

Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif di Ngawi Jawa Timur Menggunakan Serbuk *Gypsum*

Renaningsih^a, Danny Adhistia^a, Qunik Wiqoyah^a, Agus Susanto^a

^a Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

DOI: <https://doi.org/10.18196/bce.v3i1.17490>

Abstrak

Tanah di desa Soko, Ngawi, Jawa Timur merupakan tanah lempung dengan plastisitas tinggi, yaitu sebesar 71,23% dan potensi kembang susut tinggi. Penelitian ini berupaya memperbaiki sifat fisis dan sifat mekanis tanah dengan stabilisasi menggunakan serbuk *gypsum* dengan campuran *gypsum* 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat sampel, supaya dapat bermanfaat untuk merencanakan struktur konstruksi terbaik di atasnya. Pengujian penelitian meliputi uji sifat fisis dan uji sifat mekanis pada tanah asli dan tanah campuran. Hasil uji fisis pada tanah asli dan tanah campuran menunjukkan bahwa bertambahnya kandungan *gypsum* nilai *specific gravity*, nilai batas plastis, dan nilai batas susut mengalami kenaikan sedangkan nilai kadar air, batas cair, indeks plastisitas, dan lolos saringan No.200 mengalami penurunan. Tanah asli dan tanah campuran 2,5% termasuk dalam kelompok A-7-6, sedangkan campuran 5%, 7,5%, dan 10% termasuk kelompok A-7-5 berdasarkan AASHTO, dan berdasarkan UCS, campuran 2,5% hingga 7,5% masuk dalam kelompok CH, 10% termasuk MH. Hasil uji sifat mekanis pemadatan dengan *Standard Proctor* didapatkan semakin bertambahnya kandungan *gypsum* nilai berat volume kering maksimal semakin naik sedangkan nilai kadar air optimum semakin turun. Hasil uji konsolidasi didapatkan seiring bertambahnya kandungan *gypsum* nilai *Coefficient of Consolidation* semakin naik dan nilai *Compression Index* dan *Settlement of Consolidation* semakin turun. Nilai *Cv* tertinggi 0,0531 cm²/detik, nilai *Cc* terendah 0,1578, dan nilai *Sc* terendah 0,0027 cm yang terdapat pada persentase campuran 10%.

Kata kunci : *Gypsum*, *Konsolidasi*, *Stabilisasi*, *Tanah Lempung Ekspansif*.

Abstract

The soil in the village of Soko, Ngawi, East Java is included in the category of clay soil with high plasticity and has a high potential for swelling and shrinkage, based on previous studies with the results of expansive soil mineral tests, namely montmorillonite minerals. This research seeks to improve the physical and mechanical properties of the soil by stabilizing it using gypsum powder with a percentage of 0%, 2.5%, 5%, 7.5% and 10% of the sample weight, so that it can be useful for planning the best construction structures. The research tests included physical properties tests and mechanical properties tests on native soils and mixed soils. The results of physical tests on natural soils and mixed soils showed that as the gypsum content increased, the values for specific gravity, plastic limit values, and shrinkage limit values increased, while the values for water content, liquid limit, plasticity index, and passing No.200 sieve decreased. Classification according to AASTHO shows that original soil and 2.5% mixed soil are included in group A-7-6, while mixtures of 5%, 7.5% and 10% are included in group A-7-5. According to the USCS classification, the percentage of mixed soil 0%, 2.5%, 5%, 7.5% is included in the CH group, while the percentage of 10% includes MH. The results of the compaction mechanical properties test with the *Standard Proctor* showed that as the gypsum content increases, the maximum dry unit weight value increases while the optimum water content value decreases. The results of the consolidation test were obtained as the gypsum content increased, the *Coefficient of Consolidation* value increased and the *Compression Index* and *Settlement of Consolidation* values decreased. The highest *Cv* value was 0.0531 cm²/sec, the lowest *Cc* value was 0.1578, and the lowest *Sc* value was 0.0027 cm which was found at a mixture percentage of 10%.

Keywords: *Gypsum*, *Consolidation*, *Stabilization*, *Expansive Clay*.

Riwayat Artikel
Diserahkan
8 Januari 2023

Direvisi
12 Februari

Diterima
21 Februari

*Penulis korespondensi
ren186@ums.ac.id

1 PENDAHULUAN

Salah satu faktor yang penting dalam perencanaan bangunan adalah tanah, karena tanah sebagai dasar ditematkannya konstruksi bangunan, sehingga mempunyai daya dukung yang baik, karena kekuatan struktur akan langsung dipengaruhi oleh kemampuan tanah dasar untuk menahan dan memikul beban kerja (Riwayati dkk, 2018). Tanah lempung/tanah kohesif adalah tanah pada saat keadaan kering seolah-olah tidak bisa dikompres (dipadatkan) dan pada saat terkena hujan menjadi sangat lunak dan kompresibel, dengan sifat-sifat ini dapat menyebabkan kerusakan bangunan yaitu dinding retak, pondasi terangkat, jalan bergelombang dan masih banyak kerusakan yang terjadi (Wijayanti, 2017). Tanah lempung ekspansif memiliki daya dukung sangat rendah, kembang susut yang tinggi, kuat geser rendah, dan proses konsolidasi yang lambat (Dewi dkk, (2019); Mudhakhir dkk, (2020); Fadillah, dkk. (2021)). Sifat penyusutan berkaitan dengan kadar air mineral lempung, terutama mineral montmorillonit dan illite dengan luas permukaan spesifik yang besar dan penyerapan air yang sangat mudah (Kuncoro dkk, 2019).

