suspensi didiamkan, partikel-partikel akan mengendap dari suspensi dan densitas suspensi sedimen-air akan berkurang. Hidrometer mengukur kepadatan suspensi pada kedalaman yang diketahui di bawah permukaan (Sawyer *et al.*, 2008).

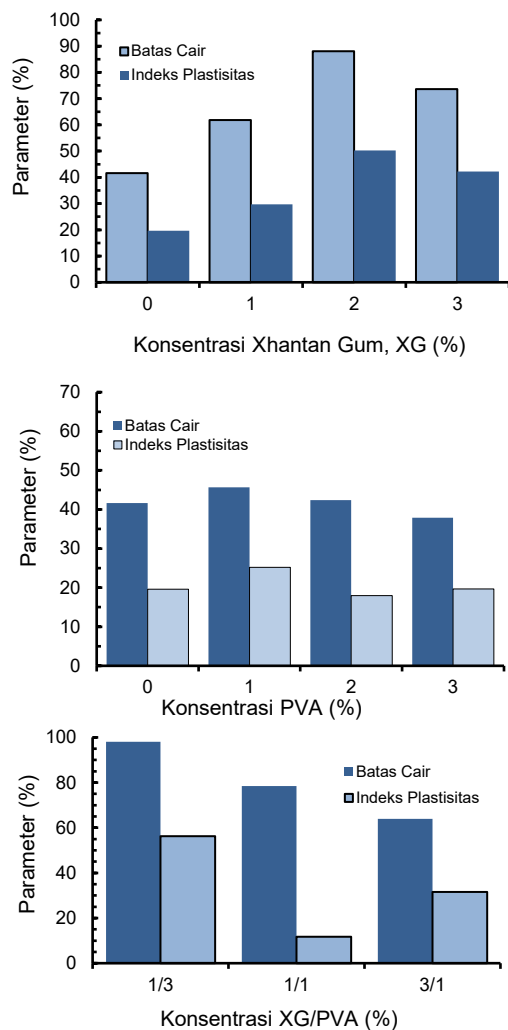
Kandungan berbagai fraksi tersebut diperoleh dengan mencampurkan *clay shale* dengan air dan diendapkan selama 24 jam. Diperoleh fraksi pasir sebesar 0%, lanau 30% dan lempung 70%. Setelah menganalisis butiran halus pada *clay shale*, penentuan jenis tanah dilakukan dengan menggunakan segitiga tekstur. Segitiga tekstur tanah dapat digunakan dengan mengetahui kandungan fraksi pasir, lanau, dan liat. Berdasarkan USDA(1937), kandungan berbagai fraksi pada segitiga tekstur menunjukkan bahwa *clay shale* termasuk jenis tanah liat. Karakteristik *clay shale* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik sampel clay shale

Sifat – sifat tanah	Nilai
Kandungan Air (%)	35
Berat jenis partikel (-)	2,35
Batas cair (%)	41,60
Batas plastis (%)	21,97
Indeks plastisitas (-)	19,62
Tipe tanah	CL

Parameter indeks plastisitas

Indeks plastisitas (IP) merupakan selisih antara nilai batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan nilai plastisitas tanahnya. Jika tanah mempunyai IP tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika IP rendah seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Pengaruh penambahan *xanthan gum* pada indeks plastisitas sampel *clay shale* dievaluasi. Pengujian batas cair dan batas plastis dilakukan setelah sampel *treated* masa *curing* 7 hari. Hal tersebut untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan stabilisasi terhadap nilai IP dan kadar air. Grafik pengaruh penambahan berbagai macam stabilisasi terhadap Indeks plastisitas disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik pengaruh stabilisasi clay shale terhadap indeks plastisitas

