

Penambahan Limbah Gypsum Dan Abu Gergaji Kayu Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung

Ninik Ariyani^{1*}, Abdi Dermawan Zendrato¹

¹Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta, INDONESIA

*E-mail : ninikariyani@ukrimuniversity.ac.id

ABSTRAK

Tanah lempung pada umumnya merupakan material tanah dasar yang buruk. Hal ini dikarenakan oleh sifat fisik tanah lempung yang mempunyai plastisitas tinggi, sehingga sering membuat suatu konstruksi diatas lapisan tanah tersebut mengalami beberapa masalah, salah satunya daya dukung yang rendah. Stabilisasi tanah merupakan salah satu alternatif dalam perbaikan sifat fisik tanah secara teknis dengan menggunakan bahan campuran tertentu. Tanah lempung dari Desa Putat, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul merupakan tanah lempung dengan sifat plastisitas tinggi. Pada penelitian ini dilakukan stabilisasi tanah dengan menggunakan limbah gypsum dengan variasi 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15% dan abu gergaji kayu 10% dengan pemeraman 24 jam dan 7 hari. Pemadatan tanah dilakukan dengan standar proctor. Uji kuat tekan bebas dilakukan pada tanah dengan berat volume kering maksimum (γ_{dmax}), dan kadar air optimum (W_{opt}) untuk masing-masing variasi campuran. Dari hasil pengujian tanah tanpa campuran indeks plastis tanah diperoleh 36,89%. Semakin banyak penambahan limbah gypsum indeks plastis tanah semakin menurun. Indeks plastis terendah diperoleh dari tanah campuran limbah gypsum 15%. Berat volume kering (γ_d) tertinggi, diperoleh pada campuran 15%. Lama pemeraman tidak terlalu berpengaruh terhadap hasil pengujian. Nilai q_u tertinggi diperoleh pada variasi 15% yaitu sebesar 0.387 kg/m².

Kata kunci: stabilisasi, limbah gypsum, abu gergaji kayu, UCT

ABSTRACT

Clay soils are generally poor basic soil material. This is due to the physical properties of clay soils that have high plasticity, so they often make a construction on top of the soil layer experience several problems, one of which is low carrying capacity. Soil stabilization is one alternative in improving the physical properties of the soil technically by using certain mixed materials. Clay soil from Putat Village, Patuk District, Gunung Kidul Regency is a clay soil with high plasticity properties. In this study, soil stabilization was carried out using gypsum waste with variations of 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, 15% and 10% wood saw ash with 24-hour and 7-day planting. Soil compaction is carried out to proctor standards. Free compressive strength tests are performed on soils with maximum dry volume weight (γ_{dmax}), and optimum moisture content (W_{opt}) for each mixture variation. From the results of soil testing without admixture, the soil plastic index was obtained 36.89%. The more the addition of gypsum waste, the plastic index of the soil decreases. The lowest plastic index is obtained from mixed soil of gypsum waste 15%. The highest dry volume weight (γ_d), obtained at a mixture of 15%. The length of the planting does not really affect the test results. The highest q_u value was obtained at a variation of 15%, which is 0.387 kg/m².

Key words: stabilization, gypsum waste, wood saw ash, UCT

1. PENDAHULUAN

Tanah dari Desa Putat, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul merupakan tanah lempung dengan sifat plastisitas yang tinggi dengan nilai indeks plastisnya 36,89 %. Tanah yang baik dalam pekerjaan Teknik Sipil diantaranya harus mempunyai indeks plastisitas < 17% (Hardiyatmo 2005). Stabilisasi tanah adalah usaha yang dilakukan untuk memperbaiki karakteristik lapisan tanah yang memiliki kuat dukung yang rendah dengan mencampurkan sesuatu kedalamnya sehingga dapat meningkatkan kualitas daya dukung tanah. Karakteristik tanah yang buruk sudah biasa ditemukan di lapangan, maka harus ada solusi untuk memperbaiki sifat tanah yang buruk menjadi baik.

