

PERBAIKAN SIFAT FISIS DAN MEKANIS TANAH EKSPANSIF SECARA KIMIAWI MENGGUNAKAN CAMPURAN GARAM DAN SEMEN

Muhammad Rifki Darmawan¹, Paksitya Purnama Putra^{2*}, Luthfi Amri Wicaksono³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan Tegalboto No.37, Krajan Timur, Sumbersari, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121

E-mail: ¹rifydarmawan3007@gmail.com, ^{2*}paksitya.putra@unej.ac.id, ³luthfiamri.teknik@unej.ac.id

(*) Penulis Korespondensi

(Artikel dikirim : 28 Maret 2025, Direvisi: 7 April 2025, Diterima 8 April 2025)

DOI: <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v13i1.4328>

ABSTRAK: Tanah ekspansif memiliki karakteristik yang sangat dipengaruhi oleh perubahan kadar air, menyebabkan perubahan volume yang signifikan yang dapat merusak struktur di atasnya. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan stabilitas tanah ekspansif melalui stabilisasi menggunakan kombinasi garam dan semen. Metode yang digunakan meliputi uji laboratorium untuk menganalisis sifat fisik dan mekanik tanah sebelum dan sesudah stabilisasi. Variasi campuran yang digunakan adalah semen dengan kadar 13%, 16%, dan 19% serta garam sebanyak 3%, dengan waktu pemeraman selama 3 dan 7 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stabilisasi ini menurunkan kadar air hingga 62,50%, meningkatkan berat jenis dari 2,36 menjadi 2,59 g/cm³, serta meningkatkan kepadatan kering maksimum. Selain itu, potensi pengembangan tanah yang awalnya sebesar 114,5% berhasil ditekan hingga 0% setelah penambahan garam 3% dan semen 13%. Waktu pemeraman juga berpengaruh terhadap efektivitas stabilisasi, dimana pemeraman lebih lama memberikan hasil yang lebih baik. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa kombinasi garam dan semen dapat secara efektif memperbaiki karakteristik tanah ekspansif, sehingga dapat diterapkan dalam perbaikan tanah untuk mendukung konstruksi yang lebih stabil dan aman.

KATA KUNCI : *garam, pemeraman, semen, stabilisasi tanah, tanah ekspansif*

1. PENDAHULUAN

Desa Kendalrejo, Kecamatan Tegaldlimo, Kabupaten Banyuwangi, sering mengalami kerusakan infrastruktur pada rumah dan jalan. Kerusakan yang terjadi meliputi retakan kecil hingga besar pada tembok rumah, serta deformasi pada permukaan jalan. Deformasi ini menyebabkan jalan mudah bergelombang. Kejadian ini diduga disebabkan oleh perubahan volume tanah, yang menjadi risiko serius terutama bagi struktur konstruksi di atasnya. Kondisi tanah tersebut mengindikasikan bahwa lokasi ini kemungkinan memiliki tanah tidak stabil, atau dikenal sebagai tanah ekspansif. Tanah ekspansif dapat merusak pondasi, lantai bangunan, dan struktur lain yang dibangun di atasnya (Kholik et al., 2020)

Tanah ekspansif adalah jenis tanah yang sangat rentan mengembang dan menyusut akibat perubahan kadar air di dalamnya. Saat kadar air meningkat, tanah akan mengembang, disertai peningkatan tekanan air pori dan tekanan pengembangan. Sebaliknya, saat kadar air menurun, tanah akan menyusut. Perubahan volume ini terjadi karena ketidakseimbangan gaya internal akibat perubahan sistem tanah-air. (Gunarso et al., 2017).

Untuk memperbaiki kondisi tanah yang diduga Stabilisasi tanah adalah teknik yang bertujuan

untuk meningkatkan karakteristik dasar tanah, sehingga daya dukungnya meningkat. Dengan demikian, tanah menjadi lebih stabil dan mampu menahan beban struktur yang dibangun di atasnya (Darwis, 2017). Metode ini sangat efektif apabila digunakan untuk konstruksi tanah dasar, jalan, timbunan dan pondasi dangkal. Terdapat dua metode utama dalam stabilisasi tanah, yaitu stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi. Metode stabilisasi kimiawi dilakukan untuk memodifikasi senyawa atau partikel dalam tanah dengan menambahkan zat tertentu (Du dkk., 2020). Pada metode stabilisasi ini, gaya ikatan antar partikel tanah pada tingkat mikro diperkuat. Salah satu bahan yang mudah ditemui untuk stabilisasi kimiawi adalah garam dan semen (Amran et al., 2022). Pemilihan metode stabilisasi tanah yang tepat memerlukan pertimbangan yang cermat terhadap berbagai faktor, seperti jenis tanah, kondisi lingkungan, kebutuhan teknis proyek, anggaran, dan ketersediaan material.

Penelitian oleh (Arief, 2006) menunjukkan bahwa penggunaan garam dan semen sebagai bahan stabilisasi dapat meningkatkan daya dukung tanah. Pada campuran garam 3%, jumlah optimal semen yang diperlukan adalah 16%. Garam berperan sebagai kristal dan larutan, sementara semen bertindak sebagai pengikat dan

PERBAIKAN SIFAT FISIS DAN MEKANIS TANAH EKSPANSIF SECARA KIMIAWI MENGGUNAKAN CAMPURAN GARAM DAN SEMEN

(Muhammad Rifki Darmawan, Paksitya Purnama Putra, Luthfi Amri Wicaksono)

pengeras. Namun, menurut penelitian yang dilakukan oleh (Putra et al., 2021) dengan menggunakan stabilisator semen, tanah yang telah distabilisasi memiliki tingkat pengembangan rendah, bahkan dengan penambahan 5% bahan stabilisasi. Penelitian ini kemudian direncanakan menggunakan semen dicampur dengan garam sebagai bahan stabilisasi. Hal ini dikarenakan stabilisasi tanah lempung ekspansif hanya dengan semen tidak secara maksimal mengurangi kandungan silika. Oleh karena itu, penambahan garam diperlukan untuk mendukung reaksi kimia (Modmoltin & Voottipruex, 2009).

