

**PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK KULIT KOPI TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS TANAH LEMPUNG YANG DI CAMPUR KAPUR 6%
(STUDI KASUS: JL. KETINTANG MADYA, KEC. JAMBANGAN, KOTA SURABAYA, JAWA TIMUR)**

Salsabilla Putri Elvaretta¹, Arik Triarso²
Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya
E-mail: [*putrisalsabilla787@gmail.com](mailto:putrisalsabilla787@gmail.com)

ABSTRAK

Tanah lempung merupakan salah satu jenis tanah bermasalah dalam rekayasa geoteknik karena memiliki daya dukung rendah, indeks plastisitas tinggi, serta sifat kembang-susut yang besar. Kondisi tersebut dijumpai pada kawasan Jl. Ketintang Madya, Kecamatan Jambangan, Kota Surabaya, sehingga diperlukan upaya stabilisasi untuk meningkatkan kualitas tanah. Salah satu alternatif yang berpotensi dimanfaatkan adalah limbah serbuk kulit kopi (SKK), yang mengandung selulosa dan belum dimanfaatkan secara optimal, dikombinasikan dengan kapur sebagai bahan stabilisasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan SKK dan kapur terhadap sifat fisis dan mekanis tanah lempung. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif menggunakan sampel terganggu (*disturbed sampling*). Variasi campuran meliputi tanah asli, tanah + kapur 6%, tanah + SKK 10% + kapur 6%, tanah + SKK 15% + kapur 6%, dan tanah + SKK 20% + kapur 6%. Pengujian meliputi kadar air, berat jenis, analisis saringan, batas Atterberg, pemadatan Proctor Standar, dan CBR *unsoaked* sesuai SNI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah asli termasuk klasifikasi A-2-6 (AASHTO) dengan indeks plastisitas sebesar 19,25% dan nilai CBR 1,3% pada penetrasi 0,1 inci. Penambahan SKK dan kapur mampu menurunkan indeks plastisitas hingga 10,98% pada campuran SKK 20% + kapur 6%, yang menunjukkan berkurangnya plastisitas tanah. Nilai CBR juga meningkat menjadi 5,2% pada penetrasi 0,1 inci dan 14,2% pada penetrasi 0,2 inci. Dengan demikian, kombinasi serbuk kulit kopi dan kapur efektif memperbaiki sifat fisis serta meningkatkan daya dukung tanah lempung, dengan komposisi optimum pada penambahan SKK 20% dan kapur 6%.

Kata kunci

Stabilisasi Tanah, Tanah Lempung, Serbuk Kulit Kopi, Kapur, *California Bearing Ratio* (CBR).

ABSTRACT

Clay soil is one of the problematic soil types in geotechnical engineering because it has low bearing capacity, a high plasticity index, and significant swelling and shrinkage properties. These conditions are found in the area of Jl. Ketintang Madya, Jambangan District, Surabaya City, necessitating stabilization efforts to improve soil quality. One potential alternative is coffee husk waste (SKK), which contains cellulose and has not yet been optimally utilized, combined with lime as a stabilizing agent. This study aims to analyze the effect of adding SKK and lime on the physical and mechanical properties of clay soil. The method used was a laboratory experiment with a quantitative approach employing disturbed sampling. The mixture variations included native soil, soil + 6% lime, soil + 10% SKK + 6% lime, soil + 15% SKK + 6% lime, and soil + 20% SKK + 6% lime. Tests included moisture content, specific gravity, sieve analysis, Atterberg limits, Standard Proctor compaction, and unsoaked CBR in accordance with SNI standards. The results showed that the undisturbed soil was classified as A-2-6 (AASHTO) with a plasticity index of 19.25% and a CBR value of 1.3% at a penetration of 0.1 inches. The addition of SKK and lime reduced the plasticity index to 10.98% in the 20% SKK + 6%

Keywords

lime mixture, indicating a decrease in soil plasticity. The CBR value also increased to 5.2% at a penetration of 0.1 inches and 14.2% at a penetration of 0.2 inches. Thus, the combination of coffee husk powder and lime effectively improves the physical properties and increases the bearing capacity of clay soil, with an optimal composition of 20% coffee husk powder and 6% lime.

Soil Stabilization, Clay Soil, Coffee Husk Powder, Lime, California Bearing Ratio (CBR)

1. PENDAHULUAN

Tanah lempung merupakan salah satu jenis tanah yang sering menimbulkan permasalahan dalam bidang rekayasa geoteknik karena memiliki daya dukung yang rendah, plastisitas tinggi, serta sifat kembang-susut (*swelling-shrinkage*) yang besar. Karakteristik tersebut menyebabkan tanah lempung rentan mengalami deformasi, penurunan, hingga kerusakan pada konstruksi yang dibangun di atasnya. Kondisi ini banyak dijumpai di wilayah Jl. Ketintang Madya, Kecamatan Jambangan, Kota Surabaya, yang didominasi tanah lempung lunak sehingga diperlukan upaya perbaikan tanah agar mampu memenuhi persyaratan sebagai lapisan tanah dasar (*subgrade*) pada konstruksi jalan maupun bangunan.