Penggunaan limbah gypsum dan abu gergaji kayu sebagai bahan stabilisasi efektif terhadap tanah berjenis lempung. Limbah gypsum dan abu gergaji kayu memiliki ikatan ion Ca, Mg, dan Na yang menyebabkan bertambahnya ikatan antara partikel pada tanah. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian untuk stabilisasi tanah dari Desa Putat, Kecamatan Patuk, kabupaten Gunung Kidul menggunakan penambahan limbah gypsum dengan variasi 5%, 7,5%,

10%, 12,5%, 25% dan abu gergaji kayu 10% terhadap berat kering tanah. Variasi campuran limbah gypsum dan abu gergaji kayu ini dilakukan untuk mengetahui persentase limbah gypsum dan abu gergaji kayu pada uji kompaksi tanah yang menghasilkan berat kering tanah maksimum (γ_d maks) untuk digunakan pada pengujian kuat tekan bebas. Kondisi tanah di Desa Putat, Kecamatan Patuk, kabupaten Gunung Kidul termasuk tanah lempung dengan plastisitas tinggi, maka diharapkan dengan penambahan limbah gypsum dan abu gergaji kayu diperoleh peningkatan nilai kuat tekan bebas pada salah satu variasi campuran tanah dengan penambahan gypsum 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dan 15% dan abu gergaji kayu 10% dengan pemeraman 24 jam dan 7 hari dari sampel tanah yang tidak dicampur gypsum dan abu gergaji, terhadap sifat fisik tanah dan sifat mekanik tanah lempung ditinjau dari uji kuat tekan bebas. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan limbah gypsum dan abu gergaji kayu sebagai bahan stabilitas tanah lempung terhadap nilai kuat tekan bebas.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan

Bahan penelitian yang digunakan adalah tanah lempung dari Desa Putat, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul, limbah gypsum diambil dari toko gypsum yang merupakan sisa pembuatan plafon dan abu gergaji kayu diambil dari toko bangunan yang merupakan sisa penggergajian kayu.

2.2. Alat

Alat utama yang digunakan pada penelitian ini adalah satu set alat pengujian kadar air dan *specivic gravity*, satu set untuk pengujian batas-batas *atterberg* dengan alat *Casagrande*, satu set alat pengujian distribusi ukuran butir tanah, satu set alat pengujian kompaksi dengan standar proctor, dan satu set alat pengujian tekan bebas tanah.

2.3. Prosedur penelitian

Uji pendahuluan dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanis tanah dari Desa Putat, Kec. Patuk, Kab. Gunung Kidul. Pengujian sifat fisik dan mekanis tanah ini meliputi pengujian kadar air, *specific grafity*, batas-batas *atterberg*, distribusi ukuran butir tanah, dan pengujian kompaksi.

Pada pengujian ini tanah dicampur dengan limbah gypsum menggunakan variasi campuran 5%, 7,5%, 10%, 12,5% 15% dan abu gergaji kayu 10% terhadap berat kering tanah. Sebelum dilakukan pengujian tanah yang sudah dicampur dengan limbah gypsum dan abu gergaji kayu diperam terlebih dahulu selama 24 jam dan 7 hari untuk memberi kesempatan reaksi antara tanah, limbah gypsum dan abu gergaji kayu. Setiap variasi campuran limbah gypsum dan abu gergaji kayu dilakukan pengujian kadar air, *specific grafity*, batas-batas *atterberg*, distribusi ukuran butir tanah, dan kompaksi. Dari variasi campuran limbah gypsum dan abu gergaji kayu, hasil uji kompaksi yang menghasilkan berat kering maksimum dan kadar air optimum digunakan untuk pengujian kuat tekan bebas. Uji kuat tekan bebas dilakukan pada kadar air optimum.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Sifat Fisik Tanah Asli

