



PERUBAHAN SIFAT FISIK DAN DAYA DUKUNG TANAH DI JALAN BRIGJEN MOH. MANAN YANG DISTABILISASI DENGAN SERBUK MARMER

Aprilla Pratiwi Mulyawati¹ dan Eko Setyawan²

¹Universitas Negeri Malang. aprilla.pratiwi.2005236@students.um.ac.id

²Universitas Negeri Malang. eko.setyawan.ft@um.ac.id

Abstrak: Tanah di Jalan Brigjen Moh. Manan, Kota Batu mengalami kerusakan berupa retakan dan ambles. Untuk penyelidikan lebih lanjut dilakukan uji pendahuluan yang menunjukkan bahwa nilai IP sebesar 26,02%. Menurut sistem klasifikasi AASHTO, tanah tergolong berbutir halus dengan kategori A-7-6 (12) yang berarti buruk apabila dijadikan tanah dasar. Sedangkan menurut sistem USCS, tanah ini berjenis lempung (CH) berplastisitas tinggi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tanah dasar perlu diperbaiki, salah satunya dengan metode stabilisasi kimiawi. Tujuan penelitian untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan daya dukung tanah setelah distabilisasi dengan serbuk marmer. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif eksperimental. Pengujian yang dilakukan meliputi uji batas cair, batas plastis, pemadatan tanah, dan uji CBR laboratorium *unsoaked*. Pengujian dilakukan dengan mencampurkan serbuk marmer sebanyak 17,5%, 20%, dan 22,5% pada tanah asli yang diperam selama 24 jam. Perubahan sifat fisik tanah setelah distabilisasi dengan serbuk marmer dilihat dari penurunan nilai indeks plastisitas, sedangkan nilai daya dukung tanah didapatkan dari konversi nilai CBR desain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks plastisitas berkurang dari 26,02% menjadi 12,56% pada penambahan 20% serbuk marmer. Untuk nilai daya dukung tanah naik dari 6,50 kg/cm² hingga 7,73 kg/cm² terjadi pada penambahan 20% serbuk marmer.

Kata kunci: sifat fisik tanah, daya dukung tanah, serbuk marmer

1. PENDAHULUAN

Tanah adalah material alami berupa campuran partikel mineral, bahan organik, air dan udara yang terletak di rongga antar partikel tersebut (Das, 1995). Dalam penggambaran ukuran partikel dan sifat tanah yang khusus digunakan istilah lumpur, lanau, lempung, dan pasir (Hardiyatmo, 2002). Tanah menjadi material penting yang berperan dalam konstruksi, sehingga sangat dibutuhkan sifat-sifat teknis yang memadai (Nursamiah, 2022). Tanah menjadi bagian yang sangat penting dalam mempengaruhi keberhasilan pelaksanaan proyek konstruksi. Setiap pekerjaan konstruksi tanah berperan sebagai pondasi, seperti konstruksi jalan, bangunan gedung, bangunan air, dan lainnya. Tanah yang dimanfaatkan untuk suatu konstruksi harus mengikuti persyaratan teknis dengan ketentuan yang berlaku.

Beberapa jenis tanah yang sifatnya buruk dapat menyebabkan munculnya masalah dalam konstruksi, seperti plastisitas tinggi, daya dukung dan permeabilitas rendah, serta kembang susut tinggi. Jenis tanah di Indonesia mayoritas adalah tanah lempung dan lanau. Sebesar 20% jenis tanah yang berada di Pulau Jawa tergolong tanah lempung dan kurang dari 25% tanah di Indonesia termasuk jenis tanah ekspansif (Putra, dkk., 2017). Tanah lempung tergolong tanah berbutir halus dengan daya dukung rendah, bersifat kohesif, dan plastis (Hardiyatmo, 2002). Tanah

lempung termasuk jenis tanah yang sering menyebabkan permasalahan dalam konstruksi jalan karena sangat rentan terhadap perubahan kadar air dan tidak stabil saat mendukung beban yang berada di atasnya. Jenis kerusakan jalan yang sering terjadi yaitu jalan bergelombang, jalan ambles, dan jalan retak.