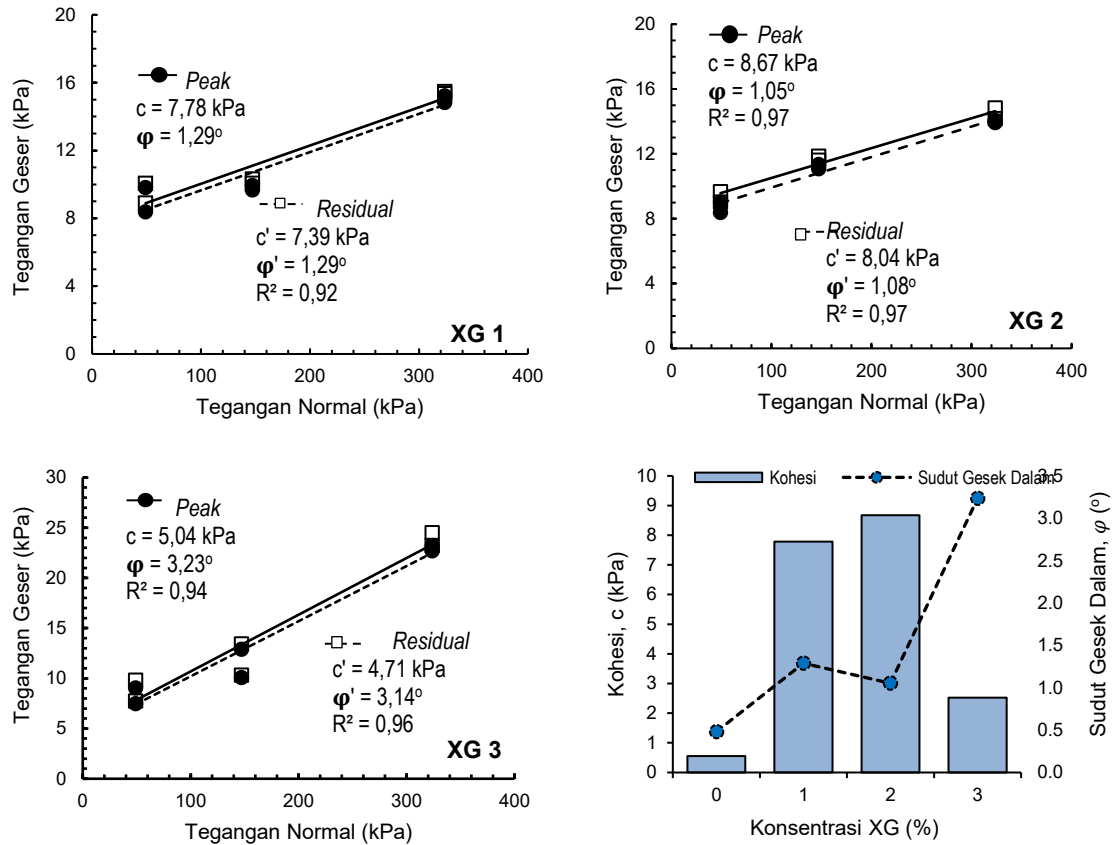
Sampel *untreated clay shale* memiliki nilai batas cair sebesar 41,6% dan indeks plastisitas sebesar

19,62. Berdasarkan Gambar 1, Penambahan *xanthan gum*, PVA, maupun modifikasi antara keduanya memberikan peningkatan pada nilai batas cair. Penambahan *xanthan gum* terhadap indeks plastisitas *clay shale* maksimum mencapai 50,24% pada sampel *xanthan gum* 2%. Penambahan *xanthan gum* meningkatkan nilai IP seiring dengan penambahan konsentrasi. Penambahan PVA 2% mampu mendapatkan peningkatan nilai IP yang maksimum. Sampel PVA2 mampu mendapatkan nilai IP sebesar 50,24. Penambahan PVA meningkatkan nilai IP seiring dengan penambahan konsentrasi. Selanjutnya sampel modifikasi 1 atau MD1 (XG/PVA:1/3) dengan kadar *xanthan gum* sebesar 0,50 gram dan Polyvinyl Alcohol sebesar 1,50 gram mampu mendapatkan nilai IP maksimum sebesar 56,3. Nilai indeks plastisitas menurun pada sampel MD2 (XG/PVA:1/1) dan meningkat kembali pada sampel MD3 (XG/PVA: 3/1).