Hasil uji sifat fisik tanah pada tanah tanpa campuran disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil uji sifat fisik tanah asli	
Pengujian	Tanah dari Putat, Patuk, Gunung Kidul
Specific gravity (Gs)	2,60
Batas cair tanah (LL), %	51,93
Batas plastis tanah (PL), %	15,04
Indek plastis tanah (PI), %	36,89
Persen lolos saringan no.200 %	95
Klasifikasi tanah USCS	CH
Berat volume kering maksimum (γ_d), gr/cm^3	1,17
Kadar air optimum (W_{opt}), %	35,21
Kuar tekan bebas (q_u) kg/cm^2	0,337

3.2. Hasil Uji Batas-Batas Atterberg Tanah Campuran

Hasil pengujian batas-batas Atterberg pada tanah dengan variasi limbah gypsum dan abu gergaji kayu 10% dengan pemeraman 24 jam disajikan pada Tabel 2, dan pada pemeraman 7 hari disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2 Hasil uji batas-batas Atterberg tanah pada pemeraman 24 Jam

No.	Variasi Campuran	Batas Cair (LL)	Batas Plastis (PL)	Indeks Plastis (IP)
1	Gypsum 5%	51,87	30,03	21,84
2	Gypsum 7,5%	51,61	30,83	20,78
3	Gypsum 10%	51,53	32,01	19,52
4	Gypsum 12,5%	50,93	33,56	17,37
5	Gypsum 15 %	48,26	34,81	13,45

Tabel 3 Hasil uji batas-batas Atterberg tanah pada pemeraman 7 hari

No.	Variasi Campuran	Batas Cair (LL)	Batas Plastis (PL)	Indeks Plastis (IP)
1	Gypsum 5%	50,93	31,17	19,76
2	Gypsum 7,5%	50,31	31,67	18,64
3	Gypsum 10%	50,22	32,78	17,44
4	Gypsum 12,5%	49,71	33,36	16,35
5	Gypsum 15 %	47,48	40,36	7,12

Dari hasil pengujian indeks plastis (IP) tanah tanpa campuran sebesar 36,89%. Ketika dilakukan penambahan variasi campuran limbah gypsum dan abu gergaji kayu terhadap tanah lempung, nilai indeks plastis (IP) mengalami penurunan baik pada pemeraman 24 jam maupun 7 hari. Semakin banyak persentase campuran limbah gypsum dan penambahan abu gergaji kayu yang diberikan maka nilai indeks plastis tanah semakin menurun, hal ini kemungkinan disebabkan karena campuran lebih menyerap banyak air sehingga membuat campuran limbah gypsum dan abu gergaji kayu dengan sampel tanah akan menjadi semakin keras dan kuat, dan terjadinya penggumpalan pada butir-butir tanah sehingga gumpalan butir tanah tersebut menjadi lebih besar yang menjadikan tiap-tiap partikel tanah terikat dengan kuat dan berpengaruh pada peningkatan reaksi terhadap butiran-butiran tanah menjadi merekat satu sama lain, setelah diperam tanah dengan campuran limbah gypsum dan abu gergaji kayu akan kering, maka pori-pori tanah tersebut sulit ditembus air. Semakin besar penambahan limbah gypsum dan abu gergaji kayu terhadap tanah, nilai batas cair (LL) juga semakin menurun.

3.3. Hasil Uji *Specific Gravity* (Gs) Tanah Campuran

Hasil uji *specific gravity* tanah dengan campuran disajikan pada Tabel 4.

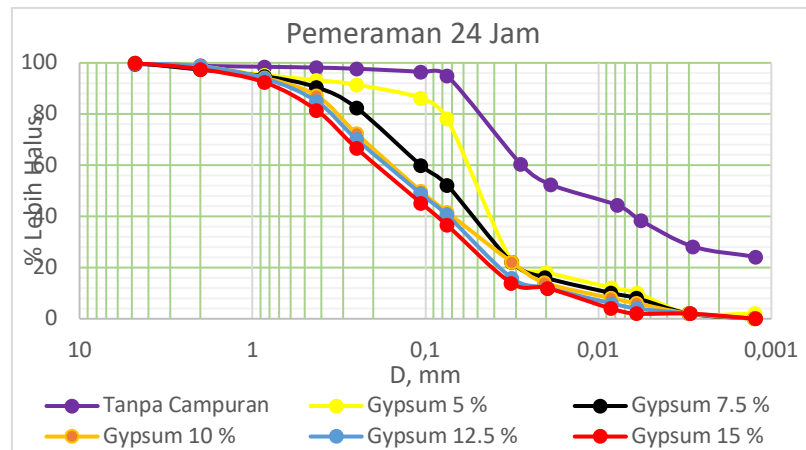
Tabel 4. Hasil uji *specific gravity* (Gs)