Salah satu metode perbaikan tanah adalah metode stabilisasi. Stabilisasi kimiawi merupakan yang paling banyak digunakan karena pengaplikasiannya mudah dan dapat digunakan secara luas (Zha, dkk., 2021). Stabilisasi kimia adalah pencampuran tanah dengan bahan kimia untuk memperbaiki sifat-sifat teknis, seperti meningkatkan daya dukung, memperkecil kompresibilitas, serta mencegah sifat ekspansif tanah akibat perubahan kadar air (Arifianto dkk. 2019). Stabilisasi tanah merupakan salah satu alternatif yang memungkinkan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah (Syahrul Hidayatullah, 2020). Pada prinsipnya, stabilisasi tanah menata kembali partikel-partikel tanah sehingga lebih rapat dan saling mengunci (Indera, dkk. 2018).

Tanah di desa Soko, Ngawi, Jawa Timur mengalami kerusakan struktur akibat tanah ekspansif karena tanah tersebut termasuk tanah dengan plastisitas tinggi. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh (Sudjianto, 2014) diperoleh data indeks berupa batas cair (LL) = 101,00 %, batas plastis (PL) = 29,77 %, batas susut (SL) = 10,70 % serta indeks plastisitas (PI) = 71,23% dan hasil uji mineral tanah ekspansif mencapai 49,74% mineral *montmorillonite*, yang termasuk dalam kategori memiliki potensi kembang susut yang tinggi. Berdasarkan hasil yang didapat pada penelitian sebelumnya maka perlu dilakukan perbaikan tanah guna mengurangi penurunan tanah di daerah tersebut supaya lebih baik apabila dibangun konstruksi di atasnya.

Stabilisasi dalam penelitian ini menggunakan bahan stabilisasi yaitu serbuk *gypsum* dengan tujuan mengetahui sifat fisis sebelum dan sesudah distabilisasi, mengetahui sifat mekanis tanah dengan pemadatan *Standard Proctor* dan konsolidasi tanah sebelum dan sesudah distabilisasi, mengetahui pengaruh *gypsum* terhadap koefisien konsolidasi (C_v), *Compression Index* (C_c), dan penurunan tanah (*Settlement*). *Gypsum* adalah contoh mineral yang terbuat dari kapur. *Gypsum* adalah jenis kalsium sulfat hidrat yang paling umum ditemukan dengan rumus kimia $CaSO_4 \cdot 2(H_2O)$ (Lindawati, dkk. (2019); Az-Zahra (2020)).

Gypsum dapat mengurangi retak karena sodium pada tanah dan meningkatkan kecepatan rembesan air, karena sifatnya yang mampu menyerap banyak air (Siregar, dkk. (2018); Kuttah & Sato (2015)). Kelebihan sifat ini, *gypsum* bisa dimanfaatkan dalam menstabilkan tanah. Wu, dkk (2022) menunjukkan bahwa fraksi menunjukkan bahwa fraksi *gypsum* berpengaruh signifikan terhadap sifat fisik campuran semen untuk stabilisasi tanah pada batas tertentu, di luar batas ini pengaruhnya tidak terlalu kuat.

Konsolidasi adalah berkurangnya volume atau rongga pori dari tanah jenuh dengan permeabilitas rendah akibat pembebanan. Proses konsolidasi ini dipengaruhi oleh kecepatan keluarnya air pori dari rongga tanah (Putri, 2018). Konsolidasi biasanya hanya terjadi pada satu arah yaitu vertical, konsolidasi satu dimensi (*one dimensional consolidation*) adalah lapisan yang terkena beban tambahan tidak dapat bergerak ke arah horizontal karena ditahan oleh tanah di sekitarnya sehingga pengaliran air terutama berjalan ke arah vertikal (Kusriyanto, dkk. 2016).

Menurut ASTM D 2435, konsolidasi tanah pendekatan 1D pada benda uji tanah tidak terganggu (*undisturbed*) atau benda uji tanah terganggu adalah untuk memperoleh parameter :

- a) Koefisien Konsolidasi (*Coefficient of Consolidation*)

$$C_v = \frac{0,848 h^2}{t_{90}} \dots \dots \dots (1)$$

- b) Indeks kompresibilitas (*Compression Index*)

$$C_c = \frac{e_a - e_b}{\log \left(\frac{p_b}{p_a} \right)} \dots \dots \dots (2)$$

- c) Penurunan Konsolidasi (*Settlement of Consolidation*)

$$S_c = \frac{C_c}{1+e_0} H \log \frac{p'_1}{p'_0} \dots \dots \dots (3)$$

2 METODE PENELITIAN

Tanah yang digunakan diambil dari Desa Soko Kec.Ngawi, Kab.Ngawi Jawa Timur dan serbuk *Gypsum* berasal dari Toko Bangunan BIGPON PLAFON PVC, Kecamatan Banjarsari, Kota Surakarta. Pengambilan tanah dengan ketentuan kedalaman lebih dari 40 cm dari permukaan tanah asli dan sampel yang digunakan dalam kondisi kering udara dan lolos saringan No. 4.

Tahap I, penelitian yang dimulai dengan studi literatur, pengambilan tanah di desa Soko, Ngawi, Jawa Timur dengan pengeringan sampai kondisi tanah kering udara dan menyaring tanah dengan lolos saringan No.4, penyediaan *gypsum* dengan melakukan uji berat jenis (G_s) dan menggunakan data sekunder mengenai kandungan unsur kimia pada *gypsum*.