Salah satu kejadian terjadi di Jalan Brigjen Moh. Manan, Kota Batu yaitu keretakan dan penurunan tanah dari permukaan di ruas jalan tersebut. Ruas jalan tersebut retak sepanjang 46 meter dan bahu jalan mengalami penurunan permukaan sekitar 10 sampai 15 sentimeter. Keretakan diprediksi terjadi karena beberapa faktor, seperti jenis tanah, curah hujan, kemiringan tanah, geologi, serta beban kendaraan yang melintas (CNN Indonesia, 16 Februari 2021). Untuk menyelidiki lebih lanjut penyebab kerusakan tersebut, dilakukan uji pendahuluan di Laboratorium Mekanika Tanah, Universitas Negeri Malang.

Berdasarkan uji pendahuluan yang telah dilakukan, diketahui tanah yang lolos saringan No. 200 adalah 56,30%. Setelah dilakukan uji *Atterberg Limit* didapatkan batas cair = 51,33%, batas plastis = 25,31%, dan indeks plastisitas = 26,02%. Berdasarkan klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO) tanah termasuk kelompok A-7-6 (12) yaitu tanah berlempung yang buruk apabila dijadikan tanah dasar. Menurut *Unified Soil Classification System* (USCS) tanah diklasifikasikan dalam kelompok CH yaitu tanah lempung berplastisitas tinggi.

Salah satu upaya untuk memperbaiki kualitas tanah lempung yang tidak cocok untuk konstruksi yaitu dengan metode stabilisasi. Menurut Hardiyatmo (2002), stabilisasi tanah diartikan sebagai proses dalam membenahi sifat tanah menggunakan bahan tambahan untuk meningkatkan kekuatan tanah. Stabilisasi tanah terbagi menjadi 3 jenis, antara lain stabilisasi fisik, mekanis, dan kimiawi (Ingles dan Metcalf, 1972). Penelitian ini menggunakan stabilisasi kimiawi yang merupakan upaya mengurangi sifat teknis tanah yang buruk untuk meningkatkan kekuatan dan kestabilan tanah dengan mencampurkan bahan kimia, berupa kapur, semen, abu terbang (*fly ash*), dan lain-lain (Harnaeni, 2007 dalam Gazali, dkk., 2023). Selain itu, beberapa bahan yang dapat digunakan untuk stabilisasi tanah antara lain serbuk batu bata, serbuk marmer, abu sekam padi, garam, abu sabut kelapa, limbah batu bara (*fly ash*), karbit, dan lain-lain. Beberapa bahan yang disebutkan tersebut dapat digunakan sebagai bahan stabilisator karena mengandung senyawa yang dapat memperbaiki sifat-sifat tanah.

Serbuk marmer sering digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah karena mengandung senyawa yang hampir sama dengan kapur (PT. Sucofindo Jakarta, 1995 dalam Setyono, dkk., 2018). Pemilihan serbuk marmer didasarkan pada buku yang ditulis oleh Hardiyatmo (2010) yang berisi petunjuk awal dalam pemilihan metode stabilisasi tanah, apabila tanah yang lolos saringan No. 200 lebih besar dari 35% dan nilai IP melebihi 20% maka stabilisator yang cocok digunakan adalah kapur dan campuran lainnya. Menurut Hardiyatmo (2010), keuntungan

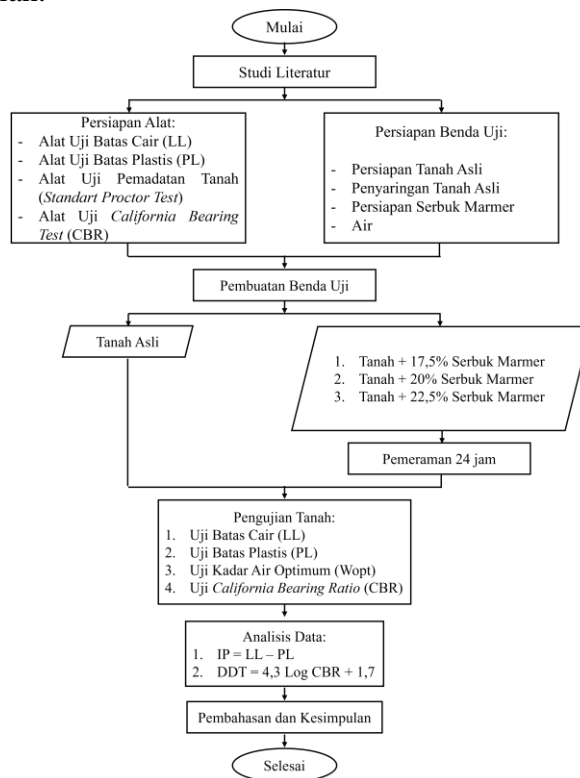
menggunakan bahan CaO untuk stabilisasi tanah yaitu kekuatan tanah meningkat dan indeks plastisitas berkurang.

