

IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK DAN MEKANIKA TANAH UNTUK KESTABILAN PEMBANGUNAN JALAN

Gorin Revalandro¹⁾; Maritha Nilam Kusuma²⁾

^{1,2)} Teknik Lingkungan, FTSP, ITATS, Jl. Arief Rahman Hakim 100, Surabaya
e-mail: revalandro25@gmail.com

Abstrak

Tanah adalah pondasi dasar penting yang melandasi berdirinya suatu fasilitas kehidupan makhluk hidup yang berusaha untuk menjalani hidup terutama manusia. Tanah mempunyai banyak beragam karakteristik dan jenis yang mempunyai manfaat dan tujuannya sendiri untuk kebutuhan makhluk hidup yang berbeda juga. Dalam hal ini manusia telah banyak mempelajari beragam sifat dan karakteristik tanah yang mereka wujudkan dalam bentuk pembelajaran atau penelitian. Manusia mengelompokkan tanah menjadi beberapa jenis dengan menggunakan metode yang telah disetujui oleh semua pihak manusia yaitu USCS dan AASHTO. Dalam jurnal ini selain membahas karakteristik tanah juga membahas mekanika tanah yang melibatkan berbagai macam komponen stabilitas berfungsi untuk jalan.

Kata kunci: Karakteristik, Manusia, Makhluk Hidup, Tanah

Abstract

Soil is an important basic foundation that underlies the establishment of a living facility for living beings who are trying to live life, especially humans. Soil has many different characteristics and types that have their own benefits and purposes for the needs of different living things as well. In this case, humans have learned a lot about the various properties and characteristics of the soil that they manifest in the form of learning or research. Humans classify soil into several types using methods that have been approved by all parties, namely USCS and AASHTO. In this journal, in addition to discussing soil characteristics, it also discusses soil mechanics which involves various components of stability functioning for roads.

Keywords: Characteristics, Human, Living Beings, Soil

1. PENDAHULUAN

Tanah adalah sumber daya yang dapat diperbaharui yang penting bagi kelangsungan hidup, baik untuk manusia, hewan dan tumbuhan. Tanah menumbuhkan makanan untuk makhluk hidup dari pertanian manusia untuk kelangsungan hidup hewan dan tumbuhan yang manusia kembangbiakkan maupun yang manusia temukan. Tanah juga bisa berfungsi untuk melindungi lingkungan, tempat dimana material berada, dan juga berfungsi untuk wadah menopang berdirinya bangunan bangunan yang manusia bangun. Oleh karena itu di jurnal ini akan mempelajari lebih lanjut tentang karakteristik dan mekanika tanah agar tanah lebih stabil untuk digunakan jalan.

Kemampuan untuk bertahan hidup tergantung pada kemampuan untuk mengklasifikasikan variabilitas, untuk membayangkan, menafsirkan hubungan antara domain

dan objek dalam domain, dan untuk menanggapi konsekuensi yang diketahui atau dirasakan dari hubungan tersebut. Jadi kita secara otomatis terkondisikan dan terlatih untuk mengklasifikasikan, mengkorelasikan, menafsirkan dan menyimpan atau membuang informasi tentang variabilitas. Kekuatan konstruksi fasilitas umum kehidupan makhluk hidup terutama manusia sangat tergantung dari stabilitas tanah sebagai penopang atau dasar suatu fasilitas, salah satunya adalah jalan. Mengetahui dahulu jenis dan karakteristik tanah adalah hal yang sangat vital supaya bisa mengidentifikasi apakah tanah tersebut sudah layak untuk langsung dipakai atautkah perlu dilakukan stabilisasi terlebih dahulu agar dapat mendukung kelancarannya konstruksi jalan di atasnya.