Salah satu metode yang banyak diterapkan untuk meningkatkan kualitas tanah lempung adalah stabilisasi kimia menggunakan bahan tambah. Kapur merupakan material stabilisasi yang telah terbukti mampu meningkatkan kekuatan tanah melalui reaksi pertukaran kation (*cation exchange*) dan flokulasi sehingga dapat menurunkan plastisitas serta meningkatkan stabilitas tanah. Di sisi lain, Indonesia sebagai salah satu produsen kopi terbesar di dunia menghasilkan limbah kulit kopi dalam jumlah besar yang sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah tersebut mengandung selulosa dan senyawa organik lain yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan alternatif stabilisasi tanah sekaligus mendukung pengurangan limbah pertanian yang ramah lingkungan.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pemanfaatan kulit kopi maupun kapur mampu meningkatkan karakteristik tanah lempung, seperti menurunkan kadar air optimum, meningkatkan berat volume kering, serta memperbaiki nilai California Bearing Ratio (CBR). Namun demikian, penelitian mengenai kombinasi serbuk kulit kopi dan kapur pada tanah lempung dengan karakteristik geoteknik khas wilayah Ketintang, Surabaya, masih sangat terbatas. Mengingat setiap lokasi memiliki karakteristik tanah yang berbeda, diperlukan penelitian yang lebih spesifik untuk mengetahui efektivitas kombinasi kedua bahan tersebut dalam memperbaiki sifat tanah di lokasi penelitian.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan serbuk kulit kopi dengan variasi 10%, 15%, dan 20% yang dikombinasikan dengan kapur sebesar 6% terhadap sifat fisis dan mekanis tanah lempung dari Jl. Ketintang Madya, Kecamatan Jambangan, Kota Surabaya. Pengujian yang dilakukan meliputi kadar air, berat jenis, analisis saringan, batas-batas Atterberg, pemadatan Proctor Standar, dan California Bearing Ratio (CBR). Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi alternatif metode stabilisasi tanah yang efektif, ekonomis, serta berkelanjutan melalui pemanfaatan limbah serbuk kulit kopi sebagai material konstruksi yang bernilai guna.

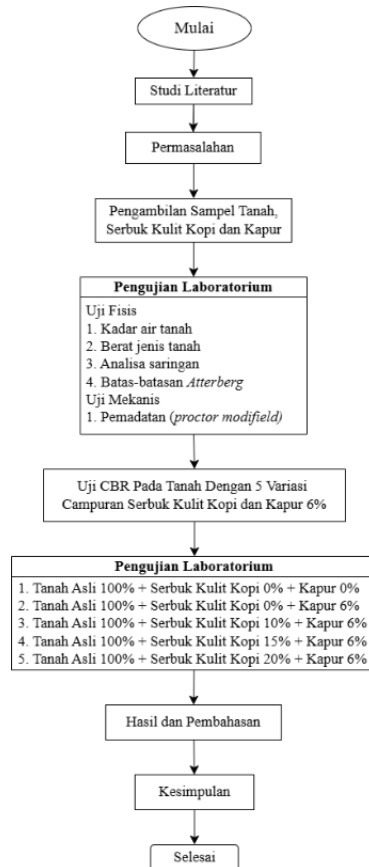
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh penambahan serbuk kulit kopi dan kapur terhadap sifat fisis dan mekanis tanah lempung. Sampel tanah diperoleh melalui metode disturbed sampling di kawasan Jl. Ketintang Madya, Kecamatan Jambangan, Kota Surabaya, Jawa Timur. Material yang digunakan meliputi tanah lempung sebagai bahan utama, serbuk kulit kopi, dan kapur sebagai bahan stabilisasi. Seluruh material yang digunakan dalam pengujian telah lolos saringan No. 200 agar diperoleh campuran yang homogen.

Variasi campuran yang digunakan terdiri atas tanah asli, tanah dengan penambahan kapur 6%, tanah + serbuk kulit kopi (SKK) 10% + kapur 6%, tanah + SKK 15% + kapur 6%, dan tanah + SKK 20% + kapur 6%. Persentase bahan tambah dihitung berdasarkan berat kering tanah. Variasi tersebut dipilih untuk mengetahui pengaruh peningkatan kadar serbuk kulit kopi terhadap perubahan karakteristik tanah lempung serta menentukan komposisi campuran yang memberikan hasil paling optimal.

Pengujian sifat fisis yang dilakukan meliputi kadar air berdasarkan SNI 1965:2019, berat jenis berdasarkan SNI 1964:2008, analisis saringan berdasarkan SNI 4141:2015, serta batas-batas Atterberg yang meliputi batas cair (SNI 1967:2008) dan batas plastis (SNI 1966:2008). Selanjutnya dilakukan klasifikasi tanah menggunakan sistem AASHTO berdasarkan hasil analisis ukuran butir dan batas Atterberg untuk mengetahui karakteristik tanah sebelum dan sesudah distabilisasi.

Pengujian sifat mekanis meliputi uji pemadatan Proctor Standar sesuai SNI 1743:2008 untuk memperoleh kadar air optimum dan berat isi kering maksimum, serta uji California Bearing Ratio (CBR) unsoaked berdasarkan SNI 1744:2012 untuk mengevaluasi peningkatan daya dukung tanah akibat penambahan serbuk kulit kopi dan kapur. Data hasil pengujian kemudian dianalisis secara deskriptif dan komparatif dengan membandingkan nilai setiap parameter pada seluruh variasi campuran, sehingga dapat diketahui pengaruh bahan stabilisasi terhadap sifat fisis dan mekanis tanah lempung serta diperoleh komposisi campuran yang paling efektif. Berikut adalah alur bagan alur kegiatan dari penelitian ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Sumber : Data Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian laboratorium digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik tanah asli serta menganalisis perubahan sifat tanah setelah dicampur serbuk kulit kopi dan 1kapur. Adapun jenis pengujian yang dilakukan meliputi sifat fisis dan mekanis tanah, yaitu Kadar Air, Berat Jenis, Analisa Saringan, serta Batas-batas Atterberg yang mencakup Batas Cair LL (Liquid Limit), Batas Plastis PL (Plastic Limit) dan IP (Indeks Plastisitas), Uji Pemadatan (Proctor), serta CBR (California Bearing Ratio).