Tahap II melakukan uji sifat fisis tanah meliputi pengujian kadar air, berat jenis tanah, batas-batas *atterberg*, analisis saringan dan *hydrometer* terhadap tanah asli dan campuran. Kemudian melakukan uji pemadatan tanah menggunakan *Standard Proctor* terhadap tanah asli dan campuran untuk mendapatkan nilai berat volume kering maksimal dan nilai kadar air optimum. Selanjutnya, dilakukan pembuatan sampel untuk uji konsolidasi sesuai hasil pemadatan dengan *Standard Proctor* yang distabilisasi dengan serbuk *gypsum* sesuai/ variabel yang telah direncanakan sebelumnya dan dilakukan pengujian menggunakan konsolidometer.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Sifat Fisis *Gypsum*

Hasil pengujian kadar air *gypsum* didapat nilai 4,74% dan berat jenis *gypsum* dengan nilai 2,683 gr/cm³.

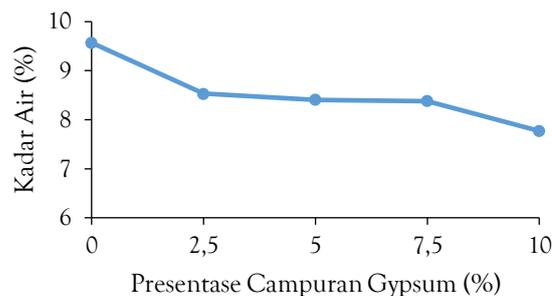
3.2 Uji Sifat Fisis Tanah

Uji fisis tanah meliputi uji kadar air, berat jenis, batas-batas *Atteberg*, dan gradasi butiran. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

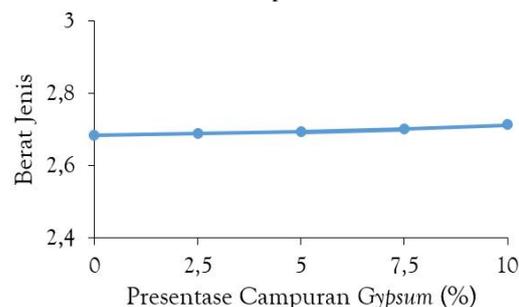
Pengujian kadar air mengalami penurunan dengan semakin banyaknya penambahan persentase *gypsum*. Kadar air tertinggi yakni pada kadar air tanah asli sebesar 9,57% dan kadar air terendah pada pencampuran *gypsum* dengan persentase 10% yakni sebesar 7,77%. Penurunan kadar air ini terjadi karena nilai kadar air *gypsum* sebesar 4,74% lebih rendah dibandingkan nilai kadar air tanah sebesar 9,57%. Hubungan kadar air dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 1.

Pengujian berat jenis (*Specific Gravity*) pada tanah asli didapatkan sebesar 2,683 tetapi setelah dilakukan pencampuran *gypsum* dengan persentase 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% menunjukkan bahwa mengalami kenaikan nilai Gs. Nilai Gs tertinggi terjadi pada campuran *gypsum* dengan persentase 10% yakni sebesar 2,712. Kenaikkan nilai Gs karena dua bahan yang bercampur mempunyai nilai Gs yang berbeda dimana nilai Gs *gypsum* yakni sebesar 2,893 lebih besar daripada nilai Gs tanah asli yang sebesar 2,683. Grafik antara berat jenis dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 2.

Pengujian batas cair (LL) pada tanah asli didapatkan hasil LL sebesar 80,30%, tetapi setelah dilakukan pencampuran *gypsum* dengan persentase 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% menunjukkan bahwa mengalami penurunan nilai batas cair. Penurunan batas cair terbesar terdapat pada tanah campuran *gypsum* dengan persentase 10% yakni sebesar 70,30%. Penurunan nilai batas cair ditandai dengan terjadinya sementasi pada tanah yang mengakibatkan butiran tanah menjadi lebih besar, sehingga luas permukaan spesifiknya akan lebih kecil, semakin besar butiran tanah menyebabkan nilai kohesi kecil. Grafik antara batas cair dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Hubungan Kadar Air dan Presentase Campuran



Gambar 2. Hubungan Berat Jenis dan Presentase Campuran

Pengujian batas plastis (PL) menunjukkan bahwa semakin bertambahnya persentase campuran *gypsum*, nilai PL mengalami kenaikan. Nilai PL pada tanah asli sebesar 19,46%. Nilai PL tertinggi pada persentase campuran *gypsum* 10% yakni sebesar 36,88%. Kenaikkan nilai PL disebabkan oleh terjadinya sementasi, sehingga mengakibatkan butiran tanah menjadi lebih besar. Butiran tanah yang lebih besar mengakibatkan nilai kohesi turun sebagaimana pada pembahasan LL. Grafik antara batas plastis dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 4

Pengujian batas susut (SL) menunjukkan bahwa semakin bertambahnya persentase campuran *gypsum*, nilai SL mengalami kenaikan. Kenaikkan batas susut terbesar terdapat pada tanah campuran *gypsum* dengan persentase 10% yakni sebesar 9,68%. Kenaikkan batas susut

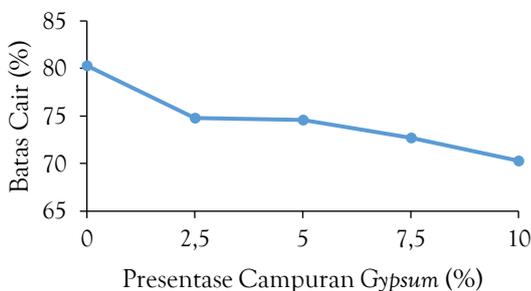
Tabel 1. Hasil Uji Tanah Asli dan Campuran