Mekanika tanah adalah salah satu bagian yang dipelajari dari rekayasa geoteknik, yang melibatkan penerapan mekanika tanah, geologi, dan hidrolika untuk analisis mineral, batu batuan, air, dan tentunya tanah untuk desain sistem geoteknik seperti bendungan, tanggul, kanal, dermaga, saluran air, sistem pembuangan limbah padat dan tentu saja jalan. Setiap penerapan mekanika tanah melibatkan ketidakpastian karena variabilitas tanah—stratifikasi, komposisi, dan sifat tekniknya. Dengan demikian, mekanika teknik hanya dapat memberikan solusi sebagian untuk masalah tanah. Pengalaman dan perkiraan perhitungan yang akurat sangat penting untuk aplikasi yang sukses.

2. BAHAN DAN METODE

Ada 2 Metode penggolongan jenis tanah yang digunakan, yaitu Unified Soil Classification System Dan AASHTO Soil Classification. Metode yang digunakan dalam jurnal ini adalah metode kualitatif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanah ini memiliki tiga elemen karakter: padat, air dan udara. Kompleksitas teksturnya membuat mekanika tanah mungkin cabang teknik yang paling menarik. (Lokkas et al., 2021). Menurut sistem Unified Soil Classification System Dan AASHTO Soil Classification, tanah dibagi dalam dua kelompok besar yaitu:

a. Tanah Berbutir Kasar (Coarse-Grained soil)

Tanah berbutir kasar yaitu material tanah kerikil dan pasir yang melebihi 50% dari saringan atau ayakan no.200 seperti:

G=Tanah berkerikil (Gravel)

S= Tanah berpasir (Sand)

Ada 4 jenis dari tanah kerikil yaitu: Gravel Well (GW) = tanah bergradasi baik (Well Graded), Gravel Poorly (GP) = tanah bergradasi buruk, Gravel Medium (GM) = lanau (silt) anorganik, dan Gravel Clay (GC) = lempung (clay) anorganik. Sedangkan jenis tanah pasir yaitu: Sand Well (SW) = tanah bergradasi baik (Well Graded), Sand Poorly (SP) = tanah bergradasi buruk, Sand Medium (SM) = lanau (silt) anorganik, dan Sand Clay (SC) = lempung (clay) anorganik.

b. Tanah Berbutir Halus (Fine Grained Soil)

Tanah berbutir halus yaitu material tanah yang kurang 50% dari saringan atau ayakan no.200, seperti:

M = Lanau (silt) anorganik

C= Lempung (clay) anorganik

O= Lanau dan lempung organik

L= plastisitas rendah ($LL < 50$) (Low plasticity)

H= plastisitas tinggi ($LL > 50$) (high plasticity)

PT= Tanah dengan kadar organik yang tinggi seperti Peats atau Gambut

AF= Tanah buatan manusia yang biasanya berasal dari hasil pengelolaan sampah atau biasa disebut Artificial Fill.

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem USCS adalah:

Jika tanah berupa butiran kasar:

Saring dan gambar distribusi butiran, tentukan persen butiran saringan no 4 lolos jika kurang dari 50% berarti kerikil jika melebihi 50% berarti pasir, tentukan persen butiran saringan no 200 lolos, jika kurang dari 5 % pertimbangkan jika baik termasuk GW, SW jika buruk termasuk GP atau SW. Jika lolos 12% singkirkan butiran tanah dalam saringan dan tentukan diagram plastisitas nya

Jika tanah Berbutir Halus:

Jika setelah disingkirkan butiran tanah dari saringan, lihat batas cairnya, jika lebih dari 50% berarti H jika kurang dari 50 artinya L. Untuk jenis H tentukan tanah organik atau bukan, jika plot jatuh ke garis A maka CH. Untuk L jika plot dibawah garis A maka itu adalah organik atau anorganik, jika mendekati garis A atau nilai LL gunakan simbol dobel. Sistem AASHTO membagi tanah menjadi 8 kelompok (Tabel 1).