Berdasarkan uraian sebelumnya, penelitian diperlukan untuk mengetahui karakteristik dan tingkat ekspansivitas tanah di Desa Kendalrejo, Kecamatan Tegaldimo, Kabupaten Banyuwangi. Selanjutnya, stabilisasi tanah akan dilakukan dengan penambahan garam dan semen pada persentase tertentu. Dalam penelitian ini, campuran garam sebesar 3% dikombinasikan dengan campuran semen sebesar 13%, 16%, dan 19% dari berat kering tanah. Kombinasi campuran tersebut kemudian diperam selama 3 dan 7 hari. Hal ini dilakukan untuk menguji pengaruh variasi waktu pemeraman dan persentase semen terhadap proses stabilisasi.

2. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan, mulai dari observasi lapangan dan pengujian awal, pengujian tanah alami, pengujian campuran tanah, hingga analisis dan penarikan kesimpulan.

2.1 Pengambilan Sampel

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pengambilan sampel tanah lapisan atas, baik dalam kondisi asli (*undisturbed*) maupun terganggu (*disturbed*). Tanah yang telah disiapkan kemudian diuji di laboratorium untuk mengidentifikasi properti dan klasifikasinya. Pengujian awal ini bertujuan untuk menentukan tingkat ekspansifitas tanah.

Sampel tanah *undisturbed* diperoleh menggunakan bor manual dari lokasi penelitian. Sedangkan sampel tanah *disturbed* diambil menggunakan cangkul. Kedua sampel tanah diambil dari satu titik lokasi dengan kedalaman 50-100 cm setelah membersihkan lapisan permukaan tanah dari rumput dan kotoran lainnya. Jumlah sampel tanah yang disiapkan untuk pengujian adalah 150 kg tanah kering.

Garam merupakan senyawa ionik yang terdiri dari ion positif (*kation*) dan ion negatif (*anion*), yang membentuk senyawa netral atau tidak bermuatan (Modmoltin & Voottipruex, 2009).

Stabilisasi tanah ekspansif dengan menggunakan garam akan meningkatkan kepadatan dan kekuatan tanah melalui penyebaran saat garam bereaksi dengan air dan meresap ke dalam tanah. Tanah dengan batas cair (*liquid limit*) yang tinggi biasanya menunjukkan reaksi yang baik terhadap penambahan garam ini (Muzakki et al., 2018). Berdasarkan penelitian (Mujiwati, 2017), garam efektif sebagai bahan stabilisasi karena mampu meningkatkan kohesi antara partikel tanah, sehingga membuat ikatan antar partikel menjadi lebih erat.

Garam yang digunakan pada penelitian ini adalah garam krosok. Garam jenis ini dipilih karena terdiri dari berbagai jenis senyawa, misalnya magnesium sulfat ($MgSO_4$), kalsium sulfat ($CaSO_4$), magnesium klorida ($MgCl_2$), dan kalium klorida (KCl) (Darmiyanti et al., 2023). Senyawa tersebut kemudian bereaksi dengan air sehingga terjadi proses ionisasi. Ion yang terbentuk karena proses ionisasi, misalnya natrium (Na^+), kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), klorin (Cl^-), fosfat (PO_4^{3-}), dan sulfat (SO_4^{2-}). Ion tersebut bereaksi terhadap kandungan air dan silika (Si) yang terdapat pada tanah lempung (Darmiyanti et al., 2023). Reaksi ini menyebabkan turunnya kandungan silika pada tanah lempung sehingga tanah menjadi lebih kuat dan stabil (Ahmat et al., 2024).

Penelitian ini menggunakan Semen Padang sebagai bahan stabilisator. Pilihan ini didasarkan pada beberapa pertimbangan, antara lain harga yang ekonomis, kualitas produk yang bagus, serta ketersediaan yang memadai di wilayah penelitian. Dengan demikian, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dan berkelanjutan. Semen dapat menjadi bahan stabilisasi yang efektif karena kemampuannya untuk mengeras dan mengikat butiran (Dwitya et al., 2021). Semen dapat bereaksi dengan hampir semua jenis tanah, mulai dari tanah yang bergradasi kasar dan non kohesif hingga tanah yang sangat plastis (Wijaya, 2021). Selain itu, semen merupakan salah satu bahan stabilisasi yang mudah diperoleh dan efektif untuk menghasilkan tanah yang kokoh dan tahan terhadap deformasi (Prescilia et al., 2013). Kalsium yang terkandung dalam semen dapat bereaksi dengan mineral yang ada di tanah lempung melalui reaksi hidrasi, yaitu silika dan alumunium (John et al., 2018). Reaksi ini menyebabkan adanya proses sementasi pada tanah lempung sehingga terbentuk senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) dan kalsium aluminat hidrat (*Ettringite*) (Malkawi dkk., 2023). Kedua senyawa tersebut mengakibatkan terjadinya proses sementasi pada tanah lempung

yang memperkuat ikatan antar partikel tanah (Du et al., 2020).

2.2 Persiapan Benda Uji

Untuk menyiapkan sampel yang dibutuhkan, tanah yang telah dibawa akan melalui proses pengeringan dan penumbukan. Proses ini perlu dilakukan untuk memastikan tanah tidak menggumpal sehingga bahan stabilisator yang ditambahkan dapat tercampur secara merata. Kemudian, tanah ditimbang dan ditambahkan dengan garam dan semen pada persentase tertentu seperti yang terlihat pada **Tabel 1**. Penambahan bahan stabilisator pada semua jenis sampel dilakukan dalam kondisi kadar air optimal.

Tabel 1. Variasi Campuran

Jenis Sampel	Tanah Asli (%)	Garam (%)	Semen (%)
Sampel 1	100	0	0
Sampel 2	100	3	13
Sampel 3	100	3	16
Sampel 4	100	3	19

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pencampuran tanah dilakukan secara manual di dalam sebuah wadah dalam beberapa tahapan. Tahap pertama adalah pencampuran tanah dengan semen dalam kondisi kering hingga tercampur secara homogen. Semen ditambahkan dalam kondisi kering untuk mencegah penggumpalan awal yang terjadi apabila tanah diberi air terlebih dahulu. Sementara itu, garam ditambahkan dalam kondisi basah. Hal ini dilakukan untuk memicu proses ionisasi pada garam. Setelah semua bahan ditambahkan, sampel yang telah disiapkan kemudian diperam dan disimpan dalam wadah yang tertutup rapat tanpa terkena matahari secara langsung. Proses pemeraman dilakukan dengan kondisi yang terkontrol untuk mencegah berkurangnya kadar air akibat penguapan oleh panas dan udara. Selain itu, kondisi yang terkontrol juga dapat meminimalisir adanya kemungkinan sampel yang telah disiapkan tercampur dengan polutan. Dalam proses ini, air dan mineral dalam tanah lempung akan bereaksi dengan semen dan garam yang telah ditambahkan (Pandiangan et al., 2016). Pemeraman pada semua jenis sampel dilakukan dalam dua periode, yaitu tiga dan tujuh hari. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh lama waktu pemeraman terhadap proses stabilisasi tanah.