Jenis Pengujian	Variasi Campuran				
	Tanah Asli	2,5% <i>Gypsum</i>	5% <i>Gypsum</i>	7,5% <i>Gypsum</i>	10% <i>Gypsum</i>
Kadar Air (%)	9,57	8,53	8,41	8,38	7,77
Berat Jenis	2,683	2,688	2,694	2,701	2,712
Batas Cair kering udara (%)	80,30	74,80	74,60	72,70	70,30
Batas Cair kering oven (%)	-	-	-	-	60,71
Batas Plastis (%)	19,46	26,29	30,08	31,27	36,88
Batas Susut (%)	7,36	7,38	8,03	8,93	9,68
Indeks Plastisitas (%)	60,84	48,51	44,52	41,43	33,42
Lolos Saringan No.200 (%)	69,00	66,00	64,00	61,00	59,00
Kelompok Indeks	41,10	30,86	28,07	24,16	18,97
Klasifikasi Tanah					
USCS	CH	CH	CH	CH	MH
LLR	-	-	-	-	0,863
AASHTO	A-7-6	A-7-6	A-7-5	A-7-5	A-7-5

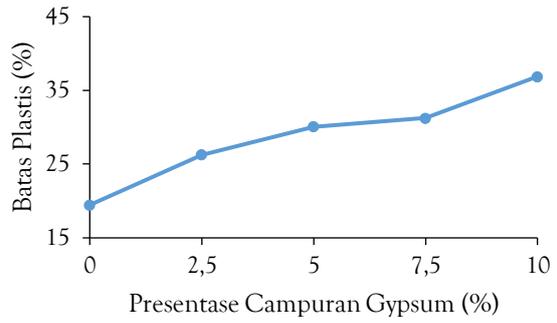
disebabkan terjadinya proses sementasi, sehingga butiran tanah akan semakin besar. Proses sementasi menyebabkan tanah tidak mudah terpengaruh oleh perubahan kadar air sehingga volume tanah akan lebih stabil. Berdasarkan nilai batas susut yang diperoleh terhadap derajat ekspansifitas menurut (Chen,1975) termasuk dalam kategori derajat ekspansifitas kritis karena seluruh nilai SL yang didapatkan kurang dari 10%. Grafik antara batas susut dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 5.

Nilai indeks plastisitas (PI) dipengaruhi oleh besarnya LL dan PL karena nilai PI diperoleh dari LL-PL. Tanah yang dicampur dengan *gypsum* menyebabkan penurunan nilai LL dan kenaikan nilai PL, sehingga menyebabkan nilai PI turun. Nilai PI pada tanah asli didapatkan sebesar 60,84%. Penurunan nilai PI terbesar terdapat pada campuran *gypsum* dengan persentase 10% yakni sebesar 33,42%. Berdasarkan Tabel III.2 tentang nilai batas-batas *Atteberg* maka tanah tersebut termasuk dalam klasifikasi tanah lempung kohesif dengan plastisitas tinggi karena nilai $PI > 17\%$. Nilai PI digunakan untuk mengetahui potensi pengembangan pada tanah, menurut (Chen,1975) tanah asli termasuk kategori potensi pengembangan sangat tinggi, tanah campuran 2,5%, 5%, dan 7,5% *gypsum* termasuk kategori potensi pengembangan tinggi, tanah campuran 10% *gypsum* termasuk kategori derajat pengembangan sedang. Grafik antara indeks plastis dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 6.

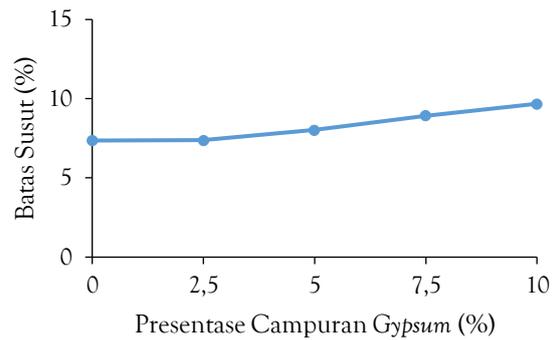
Analisa saringan dan *hydrometer* bertujuan menentukan gradasi ukuran butiran tanah sebelum dan sesudah dilakukan pencampuran dengan *gypsum* dengan persentase 2,5%, 5%,7,5% dan 10% dari berat sampel tanah. Hasil uji ukuran butiran tanah asli lolos saringan No.200 sebesar 69%, tetapi setelah dilakukan pencampuran *gypsum* dengan persentase 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% terjadi penurunan nilai lolos saringan No.200. Penurunan terbesar nilai lolos saringan No.200 terdapat pada persentase *gypsum* 10% yakni sebesar 59%. Penurunan ini disebabkan karena terjadinya sementasi sehingga butiran tanah menjadi lebih besar. Pembesaran butiran tanah mengakibatkan tanah lolos saringan No.200 lebih kecil. Grafik antara persentase lolos saringan dan diameter saringan dapat dilihat pada Gambar 7.



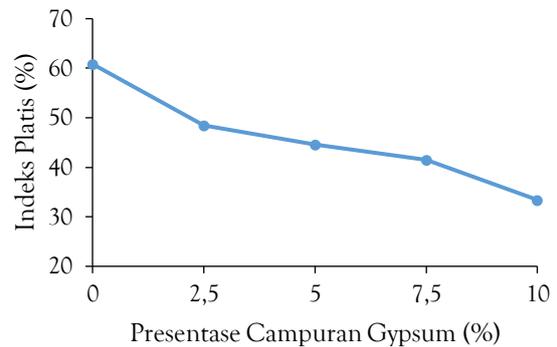
Gambar 3. Hubungan Batas dan Kadar Campuran Gypsum