Tabel 1. Klasifikasi tanah sistem AASHTO

Klasifikasi umum	Material granular (<35% lolos saringan no.200)				Tanah-tanah lanau-lempung (>35% lolos saringan no. 200)			
	A-1	A-3	A-2		A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1-a A-1-b		A-2-4 A-2-5	A-2-6 A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisa saringan (%lolos)								
2,00 mm (no.10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	30 maks 50 maks	51 min 10 maks	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no.200)	15 maks 25 maks		35 maks 35 maks	35 maks 35 maks	35 min	36 min	36 min	36 min
Sifat friksi lolos saringan no. 40			40 maks 41 min	40 maks 41 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Bats cair (LL)	-	-	10 maks 10 maks	11 min 10 min				
Indeks plastis (PI)	6 maks	np						
Indeks kelompok (GI)	0	0	0	4 maks	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu kerikil dan pasir	Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir		Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik				Sedang sampai buruk			

Dari tabel dapat disimpulkan bahwa tanah A-1 adalah tanah yang sangat baik untuk dijadikan sebagai konstruksi jalan yang berarti tanah A-1 sangat mampu menahan beban roda yang berlalu lalang. Dapat diketahui bahwa jika tanah A1 adalah yang sangat bagus untuk konstruksi jalan, maka semakin menjauh dari tanah A1, maka tanah tersebut menurun kemampuannya untuk dijadikan sebagai konstruksi jalan.

Tanah A-1, A-3, A-2 termasuk dalam kelompok tanah berbutir kasar, karakteristik nya adalah sebagai berikut:

- A-1 = Gabungan antara kerikil dengan pasir kasar dengan atau mungkin tanpa butir halus, dengan atau tanpa sifat plastisitas.
- A-3 = Gabungan antara pasir halus dengan sedikit mengandung butir halus yang lolos saringan/ayakan no.200 dan bersifat plastis.
- A-2 = Tanah ini adalah campuran kerikil/pasir kasar dengan tanah butiran halus yang cukup banyak (35%). Bisa dibbilang bahwa tanah ini adalah pembatas antara tanah berbutir dan berbutir halus.

Tanah A-4 sampai dengan A-7 termasuk dalam kategori tanah yang butirannya halus, karakteristik nya adalah sebagai berikut:

- A-4 adalah tanah Lanau atau silt yang berplastisitas rendah.

- A-5 adalah kelompok tanah lanau atau silt yang mengandung lebih banyak partikel halus yang berplastisitas lebih tinggi daripada A-4.
- A-6 adalah kelompok tanah clay atau lempung yang masih ada butiran kerikil dan pasir tetapi perubahan volume cukup besar
- A-7 adalah bagian kelompok dari tanah clay atau lempung yang mempunyai sifat plastisitas lebih besar daripada tanah yang lain dan mengalami perubahan volume yang besar juga.

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem AASHTO adalah:

1. Dalam klasifikasi AASHTO, pertama harus menentukan terlebih dahulu termasuk Granular materials atau Silt-Clay materials, dengan menggunakan penyaring yang berukuran 200 mesh. Jika <35% material lolos dari saringan, maka termasuk kelompok tanah campuran. Jika >35% material lolos dari saringan, maka termasuk kelompok tanah lanau dan lempung
2. Apabila termasuk dalam kelompok tanah campuran, maka kita harus melihat kelompok tanah campuran saja dengan mengabaikan kelompok lanau dan lempung. Setelah itu, klasifikasikan material menggunakan ayakan, sehingga dapat menentukan apakah material tersebut termasuk dalam kelompok A-1 atau A-2 atau A-3 dengan menggunakan saringan yang mempunyai ukuran 10 mesh, 40 mesh, dan 200 mesh. Bahan yang disaring adalah jumlah bahan yang berhasil lolos setelah saringan pertama. Pembagiannya sebagai berikut:
 - a) A-1
A-1-a, jika persentase kelolosan dengan 10 mesh max 50%, 40 mesh maksimal 30%, 200 mesh maksimal 15%, dari total keseluruhan yang lolos pada tahap pertama. A-1-b, jika persentase kelolosan dengan 10 mesh 0%, 40mesh maksimal 50%, 200 mesh maksimal 25%.
 - b) A-2
Perhitungan nilai MLSS Dibagi menjadi A-2-4, A-2-5, A-2-6, dan A-2-7, dimana masing-masing grup memiliki hasil analisis menggunakan ayakan yang sama, yaitu pada persentase kelolosan, 10 mesh 0%. 40 mesh 0% dan 200 mesh maksimum 35%.
 - c) A-3

Pada grup ini, tidak ada klasifikasi lanjutan, dengan kata lain, hanya ada satu grup, yaitu A-3, dengan persentase kelolosan analisis ayakan 200 mesh maksimal 10% dan 40 mesh minimal 51%.