2.3 Pengujian Tanah

Pengujian dilakukan pada semua jenis sampel untuk menganalisis pengaruh penambahan garam dan semen terhadap stabilitas tanah ekspansif. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian properti fisis dan mekanis. Uji properti fisis pada tanah yang dilakukan adalah uji kadar air, berat isi, berat jenis, analisa saringan, dan uji atterberg limit. Tabel klasifikasi indeks ekspansivitas tanah berdasarkan SNI 03-6795-2002 dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Klasifikasi Indeks Ekspansif

Tingkat Pengembangan	Batas Cair	Batas Plastis
Tinggi	> 60	> 35
Sedang	50-60	25-35
Rendah	< 50	< 25

(Sumber : SNI 03-6795-2002)

Sedangkan uji properti mekanis tanah yang dilakukan meliputi uji pemadatan tanah standar dan uji potensi pengembangan tanah. Semua pengujian dilakukan berdasarkan SNI yang berlaku, kecuali uji potensi pengembangan tanah. Pengujian untuk mengetahui potensi pengembangan tanah dilakukan berdasarkan ASTM D4829-21. Tabel klasifikasi indeks ekspansivitas tanah berdasarkan ASTM dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Klasifikasi Indeks Ekspansif

Indeks Ekspansif (EI)	Potensi Ekspansif
0 – 20	Sangat Rendah
21 – 50	Rendah
51 – 90	Sedang
91 – 130	Tinggi
> 130	Sangat Tinggi

(Sumber : ASTM-D4829-21)

Indeks ekspansif tanah pada Tabel 2 dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$EI = \frac{\Delta H}{H_1} \cdot 1000 \quad (1)$$

Dengan:

ΔH = Selisih tinggi $D_2 - D_1$, mm

H_1 = Tinggi benda uji

D_2 = bacaan dial akhir

D_1 = bacaan dial awal

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji konsolidasi. Beban yang digunakan pada alat uji adalah 6,9 kPa. D_1 merupakan pembacaan dial setelah 10 menit pemasangan benda uji atau

PERBAIKAN SIFAT FISIS DAN MEKANIS TANAH EKSPANSIF SECARA KIMIAWI MENGGUNAKAN CAMPURAN GARAM DAN SEMEN

(Muhammad Rifki Darmawan, Paksitya Purnama Putra, Luthfi Amri Wicaksono)

saat air dimasukkan kedalam alat uji. Sementara itu, D2 merupakan pembacaan akhir dial setelah 24 jam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Properti Tanah Asli

Pengujian properti tanah asli dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan jenis tanah sebelum dilakukan stabilisasi. Uji properti tanah asli meliputi uji fisis dan mekanis. Tanah di Desa Kendalrejo, Kecamatan Tegaldlimo, Kabupaten Banyuwangi, berwarna cokelat keabu-abuan dan memiliki sifat yang unik. Saat kering, tanahnya keras dan sulit dihancurkan. Namun ketika basah, tanahnya menjadi sangat plastis dan lengket. Sifat ini secara teknis merupakan sifat dari tanah dengan indeks plastisitas tinggi. Hasil pengujian properti tanah asli dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan data yang diperoleh dari **Tabel 4**, tanah pada lokasi penelitian merupakan tanah dengan tipe A-7-6 (tanah berlempung) berdasarkan AASHTO. Sedangkan berdasarkan USCS, tanah yang diteliti merupakan tanah dengan tipe CH (lempung plastisitas tinggi). Berdasarkan nilai Indeks Plastisitas (IP) pada SNI 03-6795-2002 tanah tersebut memiliki potensi pengembangan sedang. Namun, setelah diuji pengembangan, tanah tersebut masuk kategori tanah ekspansif tinggi, hal ini dibuktikan dengan tingginya nilai swelling potential tanah menggunakan pengujian ASTM, yaitu sebesar 114,5. Tanah kategori A-7-6

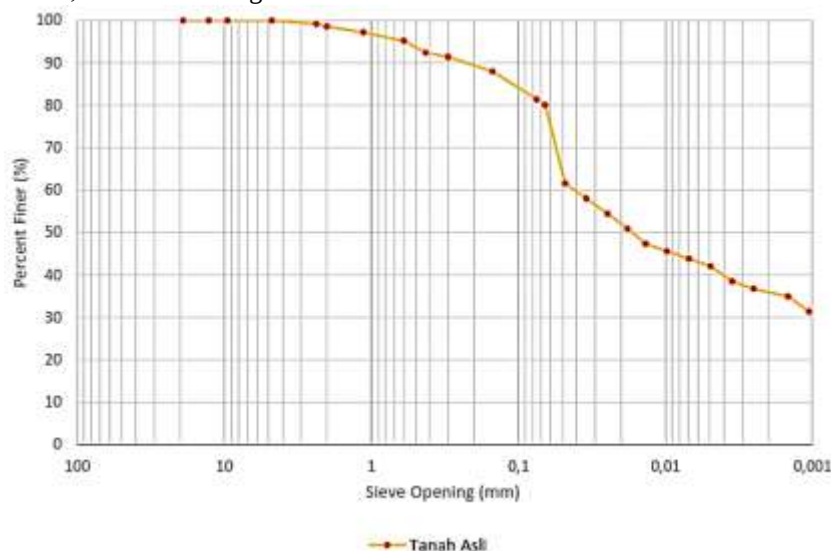
dengan Nilai IP >10% merupakan tanah yang dianjurkan untuk distabilisasi dengan semen (Departemen Pekerjaan Umum, 2007).