Penelitian terkait stabilisasi tanah lempung yang dilakukan oleh Celline (2024) menunjukkan bahwa stabilisasi dengan abu marmer dapat memperbaiki karakteristik dan daya dukung tanah. Penambahan 12% limbah marmer dapat mengubah nilai CBR tanah yang semula bernilai 2,787% menjadi 6,474% dan nilai indeks plastisitas berubah dari 39,83% menjadi 9,09%. Abdelkader, dkk. (2021) juga melakukan penelitian dengan menggunakan debu marmer sebagai bahan stabilisator dengan kadar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Setelah pencampuran 25% debu marmer, nilai CBR yang semula 5,19% naik menjadi 12,9%. Sedangkan nilai indeks plastisitas yang semula 17,12% turun menjadi 10,7%.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi perubahan pada sifat fisik dan daya dukung tanah di Jalan Brigjen Moh. Manan, Kota Batu yang distabilisasi menggunakan bahan aditif berupa serbuk marmer.

2. METODE

Metode pada penelitian ini adalah deskriptif eksperimental. Pengujian batas *Atterberg*, uji pemadatan tanah, dan uji CBR dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Perkerasan Jalan, Universitas Negeri Malang. Bahan stabilisasi yang digunakan berupa serbuk marmer dengan persentase 17,5%, 20%, dan 22,5%. Gambar 1 menunjukkan diagram alir yang dibuat berdasarkan rancangan penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan tanah lempung di Jalan Brigjen Moh. Manan. Tanah yang diperoleh berupa sampel tanah terganggu pada kedalaman sekitar 1 meter yang diambil secara manual menggunakan cangkul. Rincian jumlah benda uji ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Detail Jumlah Benda Uji

Sampel	Serbuk Marmer (%)	Jumlah Benda Uji			Total (buah)
		LL	PL	CBR	
1	0	3	3	3	9
2	17,5	3	3	3	9
3	20	3	3	3	9
4	22,5	3	3	3	9
Jumlah					36

3. HASIL

Perubahan sifat fisik dilihat dari perubahan indeks plastisitas yang dihitung dari selisih nilai batas cair dan batas plastis tanah. Daya dukung tanah dihitung dengan konversi dari nilai CBR.

3.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah diperoleh dari uji *Atterberg* yang meliputi uji batas air (LL), batas plastis (PL), dan indeks plastisitas (IP). Nilai LL dihitung menggunakan cara A sesuai SNI 1967:2008. Kadar air ditentukan dari grafik yang menunjukkan perpotongan antara kadar air dan jumlah ketukan. Nilai LL diambil sesuai titik pada 25 ketukan. Sedangkan nilai PL diambil dari rata-rata kadar air ketiga benda uji pada setiap variasi campuran. Nilai IP dihitung dari selisih batas cair dan batas plastis tanah. Rekapitulasi nilai LL, PL, dan IP ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji *Atterberg*

Persentase Serbuk Marmer	LL (%)	PL (%)	IP (%)
0%	51,33	25,31	26,02
17,5%	48,63	32,41	16,22
20%	45,21	32,65	12,57
22,5%	42,32	33,47	8,85

3.2 Hasil Perhitungan Daya Dukung Tanah

Nilai daya dukung tanah diperoleh dari konversi nilai CBR desain hasil uji CBR laboratorium. Uji pemadatan perlu dilakukan untuk menghitung kadar air optimum yang akan dicampur dengan sampel tanah saat uji CBR.