3. Apabila termasuk dalam kelompok lanau dan lempung, maka abaikan kelompok tanah campuran. Kelompok ini terbagi lagi menjadi 4 grup, yaitu A-4, A-5, A-6, A-7 dengan semua menggunakan ayakan 200 mesh dengan persentase kelolosan minimum 36%.
4. Tahapan selanjutnya adalah dengan melihat Batas Cair (LL) serta Plasticity Index (PI) dari masing-masing material tadi. Untuk A-1, Batas Cair (LL) tidak ada dan Plasticity indeksnya maksimal 6 serta merupakan material berjenis batu, kerikil dan pasir. Untuk A-2 (material berlempung, berlanau, berkerikil, dan berpasir).
A-2-4. Batas cair (LL) maksimal 40 dan Indeks plastisitasnya maksimal 10.
A-2-5. Batas cair (LL) minimal 41 dan indeks plastisitasnya maksimal 10.
A-2-6, Batas cair (LL) maksimal 40 dan indeks plastisitasnya minimal.
Untuk A-3, Batas cair (LL) tidak ada dan indeks plastisitasnya tidak ditemukan serta merupakan jenis tanah pasir halus. Untuk A-4, Batas cair (LL) maksimal 40 dan Indeks plastisitasnya maksimal 10 serta merupakan jenis tanah lanau. Untuk A-5, Batas cair (LL) minimal 41 dan indeks plastisitasnya maksimal 10 serta merupakan jenis tanah lanau. Untuk A-6, Batas cair (LL) maksimal 40 dan indeks plastisitasnya minimal 11, serta merupakan tanah berlempung. Untuk A-7, Batas cair (LL) minimal 41 dan indeks plastisitasnya minimal 11, serta merupakan type material Tanah berlempung
5. Terakhir memberi nama pada sampel yang diukur, lalu menantikan general subgrade rating pada sample tersebut.

Dalam Mekanika tanah untuk pembuatan suatu fasilitas untuk manusia, kestabilan tanah adalah hal yang perlu diutamakan, dalam hal pembangunan jalan. Stabilisasi merupakan teknik penting untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang memiliki telah digunakan secara tradisional sejak lama. (Bonagiri et al., 2021). Tujuan utama dari stabilisasi tanah adalah untuk mengubah sifat geoteknik tanah alami untuk memenuhi tujuan rekayasa tertentu. (Tan et al., 2020) Itu membantu untuk menentukan tipe pavement mana yang akan bertahan lama dan juga dilakukan jika tanah dirasa kurang kuat menanggung beban.

Seiring berjalannya waktu, jalan yang tidak beraspal mengalami kehilangan memakai material kasar, karena lalu lintas serta erosi material melalui permukaan yang disebabkan

oleh curah hujan yang tinggi. (Ramdas et al., 2021). Salah satu cara untuk mencegah itu adalah dengan: larutan polimer kental menahan bakteri dan media sementasi di daerah permukaan dan mendorong pengendapan kalsium karbonat. Perlakuan seperti itu menghasilkan kerak tanah yang seragam di wilayah permukaan dan mengurangi erodibilitas pasir. Tegangan geser kritis dari pasir yang diolah lebih dari 500 kali lebih tinggi dari pada pasir yang tidak diolah seperti yang ditunjukkan oleh tes EFA. (Wang et al., 2018).