a. Pengujian Kadar Air

Tabel 1. Hasil Pengujian Kadar Air Sampel Tanah Asli

Test No		1	2	3
No Cawan		1	10	11
Berat cawan kosong, (W1)	gr	13,00	11,00	11,00
Berat cawan + tanah basah, (W2)	gr	40,00	40,50	40,50
Berat cawan + tanah kering, (W3)	gr	32,7	32	31,6
Berat air, (W2 - W3)	gr	7,30	8,50	8,90
Berat tanah kering, (W3 - W1)	gr	19,70	21,00	20,60
Kadar air, w (W2-W3)/(W3-W1) x 100	%	37,06	40,48	43,20
Kadar air rata-rata, w	%	40,25		

Sumber : Data Penelitian

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Rata-rata Nilai Kadar Air

No.	Variasi Pengujian	Rata - Rata Kadar Air
1	Tanah Asli	40,25
2	Tanah Asli + Kapur 6%	35,31
3	Tanah Asli + SKK 10% + Kapur 6%	32,53
4	Tanah Asli + SKK 15% + Kapur 6%	29,66
5	Tanah Asli + SKK 20% + Kapur 6%	26,11

Sumber : Data Penelitian

Berdasarkan hasil pengujian kadar air, tanah asli memiliki nilai rata-rata kadar air sebesar 40,25%. Setelah ditambahkan kapur 6%, nilai kadar air menurun menjadi 35,31%. Pada campuran tanah dengan penambahan serbuk kulit kopi (SKK) dan kapur 6%, nilai kadar air terus mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase SKK, yaitu sebesar 32,53% pada campuran SKK 10%, 29,66% pada campuran SKK 15%, dan 26,11% pada campuran SKK 20%.

b. Pengujian Berat Jenis Tanah

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah Asli

Test No		1	2	3
No Piknometer		A2	A3	A4
Berat piknometer kosong, (W1)	gr	69	70,5	63,5
Berat piknometer + tanah kering, (W2)	gr	79	80,5	73,5
Berat piknometer + tanah kering + air, (W3)	gr	173,4	175,5	169,5
Temperatur campuran tanah + air, (T1)	°C	29	29	29
Berat piknometer + air, (W4)	gr	168,0	169,5	163,0
Berat tanah kering, (Wt= W2-W1)	gr	10	10	10
W5= Wt + W4		178,00	179,50	173,00
Berat Isi tanah, (W5-W3)	cc	4,60	4,00	3,50
Koreksi, K		0,9977	0,9977	0,9977
Gs (pada 20 °C)=Gs (pada T1 °C) x K =	gr/cc	2,174	2,500	2,857

Sumber : Data Penelitian

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Rata-rata Nilai Berat Jenis

No	Rekap Nilai Pengujian Berat Jenis		
1	Tanah Asli	=	2,510
2	Tanah Asli + Kapur 6%	=	2,421
3	Tanah Asli + SKK 10 % + Kapur 6%	=	2,362
4	Tanah Asli + SKK 15 % + Kapur 6%	=	2,326
5	Tanah Asli + SKK 20 % + Kapur 6%	=	2,273

Sumber : Data Penelitian

Hasil pengujian berat jenis (specific gravity) menunjukkan bahwa penambahan serbuk kulit kopi (SKK) dan kapur memengaruhi karakteristik fisik tanah. Nilai berat jenis tanah asli sebesar 2,510 mengalami penurunan menjadi 2,421 setelah penambahan kapur 6%, kemudian terus menurun menjadi 2,362, 2,326, dan 2,273 seiring bertambahnya kadar serbuk kulit kopi sebesar 10%, 15%, dan 20%. Penurunan ini disebabkan oleh serbuk kulit kopi yang memiliki massa jenis lebih rendah dibandingkan partikel tanah, sehingga semakin tinggi persentase serbuk kulit kopi yang ditambahkan, semakin rendah nilai berat jenis campuran. Meskipun demikian, penurunan berat jenis tidak menunjukkan penurunan kualitas tanah, karena kapur tetap berperan dalam proses stabilisasi melalui reaksi pozzolanik yang mampu meningkatkan ikatan antarpartikel tanah. Dengan demikian, perubahan nilai berat jenis menunjukkan bahwa variasi campuran SKK dan kapur memberikan pengaruh terhadap karakteristik fisik tanah dan

perlu dikaji bersama parameter mekanis lainnya untuk menentukan efektivitas stabilisasi.

c. Pengujian Analisa Saringan

Tabel 5. Hasil Pengujian Analisa Saringan Tanah Asli

Nomer Ayakan	Diameter lubang ayakan	Berat tanah yang tertahan diatas tiap-tiap ayakan	% Berat tanah yang tertahan diatas tiap-tiap ayakan	% Komulatif dari tanah yang tertahan	% Tanah yang lolos tiap-tiap ayakan
4	4,75	0	0	0,00	100
10	2	0	0	0,00	100
20	0,85	0	0	0,00	100
40	0,425	0	0	0,00	100
60	0,25	72	22,02	22,02	77,98
100	0,15	139	42,51	64,53	35,47
200	0,075	40	12,23	76,76	23,24
Pan		76	23,24	100	0,00