(1) Hasil Penentuan Kadar Air Optimum

Berdasarkan SNI 1742:2008, pemadatan tanah di laboratorium bertujuan untuk menentukan kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum. Hasil uji pemadatan berupa grafik hubungan kadar air dan kepadatan kering. Kadar air optimum diperoleh saat kepadatan kering mencapai nilai maksimum. Rekapitulasi hasil uji pemadatan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Pemadatan Tanah

Persentase Serbuk Marmer	Kepadatan Kering Maksimum (gram/cm ³)	Kadar Air Optimum (%)
0%	1,355	17,17
17,5%	1,373	17,57
20%	1,300	19,93
22,5%	1,197	20,78

(2) Hasil Pengujian CBR Laboratorium

Uji CBR pada penelitian ini yaitu CBR tanpa rendaman (*unsoaked*). Nilai CBR yang digunakan umumnya diambil pada penetrasi 0,10 inci, akan tetapi nilai CBR dapat dipilih pada penetrasi 0,20 inci apabila nilainya lebih besar dari penetrasi 0,10 inci dengan syarat sudah dilakukan pengujian ulang (SNI 1744:2012). Hasil uji CBR laboratorium disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Uji CBR Laboratorium

Persentase Serbuk Marmer	CBR Laboratorium (%)
0%	14,94
17,5%	20,64
20%	26,69
22,5%	28,47

(3) Hasil Perhitungan CBR Desain

Hasil perhitungan CBR desain berupa grafik hubungan antara nilai CBR dan densitas kering. Grafik tersebut akan menghasilkan persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai CBR desain dengan mensubstitusikan nilai densitas kering desain. Densitas kering desain adalah nilai densitas kering maksimum dikalikan 95% sesuai ketentuan SNI 1744:2012. Rekapitulasi nilai CBR desain dan densitas kering desain dari seluruh campuran tanah asli dan serbuk marmer ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi CBR Desain

Persentase Serbuk Marmer	Densitas Kering Desain (gram/cm ³)	CBR Desain (%)
0%	0,87	13,06
17,5%	0,89	18,25
20%	0,92	25,26
22,5%	0,96	27,94

(4) Hasil Perhitungan Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah diperoleh dari konversi nilai CBR desain menggunakan Persamaan 2.3. Hasil konversi nilai CBR menjadi nilai DDT terdapat pada Tabel 6.

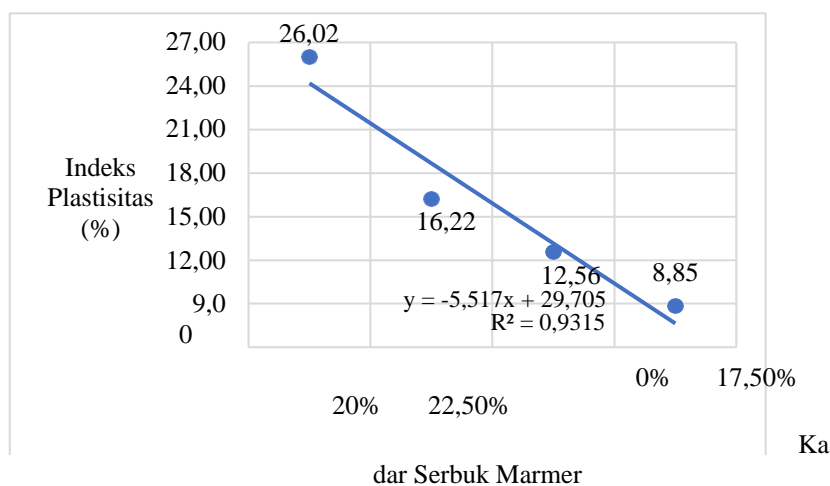
Tabel 6. Hasil Perhitungan Daya Dukung Tanah

Persentase Serbuk Marmer	CBR Desain (%)	Nilai DDT (kg/cm ²)
0%	13,06	6,50
17,5%	18,25	7,12
20%	25,26	7,73
22,5%	27,94	7,92

4. PEMBAHASAN

4.1 Perubahan Sifat Fisik Tanah Setelah Distabilisasi dengan Serbuk Marmer

Perubahan sifat fisik tanah di Jalan Brigjen Moh. Manan dilihat dari perubahan nilai indeks plastisitas yang diperoleh dari selisih nilai batas cair dan batas plastis campuran tanah asli dan serbuk marmer. Grafik hubungan antara penambahan persentase serbuk marmer dan perubahan nilai indeks plastisitas ditampilkan pada Gambar 2.