No.	Variasi Campuran Gypsum & Abu Gergaji Kayu 10 %	Pemeraman 24 jam	Pemeraman 7 hari
1	Gypsum 5%	2,62	2,62
2	Gypsum 7,5%	2,63	2,63
3	Gypsum 10%	2,64	2,65
4	Gypsum 12,5%	2,65	2,68
5	Gypsum 15 %	2,66	2,7

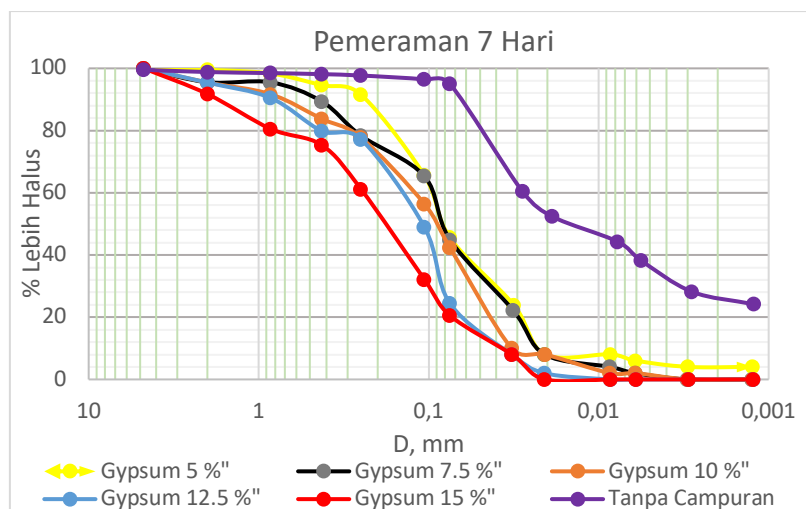
Dari hasil pengujian pada Tabel 4 terlihat bahwa semakin besar penambahan limbah gypsum dan abu gergaji kayu terhadap tanah maka nilai *Specific gravity* pada tanah semakin naik. Nilai *Specific gravity* tanah campuran berkisar 2,62 – 2,70, lamanya pemeraman tidak mempengaruhi nilai *Specific gravity*. Kenaikan nilai *Specific gravity* pada tanah campuran terhadap nilai *Specific gravity* tanah asli disebabkan karena kenaikan berat butir tanah campuran, tetapi kenaikan ini tidak terlalu signifikan.

3.4. Hasil Uji Distribusi Ukuran Butir Tanah

Hasil uji distribusi ukuran butir pada tanah campuran meliputi analisis saringan dan hidrometer dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Distribusi ukuran butir tanah dengan limbah gypsum dan abu gergaji kayu 10%



Gambar 2. Distribusi ukuran butir tanah dengan limbah gypsum dan abu gergaji kayu 10%

Hasil persentase lolos saringan nomor 200 dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5 Hasil uji distribusi ukuran butir tanah campuran lolos saringan No. 200

No.	Variasi Campuran Gypsum & Abu Gergaji Kayu 10 %	Pemeraman 24 jam	Pemeraman 7 hari
1	Gypsum 5%	78,20	45,58
2	Gypsum 7,5%	52,26	44,92
3	Gypsum 10%	41,69	42,44
4	Gypsum 12,5%	40,52	24,44
5	Gypsum 15 %	36,62	20,54