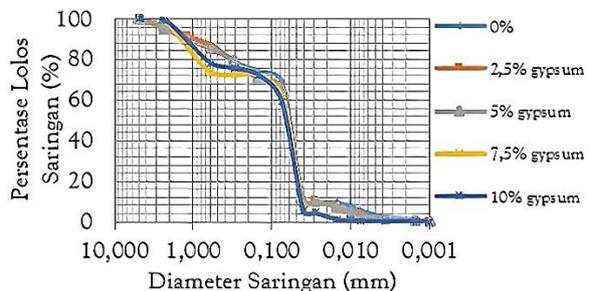
Gambar 4. Hubungan Batas Plastis dan Kadar Campuran Gypsum



Gambar 5. Hubungan Batas Susut dan Kadar Campuran Gyosum



Gambar 6. Hubungan Indeks Plastisitas dan Kadar Campuran Gypsum

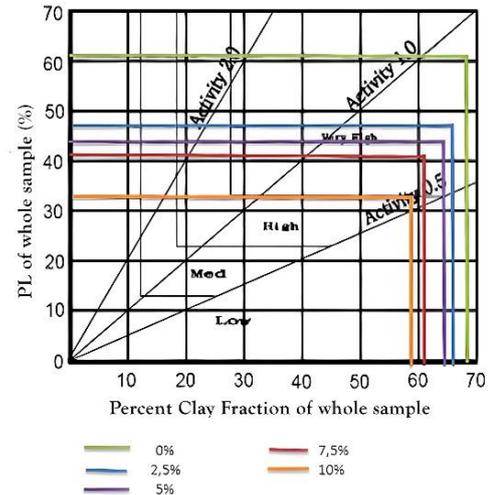


Gambar 7. Grafik antara Persentase Lolos Saringan dan Diameter Saringan

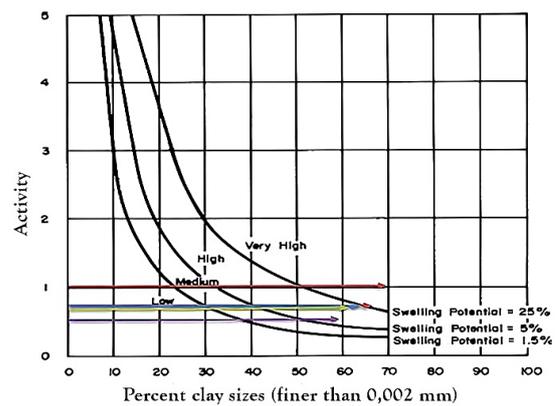
Nilai kelompok Indeks (GI) dipengaruhi oleh persen lolos saringan No.200, LL, dan PI. Nilai GI cenderung menurun dengan semakin banyaknya penambahan persentase campuran *gypsum*. Nilai GI pada tanah asli sebesar 41,10 sedangkan nilai GI terendah terdapat pada persentase penambahan *gypsum* 10% yakni sebesar 18,97. Menurut klasifikasi AASTHO pada tanah asli dan tanah campuran termasuk dalam kelompok A-7 dengan persentase lolos saringan no.200 > 36%, nilai LL > 41%, nilai PI > 11%, nilai GI > 20. Tanah asli dan tanah persentase campuran *gypsum* 2,5% termasuk dalam kelompok A-7-6 atau tanah berlempung sedang sampai buruk sebagai *subgrade* jalan dengan nilai batas plastis < 30, sedangkan tanah persentase campuran *gypsum* 5%, 7,5%, dan 10% termasuk dalam kelompok A-7-5 atau tanah berlempung sedang sampai buruk sebagai *subgrade* jalan dengan nilai batas plastis > 30. Semakin besar nilai batas plastis maka tanah lebih baik, hal tersebut menunjukkan bahwa tanah pada kelompok A-7-5 lebih baik dari A-7-6 sebagai *subgrade* jalan. Klasifikasi USCS dengan sampel pengujian yakni persentase 0%, 2,5%, 5%, dan 7,5% termasuk dalam kelompok CH yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi dengan persentase lolos saringan no.200 > 50%, nilai LL > 50%, kemudian nilai PI dan LL di grafik plastisitas pada tabel III.6 berada di atas garis A. Tanah dengan persentase campuran 10% *gypsum* termasuk kelompok MH atau tanah lanau anorganik plastisitas tinggi dengan persentase lolos saringan no.200 > 50%, nilai LL > 50%, kemudian nilai PI dan LL di grafik plastisitas pada tabel III.6 berada di bawah garis A dengan nilai LLR 0,863 maka dikelompokkan pada MH karena LLR>0,75.

Metode yang digunakan untuk mengklasifikasi derajat pengembangan tanah dan mineral tanah dapat dilihat pada Tabel 2. Klasifikasi menurut Van Der Merwe (1964) menggunakan nilai indeks plastisitas dan persen fraksi lempung (CF). Grafik potensi pengembangan antara indeks plastisitas dan persentase fraksi lempung dapat dilihat pada Gambar 8. Pada metode Chen (1975), nilai indeks plastisitas tanah dapat digunakan untuk mengetahui potensi pengembangan tanah. Penambahan

persentase *gypsum* mengakibatkan potensi pengembangan semakin menurun yaitu dari potensi pengembangan *very high* sampai *medium*. Hasil perhitungan dari metode Seed (1962) menunjukkan nilai aktivitas tanah dan potensi pengembangan mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase campuran *gypsum*. Grafik antara fraksi lempung dan aktivitas dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Hubungan indeks plastisitas dan persentase fraksi lempung.