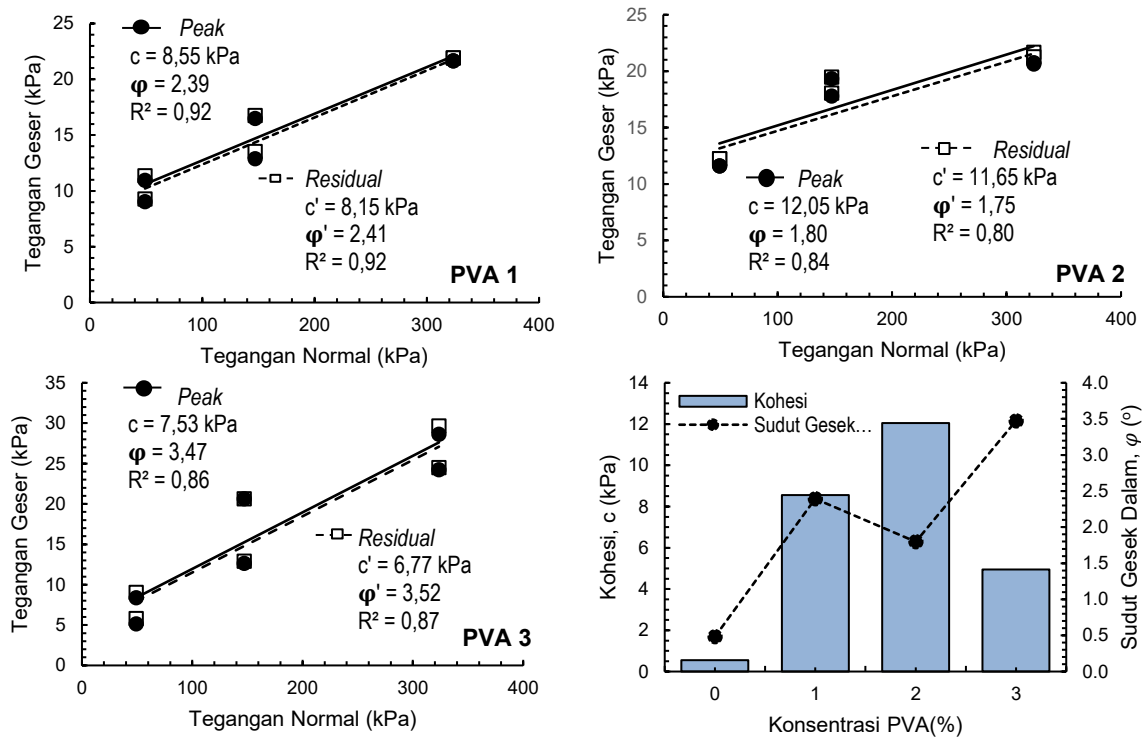
Peningkatan nilai IP sejalan dengan peningkatan nilai batas cair (LL) tanah. Batas cair adalah nilai kadar air pada tanah pada batas keadaan cair dengan keadaan plastis tanah, atau nilai batas atas pada daerah plastis (Idris, 2018). Peningkatan nilai batas cair pada penambahan *xanthan gum* terjadi karena adanya proses flokulasi pada sampel *clay shale* (Bozyigit *et al.*, 2021). Flokulasi adalah proses mendasar yang digunakan untuk memfasilitasi agregasi partikel kecil dalam cairan atau larutan untuk membentuk kelompok yang lebih besar, yang dikenal sebagai flok. Dalam hal ini, setelah penambahan *xanthan gum*, dalam sampel *treated* tanah terdapat flok yang mampu menahan air. Pada tanah yang terflokulasi, air terperangkap di dalam dan di antara partikel tanah sehingga nilai batas cair juga meningkat (Kim & Palomino, 2009). Oleh karena itu peningkatan nilai IP terjadi karena proses flokulasi yang terjadi setelah bahan stabilisasi dicampur dengan tanah. Kondisi ini juga menunjukkan adanya peningkatan sifat kelembungan pada tanah dengan adanya penambahan *xanthan gum* dan PVA, yang berdampak pada peningkatan kohesi tanah, yang berkorelasi positif dengan peningkatan parameter kuat geser tanah.

Parameter kuat geser tanah

Pengujian geser langsung pada tanah *clay shale* dilakukan untuk mendapatkan parameter geser berupa kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ). Parameter tersebut penting untuk dilakukan untuk melakukan evaluasi kekuatan terhadap perkuatan tanah *clay shale* menggunakan stabilisasi kimiawi berupa Biopolimer berjenis *xanthan gum* yang dimodifikasi menggunakan polyvinyl alcohol.