Mayoritas partikel tanah yang menjadi objek penelitian ini memiliki ukuran butiran yang berada dalam kategori tanah butir halus dengan persentase lolos saringan no. 200 hingga 81,4%. Sebaran gradasi butiran tanah lanau dan lempung berturut-turut adalah 39% dan 42%. Sedangkan tanah berbutir kasar yang menyusun tanah pada objek penelitian memiliki persentase sebesar 19%. Kurva distribusi saringan dari tanah yang diteliti dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Tabel 4. Properti tanah asli

Jenis Pengujian	Nilai	Satuan
Derajat kejenuhan	97,39	%
Kadar air	44,57	%
Berat isi	1,63	g/cm ³
<i>Specific gravity</i>	2,33	
<i>Liquid limit</i>	53	%
<i>Plastic limit</i>	24,29	%
<i>Plasticity indeks</i>	28,71	%
Lolos saringan no. 200	81,4	%
<i>Optimum Moisture Content (OMC)</i>	24,75	%
<i>Maximum Dry Density (MDD)</i>	1,38	g/cm ³
<i>Swelling potential</i>	114,5	

(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar 1. Kurva disribusi butiran tanah asli (Sumber : Hasil Penelitian)

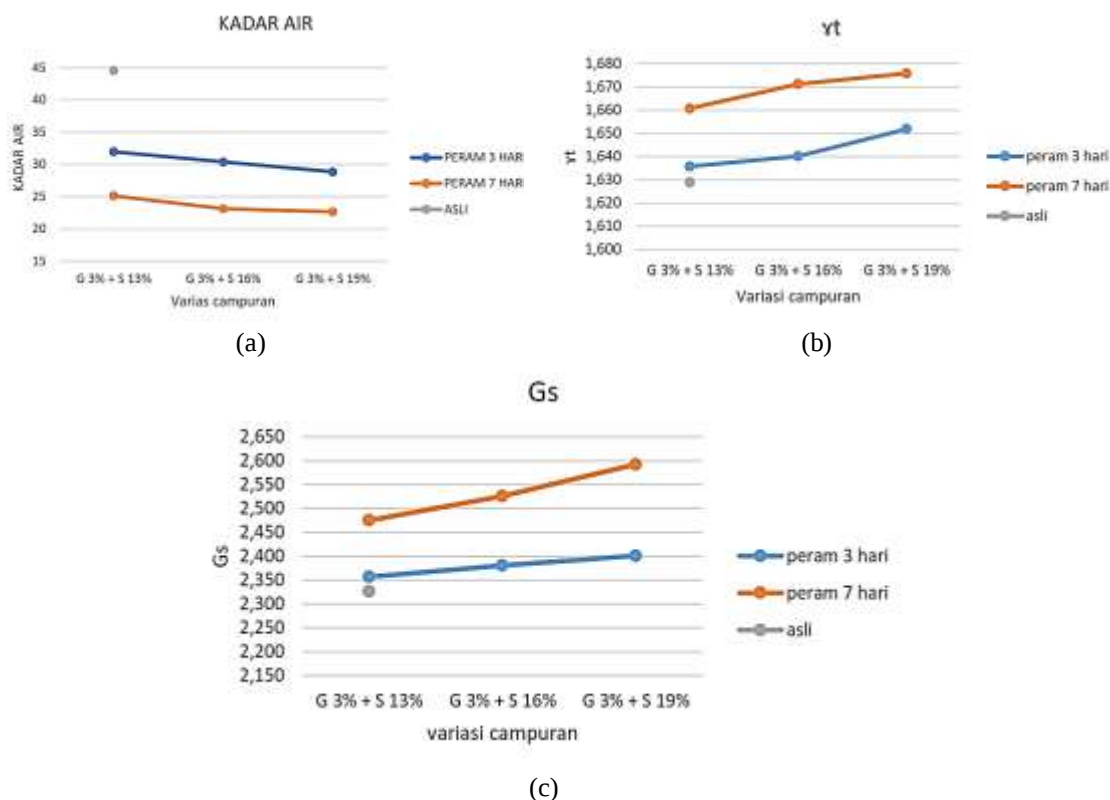
3.2 Analisis Hasil Pengujian Fisis Tanah Campuran

Setelah proses pemeraman selesai, tanah yang telah distabilisasi diuji sifat fisis dan mekanisnya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada sifat fisis tanah setelah distabilisasi dengan garam dan semen. Hasil uji sifat fisis yang dilakukan pada tanah setelah distabilisasi dapat dilihat pada tabel 5 dan **Gambar 2**.

Tabel 5. Sifat Fisis Tanah Asli dan Campuran

Jenis Sampel	Lama Pemeraman (hari)	Sifat Fisis								Klasifikasi Tanah	
		SR (%)	Wc (%)	γ_d (g/cm ³)	GS	LL (%)	PL (%)	IP (%)	Lolos No. 200 (%)	USCS	ASTM
Sampel 1	0	97,4	44,6	1,629	2,3 ₃	53,0	24,3	28,7	81,4	CH	A-7-6
Sampel 2	3	83,6	32,0	1,636	2,3 ₆	-	-	-	62,0	ML	A-2-4
	7	71,9	25,1	1,661	2,4 ₈	-	-	-	59,4	ML	A-2-4
Sampel 3	3	81,0	30,4	1,640	2,3 ₈	-	-	-	60,8	ML	A-2-4
	7	67,8	23,1	1,671	2,5 ₃	-	-	-	58,2	ML	A-2-4
Sampel 4	3	79,3	28,8	1,652	2,4 ₀	-	-	-	59,2	ML	A-2-4
	7	65,4	22,6	1,676	2,5 ₉	-	-	-	57,4	SM	A-2-4

(Sumber : Hasil Penelitian)