Persen lolos saringan nomor 200 pada tanah tanpa campuran diperoleh 95%, ketika dicampur dengan limbah gypsum dengan variasi 5% dan abu gergaji kayu 10% pada pemeraman 24 jam menjadi 78,20%, dan pada pemeraman 7 hari diperoleh nilai 45,58%, semakin banyak penambahan gypsum % lolos saringan nomor 200 nilai persentase butir yang diperoleh semakin turun, seperti terlihat pada Tabel 4.5. Semakin bertambah waktu pemeraman limbah gypsum dan abu gergaji kayu terhadap tanah juga mengakibatkan menurunnya persentase butir lolos saringan nomor 200. Hal ini disebabkan karena pengaruh reaksi limbah gypsum dan abu gergaji kayu terhadap tanah yang bersifat sementasi mengakibatkan terjadinya penggumpalan pada butir-butir tanah dan membentuk butiran baru dengan ukuran butiran lebih besar karena limbah gypsum dan abu gergaji kayu mampu merekatkan butiran tanah.

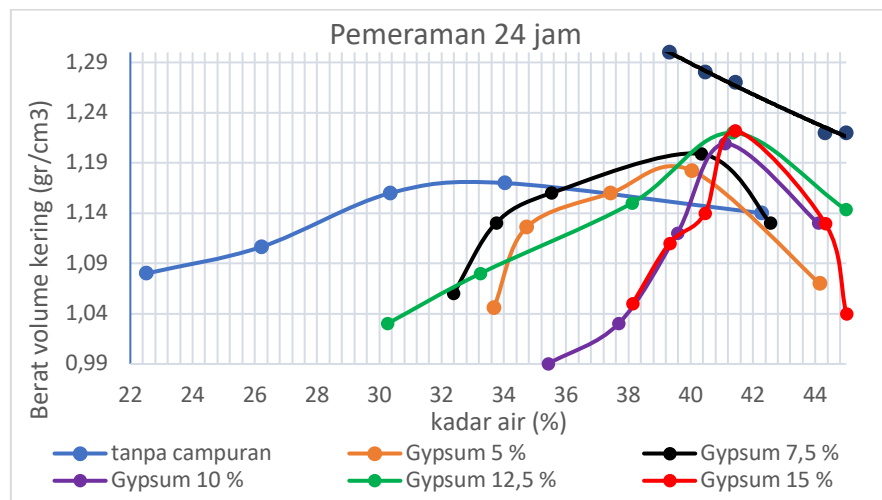
3.5. Hasil uji pemadatan tanah campuran

Hasil uji pemadatan tanah disajikan pada Tabel 6.

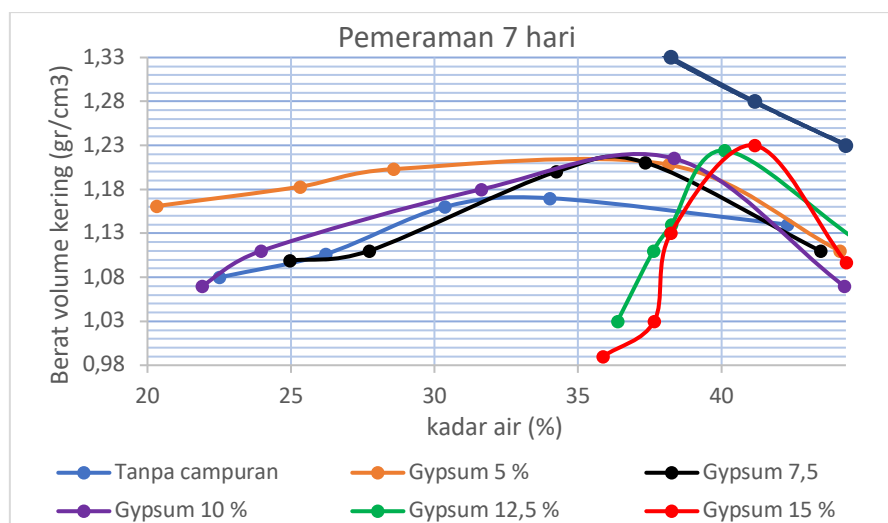
Tabel 6 Hasil pengujian pemadatan tanah

Variasi Gypsum dan abu gergaji kayu 10%	Pemeraman 24 jam		Pemeraman 7 hari	
	OMC (%)	MDD (gr/cm ³)	OMC (%)	MDD (gr/cm ³)
Tanpa Campuran	34,02	1,171		
Gypsum 5 %	39,45	1,185	35,22	1,214
Gypsum 7,5 %	40,34	1,20	36,3	1,217
Gypsum 10 %	41,10	1,21	37,35	1,222
Gypsum 12,5 %	41,35	1,212	40,1	1,224
Gypsum 15 %	41,45	1,222	41	1,231