Ada banyak metode dan teknologi yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan tarik tanah melalui pencampuran berbagai aditif atau serat ke dalam tanah. (Deepti V. Zutting, 2020). Walaupun banyak sekali cara untuk menstabilisasi tanah, pilihan metode dipengaruhi oleh faktor faktor seperti tanah, komposit, gradasi, lapisan geoteknik, kondisi iklim, dan kondisi tanah. Umumnya untuk mengimprovisasi gradasi tanah, cara kerja, dan plastisitas, sejumlah kecil dari penstabil kimia akan memadai. Ketika ingin mengimprovisasi kekuatan dan ketahanan tanah, diperlukan adanya penstabil kimia dalam jumlah yang besar. Umumnya, tanah Berbutir halus mempunyai ketahanan yang rendah daripada tanah Berbutir kasar.

Semen

Semen mengandung zat kalsium terbesar dalam pembangunan jalan sebanyak 63%.

Semen sangat cocok untuk tanah berpasir namun penggunaan tanah yang mengandung plastik, kadar organik yang tinggi dianjurkan untuk tidak menggunakan semen. Proporsi untuk stabilisasi oleh semen yang dianjurkan adalah tanah yang mengandung 75% pasir 25% Lempung dan Lanau.

Kapur

Ada 2 jenis kapur yang biasa dimanfaatkan untuk stabilisasi tanah yaitu CaO dan (Ca (OH)). Kapur biasa digunakan untuk tanah berlempung bagus yang tidak berplastisitas rendah. Tanah berplastisitas sedang dan tinggi bisa diperbaiki oleh kapur untuk mereduksi plastisitas, meningkatkan tingkat kerja dan juga meningkatkan kekuatan tanah.

Polimerisasi emulsi

Polimer merupakan salah satu jenis bahan penstabil non tradisional. (Md Zahri & Zainorabidin, 2019). Partikel Polimer larut dalam air, dan biasanya diproduksi oleh emulsi polimerisasi. Polimer menyebabkan ikatan kimia terbentuk antara tanah partikel, menciptakan permukaan jalan yang padat dan tahan air. (Lim et al., 2014). Umumnya, polimer emulsi biasanya adalah sistem copolimer yang terdiri dari 2 atau lebih monomer dan jumlah total partikel solid adalah antara 40%-50% dari masa. Polimer emulsi dikatakan sebagai

penstabil yang sukses apabila memenuhi alasan berikut for the following reasons: kekuatan rekat yang kuat dengan permukaan tanah, kekuatan kohesif yang kuat, penyusutan yang rendah selama pengerasan, kerentanan terhadap air yang rendah setelah pengawetan, ketahanan terhadap radiasi matahari, oksigen atmosfer (oksidasi) dan degradasi biologis, tidak beracun, tidak berpolusi dan murah. Selain itu Menggunakan limbah polimer, dalam hal limbah plastik.

berkontribusi pada pengurangan bahan limbah plastik di lingkungan (Mashaan et al., 2019). Setelah kita berhasil mengidentifikasi apa saja macam macam tanah dan mekanikanya diatas maka:

- Untuk stabilisasi semen, tanah yang harus digunakan adalah yang terdiri dari pasir sampai kerikil. Jika lempung dan lanau terkandung di dalamnya maka harus kurang dari 25%, tanah organik, tanah yang mengandung plastik adalah tanah yang kurang cocok untuk menggunakan semen sebagai stabilisasi. Mekanika perekat utama dari kekuatan semen adalah reaksi hidrasi, dimana silicate, aluminates, Dan gypsum (CSH, CAH, CH) bereaksi dengan air.
- Untuk kapur, tanah yang cocok adalah tanah berkadar lempung tinggi. Kapur tidak cocok untuk tanah dengan plastisitas rendah dan tanah organik. Meskipun kapur adalah penstabil yang efektif tapi bukan berarti bisa sepenuhnya menggantikan semen atau lebih kuat dari semen. Makanya tidak jarang menjumpai bahwa Semen dicampur dengan kapur untuk menambah kekuatan tersebut.
- Untuk Polymer agar hasilnya bagus diperlukan tanah campuran dengan partikel yang memadai dan berkualitas bagus. Tanah campuran yang mengandung banyak kerikil tidak cocok untuk stabilisasi jenis polimer karena menimbulkan komposit udara yang tinggi yang menghambat proses pelapisan. Sama dengan kapur, polimer tidak menyediakan kekuatan tekanan yang lebih kuat dari semen namun polimer memberikan kekuatan kelenturan yang tidak ada pada stabilisasi semen.