**Gambar 2.** Hasil uji sifat fisis; (a) Kadar air, (b) Berat isi, (c) Berat jenis. (Sumber : Hasil Penelitian)

Penambahan garam dan semen mempengaruhi sifat fisis tanah lempung seperti yang terlihat dari grafik yang ditampilkan pada **Gambar 2**. Berat jenis dan berat isi tanah mengalami peningkatan seiring dengan ditambahkan campuran semen. Hal ini berbanding terbalik dengan adanya penurunan yang terjadi pada kadar air dan persentase lolos saringan no. 200 setelah

distabilisasi. Tren tersebut terjadi pada semua jenis sampel meskipun sampel diberikan variasi lama waktu peram yang berbeda. Sementara itu, klasifikasi pada semua jenis sampel yang telah distabilisasi menurut sistem klasifikasi USCS berubah menjadi ML (lanau plastisitas rendah), kecuali pada sampel 4 dengan campuran semen 19% dan waktu peram tujuh hari. Berdasarkan

PERBAIKAN SIFAT FISIS DAN MEKANIS TANAH EKSPANSIF SECARA KIMIAMI MENGGUNAKAN CAMPURAN GARAM DAN SEMEN

(Muhammad Rifki Darmawan, Paksitya Purnama Putra, Luthfi Amri Wicaksono)

Tabel 5, sampel 4 menunjukkan perubahan kategori tanah yang semula berbutir halus menjadi tanah berbutir kasar, yaitu SM (pasir kelanauan).

Berdasarkan **Gambar 2a**, penurunan kadar air tertinggi adalah 22% yang terjadi pada sampel 4 dengan campuran garam 3% dan semen 19%. Sampel 4 mengalami penurunan kadar air tertinggi dengan waktu peram tiga hari dan tujuh hari, yaitu berturut-turut sebesar 16% dan 22%. Penurunan pada kadar air semakin meningkat dengan ditambahkannya jumlah semen yang dicampurkan. Selain itu, waktu peram yang lebih lama juga mempengaruhi tingkat penurunan yang terjadi pada kadar air. Penurunan kadar air pada tanah yang telah distabilisasi menunjukkan adanya proses hidrasi oleh garam dan semen (Dwi Ratnaningsih, 2019). Semen yang lebih banyak akan meningkatkan kebutuhan air untuk proses hidrasi (Solihu, 2020). Pada saat yang sama, waktu pemeraman yang lebih lama memungkinkan lebih banyak pula proses hidrasi yang terjadi.

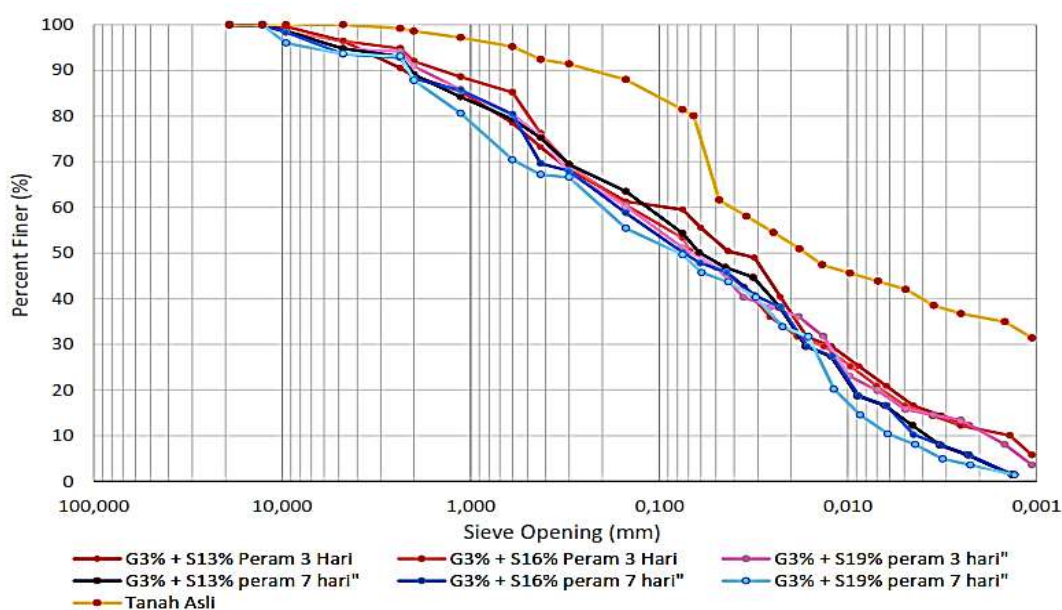
Berat isi dan berat jenis pada tanah yang distabilisasi mengalami peningkatan karena adanya butiran yang terbentuk setelah semen dan garam ditambahkan (John et al., 2018). Peningkatan tertinggi terjadi pada sampel 4 dengan perubahan nilai berat isi dan berat jenis berturut-turut sebesar 2,88% dan 11,28% pada kondisi waktu peram tujuh hari seperti yang terlihat pada gambar 2b dan 2c. Hal ini dapat terjadi karena jumlah semen yang lebih banyak akan menghasilkan butiran yang lebih banyak pula. Di sisi lain, garam akan bereaksi dengan

mengikat molekul air dalam tanah sehingga pembentukan butiran oleh semen akan menjadi lebih efektif (Kholik et al., 2020).

Pengujian nilai batas cair (LL) dan batas plastis (PL) untuk menghitung nilai indeks plastisitas (PI) tidak dapat dilakukan karena kondisi tanah yang tidak plastis. Penambahan semen pada tanah lempung dapat meningkatkan kekuatan dan kestabilan tanah melalui mekanisme pengikatan partikel, pengurangan kadar air, dan pembentukan struktur kaku. Proses ini secara signifikan mengurangi plastisitas tanah (Anggraeni et al., 2019). Sementara itu, garam juga dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah. Mekanisme kerjanya adalah dengan mengikat molekul air dalam tanah, sehingga mengurangi jumlah air yang tersedia untuk membentuk lapisan licin antar partikel lempung (Kholik et al., 2020).

Semakin lama waktu pemeraman, butiran halus pada tanah (lanau dan lempung) berubah menjadi butiran kasar (pasir dan kerikil). Hal ini terbukti dengan adanya peningkatan pada persentase tanah fraksi butiran kasar. Dengan waktu peram yang sama, penambahan semen yang lebih banyak akan menghasilkan butiran kasar yang lebih banyak pula. Sampel yang menghasilkan gradasi butiran tanah kasar tertinggi didapat pada sampel 4 dengan campuran semen 19%.