Gambar 2. Parameter kuat geser tanah menggunakan Xanthan Gum



Gambar 3. Parameter kuat geser tanah menggunakan PVA

Terdapat 3 variasi penggunaan bahan stabilisasi yang berbeda yaitu menggunakan xanthan gum

(XG), polyvinyl alcohol (PVA), dan modifikasi antara keduanya (MD). Ketiga variasi tersebut

menggunakan sampel clay shale untreated sebagai kontrol (UTR). Sampel yang digunakan merupakan tanah yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Sampel dimasukkan ke dalam plastik *ziplock* untuk menjaga kadar airnya selama proses *curing*. Pengujian geser langsung dilakukan setelah proses *curing* selama 7 hari. Setiap sampel dilakukan dua kali pengulangan pengujian yang dimaksudkan untuk mendapatkan ketelitian data yang lebih akurat.

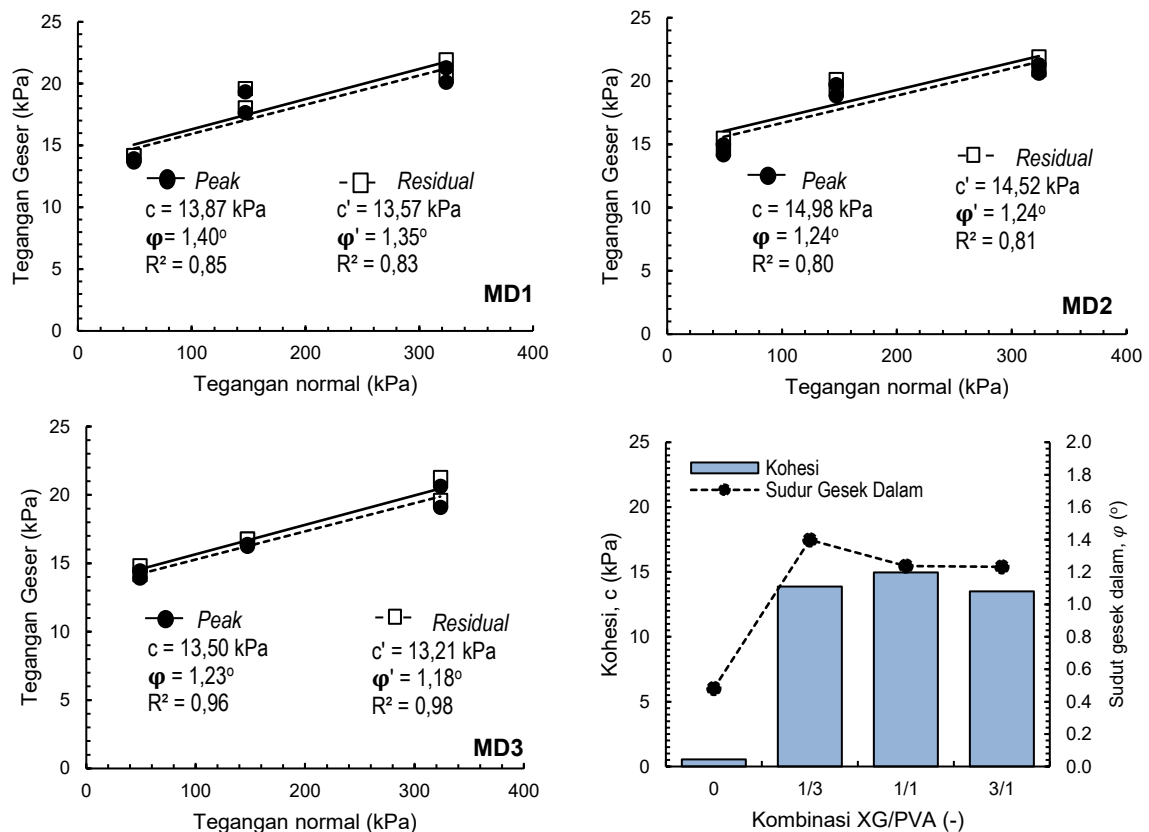
Pencatatan pergeseran dilakukan untuk setiap beban selama uji coba. Tegangan geser maksimum yang tercapai selama uji coba kemudian disesuaikan dengan tegangan normal yang diterapkan pada sampel *clay shale*, membentuk kurva linier. Titik pertemuan kurva dengan sumbu vertikal mengindikasikan nilai kohesi (c), sementara kemiringan kurva mencerminkan nilai sudut gesek dalam (ϕ). Kuat geser residual juga dievaluasi dalam parameter kuat geser tanah *clay shale*. Data nilai kohesi dan sudut gesek dalam *clay shale* kondisi tanpa perlakuan dan yang telah dilakukan stabilisasi menggunakan *xanthan gum* dan polyvinyl alcohol disajikan berturut-turut pada Gambar 2 dan 3.