Berdasarkan Gambar 2 diketahui bahwa terjadi penurunan nilai indeks plastisitas pada semua sampel tanah setelah distabilisasi dengan serbuk marmer. Grafik tersebut menunjukkan bahwa penurunan indeks plastisitas berbanding lurus dengan jumlah kadar serbuk marmer. Indeks plastisitas sebesar 16,22% terjadi pada persentase 17,5% serbuk marmer yang tergolong plastisitas sedang, tetapi nilai tersebut masih mendekati 17% yang termasuk kategori plastisitas tinggi. Sedangkan indeks plastisitas sebesar 12,56% terjadi pada persentase 20% serbuk marmer yang termasuk plastisitas sedang karena indeks plastisitas berada diantara interval 7% hingga 17%. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan 20% serbuk marmer dapat menurunkan indeks plastisitas tanah menjadi kategori sedang.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Celline, dkk. (2024) dan Siregar & Andajani (2017). Penelitian Celline, dkk. (2024) menunjukkan bahwa nilai indeks plastisitas turun dari 33,82% menjadi 7,69% pada penambahan 12% serbuk marmer. Siregar & Andajani (2017) menunjukkan hasil

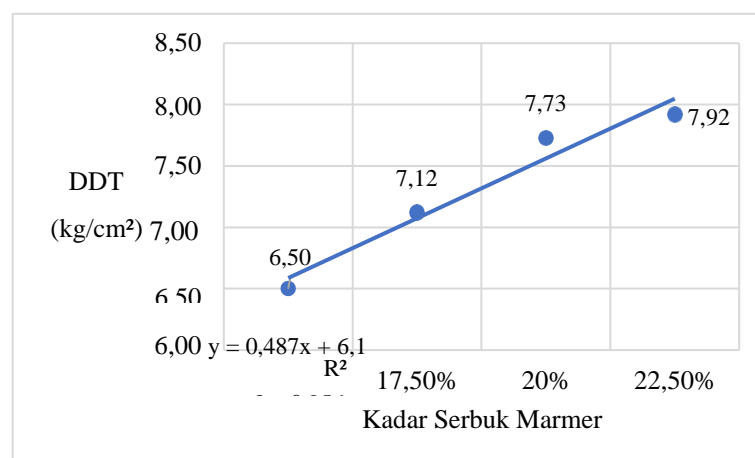
penelitian bahwa nilai indeks plastisitas turun secara maksimum dari 45,22% menjadi 9,29% pada penambahan 20% serbuk marmer. Berdasarkan kedua penelitian tersebut diketahui bahwa serbuk marmer dapat menurunkan indeks plastisitas sehingga tanah termasuk kategori plastisitas sedang.

Penelitian ini tidak sejalan dengan penelitian yang dilakukan Marcal, dkk. (2022), karena hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks plastisitas masih tergolong tinggi pada penambahan 20% serbuk marmer. Indeks plastisitas tanah asli sebesar 48,72% turun menjadi 25,54%. Perbedaan hasil penelitian dapat terjadi karena beberapa faktor, seperti perbedaan jenis tanah, indeks plastisitas, dan serbuk marmer yang digunakan. Penelitian Marcal, dkk. (2022) menggunakan sampel tanah dari Kabupaten Jombang yang termasuk dataran rendah dengan indeks plastisitas tanah sebesar 48,72% serta bahan stabilisasi yang digunakan berupa serbuk marmer dari Desa Besole, Kecamatan Besuki. Sedangkan penelitian ini menggunakan sampel tanah dari Kota Batu yang termasuk dataran tinggi dengan indeks plastisitas tanah sebesar 26,02% serta bahan stabilisasi berupa serbuk marmer dari Desa Gamping, Kecamatan Campurdarat.

Penurunan nilai indeks plastisitas terjadi karena reaksi antara serbuk marmer dengan tanah lempung. Serbuk marmer yang digunakan memiliki bentuk permukaan yang tajam dan keras, sehingga mampu memberikan ikatan yang kuat pada tanah lempung. Serbuk marmer mengandung senyawa CaO yang bermuatan positif yang membuat butiran tanah membesar dan tanah menjadi lebih padat, sehingga kadar air di dalamnya berkurang yang dapat menurunkan plastisitasnya.