Dari Tabel 6 diperoleh nilai MDD sebesar 1,171 gr/cm³ dan kadar air optimum sebesar 34,02%. Penambahan variasi campuran limbah gypsum dan abu gergaji kayu terjadi kenaikan nilai berat volume kering dan kenaikan kadar air optimum dibandingkan tanah asli. Hal ini disebabkan limbah gypsum dan abu gergaji kayu lebih menyerap banyak air dan mengurangi keretakan pada tanah. Selain itu limbah gypsum dan abu gergaji kayu berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*), sehingga akan meningkatkan berat volume keringnya dan sifat limbah gypsum dan abu gergaji kayu yang menyerap lebih banyak air berdampak pada peningkatan kadar air optimumnya dibandingkan pada kondisi tanah asli. Gambar 3 dan Gambar 4 disajikan grafik hubungan γ_d maks dan W_{opt} dengan variasi campuran limbah gypsum dan abu gergaji kayu 10 % dengan pemeraman 24 jam dan 7 hari



Gambar 3. Grafik hubungan γ_d maks dan W_{opt}



Gambar 4. Grafik hubungan γ_d maks dan W_{opt}

Tabel 7. Hasil uji kuat tekan bebas

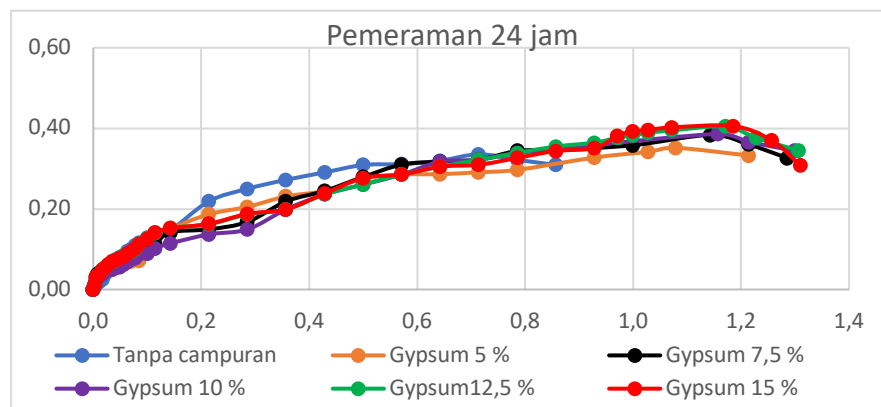
Variasi Gypsum & Abu Gergaji Kayu 10 %	Pemeraman 24 jam	Pemeraman 7 hari
	σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)
Gypsum 5 %	0,352	0,414
Gypsum 7,5 %	0,384	0,482
Gypsum 10 %	0,387	0,549
Gypsum 12,5 %	0,404	0,555
Gypsum 15 %	0,406	0,581