Sampel *untreated clay shale* memiliki nilai kohesi sebesar 4,55 kPa dan sudut gesek dalam (ϕ) sebesar $0,61^\circ$. Clay shale juga memiliki nilai kohesi residual

(c') 4,09 kPa dan sudut gesek dalam residual (ϕ') sebesar $0,58^\circ$. Nilai parameter kuat tanah *clay shale untreated* pada pengujian ini memiliki nilai yang rendah. Ketika tanah tersebut mengalami gangguan atau pelapukan dan kehilangan kekuatan (Gartung 1986, Irsyam 2011).

Jika diuji di laboratorium, parameter kekuatan gesernya mengalami perubahan yang signifikan jika dibandingkan dengan kondisi aslinya dalam tanah. Ini merupakan perbedaan yang sangat mencolok dengan jenis lempung lainnya, di mana pengeringan dan pembasahan tanah tidak menyebabkan penurunan kekuatan geser yang signifikan.

Parameter geser maksimum maupun geser residual berdasarkan Gambar 2 dan 3 mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Didapatkan variasi optimum pada *xanthan gum* sebesar 2%. Penambahan *xanthan gum* sebesar 2% mampu meningkatkan nilai kohesi sebesar 8,67 kPa, sudut gesek dalam sebesar $1,05^\circ$, kohesi residual sebesar 8,04 kPa, sudut gesek dalam residual sebesar $1,08^\circ$. Peningkatan kuat geser tanah juga sejalan dengan penelitian (Hamza *et al.* 2023) yang menyatakan bahwa *xanthan gum* mampu meningkatkan nilai kohesi pada tanah lanau sebesar 200%. Besarnya peningkatan nilai kohesi tersebut menjadikan *xanthan gum* sebagai biopolimer yang berpotensi besar efektif dalam stabilisasi tanah lempung.



Gambar 4. Parameter kuat geser tanah menggunakan kombinasi *xanthan gum*-PVA

Kenaikan nilai kohesi dan sudut gesek dalam pada *xanthan gum* disebabkan oleh pembentukan gel di dalam tanah. Setelah gel tersebut mengering, terbentuklah *firm plastic* di dalam tanah. Ikatan antara gel dan partikel tanah meningkatkan kuat geser tanah (Bagheri *et al.*, 2023). Peningkatan kuat geser tanah juga sejalan dengan penelitian (Hamza *et al.* 2023) yang menyatakan bahwa *xanthan gum* mampu meningkatkan nilai kohesi pada tanah lanau sebesar 200%. Besarnya peningkatan nilai kohesi tersebut menjadikan *xanthan gum* sebagai biopolimer yang berpotensi besar efektif dalam stabilisasi tanah lempung.

Penambahan Polyvinyl Alcohol bertujuan untuk memperbaiki mekanisme *xanthan gum* yang memiliki kekurangan berupa sifat gel yang lemah dalam keadaan terhidrasi dan daya tahan tanah menurun pada kondisi jenuh (Lee *et al.*, 2023). PVA pada kadar optimum 2% mampu meningkatkan nilai kohesi sebesar 12,05 kPa, sudut gesek dalam sebesar 1,80°, kohesi residual sebesar 11,94 kPa, sudut gesek dalam residual sebesar 1,79°.

Peningkatan nilai kohesi PVA (164%) lebih besar dibandingkan peningkatan nilai kohesi pada *xanthan gum* (90%). Mekanisme perbaikan tanah dengan penambahan PVA mencakup penyerapan air di dalam tanah melalui molekul-molekul PVA. Kemudian PVA membentuk partikel-partikel dan menggantikan air pori dengan lapisan hidrogel (Rehab Bekkouché & Boukhatem, 2018). Sifat gel yang lemah dalam keadaan terhidrasi pada *xanthan gum* mampu diperbaiki oleh sifat PVA yang mampu berikatan dengan kelompok hidroksil melalui ikatan tanah (Mirzababaei *et al.*, 2017). Selanjutnya, dilakukan modifikasi *xanthan gum* menggunakan PVA dengan mekanisme pengujian geser langsung dan kondisi eksperimental berdasarkan Tabel 2.