Walupun banyak sekali penelitian di masa lampau tentang semen dan kapur, bagi negara berkembang kedua material itu mahal dan terkadang susah untuk didapat. Di negara berkembang, jalan mahal untuk dikembangkan dan dipelihara, sudah ada upaya dalam industri untuk mengurangi biaya konstruksi terutama dalam kondisi tanah yang tak menentu. Namun

Pembangunan jalan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan merupakan tantangan untuk dilaksanakan, (Ramdas et al., 2021) oleh karena itu diperlukan juga adanya banyak penelitian lagi tentang polimer dan bahan alternatif murah dan ramah lingkungan yang lain dikarenakan masih sedikit nya polimer dibandingkan dengan kapur dan semen karena polimer ini lebih mudah didapatkan, aman untuk lingkungan dan juga mudah dalam penanganannya. Meskipun begitu, untuk semua elemen penstabil harus memerhatikan target yang telah ditentukan agar mendapatkan hasil yang optimal. Dan juga ketika ingin menstabilisasi tanah menggunakan material dari limbah harus berhati-hati karena jika tidak bisa menimbulkan efek negatif bagi lingkungan (Amakye & Abbey, 2021).

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa metode penggolongan tanah dibagi menjadi 2 oleh USCS dan AASHTO. Sebelum melakukan stabilisasi tanah untuk digunakan sebagai pondasi sebuah jalan alangkah baiknya untuk memperhatikan kecocokan tanah dengan komponen stabilisasi agar tidak adanya bahan atau komponen yang terbuang sia-sia dan juga tidak adanya kerusakan lingkungan baik di jalan raya maupun sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amakye, S. Y., & Abbey, S. J. (2021). Understanding the performance of expansive subgrade materials treated with non-traditional stabilisers: A review. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100159. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100159>
- Bonagiri, D., Amirthalingam, V., & Vallabhaneni, S. (2021). Quantification of Benefits of Soil Stabilized Pavement Layers for Sustainable Road Infrastructure. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 94). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7222-7_5
- Deepti V. Zutting. (2020). Soil Stabilization by using Scrap Tire Rubber. *International Journal of Engineering Research And*, V9(06). <https://doi.org/10.17577/ijertv9is060592>
- Lim, S. M., Wijeyesekera, D. C., Lim, A. J. M. S., & Bakar, I. B. H. (2014). Critical Review of Innovative Soil Road Stabilization Techniques. *International Journal of Engineering and Technology Research*, 3(5), 204–211.
- Lokkas, P., Chouliaras, I., Chrisanidis, T., Christodoulou, D., Papadimitriou, E., & Paschalis, E. (2021). Historical background and evolution of Soil Mechanics. *Wseas Transactions On*

Advances In Engineering Education, 18, 96–113.
<https://doi.org/10.37394/232010.2021.18.10>

Mashaan, N. S., Rezagholilou, A. L. I., & Nikraz, H. (2019). A Review on Using Waste Polymer as Additive in Asphalt Mixture. *International Journal of Advances in Science, Engineering and Technology*, 7(2), 58–60.

Md Zahri, A., & Zainorabidin, A. (2019). An overview of traditional and non traditional stabilizer for soft soil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 527(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/527/1/012015>

Ramdas, V. M., Mandree, P., Mgangira, M., Mukaratirwa, S., Lalloo, R., & Ramchuran, S. (2021). Review of current and future bio-based stabilisation products (enzymatic and polymeric) for road construction materials. *Transportation Geotechnics*, 27(November).
<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100458>

Tan, E. H., Zahran, E. M. M., & Tan, S. J. (2020). A review of chemical stabilisation in road construction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 943(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/943/1/012005>

Wang, X., Tao, J., Bao, R., Tran, T., & Tucker-Kulesza, S. (2018). Surficial Soil Stabilization against Water-Induced Erosion Using Polymer-Modified Microbially Induced Carbonate Precipitation. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(10).
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0002490](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002490)