3.6. Hasil uji kuat tekan bebas (UCS) pada tanah campuran

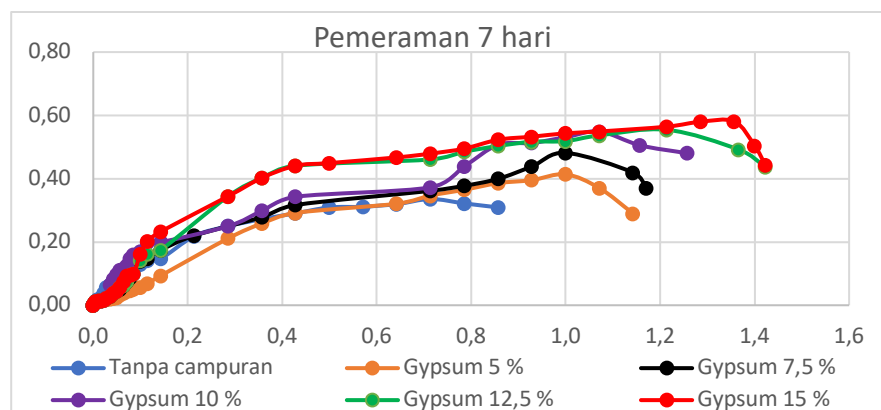
Uji nilai kuat tekan bebas (UCS) dilakukan pada waktu pemeraman yang berbeda yaitu pemeraman 24 jam dan 7 hari dengan tanah tanpa campuran dan tanah dengan campuran limbah gypsum dan abu gergaji kayu. Benda uji kuat tekan bebas (UCS) yang diuji berdasarkan nilai kepadatan maksimum ($\gamma_{d \text{ maks}}$) dan nilai kadar air optimum (W_{opt}) dari hasil uji pemadatan tanah (kompaksi) pada tanah tanpa campuran dan tanah dengan campuran, hasil uji kuat tekan bebas tanah disajikan pada Tabel 7.

Hasil pengujian kuat tekan bebas tanah asli diperoleh nilai kuat tekan bebas tanah (q_u) sebesar 0.337 kg/cm². Pada tanah dengan campuran limbah gypsum 5% dan abu gergaji kayu 10% dengan pemeraman 24 jam nilai kuat tekan bebas tanah (q_u) diperoleh 0.352 kg/cm², pada tanah campuran limbah gypsum 5% dan abu gergaji kayu 10% dengan pemeraman 7 hari nilai kuat tekan bebas tanah (q_u) diperoleh 0.414 kg/cm², semakin banyak persentase campuran dan waktu pemeraman terjadi peningkatan nilai kuat tekan bebas (q_u) dibandingkan pada kondisi tanah tanpa campuran tetapi peningkatan nilai kuat tekan bebas (q_u) tidak terlalu signifikan. Ikatan partikel-partikel yang berbentuk butiran pada tanah campuran yang semakin bertambah, berat sampel tanah yang digunakan untuk uji kuat tekan bebas berdasarkan nilai kepadatan maksimum ($\gamma_{d \text{ maks}}$) dari hasil pengujian pemadatan tanah, berpengaruh pada nilai kuat tekan bebas (q_u).

Hubungan antara tegangan dan regangan pada pengujian kuat tekan bebas tanah tanpa campuran dan dengan campuran dengan waktu pemeraman dapat dilihat pada Gambar 5. dan Gambar 6.



Gambar 5. Grafik hubungan antar tegangan (σ) kg/cm² dan regangan (ϵ) (%)



Gambar 6. Grafik hubungan antar tegangan (σ) kg/cm² dan regangan ϵ (%)