Parameter kuat geser tanah menggunakan stabilisasi modifikasi disajikan pada Gambar 4. Sampel modifikasi 2 (MD2) dengan rasio 1/1 merupakan variasi optimum. Variasi MD2 mampu mendapatkan nilai kohesi sebesar 14,97 kPa, sudut gesek dalam sebesar 1,24°, kohesi residual sebesar 14,52 kPa, sudut gesek dalam residual sebesar 1,24°. Sampel MD2 mendapatkan peningkatan nilai kohesi maksimum dari dua jenis bahan sebelumnya yaitu *xanthan gum* dan PVA.

Sampel MD2 mampu meningkatkan nilai kohesi sebesar 72% atau menjadi 14,97 kPa. Sudut gesek dalam sampel MD2 meningkat sebesar 103% dari sampel XG2 atau menjadi 1,24°. Penambahan rasio antara XG/PVA akan semakin mengurangi nilai sudut dalam sebesar 12%. Menurut (Soldo *et al.*, 2020), penambahan *xanthan gum* mampu meningkatkan nilai kohesi pada tanah disebabkan

karena sifat seperti lem yang menyediakan ikatan kuat antara partikel tanah. Sedangkan penurunan nilai sudut gesek dalam yang terjadi seiring penambahan bahan stabilisasi disebabkan oleh semakin banyak *xanthan gum* yang melapisi permukaan tanah maka permukaan gesek antar tanah akan semakin berkurang (Ayeldeen *et al.*, 2017). Peningkatan nilai kohesi dan sudut gesek dalam dari sampel XG menjadi sampel MD (modifikasi) menunjukkan efektivitas PVA meningkatkan kekuatan *xanthan gum* dalam memperbaiki tanah *clay shale*.

Setelah mendapatkan kadar optimum dari masing-masing bahan stabilisasi yaitu *xanthan gum* sebesar 2%, PVA sebesar 2%, dan modifikasi antara keduanya sebesar 1:1 XG/PVA terjadi penurunan nilai kohesi. Penurunan nilai kohesi terjadi disebabkan oleh sifat *xanthan gum* dan PVA yang memiliki sifat hidrofilik yang menyebabkan penyerapan air. Air ini mengisi pori-pori antara partikel tanah, menyebabkan penurunan kekuatan tanah yang signifikan (Bagheri *et al.*, 2023).

Sifat fisik *clay shale* juga ikut mempengaruhi penurunan nilai kohesi. Pada saat penambahan konsentrasi bahan stabilisasi, rongga pada partikel tanah semakin terisi oleh air dan menyebabkan penurunan nilai kohesi. Terisinya rongga pada partikel tanah dengan air terbukti dengan meningkatnya nilai batas plastis pada masing-masing sampel ketika peningkatan konsentrasi ketiga bahan stabilisasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan biopolimer *xanthan gum* dan PVA berpotensi menjadi inovasi perbaikan tanah yang berkelanjutan. Peningkatan parameter fisik dan mekanis tanah menunjukkan potensi yang signifikan penggunaan dua material ini dalam pekerjaan perbaikan tanah yang ramah lingkungan sebagai alternatif penggunaan material kimia ataupun semen dalam stabilisasi tanah.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh simpulan sebagai berikut:

Penambahan *xanthan gum*, PVA, maupun modifikasinya mampu meningkatkan nilai batas cair *clay shale*. Nilai IP menggunakan *xanthan gum*, PVA, dan modifikasinya meningkat berturut-turut sebesar 156%, 98% dan 186%. Peningkatan nilai IP sejalan dengan peningkatan nilai batas cair (LL) tanah. Peningkatan batas cair tanah tersebut disebabkan karena peristiwa flokulasi yang terjadi yang akan menahan air lebih banyak pada partikel tanah. Stabilisasi *clay shale* menggunakan *xanthan gum* mampu meningkatkan parameter kuat geser tanah. Nilai kohesi meningkat 90% menjadi 8,67

kPa. Sudut gesek dalam meningkat 72% menjadi 1,05°. PVA mampu meningkatkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam sebesar 164% dan 193% menjadi 12,05 kPa dan 1,79°.