4.2 Perubahan Daya Dukung Tanah Setelah Distabilisasi dengan Serbuk Marmer

Nilai daya dukung tanah diperoleh dari konversi nilai CBR desain. Nilai CBR desain mengalami peningkatan setelah tanah asli dicampur dengan serbuk marmer, sehingga nilai daya dukung tanah juga meningkat. Grafik hubungan antara nilai daya dukung tanah dan persentase serbuk marmer disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Penambahan Serbuk Marmer Terhadap Nilai Daya Dukung Tanah

Berdasarkan Gambar 3 diketahui bahwa perubahan nilai daya dukung tanah sebanding dengan kadar serbuk marmer. Pada semua variasi campuran tanah asli dan serbuk marmer, daya dukung tanah mengalami peningkatan. Daya dukung tanah asli sebesar 6,50 kg/cm² meningkat seiring dengan penambahan serbuk marmer. Daya dukung tanah tertinggi sebesar 7,92 kg/cm² terjadi pada penambahan 22,5% serbuk marmer. Pada penambahan 20% serbuk marmer daya dukung tanah sebesar 7,72 sudah termasuk tinggi, sehingga pada persentase tersebut sudah bisa digunakan untuk stabilisasi tanah karena kadar yang tidak terlalu banyak sehingga tidak merubah sifat asli tanah.

Campuran tanah lempung dan serbuk marmer membuat nilai CBR bertambah sehingga nilai daya dukung tanah juga bertambah. Meningkatnya daya dukung tanah terjadi akibat senyawa CaO dalam serbuk marmer mengisi pori-pori tanah sehingga butiran tanah menjadi lebih padat. CaO dalam serbuk marmer yang bergabung dengan tanah lempung akan mengalami proses pozzolan yang membuat tanah lebih keras dan saling mengikat sehingga daya dukungnya meningkat.

Penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Nursamiah, dkk. (2022) dengan menggunakan limbah marmer sebagai bahan stabilisasi tanah. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa nilai CBR (daya dukung) tertinggi diperoleh pada penambahan 20% limbah marmer, dimana nilai CBR meningkat dari 2,92% menjadi 7,67%. Penelitian Setyono, dkk. (2018) juga sejalan dengan penelitian ini karena nilai CBR meningkat seiring dengan penambahan serbuk marmer. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai CBR tertinggi diperoleh pada campuran tanah asli dan 25% serbuk marmer. Nilai CBR tanah asli sebesar 2,787% naik menjadi 6,474%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah dipaparkan, terdapat dua hal yang dapat disimpulkan sesuai rumusan masalah yang dibuat yaitu:

- (1) Serbuk marmer sebagai bahan stabilisasi dapat merubah sifat fisik tanah yang dilihat dari penurunan nilai indeks plastisitas. Indeks plastisitas tanah di Jalan Brigjen Moh. Manan menjadi lebih rendah setelah distabilisasi dengan serbuk marmer. Indeks plastisitas tanah asli turun dari 26,02% menjadi 12,56% pada penambahan 20% serbuk marmer.
- (2) Penambahan serbuk marmer pada tanah asli dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah di Jalan Brigjen Moh. Manan. Nilai daya dukung tanah meningkat dari 6,50 kg/cm² menjadi 7,73 kg/cm² pada penambahan 20% serbuk marmer.

6. DAFTAR RUJUKAN

Abdelkader, H. A. M., Hussein, M. M. A., & Ye, H. (2021). Influence of Waste Marble Dust on the Improvement of Expansive Clay Soils. *Advances in Civil Engineering*, 2021(ii). DOI:10.1155/2021/3192122.

