

Perilaku Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Lempung dengan Campuran Abu Sekam Padi sebagai Subgrade Jalan

Muhammad Syahrul¹, Musdalifah S², Andi Muh. Ashad Sadiq³,

¹Universitas Islam Makassar, ²Universitas Islam Makassar, ³Universitas Islam Makassar

¹muh.allung16@gmail.com, ²musdalifah.s.dty@uim-makassar.ac.id, ³am_ashad_shadiq@uim-makassar.ac.id

Abstrak

Tanah lempung memiliki daya dukung rendah sehingga memerlukan stabilisasi agar memenuhi persyaratan sebagai tanah dasar (subgrade) jalan. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik sifat fisik dan mekanik tanah lempung serta menentukan pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap peningkatan nilai California Bearing Ratio (CBR). Penelitian menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan variasi campuran abu sekam padi sebesar 0%, 10%, dan 20% terhadap berat kering tanah. Pengujian meliputi kadar air, berat isi, berat jenis, analisis saringan, batas Atterberg, kompaksi, dan CBR rendaman. Hasil penelitian menunjukkan tanah asli tergolong lempung anorganik plastisitas rendah hingga sedang (CL) menurut USCS dan A-7-6 menurut AASHTO. Nilai CBR optimum diperoleh pada campuran abu sekam padi 20% sebesar 26,97%, lebih tinggi dibandingkan tanah asli. Dengan demikian, abu sekam padi efektif meningkatkan daya dukung tanah lempung sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi subgrade jalan yang ekonomis dan ramah lingkungan.

Kata kunci: abu sekam padi, CBR, stabilisasi tanah, subgrade, tanah lempung.

Abstract

Clay soil inherently possesses low bearing capacity, necessitating stabilization to meet the requirements for road subgrade. This study aims to analyze the physical and mechanical characteristics of clay soil and determine the effect of adding rice husk ash on increasing the California Bearing Ratio (CBR) value. A laboratory experimental method was employed with variations in rice husk ash mixtures of 0%, 10%, and 20% by dry weight of the soil. The testing program included water content, unit weight, specific gravity, sieve analysis, Atterberg limits, compaction, and soaked CBR. The results indicated that the original soil is classified as inorganic clay of low to medium plasticity (CL) according to the USCS and A-7-6 according to the AASHTO classification system. The optimum CBR value was obtained at a 20% rice husk ash mixture, reaching

26.97%, which is significantly higher than that of the original soil. Consequently, rice husk ash is effective in improving the bearing capacity of clay soil, presenting a high potential for utilization as an economical and environmentally friendly road subgrade stabilization material.

Keywords: clay soil, CBR, rice husk ash, soil stabilization, subgrade.

I. PENDAHULUAN

Tanah merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai media pendukung berbagai konstruksi sipil, sehingga karakteristik dan kualitas tanah sangat menentukan keberhasilan pembangunan infrastruktur. Salah satu jenis tanah yang sering dijumpai di Indonesia adalah tanah lempung yang memiliki sifat plastis, mudah mengalami perubahan volume, serta daya dukung yang rendah sehingga kurang memenuhi syarat sebagai tanah dasar (subgrade) konstruksi. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan untuk meningkatkan kualitas tanah.

Salah satu metode yang banyak digunakan adalah stabilisasi tanah menggunakan abu sekam padi (ASP), yaitu limbah hasil pembakaran sekam padi yang mengandung silika sekitar 95% dan memiliki sifat pozzolanik. Selain berpotensi meningkatkan kualitas tanah, pemanfaatan ASP juga mendukung pengelolaan limbah pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa abu sekam padi memiliki potensi dalam meningkatkan kualitas material berbasis tanah. Namun, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada peningkatan kuat tekan bebas (UCT), kuat tekan bata, maupun penggunaan abu sekam padi yang dikombinasikan dengan bahan stabilisasi lain. Penelitian mengenai penggunaan abu sekam padi sebagai bahan tunggal terhadap perubahan sifat fisik tanah lempung dan peningkatan daya dukung tanah berdasarkan nilai California Bearing Ratio (CBR) sebagai tanah dasar (subgrade) jalan masih relatif terbatas.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap sifat fisik dan sifat mekanik tanah lempung dengan variasi campuran 0%, 10%, dan 20% berdasarkan pengujian California Bearing Ratio (CBR) laboratorium perendaman untuk memperoleh persentase campuran yang paling efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik sifat fisik dan mekanik tanah lempung asli?
2. Bagaimana sifat mekanik tanah lempung dengan campuran ASP?
3. Berapa persentase ASP menghasilkan daya dukung tanah lempung optimal?