Xanthan gum yang dimodifikasi menggunakan *Polyvinyl Alcohol* mampu meningkatkan nilai kohesi pada *clay shale* 200% sebesar 14,97 kPa. Sudut gesek dalam bahan modifikasi mengalami peningkatan 103% sebesar 1,24°. *Xanthan gum* modifikasi PVA dengan rasio 1:1 mengalami peningkatan persentase optimum terhadap parameter kuat geser tanah pada *clay shale*. PVA sebagai bahan aditif terbukti efektif dan mampu meningkatkan mekanisme *xanthan gum* dalam memperbaiki parameter kuat geser *clay shale*.

Daftar Pustaka

- Amalia, D., Guritno, B., & Firuliadhim, G. (2021). Pengaruh biopolimer pada stabilitas lereng swelling soil. *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*, 5(3), 307–316.
<https://doi.org/10.35334/be.v5i3.2099>
- Ariesnawan, R. A. (2015). Karakteristik mekanik dan dinamik clay shale Kabupaten Tuban terhadap perubahan kadar air [tesis]. In *Magister Teknik Tesis, Institut Teknologi Sepuluh November*. Institut Teknologi Sepuluh November .
- [ASTM] American Society for Testing and Material. (2002). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. ASTM D 442-63.
- Ayeldeen, M., Negm, A., El-Sawwaf, M., & Kitazume, M. (2017). Enhancing mechanical behaviors of collapsible soil using two biopolymers. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(2), 329–339.
<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2016.11.007>
- Bagheri, P., Gratchev, I., & Rybachuk, M. (2023). Effects of xanthan gum biopolymer on soil mechanical properties. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(2), 1–13.
<https://doi.org/10.3390/app13020887>
- Bozyigit, I., Javadi, A., & Altun, S. (2021). Strength properties of xanthan gum and guar gum treated kaolin at different water contents. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(5), 1160–1172.
<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.06.007>
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008a). Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah. SNI 3423:2008. In *SNI 3423:2008*. Badan Standarisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008b). Cara Uji Berat Jenis Tanah. SNI 1964:2008. Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008c). Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah. SNI 1967:2008. Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008d). Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah. SNI 1966:2008. Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2016). Metode Uji Kuat Geser Langsung Tanah Tidak Terkonsolidasi dan Tidak Terdrainase. SNI 3420:2016. Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2019). Metode Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium. SNI 1965:2019. Badan Standardisasi Nasional.
- Chang, I., Im, J., & Cho, G.-C. (2016). Introduction of microbial biopolymers in soil treatment for future environmentally-friendly and sustainable geotechnical engineering. *Sustainability*, 8(3), 251.
- Chang, I., Lee, M., Tran, A. T. P., Lee, S., Kwon, Y.-M., Im, J., & Cho, G.-C. (2020). Review on biopolymer-based soil treatment (BPST) technology in geotechnical engineering practices. *Transportation Geotechnics*, 24, 100385.
- Chen, C., Peng, Z., Gu, J., Peng, Y., Huang, X., & Wu, L. (2020). Exploring environmentally friendly biopolymer material effect on soil tensile and compressive behavior. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), 9032.
- Cho, G.-C., & Chang, I. (2018). Cementless soil stabilizer-biopolymer. *Proceedings of the 2018 World Congress on Advances in Civil, Environmental, & Materials Research (ACEM18) Songdo Convensia, Incheon, Korea*, 27–31.
- Firda, A., & Yulianti, D. (2022). Pengaruh penggunaan limbah fly ash dan epoxy resin sebagai bahan stabilisasi tanah terhadap daya dukung tanah di jalan irigasi Palembang. *Jurnal Deformasi*, 7(1), 10. <https://doi.org/10.31851/deformasi.v7i1.7795>
- García-Ochoa, F., Santos, V. E., Casas, J. A., & Gómez, E. (2000). Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances*, 18(7), 549–579.
[https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00050-1)