Gambar 9. Grafik antara persentase fraksi lempung dan aktivitas

Tabel 2. Klasifikasi Derajat Pengembangan Tanah dan Mineral Tanah

Jenis pengujian		Variasi	Tanah Asli	2,5% <i>gypsum</i>	5% <i>gypsum</i>	7,5% <i>gypsum</i>	10% <i>gypsum</i>
Indek Plastisitas (%)		60,84	48,51	44,52	42,43	33,42	
Lolos Saringan no.200		69	66	64	61	59	
Menurut Van Der Marwe (1964)	Potensi pengembangan	Very High	Very High	Very High	Very High	High	
	Potensi pengembangan	Very High	High	High	High	Medium	
Menurut Seed, dkk (1962)	Aktivitas Potensi pengembangan	1,03	0,87	0,82	0,81	0,68	
	Indeks Susut (SI)	72,94	67,42	66,57	63,77	60,62	
Raman (1967)	Derajat Ekspansif	Very High	Very High	Very High	Very High	Very High	
	Specific Gravity	2,683	2,688	2,694	2,701	2,712	
Menurut DAS (1985)	Mineral		Sodium dan Montmorillonite	Sodium dan calcium feldspar atay Chlorite			

Hasil perhitungan *Index Shrinkage* (SI) pada Tabel 2. Nilai tatanah asli dan tanah campuran lebih dari 40% maka disimpulkan bahwa derajat pengembangan tanah asli dan campuran termasuk sangat tinggi (*very high*) Raman (1967). Klasifikasi mineral dengan menggunakan nilai *spesific gravity* didapatkan bahwa tanah asli termasuk dalam kelompok *montmorillonite* yang memiliki potensi pengembangan paling tinggi, sedangkan pada variasi campuran *gypsum* 2,5% sampai 10% termasuk mineral *sodium* dan *calcium feldspar* atau *Chlorite* Das (1985).

3.3 Uji Sifat Mekanis Tanah

Uji sifat mekanis meliputi uji pemadatan (*Standard Proctor*) dan uji Konsolidasi. Hasil uji pemadatan dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai kadar air optimum menunjukkan bahwa kadar air optimum terus mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase penambahan *gypsum*. Kadar air optimum tertinggi ada pada tanah asli yakni 27%, sedangkan nilai kadar air terendah terdapat pada tanah campuran dengan persentase campuran *gypsum* 10% yakni sebesar 21%. Grafik kadar air optimum dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 10.

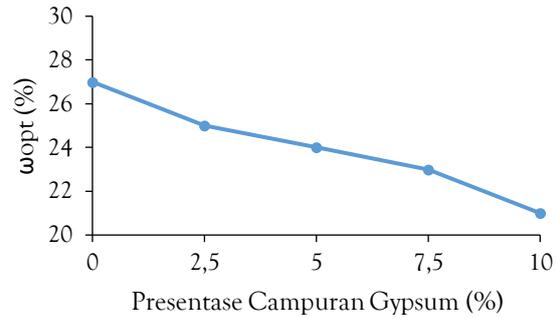
Nilai berat volume kering menunjukkan bahwa semakin bertambahnya persentase campuran *gypsum* maka berat volume kering akan semakin meningkat. Berat volume kering tertinggi terdapat pada tanah campuran dengan persentase *gypsum* 10% yaitu sebesar 1,505 gr/cm³, sedangkan berat volume kering terendah terdapat pada tanah asli yakni sebesar 1,280 gr/cm³. Kenaikkan berat volume kering maksimum disebabkan karena terjadinya sementasi sehingga butiran tanah lebih besar dan mengeras seiring bertambahnya campuran *gypsum* yang ditandai oleh menurunnya kadar air optimum mulai dari persentase 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% *gypsum*. Hal tersebut menyebabkan tanah akan menjadi lebih padat dan berat volume kering meningkat. Hubungan berat volume kering maksimum dan persentase campuran pada Gambar 11.

Tabel 3. Hasil Uji Pemadatan Tanah Asli dan Campuran

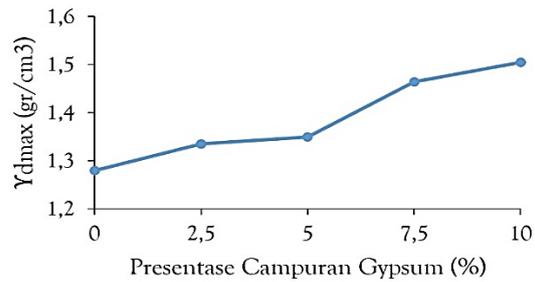
Variasi	ω_{opt} (%)	Y_{dmax} (gr/cm ³)
Tanah asli	27	1,280
Tanah asli + 2,5% <i>gypsum</i>	25	1,335
Tanah asli + 5% <i>gypsum</i>	24	1,350
Tanah asli + 7,5% <i>gypsum</i>	23	1,464
Tanah asli +10% <i>gypsum</i>	21	1,505

Tabel 4. Hasil Uji Konsolidasi Tanah

Variasi (%)	<i>Coefficient of Consolidation</i> (Cv) (cm ² /detik)	<i>Compression Index</i> (Cc)	<i>Settlement of Consolidation</i> (Sc) (cm)
0,00	0,0339	0,3624	0,0063
2,50	0,0350	0,3357	0,0058
5,00	0,0423	0,3020	0,0050
7,50	0,0514	0,2027	0,0035
10,00	0,0531	0,1578	0,0027



Gambar 10. Hubungan Kadar Air Optimum dan Persentase Campuran



Gambar 11. Grafik antara Berat Volume Kering dan Persentase Campuran

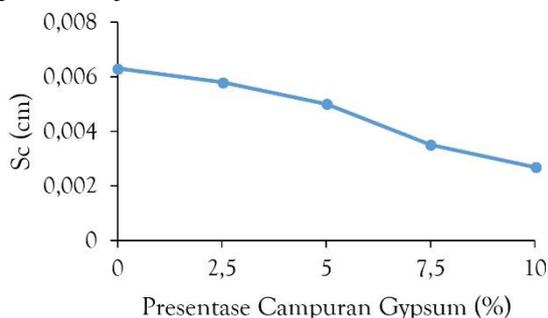
Hasil pengujian konsolidasi tanah asli dan tanah campuran didapatkan hasil nilai *Coefficient of Consolidation* (Cv), *Compression Index* (Cc), dan *Settlement of Consolidation* (Sc). Sesuai pada hasil tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara nilai Cv, Cc, dan Sc dengan persentase penambahan *gypsum*.