- Aditya, C., Irawan, D., Jurusan, D., Sipil, T., Teknik, F., Widyagama, U., Jurusan, D., Industri, T., Teknik, F., & Widyagama, U. (2018). *Pasir dari limbah marmer sebagai bahan stabilisasi pada tanah ekspansif*. 2018, 95–102.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008a). Cara Uji Kepadatan Ringan untuk Tanah. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–20.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008b). Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–15.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008c). *Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*. 1–15.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). Metode Uji CBR Laboratorium. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–28. www.bsn.go.id.
- Buana, F. S., Sarie, F., & Gandi, S. (2022). Analisis Nilai Kenaikan CBR Tanah Dasar dengan Penambahan Kerikil. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 4(2), 66. DOI:10.31602/jk.v4i2.6410.
- Ciputra, William. (2022). *Lima Daerah Penghasil Marmer di Indonesia, Tulungagung dan Magelang Terkenal hingga Mancanegara*, (Online), (<https://regional.kompas.com/read/2022/02/17/183825578/5>), diakses 14 Mei 2024.
- Darwis. (2017). *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Pustaka AQ.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Departemen Pekerjaan Umum Bina Marga. (1987). Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen. *Yayasan Badan Penerbit PU*, 73(02), 1–41.
- Gazali, A., Purnamasari, E., Edi, A., Arsyad, M., & Banjari, A. (2023). Pengaruh Penambahan Kapur Tohor dan Matos terhadap Nilai CBR Laboratorium dalam Stabilisasi Tanah Lempung Kecamatan Bati Bati Kabupaten Tanah Laut. 6(2), 1–6. DOI:10.20527/bpi.v6i2.197
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I, Edisi 3*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika Tanah I, Edisi 3*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Indriyanti, I., & Kasmawati, K. (2018). Uji Eksperimental Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Ampas Batu Gamping Industri Marmer. *Teknik Hidro*, 11(2), 14–25. DOI:10.26618/th.v11i2.2443
- Kusuma, R. I., Mina, E., Fathonah, W., Ga, M. W., & Fajarwati, Y. (2022). *Stabilisasi Tanah Dengan Penambahan Arang Kayu Terhadap Nilai Daya Dukung CBR*. 18(1).
- Marcas, P. J., Sudjianto, A. T., Aditya, C., Sipil, J. T., Teknik, F., Malang, U. W., Ekspansif, T. L., & Marmer, L. I. (2022). *Stabilisasi Swelling Tiga Dimensi (3D) Tanah Lempung Ekspansif dengan Limbah Industri Kerajinan Marmer*. 2(1), 1–10. DOI:10.31328/bouwplank.v2i1.234

- Nursamiah, Pasmah, D., Fattah, & Abadi, F. A. (2022). *Stabilisasi Tanah Lempung dengan Limbah Marmer sebagai Material Tanah Dasar (Subgrade)*. 7, 13–17. <https://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/snp2m/article/view/3948/3365>
- Panjaitan, K. M., Sarifah, J., & Nusa, A. B. (2024). *Analisis Daya Dukung Tanah Dasar Menggunakan Alat DCP Proyek Pembangunan Jalan Tol Tebing Tinggi – Indrapura*. 10(1). <http://jurnal.utu.ac.id/jmekanova/article/view/8827>
- PUPR. (2018). Bina Marga. *Direktorat Jendral Bina Marga, Revisi 3*, 1–6.
- Putra, M. D. H., Zaika, Y., & Rachmansyah, A. (2017). Pengaruh Perbaikan Tanah Lempung Ekspansif dengan Metode Deep Soil Mixing pada Berbagai Kadar Air Lapangan Tanah Asli Terhadap Nilai CBR. *JOM Jurusan Teknik Sipil UB*, 1(1), 230–241.
- Setyono, E., & Gumilang, A. M. (2018). *Pengaruh Penggunaan Bahan Serbuk Marmer pada Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif (Kasus Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Citra Land Surabaya) The Effect of Using Marble Powder in Stability of Expansive Clay (Study Case of Expansive Clay in Citra Land)*. 16, 99–107.
- Siregar, D., & Andajani, N. (2017). *Pengaruh Penambahan Limbah Marmer Terhadap Potensial Swelling pada Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Driyorejo*. 3(3), 2252–5009. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/20526>.
- Syarif, I. S. (2021). *Jalan Brigjen Moh. Manan di Kota Batu Retak dan Ambles*. (Online), (<https://www.suarasurabaya.net/2021/jalan-brigjen-moh-manan-di-batu-retak-dan-ambles/>), diakses 29 Februari 2024.
- Waruwu, A., Celline, F., Sinaga, R., & Gandawijaya, D.G. (2024). Kajian Daya Dukung Tanah Lempung Distabilisasi dengan Abu Marmer. In *Jurnal Sainstis* (Vol. 24, Issue 01, pp. 11-20). DOI:10.25299/sainstis.2024.vol24(01).12710.