- Gartung, E. (1986). Excavation in hard clays of the Keuper Formation. *Geotechnical Aspects of Stiff and Hard Clays*, 69–83.
- Hamza, M., Nie, Z., Aziz, M., Ijaz, N., Ameer, M. F., & Ijaz, Z. (2023). Geotechnical properties of problematic expansive subgrade stabilized with xanthan gum biopolymer. *Road Materials and Pavement Design*, 24(7), 1869–1883.
- Hamza, M., Nie, Z., Aziz, M., Ijaz, N., Fang, C., Ghani, M. U., Ijaz, Z., Noshin, S., & Salman, M. (2023). Geotechnical properties of problematic expansive subgrade stabilized with guar gum biopolymer. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1–21.
- Hartono, E., & Santoso, G. P. (2021). Analisis CBR tanah clayshale akibat distabilisasi semen. *Bulletin of Civil Engineering*, 1(2), 49–54.
- Idris. (2018). *Dasar-Dasar Mekanika Tanah*. Pena Idris.
- Irsyam, M. (n.d.). Jayaputra. AA, Himawan A. and Kartawiria A. 2011. Kasus-Kasus Kelongsoran Pada Tanah Clay Shale dan Alternatif Penanggulangannya. *Proceeding of the 9th Indonesian Society for Geotechnical Engineers Conference and 15th Yearly Scientific Meeting*.
- Kellogg, C. E. (1937). *Soil survey manual* (Issue 274). US Department of Agriculture.
- Kim, S., & Palomino, A. M. (2009). Polyacrylamide-treated kaolin: A fabric study. *Applied Clay Science*, 45(4), 270–279. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2009.06.009>
- Lee, M., Chang, I., & Cho, G.-C. (2023). Advanced biopolymer-based soil strengthening binder with trivalent chromium–xanthan gum crosslinking for wet strength and durability enhancement. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 35(10). <https://doi.org/10.1061/JMCEE7.MTENG-16123>
- Lutfiyani H. (2022). *Stabilisasi clayshale menggunakan kalsium karbonat cair*. Politeknik Negeri Jakarta.
- Mirzababaei, M., Arulrajah, A., & Ouston, M. (2017). Polymers for stabilization of soft clay soils. *Procedia Engineering*, 189, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.005>
- Ni, J., Li, S.-S., & Geng, X.-Y. (2022). Mechanical and biodeterioration behaviours of a clayey soil strengthened with combined carrageenan and casein. *Acta Geotechnica*, 17(12), 5411–5427. <https://doi.org/10.1007/s11440-022-01588-4>
- Rahayu, W. (2019). Stabilization of clay shale using propylene glycol and laterite on california bearing ratio. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 620(1), 012042.
- Rehab Bekkouche, S., & Boukhatem, G. (2018). Experimental characterization of clay soils behavior stabilized by polymers. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(3), 1193. <https://doi.org/10.4314/jfas.v8i3.30>
- Saputro, N. D., & Putra, H. (2025). Stabilization of Sandy Soil Using Polymer-Based Soil Treatment Method with Carrageenan and Polyvinyl Alcohol. *Arabian Journal for Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s13369-025-10729-2>
- Sawer, D. E., Jacoby, R., Flemings, P., & Germaine, J. T. (2008). Data report: particle size analysis of sediments in the Ursa Basin, IODP Expedition 308 Sites U1324 and U1322, northern Gulf of Mexico. *Proc. IODP| Volume*, 308, 2.
- Soldo, A., Miletić, M., & Auad, M. L. (2020). Biopolymers as a sustainable solution for the enhancement of soil mechanical properties. *Scientific Reports*, 10(1), 267. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57135-x>
- Sujatha, E. R., & Saisree, S. (2019). Geotechnical behaviour of guar gum-treated soil. *Soils and Foundations*, 59(6), 2155–2166. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.11.012>
- Wirmanda, A. Y., Fathullah, I. D., & Hardiyati, S. (2017). Perilaku clay shale terhadap kuat geser residual pada lokasi Banyumeneng, Penawangan, dan Wonosegoro. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(3), 81–92.
- Yogaswara, E., & Alatas, I. M. (2022). Durabilitas clay shale Hambalang lapuk distabilisasi dengan semen portland dan energi pemadatan berlebih. *Saintech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, 32(4), 29–35.
- Zulfikar, R. A., Yasuhara, H., Kinoshita, N., & Putra, H. (2023). Utilization of carrageenan as an alternative eco-biopolymer for improving the strength of liquefiable soil. *Geomechanics and Engineering*, 33(2), 221–230. <https://doi.org/10.12989/gae.2023.33.2.221>