Nilai *Coefficient of Consolidation* (Cv) atau koefisien konsolidasi mengalami kenaikan seiring penambahan *gypsum* 0% sampai penambahan *gypsum* 10%. Nilai Cv tertinggi terdapat pada persentase penambahan *gypsum* 10% yakni sebesar 0,0531 cm²/detik. Kenaikkan nilai Cv disebabkan karena tanah yang bercampur dengan *gypsum* mengalami sementasi, sehingga menyebabkan butiran tanah semakin besar. Hal tersebut menyebabkan waktu konsolidasi semakin cepat karena *gypsum* mampu mempercepat waktu konsolidasi. Grafik antara Cv dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 12.

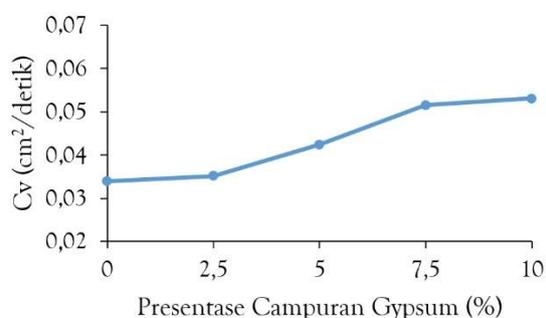
Nilai *Compression Index* (Cc) terus mengalami penurunan dari penambahan *gypsum* 0% sampai penambahan *gypsum* 10%. Nilai Cc tertinggi terdapat pada tanah asli atau penambahan campuran *gypsum* 0% yakni sebesar 0,3624. Penurunan nilai Cc disebabkan proses sementasi yang ditandai dengan butiran tanah semakin besar dan semakin padat seiring banyaknya kandungan *gypsum* pada tanah, karena *gypsum* menyebabkan tanah mudah mengalami pemampatan. Hal tersebut menyebabkan nilai indeks kompresibilitas menjadi relatif kecil apabila diberikan tekanan dari pembebanan. Grafik antara Cc dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 13.

Nilai *Settlement of Consolidation* (Sc) mengalami penurunan dari penambahan *gypsum* 0% sampai penambahan *gypsum* 10%. Nilai Sc tertinggi terdapat pada

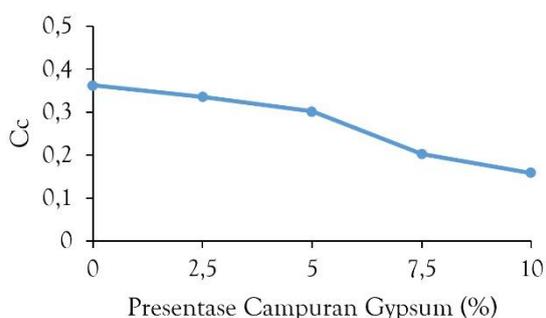
tanah asli atau persentase campuran *gypsum* 0% yakni sebesar 0,0063 cm. Penurunan nilai S_c ini dipengaruhi oleh besarnya nilai C_c , karena nilai C_c dan S_c berbanding lurus. Tanah yang semakin mampat menyebabkan nilai C_c mengalami penurunan maka nilai S_c juga mengalami penurunan. Grafik antara S_c dan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Hubungan *Settlement of Consolidation* (S_c) dan Persentase Campuran



Gambar 12. Hubungan *Coefficient of Consolidation* (C_v) dan Persentase Campuran



Gambar 13. Hubungan *Compression Index* (C_c) dan Persentase Campuran

4 KESIMPULAN

Hasil dari pengujian sifat fisis menunjukkan bahwa nilai *specific gravity*, nilai batas plastis, dan nilai batas susut mengalami kenaikan seiring banyaknya persentase kandungan *gypsum*. Pengujian sifat fisis juga menunjukkan bahwa nilai kadar air, batas cair, indeks plastisitas, dan lolos saringan No.200 mengalami penurunan seiring banyaknya persentase kandungan *gypsum*. Klasifikasi derajat potensi pengembangan tanah dan mineral menunjukkan bahwa rata-rata potensi pengembangan tanah tinggi sampai sangat tinggi. Hasil klasifikasi menurut AASTHO pada tanah asli dan persentase campuran *gypsum* 2,5% termasuk dalam kelompok A-7-6

atau tanah berlempung sedang sampai buruk sebagai *subgrade* jalan dengan nilai batas plastis < 30 , sedangkan pada persentase campuran *gypsum* 5%, 7,5%, dan 10% termasuk dalam kelompok A-7-5 tanah berlempung sedang sampai buruk sebagai *subgrade* jalan dengan nilai batas plastis > 30 . Hasil klasifikasi menurut USCS pada tanah asli, tanah campuran 2,5%, 5%, 7,5% termasuk dalam kelompok CH atau tanah lempung anorganik plastisitas tinggi, sedangkan tanah dengan persentase campuran 10% *gypsum* termasuk kelompok MH atau tanah lanau anorganik plastisitas tinggi. Hasil uji pemadatan dengan *Standard Proctor* menunjukkan seiring bertambahnya kandungan *gypsum* nilai kadar air optimum mengalami penurunan sedangkan nilai berat volume kering maksimum mengalami kenaikan. Hasil uji konsolidasi menunjukkan semakin besar campuran *gypsum* maka nilai C_v semakin naik sedangkan nilai C_c dan S_c semakin turun. Bahan campuran yang digunakan untuk stabilisasi adalah *gypsum*, *gypsum* mempengaruhi terhadap besarnya nilai penurunan tanah (S_c). Nilai S_c yang didapat setelah penelitian menunjukkan bahwa semakin banyaknya campuran *gypsum* nilai penurunan tanah semakin kecil yang artinya bahan campuran *gypsum* untuk stabilisasi tanah lempung cukup bagus dan bisa memperbaiki tanah lempung dengan plastisitas tinggi.