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis karakteristik sifat fisik dan mekanik tanah lempung asli.
2. Menganalisis pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap sifat mekanik tanah lempung berdasarkan nilai California Bearing Ratio (CBR).
3. Menentukan persentase campuran abu sekam padi yang paling efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung sebagai tanah dasar (subgrade) jalan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Tanah Lempung

Tanah merupakan material dasar yang berfungsi sebagai media pendukung berbagai konstruksi sipil. Salah satu jenis tanah yang banyak dijumpai di Indonesia adalah tanah lempung, yaitu tanah berbutir halus dengan ukuran partikel kurang dari 0,002 mm yang tersusun atas mineral kaolinit, illit, dan montmorillonit[1]. Tanah lempung memiliki sifat kohesi dan plastisitas yang tinggi serta mudah mengalami perubahan volume akibat perubahan kadar air. Perubahan kadar air menyebabkan perubahan sifat fisik dan mekanik tanah sehingga daya dukung tanah lempung umumnya rendah dan kurang memenuhi persyaratan sebagai tanah dasar (subgrade) jalan.[2]

Pengertian Abu Sekam Padi

Abu sekam padi merupakan limbah hasil pembakaran sekam padi yang memiliki kandungan silika tinggi dan bersifat pozzolanik. Kandungan silika tersebut mampu bereaksi dengan mineral tanah sehingga membentuk ikatan yang dapat meningkatkan stabilitas, mengurangi plastisitas, serta memperbaiki daya dukung tanah[3]. Selain meningkatkan karakteristik tanah, pemanfaatan abu sekam padi juga menjadi alternatif pengelolaan limbah pertanian yang ramah lingkungan dan bernilai ekonomis [4].

Pengertian Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dasar tanah[5]. Parameter tersebut meliputi kadar air, berat jenis, berat isi, analisis ukuran butir, Liquid Limit (LL), Plastic Limit (PL), Shrinkage Limit (SL), dan Plasticity Index (PI). Hasil pengujian tersebut digunakan untuk menentukan klasifikasi tanah berdasarkan sistem Unified Soil Classification System (USCS) dan AASHTO serta menggambarkan perilaku tanah terhadap perubahan kadar air [6].

Pengertian Sifat Mekanik Tanah

Sifat mekanik tanah berkaitan dengan kemampuan tanah dalam menerima dan menahan beban. Pengujian sifat mekanik pada penelitian ini meliputi pengujian kompaksi dan California Bearing Ratio (CBR) [7]. Pengujian kompaksi bertujuan memperoleh nilai Optimum Moisture Content (OMC) dan Maximum Dry Density (MDD), sedangkan pengujian CBR digunakan untuk mengevaluasi daya dukung tanah sebagai lapisan subgrade. Semakin tinggi nilai CBR, semakin baik kemampuan tanah dalam menahan beban lalu lintas sehingga lebih layak digunakan sebagai tanah dasar jalan [8].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap sifat fisik dan mekanik tanah lempung sebagai material tanah dasar (subgrade) jalan. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Makassar.

Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tanah lempung yang berasal dari Kelurahan Mallawa, Kecamatan Mallusetasi, Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan, abu sekam padi (ASP), air suling, dan air raksa untuk pengujian Shrinkage Limit. Peralatan yang digunakan meliputi oven, timbangan digital, piknometer, gelas ukur, satu set saringan, alat Casagrande, alat kompaksi Proctor Standar, dan alat California Bearing Ratio (CBR).[9]

Prosedur Penelitian

Penelitian diawali dengan pengambilan dan persiapan sampel tanah. Selanjutnya dilakukan pengujian sifat fisik tanah asli yang meliputi kadar air, berat jenis, analisis ukuran butir, berat isi, Liquid Limit (LL), Plastic Limit (PL), Shrinkage Limit (SL), dan Plasticity Index (PI). Hasil pengujian digunakan untuk menentukan karakteristik awal dan klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS dan AASHTO.[10]

Tahap berikutnya adalah pencampuran tanah dengan abu sekam padi menggunakan variasi 0%, 10%, dan 20% dari berat kering tanah. Masing-masing campuran kemudian diuji kembali untuk mengetahui perubahan sifat fisik akibat penambahan abu sekam padi. Selanjutnya dilakukan pengujian kompaksi Proctor Standar untuk memperoleh nilai Optimum Moisture Content (OMC) dan Maximum Dry Density (MDD).