Sumber : Data Penelitian

Dalam pengujian analisa saringan ini menggunakan satu set saringan didapatkan bahwa hasil pada ayakan No. 4 – No. 40 tanah yang lolos sebesar 100% dari tanah yang dilakukan pengujian. Pada ayakan No. 200 tanah yang lolos sebesar 23,24%.

d. Pengujian Batas-Batas Atterbeg

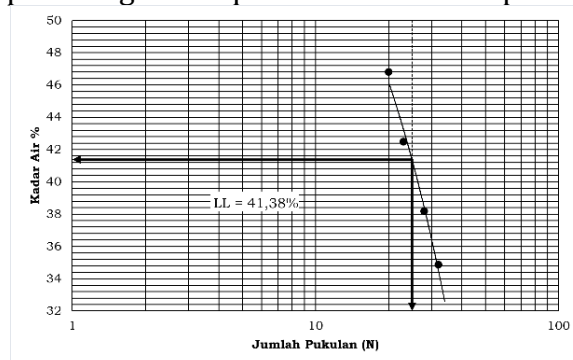
1) Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*)

Tabel 6. Hasil Pengujian Batas Cair Tanah Asli

Test No	1	2	3	4
No Cawan	1	10	11	12
Berat cawan kosong, (W1) gr	13,00	11,50	12,50	10,50
Berat cawan + tanah basah, (W2) gr	47,06	39,00	46,63	36,80
Berat cawan + tanah kering, (W3) gr	36,20	30,80	37,20	30,00
Berat air, (W2 - W3) gr	10,86	8,20	9,43	6,80
Berat tanah kering, (W3 - W1) gr	23,20	19,30	24,70	19,50
Kadar air, $w = (W2 - W3) / (W3 - W1) \times 100$ %	46,81	42,49	38,18	34,87
Jumlah pukulan, N	13	23	28	32
Batas cair (<i>Liquid Limit</i>), LL = %	41,38			

Sumber : Data Penelitian

Data perhitungan yang dihasil dari pengujian batas cair (*liquid limit*) yang kemudian kemudian diperoleh grafik *liquid limit* tanah asli pada gambar (2).



Gambar 2. Grafik Batas Cair Tanah Asli

Sumber : Data Penelitian

Dari data grafik yang dihasilkan dari pengujian batas cair (*liquid limit*) sampel tanah asli terhadap jumlah ketukan dan kadar air diperoleh nilai batas cair sebesar $LL = 41,38\%$.

2) Pengujian Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Tabel 7. Hasil Pengujian Batas Plastis Tanah Asli

Test No		1	2	3	4
No Cawan		1	10	11	12
Berat cawan kosong, (W1)	gr	11,00	12,50	11,00	10,50
Berat cawan + tanah basah, (W2)	gr	14,00	15,50	15,00	14,00
Berat cawan + tanah kering, (W3)	gr	13,50	15,00	14,50	13,50
Berat air, (W2 - W3)	gr	0,50	0,50	0,50	0,50
Berat tanah kering, (W3 - W1)	gr	2,50	2,50	3,50	3,00
Kadar air, w (W2-W3)/(W3-W1)×100	%	20,00	20,00	14	16,67
Batas Plastis (Plastic Limit), PL =	%	17,74			

Sumber : Data Penelitian

Dari tabel batas plastis sampel tanah asli diatas diperoleh hasil rata-rata batas plastis sebesar 17,74 %

3) Indeks Plastisitas

Berdasarkan dari rumus indeks plastisitas yaitu $PI = LL - PL$ maka diperoleh nilai indeks plastisitas yang dapat dihitung dalam rumus sebagai berikut:

$$PI = LL - PL\%$$

$$PI = 41,38\% - 17,74\% = 23,64\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan indeks plastisitas diperoleh nilai PI sebesar 23,64%. Berdasarkan klasifikasi tersebut, nilai PI sebesar 23,64% menunjukkan bahwa tanah termasuk dalam kategori plastisitas tinggi.

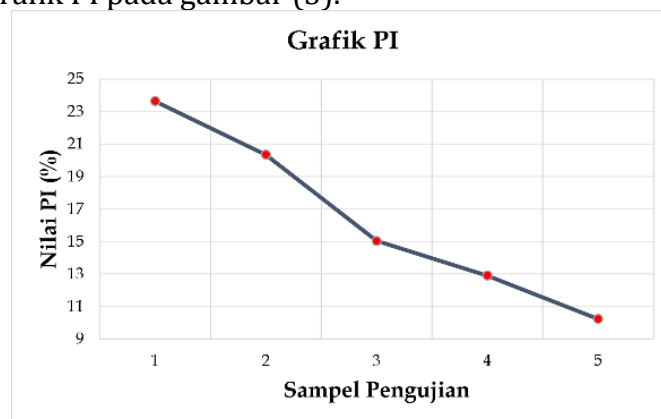
4) Rekapitulasi pengujian Batas-batas Atterberg

Tabel 8. Rekapitulasi Batas-batas Atterberg

No	Sampel Pengujian	PL	LL	PI	Satuan
1	Tanah Asli	17,74	41,38	23,64	%
2	Tanah Asli + Kapur 6%	19,29	39,63	20,34	%
3	Tanah Asli + SKK 10 % + Kapur 6%	23,70	38,73	15,03	%
4	Tanah Asli + SKK 15 % + Kapur 6%	24,58	37,48	12,90	%
5	Tanah Asli + SKK 20 % + Kapur 6%	25,58	35,81	10,23	%

Sumber : Data Penelitian

Data perhitungan yang dihasil dari pengujian batas-batas atterberg yang kemudian kemudian diperoleh grafik PI pada gambar (3).