5 UCAPAN TERIMA KASIH

Pada penelitian ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta atas dukungan yang diberikan.

6 DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D 2435. *Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading*.
- Arifianto, Bayu., Moestofa, Benny., 2019, Evaluasi Daya Dukung Tanah Lunak Hasil Stabilisasi Kimia dengan Terra Firma di Daerah Gedebage, Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional* Vol.5, No.4, 1-11
- Az-Zahra, Zulfa. Aulia., 2020, Kinerja Limbah Gypsum Terhadap Uji Kepadatan Berat Pada Tanah Dasar Untuk Jalan. *Jurnal Student Teknik Sipil* Vol.2, No.1, 1-7
- Chen, F. H., 1975, *Foundations on Expansive Soil*, Elsevier Science Publishing Company, New York. 1-279
- Das, B. M., 1985, *Principles of Geoteknik Engineering*, PWS Publisher, Boston
- Dewi, Ratna., Sutejo, Yulindasari., Rahmadini, Rizki., Arfan, Muhammad., dan Rustam, Reffanda K., 2019, Pengaruh Limbah Plafon Gypsum Terhadap Penurunan Konsolidasi Pada Tanah Lempung Ekspansif. *Jurnal Penelitian dan Kajian bidang Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang* Vol.8, No.1, 1-7
- Fadillah, Yusuf., Kamil, Insan., Suroso, Priyo., 2021, Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Abu Cangkang Kelapa Sawit. *SNITT-Politeknik Negeri Balikpapan*, 1-7

- Indera K, Rama., Mina, Enden., Fakhri, Naufal., 2018 Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Dengan Memanfaatkan Limbah Gypsum Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai California Bearing Ratio (Cbr). *Jurnal Fondasi* Vol.7, No.1, 1-10
- Kusriyanto, Nur Sahid., Silmi S, Niken., Dananjaya, R. Harya., 2016, Pengaruh Elektroosmosis Pada Tanah Tanon Ditinjau Dari Parameter Konsolidasi Tanah Dengan Penambahan Abu Ampas Tebu". *E-jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL* 514 .
- Kuttah, D., & Sato, K. (2015). Review on the effect of gypsum content on soil behavior. *Transportation Geotechnics*, 4, 28-37
- Lindawati., Sari, Enda Kartika., 2019 Analisa Pengaruh Penambahan Lmbah Gypsum Terhadap Nilai Cbr Tanah Dasar Di Ruas Jalan Bk 1 Desa Tanjung Bulan Kabupaten Oku Timur. *Jurnal Deformasi* Vol.4-1, : ISSN 2477-4950, EISSN 2621-7929.
- Mudhakhir, Ibnu., Nurhidayati, Aryanti., Murtiono, Eko Supri., 2020 Peningkatan Daya Dukung Tanah Ekspansif Menggunakan Limbah Gypsum Dan Serbuk Kaca. *Jurnal IJCEE* Vol.6, No.1, 1-7.
- Kuncoro, Gumilang Pambudi., Nurhidayati, Aryanti., Sukatiman., 2019 Penggunaan Limbah Gypsum Dan Serbuk Kaca Untuk Memperkecil Potensi Pengembangan Tanah Ekspansif. *Jurnal IJCEE* Vol.5, No.2, Hal 15-19.
- Putri, Rizki Amanda., 2018 Pengaruh Stabilisasi Tanah Gambut Menggunakan Bios 44 Ditinjau Dari Pengujian Konsolidasi. *Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya*.
- Riwayati, Rr. Susi., Yuniar, Risma., 2018 Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Campuran Kapur Untuk Lapisan Tanah Dasar Konstruksi. *Jurnal Teknik Sipil UNPAL* Vol 8, No 2, 1-8.
- Seed, H. B., Woodward Jr., R. J., dan Lundgren, R., 1962, Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays. *Journal of Soil Mechanics. Foundation Division, American Society of Civil Engineers.* (SM3), 88 53-87.
- Siregar, Ridho Halomoan., Setyowati S.G, Anita., Nuryati, Sri., 2018 Limbah Gypsum Lis Plafon Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung. *Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam 45 Bekasi*
- Sudjianto Agus Tugas. 2014. *Tanah Ekspansif* . Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Van der Merwe, D. H., 1964 The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils. *Civil Engineerin Siviele Ingenieurswese*, 1964(6), 103-107.
- Wijayanti, Rizekika Arny., 2017 Efektifitas Gypsum Sebagai Bahan Stabilisasi Terhadap Nilai Penurunan Konsolidasi Subgrade Jalan Sukodono Sragen. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Wu, J., Liu, L., Deng, Y., Zhang, G., Zhou, A., & Xiao, H., 2022. Use of recycled gypsum in the cementbased stabilization of very soft clays and its micromechanism. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 14, 909-921.
- Zha, F., Qiao, B., Kang, B., Xu, L., Chu, C., & Yang, C. 2021. Engineering properties of expansive soil stabilized by physically amended titanium gypsum. *Construction and Building Materials*, 303.