Pada Gambar 5. dan Gambar 6 pada waktu pemeraman 24 jam dengan variasi limbah gypsum 15% dan abu gergaji kayu 10% diperoleh nilai kuat tekan (q_u) $0,406 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai regangan (ϵ) diperoleh 1.18%. Pada pemeraman 7 hari dengan variasi limbah gypsum 15% dan abu gergaji kayu 10% terjadi peningkatan nilai kuat tekan (q_u) menjadi $0,581 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai regangan (ϵ) diperoleh 1.35%. Dari hasil uji kuat tekan bebas, lamanya pemeraman berpengaruh pada kenaikan nilai kuat tekan bebas (q_u) pada tanah campuran untuk masing-masing variasi campuran. Dari hasil pemeraman 7 hari nilai regangan (ϵ) terjadi penurunan dibandingkan pada pemeraman 24 jam pada masing-masing variasi campuran tetapi tidak terlalu signifikan. Setelah diperam tanah yang dicampurkan limbah gypsum dan abu gergaji kayu akan lebih kering dan keras, maka pori-pori butiran tanah tersebut sulit ditembus air. Semakin banyak penambahan gypsum dan abu gergaji kayu 10% dengan waktu peram yang lama maka akan menaikkan kuat tekan bebas (q_u) tanah, hal ini dikarenakan butiran-butiran limbah gypsum dan abu gergaji kayu yang semakin keras dan kuat sehingga campuran tanah dengan limbah gypsum dan abu gergaji mampu meningkatkan stabilitas pada tanah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data-data hasil penelitian yang diperoleh penulis mengambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Tanah lempung dari Desa Putat, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul memiliki indeks plastis 36,89%. Menurut klasifikasi USCS tanah ini merupakan tanah lempung dengan plastisitas tinggi (CH).
2. Semakin besar persentase penambahan limbah gypsum indeks plastisnya semakin menurun. Indeks plastis tanah terendah diperoleh pada penambahan limbah gypsum dengan variasi 15% dengan waktu pemeraman 24 jam yaitu 13,45% dan pada pemeraman 7 hari diperoleh 7,12%.
3. Semakin besar persentase penambahan limbah gypsum dan abu gergaji kayu maka persentase lolos saringan nomor 200 mengalami penurunan, disebabkan oleh limbah gypsum dan abu gergaji kayu yang mengakibatkan terjadinya penggumpalan pada tanah. Persentase lolos saringan nomor 200 terendah diperoleh pada variasi penambahan limbah gypsum variasi 15% dengan waktu pemeraman 24 jam yaitu 36,62% dan pada pemeraman 7 hari diperoleh 20,54%.
4. Peningkatan jumlah partikel padat pada tanah berdampak pada peningkatan berat volume keringnya dan sifat limbah gypsum dan abu gergaji kayu yang menyerap lebih banyak air berdampak pada peningkatan kadar air optimumnya dibandingkan pada kondisi tanah tanpa campuran.
5. Dari uji UCS diperoleh nilai q_u sebesar 0.337 kg/m^2 . Proses stabilisasi yang dilakukan pada berbagai variasi campuran limbah gypsum dan abu gergaji kayu diperoleh kesimpulan bahwa material limbah gypsum dan abu gergaji kayu efektif berfungsi meningkatkan daya dukung tanah yang distabilisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, W, Endang, S, H Yayuk A, 2015, "Pengaruh Penambahan Limbah Gypsum Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah Lempung", Jurnal Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung.
- Fatoni, Mochamad, 2014, Tinjauan Kuat Tekan Bebas dan Permeabilitas Terhadap Tanah Lempung yang Distabilisasi dengan Kapur dan Abu Ampas Tebu, Jurnal Mahasiswa Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Feny, I, W, 2011, "Pengaruh Penambahan Serbuk Gergaji Kayu Jati (Tektora grandits l.f) Pada panduan Tanah Liat dan Abu Sampah Terhadap Kualitas Batu Bata Merah di kabupaten Karang Anyar" Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Hardiyatmo, C.H, Edisi IV, Mekanika Tanah 1, Penerbit Gadj Mada University Press, Yogyakarta.
- Irma, W, K, 2017, "Stabilisasi Tanah Rawa Menggunakan Limbah Gergaji Kayu Dan Serbuk Limbah Botol Kaca Terhadap Peningkatan Nilai Cbr" Jurnal Forum Mekanika, Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik PLN, Jakarta.
- Ismed, R, T, U, Julio 2019 "Pengaruh Penambahan Kapur Padam Untuk Stabilisasi Tanah Lempung Dari Desa Natah Nglipar Gunung Kidul" Skripsi, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta.
- Khanif, A. 2008, "Stabilitas Tanah Lempung Menggunakan Limbah Padat Pabrik Kertas Terhadap Kuat Geser" Skripsi, Universitas Negeri Malang.
- Maryati, Yayuk A, 2011, "Analisis Perbandingan Penggunaan Limbah Gypsum Dengan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung", Jurnal Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung.
- Muhammad, T, K 2013, "Studi Perilaku Penurunan Tanah Kelempungan dengan Perkuatan Kolom Pasir", Jurnal, Jurusan Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hassanudin.