Gambar 3. Grafik Nilai PI

Sumber : Data Penelitian

Berdasarkan grafik, nilai indeks plastisitas (PI) mengalami penurunan dari 23,64% pada tanah asli menjadi 10,23% pada campuran SKK 20% + kapur 6%. Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk kulit kopi dan kapur efektif mengurangi plastisitas tanah, sehingga tanah menjadi lebih stabil terhadap perubahan kadar air dan memiliki potensi kembang-susut yang lebih rendah. Dengan demikian, campuran tersebut mampu memperbaiki sifat fisis tanah.

e. Klasifikasi AASHTO

Tabel 9. Data Rekapitulasi Tanah Asli

No	Parameter	Hasil	Satuan
1	Pengujian Kadar Air	40,25	%
2	Pengujian Berat Jenis Tanah	2,510	%
3	Pengujian Analisa Saringan		
	#4 (4,75)	100	%
	#10 (2)	100	%
	#20 (0,85)	100	%
	#40 (0,425)	100	%
	#60 (0,25)	77,98	%
	#100 (0,075)	35,47	%
	#200 (0,075)	23,24	%
4	Pengujian Batas-Batas Atterberg		
	Batas Cair (LL)	40,15	%
	Batas Plastis (PL)	17,74	%
	Indeks Plastisitas (PI)	22,41	%

Sumber : Data Penelitian

Berdasarkan hasil analisis saringan dan batas Atterberg, tanah pada penelitian ini diklasifikasikan menurut sistem AASHTO sebagai kelompok A-2-6, yaitu tanah granular yang mengandung lempung. Klasifikasi ini didasarkan pada persentase lolos saringan No. 200 sebesar 23,24%, dengan nilai *Liquid Limit* (LL) 40,15%, *Plastic Limit* (PL) 17,74%, dan *Plasticity Index* (PI) 22,41%. Nilai PI yang relatif tinggi menunjukkan bahwa tanah masih memiliki sifat plastis sehingga memerlukan proses stabilisasi untuk meningkatkan stabilitas dan daya dukungnya sebagai lapisan tanah dasar (*subgrade*).

f. Pengujian Proctor Standar

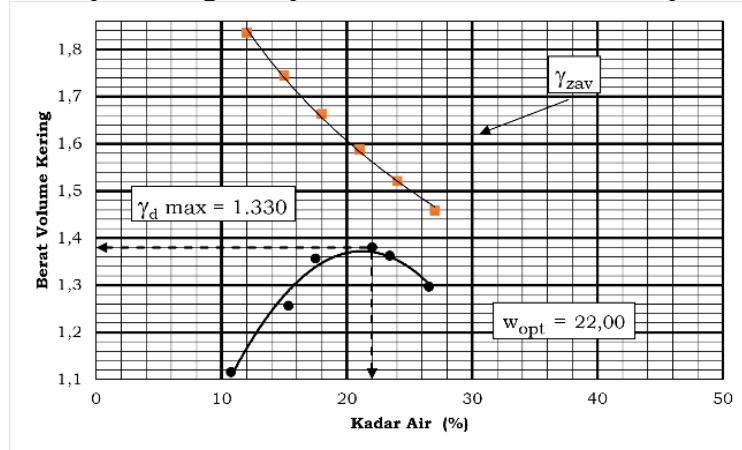
1) Sampel Tanah Asli

Tabel 10. Hasil Pengujian Proctor Test Tanah Asli

Test No	1	2	3	4	5	6
No cawan	2	6	8	10	15	18
Berat cawan, (W1)	gr 13,00	11,00	11,00	13,00	11,00	11,00
Berat cawan + tanah basah, (W)	gr 33,60	35,80	39,20	44,80	34,20	37,70
Berat cawan + tanah kering, (W _d)	gr 31,60	32,50	35,00	38,60	29,80	32,10
Berat Mold, (W4)	gr 1681	1681	1681	1681	1681	1681
Berat Mold + tanah basah, (W5)	gr 2795	2995	3130	3245	3210	3170
Berat tanah basah, W5-W4	gr 1114	1314	1449	1564	1529	1489
Volume Mold, V	cm ³ 944	944	944	944	944	944
Berat volume, $\gamma = (W5-W4)/V$	gr/cm ³ 1,180	1,392	1,535	1,657	1,620	1,577
Kadar air	% 10,75	15,35	17,50	24,22	23,40	26,54
Berat volume kering, γ_d	gr/cm ³ 1,066	1,207	1,306	1,330	1,313	1,247
w, untuk menentukan γ_{zav}	% 12	15	18	21	24	27
γ zero air void, γ_{zav}	gr/cm ³ 1,786	1,695	1,613	1,538	1,471	1,408

Sumber : Data Penelitian

Data perhitungan yang dihasil dari pengujian pemadatan (proctor standard) yang kemudian kemudian diperoleh grafik proctor standard tanah asli pada gambar (4).