Komposisi butiran penyusun tanah pada sampel terdiri dari butiran kasar dan halus berturut-turut sebesar 51% dan 49%. Sebaran gradasi butiran tanah berdasarkan ukurannya pada setiap sampel dapat dilihat pada tabel 6, sedangkan kurva distribusi saringannya ditampilkan **Gambar 3**.



Gambar 3. Kurva distribusi butiran (Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 6. Persentase butiran tanah

Jenis Sampel	Lama Pemeraman (hari)	Kerikil (%)	Pasir (%)	Lanau (%)	Lempung (%)
Sampel 1	0	0	19	39	42
Sampel 2	3	3	37	39	21
	7	5	40	38	13
Sampel 3	3	4	43	36	17
	7	6	44	39	11
Sampel 4	3	5	44	35	16
	7	6	45	41	8

(Sumber : Hasil Penelitian)

3.3 Analisis hasil pengujian mekanis tanah campuran

Selain pengujian fisis, pengujian mekanis juga dilakukan pada tanah yang telah distabilisasi. Pengujian sifat mekanis yang dilakukan adalah proctor test berdasarkan SNI dan swelling potential test berdasarkan ASTM.

3.3.1 Hasil uji pemadatan

Uji pemadatan telah dilakukan sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam SNI 1742-2008. Prosedur ini diterapkan secara konsisten pada seluruh jenis sampel tanah yang dianalisis. Analisis terhadap hasil pengujian menunjukkan adanya tren yang konsisten, di mana tanah yang telah mengalami proses stabilisasi menunjukkan peningkatan nilai kepadatan kering maksimum (MDD) dan penurunan kadar air optimum (OMC). Pola perubahan ini teramati pada semua jenis sampel tanah, terlepas dari variasi waktu pemeraman yang diterapkan. Temuan ini mengindikasikan bahwa penambahan garam dan semen memiliki pengaruh terhadap nilai MDD dan OMC tanah. Detail lengkap dari hasil uji pemadatan ini dapat ditemukan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil uji pemadatan

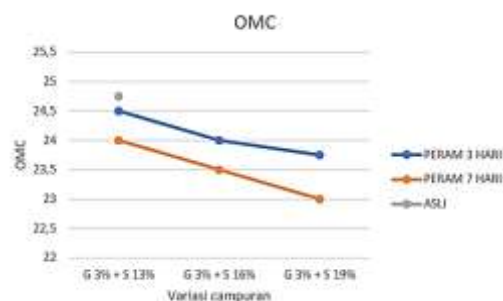
Jenis Sampel	Lama Pemeraman (hari)	MDD (g/cm ³)	OMC (%)
Sampel 1	0	1,370	24,75
Sampel 2	3	1,375	24,50
	7	1,395	24,00
Sampel 3	3	1,380	24,00
	7	1,400	23,50
Sampel 4	3	1,390	23,75
	7	1,405	23,00

(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan **Tabel 7**, sampel 2 dengan kombinasi garam 3% dan semen 13% yang diperam selama tiga hari menurunkan kadar air optimum sebesar 1,01% dan meningkatkan kepadatan kering maksimum sebesar 0,36%. Selanjutnya, dengan kandungan gara yang sama, persentase semen yang ditingkatkan menjadi 16% menyebabkan perubahan serupa, yaitu penurunan kadar air optimum 3,03% dan

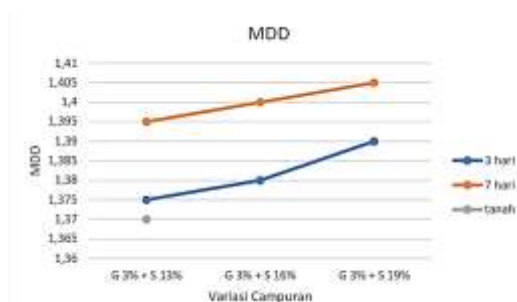
peningkatan kepadatan kering maksimum menjadi 0,72%. Perubahan tertinggi terjadi pada sampel 4 yang mengandung kandungan semen 19% dengan perubahan kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum berturut-turut adalah 4,04% dan 1,45%. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa peningkatan durasi pemeraman dapat meningkatkan efektivitas stabilisasi tanah. Misalnya terjadi pada sampel 1 dengan kombinasi garam 3% dan semen 13% yang diperam selama tujuh hari, memberikan penurunan kadar air optimum sebesar 3,03% dan peningkatan kepadatan kering maksimum sebesar 1,82%. Perubahan tertinggi kembali terjadi pada sampel 4 dengan perubahan kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum berturut-turut adalah 7,07% dan 2,55%.

Peningkatan pada nilai MDD dapat terjadi karena semen berperan dalam mengisi rongga pori tanah yang sebelumnya diisi oleh udara seperti yang terihat pada gambar 8 (John et al., 2018). Di sisi lain, garam akan bereaksi dengan mineral lempung dalam tanah yang membentuk ikatan yang menghambat penyerapan air (Mandasari & Wulandari, 2017). Butiran dan ikatan yang terbentuk akibat penambahan garam dan semen akan menghambat proses penyerapan air oleh tanah sehingga terjadi penurunan pada nilai OMC. Perubahan yang lebih tinggi pada sampel dengan waktu pemeraman tujuh hari terjadi karena proses reaksi akan terus berlangsung selama masa pemeraman.

**Gambar 4.** Grafik Hubungan OMC (*Optimum Moisture Content*) (Sumber : Hasil Penelitian)

PERBAIKAN SIFAT FISIS DAN MEKANIS TANAH EKSPANSIF SECARA KIMIWI MENGGUNAKAN CAMPURAN GARAM DAN SEMEN

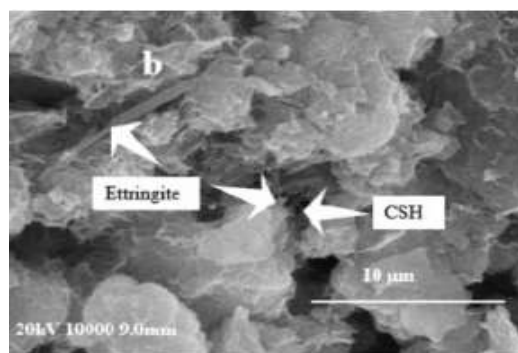
(Muhammad Rifki Darmawan, Paksitya Purnama Putra, Luthfi Amri Wicaksono)