Gambar 4. Grafik Proctor Test Tanah Asli

Sumber : Data Penelitian

Berdasarkan grafik pengujian pemadatan, diperoleh berat volume kering maksimum ($\gamma_d \text{ max}$) sebesar $1,330 \text{ gr/cm}^3$ pada kadar air optimum (w_{opt}) $22,00\%$.

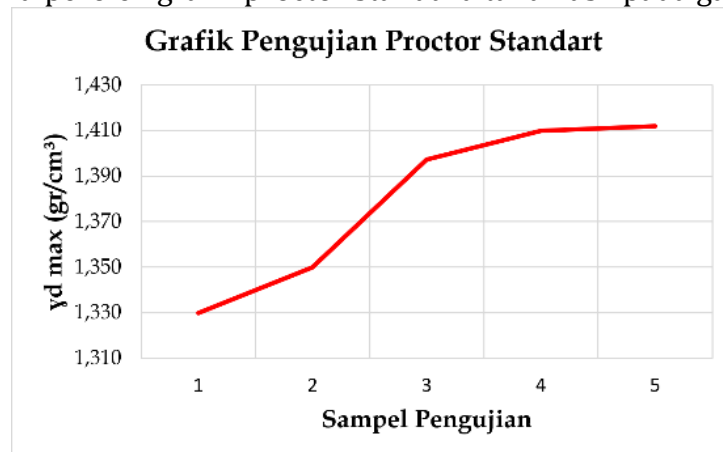
2) Rekapitulasi Nilai Pengujian Proctor Standar

Tabel 11. Rekapitulasi Nilai Pengujian Proctor Standart

Rekap Nilai Pengujian Proctor			
No.	Sampel Pengujian	$\gamma_d \text{ max}$	w_{opt}
1	Tanah Asli	1,330	22,00
2	Tanah Asli + Kapur 6%	1,350	23,00
3	Tanah Asli + SKK 10 % + Kapur 6%	1,397	21,00
4	Tanah Asli + SKK 15 % + Kapur 6%	1,410	24,50
5	Tanah Asli + SKK 20 % + Kapur 6%	1,412	23,00

Sumber : Data Penelitian

Data perhitungan yang dihasil dari pengujian pemadatan (Proctor Standar) yang kemudian kemudian diperoleh grafik proctor standard tanah asli pada gambar (5).



Gambar 5. Grafik Pengujian Proctor Standart

Sumber : Data Penelitian

Berdasarkan hasil pengujian Proktor Standar, nilai berat volume kering maksimum ($\gamma_d \text{ max}$) mengalami peningkatan pada setiap variasi campuran. Nilai $\gamma_d \text{ max}$ tanah asli sebesar $1,330 \text{ gr/cm}^3$, meningkat menjadi $1,350 \text{ gr/cm}^3$ setelah penambahan kapur 6%,

kemudian menjadi 1,397 gr/cm³ pada campuran SKK 10% + kapur 6%, 1,410 gr/cm³ pada campuran SKK 15% + kapur 6%, dan mencapai 1,412 gr/cm³ pada campuran SKK 20% + kapur 6%.

g. Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

1) Sampel Tanah Asli

Tabel 12. Hasil Pengujian CBR Tanah Asli

Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan Dial Beban		Beban (lb)	
	(mm)	(inch)	Atas	bawah	Atas	Bawah
0,00	0,00	0,00	0	-	0	-
0,25	0,320	0,013	0	-	0,0	-
0,50	0,635	0,025	0,1	-	0,1	-
1,00	1,270	0,050	0,3	-	0,3	-
1,50	1,905	0,075	0,7	-	0,8	-
2,00	2,540	0,100	1,2	-	1,3	-
3,00	3,810	0,150	2,3	-	2,5	-
4,00	5,080	0,200	3,8	-	4,2	-
6,00	7,620	0,300	6,5	-	7,1	-
8,00	10,160	0,400	8,8	-	9,6	-
10,00	12,700	0,500	10,5	-	11,5	-

Sumber : Data Penelitian

Pada pengujian CBR, nilai beban (lb) diperoleh dari hasil pembacaan dial proving ring yang dikalikan dengan faktor kalibrasi alat sesuai hasil kalibrasi, dimana faktor kalibrasi yang digunakan 1,093 (lb) . Adapun perhitungan untuk menentukan nilai beban (lb) dapat dilakukan sebagai berikut:

Beban (lb) = Pembacaan Dial × x Faktor Kalibrasi

Beban (lb) 0,1 = 1,2 × 1,093 = 1,3

Beban (lb) 0,2 = 3,8 × 1,093 = 4,2

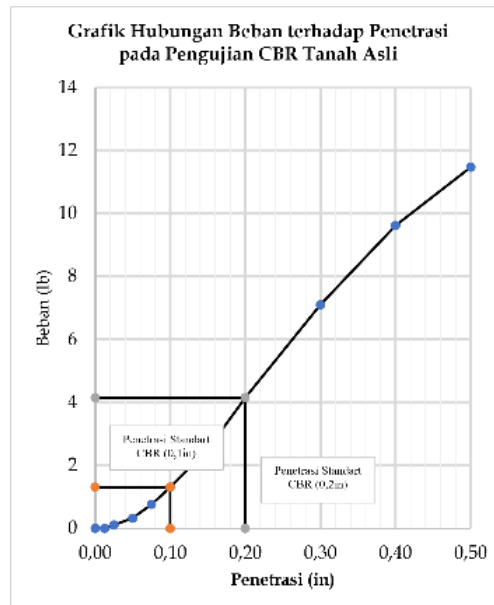
Perhitungan nilai CBR dilakukan dengan membandingkan beban hasil pengujian terhadap beban standar, yaitu 3000 lb atau setara dengan 13,34 kN untuk penetrasi 0,1 inci dan 4500 lb atau setara dengan 20,02 kN untuk penetrasi 0,2 inci. Adapun perhitungan untuk menentukan nilai CBR dapat dilakukan sebagai berikut:

$$CBR = \frac{BEBAN\ UJI}{BEBAN\ STANDART} \times 100\%$$

$$CBR_{0,1} = \frac{1,3}{13,34} \times 100\% = 9,83\%$$

$$CBR_{0,2} = \frac{4,2}{20,02} \times 100\% = 20,75\%$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai CBR sebesar 9,83% pada penetrasi 0,1 inci dan 20,75% pada penetrasi 0,2 inci. Karena nilai terbesar digunakan sebagai nilai CBR, maka diperoleh nilai CBR sebesar 20,75%. Hubungan antara beban dan penetrasi hasil pengujian dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar (6).



Gambar 6. Grafik CBR Tanah Asli

Sumber : Data Penelitian

Berdasarkan grafik hubungan beban terhadap penetrasi pada pengujian CBR tanah asli, terlihat bahwa nilai beban meningkat seiring bertambahnya penetrasi. Beban pada penetrasi 0,1 inci sebesar 1,3 lb dan pada penetrasi 0,2 inci sebesar 4,2 lb.

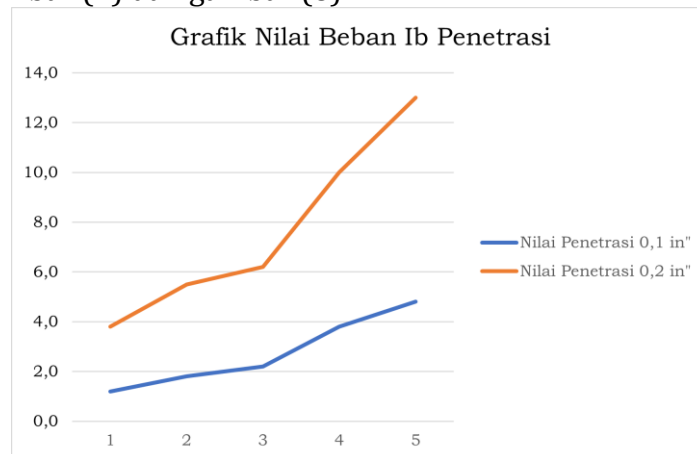
2) Rekapitulasi Nilai Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

Tabel 13. Rekapitulasi Nilai Pengujian CBR

No	Sampel Pengujian	lb 0,1	lb 0,2	CBR 0,1	CBR 0,2	Satuan
1	Tanah Asli	1,2	3,8	1,3	4,2	%
2	Tanah Asli + Kapur 6 %	1,8	5,5	2,0	6,0	%
3	Tanah Asli + SKK 10 % + Kapur 6 %	2,2	6,2	2,4	6,8	%
4	Tanah Asli + SKK 15 % + Kapur 6 %	3,8	10,0	4,2	10,9	%
5	Tanah Asli + SKK 20 % + Kapur 6 %	4,8	13,0	5,2	14,2	%

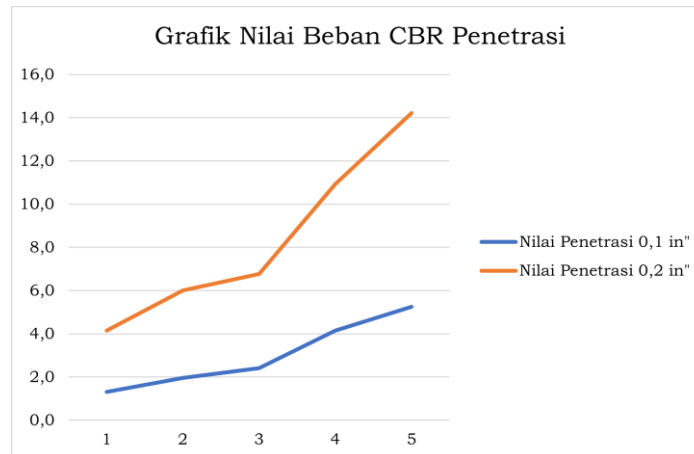
Sumber : Data Penelitian

Berdasarkan tabel diatas maka dapat digambarkan grafik hubungan pengaruh variasi abu sekam padi dan serat ijuk terhadap nilai beban lb dan nilai CBR *unsoaked* dapat dilihat pada gambar (7) dan gambar (8).



Gambar 7. Grafik Hubungan Nilai Beban lb Pada Penetrasi 0,1 in dan 0,2 in

Sumber : Data Penelitian



Gambar 8. Grafik Hubungan Nilai CBR Pada Penetrasi 0,1 in dan 0,2 in

Sumber : Data Penelitian

Berdasarkan hasil pengujian CBR, penambahan Serbuk Kulit Kopi (SKK) dan kapur 6% terbukti meningkatkan daya dukung tanah. Nilai beban pada penetrasi 0,1 inci meningkat dari 1,2 lb pada tanah asli menjadi 4,8 lb, sedangkan pada penetrasi 0,2 inci meningkat dari 3,8 lb menjadi 13,0 lb pada campuran SKK 20% + kapur 6%. Peningkatan tersebut diikuti oleh kenaikan nilai CBR, yaitu dari 1,3% menjadi 5,2% pada penetrasi 0,1 inci dan dari 4,2% menjadi 14,2% pada penetrasi 0,2 inci. Sesuai standar pengujian, nilai CBR pada penetrasi 0,2 inci digunakan sebagai nilai acuan. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan SKK dan kapur mampu memperbaiki ikatan antarpartikel tanah sehingga meningkatkan stabilitas dan daya dukungnya. Variasi campuran 20% SKK + 6% kapur menghasilkan nilai CBR tertinggi, sehingga menjadi komposisi yang paling efektif untuk meningkatkan kekuatan tanah dasar (*subgrade*).

4. KESIMPULAN

Dari data hasil pengujian laboratorium dan analisa yang telah dilakukan pada sampel tanah lempung di wilayah Jl. Ketintang, Kota Surabaya, Jawa Timur dapat diambil kesimpulan sebagai berikut::

- Berdasarkan hasil penelitian sifat fisis yang telah dilakukan, tanah asli pada lokasi penelitian termasuk tanah berbutir kasar yang mengandung lempung dengan klasifikasi A-2-6 menurut sistem AASHTO. Tanah asli memiliki kadar air sebesar 47,93%, berat jenis (G_s) sebesar 2,571, persentase lolos saringan No. 200 sebesar 23,24%, batas cair (LL) sebesar 41,38%, batas plastis (PL) sebesar 17,74%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 23,64%. Setelah dilakukan penambahan serbuk kulit kopi (SKK) dan kapur 6%, nilai batas cair menurun menjadi 35,81%, sedangkan batas plastis meningkat menjadi 25,58% pada campuran SKK 20% + kapur 6%. Penurunan nilai indeks plastisitas dari 23,64% menjadi 10,23% menunjukkan bahwa penambahan serbuk kulit kopi dan kapur mampu mengurangi plastisitas serta meningkatkan stabilitas tanah terhadap perubahan kadar air.
- Pada pengujian pemadatan standar (Proctor Standard), penambahan serbuk kulit kopi (SKK) dan kapur 6% memberikan pengaruh terhadap karakteristik pemadatan tanah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat volume kering maksimum (MDD) meningkat dari $1,330 \text{ gr/cm}^3$ pada tanah asli menjadi $1,412 \text{ gr/cm}^3$ pada campuran SKK 20% + kapur 6%. Peningkatan MDD ini menunjukkan bahwa campuran SKK dan kapur mampu memperbaiki tingkat kepadatan tanah. Selain itu, hasil pengujian CBR unsoaked menunjukkan peningkatan daya dukung tanah yang signifikan, di

mana nilai CBR meningkat dari 4,2% pada tanah asli menjadi 14,2% pada campuran SKK 20% + kapur 6% pada penetrasi 0,2 inci. Dengan demikian, penambahan serbuk kulit kopi dan kapur efektif dalam meningkatkan kepadatan, stabilitas, serta daya dukung tanah sehingga campuran tersebut layak digunakan sebagai material tanah dasar (subgrade) pada konstruksi jalan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 2000. *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Bell, F.G., 1996. 'Lime stabilization of clay minerals and soils', *Engineering Geology*, 42(4), pp. 223–237.
- Bell, F.G., 2021. *Soil Stabilization and Improvement*. Boca Raton: CRC Press.
- Cahyaka, A.D., Wibowo, A. and Setyawan, A., 2018. 'Karakteristik tanah lempung di sekitar Universitas Kadiri dan potensinya sebagai bahan konstruksi', *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), pp. 123–130.
- Darwis, M.R., 2018. *Praktikum Mekanika Tanah*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Das, B.M., 1993. *Principles of Geotechnical Engineering*. Boston: PWS Publishing Company.
- Efendi, R. and Hatta, M., 2014. 'Pemanfaatan limbah kulit kopi sebagai bahan bakar alternatif', *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 10(1), pp. 1–8.
- Fathani, T.F. and Adi, S., 1999. 'Pengaruh penambahan abu kulit kopi dan kapur terhadap peningkatan kuat tekan tanah lempung', *Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), pp. 45–52.
- Hardiyatmo, H.C., 2002. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Hardiyatmo, H.C., 2020. *Mekanika Tanah: Prinsip dan Aplikasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Harahap, F.S., 2018. 'Pemanfaatan limbah kulit kopi sebagai bahan ameliorasi tanah untuk peningkatan pertumbuhan tanaman', *Jurnal Agroekoteknologi*, 6(2), pp. 200–208.
- Ismail, M.H., Abdullah, N. and Hassan, M.A., 2022. 'Chemical composition and potential applications of coffee husk', *Journal of Environmental Science and Technology*, 15(3), pp. 150–158.
- Kartono, A., 2000. 'Studi pemanfaatan abu sekam padi sebagai bahan stabilisasi tanah lempung', *Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), pp. 89–96.
- Little, D.N., 1995. *Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime*. Arlington: National Lime Association.
- Mochtar, I.B., 2000. *Mekanika Tanah Lanjut*. Jakarta: Erlangga.
- Munirwan, R.P., Sundary, D., Munirwansyah and Bunyamin, 2020. 'Studi penambahan abu sekam kopi untuk stabilisasi tanah lempung'. (*Lengkapi nama jurnal, volume, nomor, dan halaman sesuai sumber asli*).