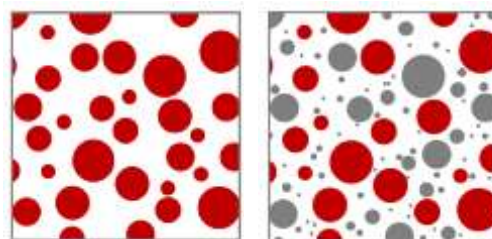
Gambar 5. Grafik Hubungan MDD (*Maximum Dry Density*) (Sumber : Hasil Penelitian)

Pada **Gambar 4**, ditampilkan grafik hubungan OMC yang semakin menurun seiring dengan penambahan variasi campuran dan waktu pemeraman. Hal ini sejalan dengan penelitian (Cahyadi, Hendra ; Puspasari, 2017). Sementara itu, peningkatan nilai MDD terjadi dan berbanding secara lurus terhadap penambahan variasi campuran dan lama waktu pemeraman seperti yang terlihat pada gambar 5. Temuan ini sesuai dengan hasil yang didapatkan oleh (Dwitya et al., 2021).

Ketika garam dan semen dicampurkan ke dalam tanah, terjadi serangkaian reaksi kimia. Reaksi kimia ini menghasilkan pembentukan dua senyawa baru yang sangat penting, yaitu kalsium silikat hidrat (CSH) dan kalsium aluminat hidrat (*Ettringite*). Kedua senyawa tersebut berfungsi sebagai pengikat antar partikel pada tanah yang menyebabkan tanah menjadi lebih keras dan tidak lagi rentan terhadap perubahan kadar air dalam tanah (Du et al., 2020). Ilustrasi visual mengenai pembentukan senyawa ettringite dan CSH setelah proses stabilisasi tanah dengan garam dan semen dapat diamati pada Gambar 6. Selain itu, ilustrasi yang menggambarkan secara detail perubahan struktur tanah yang terjadi akibat penambahan garam dan semen dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 6. Senyawa yang terbentuk setelah stabilisasi (sumber: Du dkk., 2020)



Gambar 7. perubahan struktur pada tanah; (a) sebelum distabilisasi, (b) setelah distabilisasi (Sumber:(John et al., 2018))

3.3.2 Uji Pengembangan

Uji pengembangan dilakukan berdasarkan ASTM D4829-21 pada semua jenis sampel. Pada penelitian yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa penambahan semen dan garam efektif sebagai bahan stabilisasi tanah dengan potensi pengembangan tinggi dengan nilai EI 114,5. Semua variasi semen dan garam yang digunakan pada penelitian ini menghasilkan tanah dengan potensi pengembangan sangat rendah dengan nilai EI 0. Hasil uji indeks ekspansif tanah dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Uji potensi pengembangan tanah

Jenis Sampel	Lama Pemeraman (hari)	H ₁ (mm)	D ₁	D ₂	EI
Sampel 1	0	131	25	10	114,5
Sampel 2	3	131	22	26,5	0
	7	131	20	25	0
Sampel 3	3	131	17,5	23	0
	7	131	18	23	0
Sampel 4	3	131	16	22	0
	7	131	12	19	0

(Sumber : Hasil Penelitian)

Penurunan tingkat ekspansif pada tanah disebabkan oleh adanya ikatan antar senyawa dan butiran yang terbentuk setelah proses hidrasi yang terjadi pada tanah dengan garam dan semen (Du et al., 2020). Butiran tanah yang terbentuk akan mengisi rongga pada tanah sehingga tanah menjadi lebih padat. Sementara itu, ikatan antar partikel yang terjadi akan menyebabkan tanah menjadi lebih sulit untuk mengalami pengembangan maupun penyusutan oleh air (Cheng et al., 2017).

Berdasarkan data pada tabel 8, hanya nilai D2 pada sampel 1 yang memiliki nilai lebih rendah daripada nilai D1-nya. Hal ini menunjukkan bahwa tanah mengalami pengembangan setelah diberi air. Sementara itu, nilai D2 pada tanah yang telah distabilisasi di semua jenis sampel selalu lebih tinggi daripada nilai D1-nya. Nilai D2 yang lebih tinggi menandakan bahwa tanah tetap mengalami pemadatan karena beban yang diberikan pada alat uji dan tidak terjadi pengembangan meskipun benda tanah telah diberi air.

4. KESIMPULAN

Analisis terhadap tanah asli di Desa Kendalrejo menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki sifat fisis yang khas, yaitu berwarna cokelat keabu-abuan dan memiliki tekstur yang unik dengan kadar air 44,57%, nilai berat isi sebesar 1,63 gram/cm³, nilai berat isi kering 1,21 gram/cm³, berat jenis 2,33, dan batas plastisitas dengan nilai 36,28%, batas cair dengan nilai 52,30%, dan indeks plastisitas sebesar 16,02%. Berdasarkan SNI 6371 : 2015 tanah tersebut dikategorikan sebagai lempung plastisitas tinggi dengan kandungan pasir. Selain itu, uji pemadatan menunjukkan bahwa kadar air optimum tanah ini adalah 24,8%, sedangkan uji potensi pengembangan mengindikasikan adanya potensi pengembangan yang signifikan dengan nilai sebesar 114,5 dan dikategorikan tinggi sesuai dengan ASTM D4829-21.

Penambahan semen dan garam mempengaruhi baik sifat fisis maupun mekanis tanah. Tanah yang telah distabilisasi menunjukkan perubahan sifat fisis terutama pada nilai indeks plastisitas dan gradasi butiran tanah. Tanah yang telah distabilisasi pada semua variasi campuran berubah menjadi tanah non plastis dan perubahan ukuran butiran tanah menjadi pasir. Sementara itu, perubahan pada sifat mekanis tanah yang terjadi adalah peningkatan pada nilai MDD dan penurunan nilai OMC. Penambahan semen dan garam juga menurunkan potensi pengembangan tanah yang semula sangat tinggi menjadi rendah dengan nilai EI pada tanah asli dan tanah stabilisasi berturut-turut adalah 114,5 dan 0.

5. SARAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka diperoleh saran penelitian yaitu perlu dilakukan penelitian menggunakan kombinasi campuran bahan stabilisasi berbeda, perlu dilakukan penelitian dengan variasi semen yang lebih sedikit, dan perlu dilakukan penelitian menggunakan standart uji pengembangan yang berbeda

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmat, M. M., Zumrawi, M. M. E., Alphonse, O., & M'tulatia, M. (2024). Performance of Sodium Chloride Blended with Silica Fume for Stabilizing Expansive Soils in Road Subgrade Applications. *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 11(3), 54–67. <https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V11I3P105>
- Amran, Y., Sugiarto, S., & Surandono, A. (2022). Analisis Stabilitas Tanah Berbutir Halus Berplastisitas Tinggi Menggunakan Difa Soil Stabilizer Untuk Mencegah Penurunan Massa Tanah. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 11(2), 135. <https://doi.org/10.24127/tp.v11i2.2025>
- Anggraeni, D., Kelapa, A. T., Belakang, L., & Sipil, P. (2019). Semen Sebagai Solusi Peningkatan Daya Dukung dan Stabilitas. 8(2), 12–28.
- Arief, T. D. (2006). Stabilisasi Tanah Liat Sangat Lunak Dengan Garam Dan Pc (Portland Cement). *Civil Engineering Dimension*, 8(1), 20–24. <http://puslit.petra.ac.id/journals/civil>
- Cahyadi, Hendra ; Puspasari, N. (2017). Kata kunci : stabilisasi, lempung, garam, CBR. 6(1), 41–49.
- Cheng, Y., Li, Z. guo, Huang, X., & Bai, X. hong. (2017). Effect of Friedel's salt on strength enhancement of stabilized chloride saline soil. *Journal of Central South University*, 24(4), 937–946. <https://doi.org/10.1007/s11771-017-3496-7>
- Darmiyanti, D., Rachmansyah, A., Munawir, A., Zaika, Y., Ershandy, & Suryo, E. A. (2023). Voltage optimization in expansive soil improvement with saline solution on swelling and shear strength. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1263(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1263/1/012050>
- Darwis. (2017). Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah. *Pustaka AQ, January*, 240.

PERBAIKAN SIFAT FISIS DAN MEKANIS TANAH EKSPANSIF SECARA KIMIAMI MENGGUNAKAN CAMPURAN GARAM DAN SEMEN

(Muhammad Rifki Darmawan, Paksitya Purnama Putra, Luthfi Amri Wicaksono)

- Departemen Pekerjaan Umum. (2007). Pedoman perencanaan stabilisasi tanah dengan bahan serbuk pengikat untuk konstruksi jalan. *Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga*.
- Du, C., Zhang, J., Zhang, T., & Yang, Q. (2020). Effect of salt on strength development of marine soft clay stabilized with cement-based composites. *Marine Georesources and Geotechnology*, 38(6), 672–685. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2019.1612971>
- Dwi Ratnaningsih, Z. D. A. G. A. (2019). Perbandingan Penggunaan Semen Dan Garam Untuk Stabilisasi Tanah Dasar. *PROKONS Jurusan Teknik Sipil*, 12(2), 93. <https://doi.org/10.33795/prokons.v12i2.160>
- Dwitya, F., Putra, A. D., & Iswan. (2021). Pengaruh Penambahan Semen pada Tanah Lempung terhadap Parameter Konsolidasi dan Kecepatan Penurunan. *Jrsdd*, 9(2), 303–312.
- Gunarso, A., Nuprayogi, R., Partono, W., & Pardoyo, B. (2017). Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(2), 238–245.
- John, E., Matschei, T., & Stephan, D. (2018). Nucleation seeding with calcium silicate hydrate – A review. *Cement and Concrete Research*, 113(May), 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.07.003>
- Kholik, N., Zaenal, M., & Fipiana, W. I. (2020). Studi Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Penambahan Na Cl. *Jurnal Kalibrasi*, 3(1), 62–74.
- Mandasari, F., & Wulandari, S. (2017). Pengaruh Campuran Garam Dengan Uji Pemadatan Pada Tanah Lempung Ekspansif. *Jurnal Desain Konstruksi*, 16(2), 112–119.
- Modmoltin, C., & Voottipruex, P. (2009). Influence of salts on strength of cement-treated clays. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Ground Improvement*, 162(1), 5–26. <https://doi.org/10.1680/grim.2009.162.1.15>
- Mujiwati, S. E. (2017). TINJAUAN PENURUNAN KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG KECAMATAN SUKODONO YANG DISTABILISASI DENGAN GARAM DAPUR (NaCl). 11(1), 92–105.
- Muzakki, A., Setiawan, B., & Surjandari, N. S. (2018). Stabilisasi Tanah Ekspansif Menggunakan Kolom Garam Dengan Pengaliran Samping. *Matriks Teknik Sipil*, 6(1), 189–194.
- <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i1.36611>
- Pandiangan, B., Jafri, M., & Iswan, I. (2016). Pengaruh Variasi Waktu Pemeraman Terhadap Daya Dukung Tanah Lempung dan Lanau yang Distabilisasi Menggunakan Semen pada Kondisi Tanpa Rendaman (Unsoaked). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 4(2), 256–275.
- Prescilia, P., Monintja, T. S., Ticoh, J. H., & Sumampouw, J. R. (2013). Pengaruh Stabilisasi Semen Terhadap Swelling Lempung Ekspansif. *Jurnal Sipil Statik*, 1(6), 382–389.
- Putra, P. P., Ma'ruf, M. F., Ridwansyah, M. A., Kurniawan, R., & Carisa, C. N. (2021). Perubahan Potensi Mengembang Tanah Ekspansif Yang Distabilisasi Secara Fisis Dan Mekanis. *Construction and Material Journal*, 3(1), 1–14. <https://doi.org/10.32722/cmj.v3i1.3686>
- Solihu, H. (2020). Cement Soil Stabilization as an Improvement Technique for Rail Track Subgrade, and Highway Subbase and Base Courses: A Review. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 10(3). <https://doi.org/10.37421/jcde.2020.10.344>
- Wijaya, W. (2021). Pengaruh Stabilisasi Abu Daun Bambu Dan Semen Terhadap Kembang Susut (Swelling) Tanah Lempung Ekspansif. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(2), 105–112. <https://doi.org/10.24002/jts.v16i2.4776>