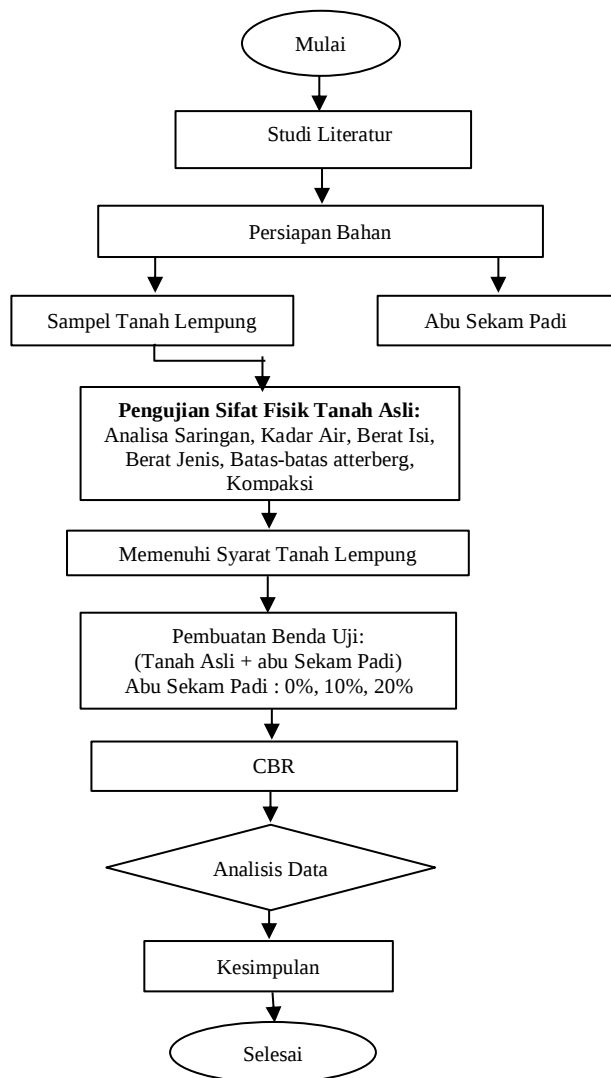
Benda uji dipadatkan menggunakan variasi energi pemadatan sebanyak 10, 35, dan 65 tumbukan. Setelah proses pemadatan, seluruh benda uji direndam (soaked) selama 96 jam, kemudian dilakukan pengujian California Bearing Ratio (CBR) laboratorium mengacu pada SNI 1744:2012.

Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan perubahan parameter sifat fisik dan nilai California Bearing Ratio (CBR) pada setiap variasi campuran abu sekam padi dan jumlah tumbukan. Hasil analisis digunakan untuk

mengevaluasi pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap peningkatan daya dukung tanah lempung serta menentukan variasi campuran yang paling efektif sebagai material tanah dasar (subgrade) jalan.

Alur Bagan Penelitian



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

Karakteristik Sifat Fisik Tanah Lempung

Pengujian sifat fisik dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal tanah lempung yang digunakan sebagai benda uji. Parameter yang diuji meliputi kadar air, berat jenis, batas-batas Atterberg, pemadatan, dan analisis saringan. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Tanah

Lempung

No	Pemeriksaan	Hasil	Satuan
		tanah asli	
1	Pemeriksaan Kadar Air (W)	32,90	%
2	Pengujian Berat Isi (γ)	1,46	g/cm ³
3	Pengujian Berat Jenis (Gs)	2,68	
4	Pengujian Batas-Batas Atterberg		
	1. batas cair (LL)	50,55	%
	2. batas plastis (PL)	26,13	%
	3. batas susut (SL)	22,25	%
5	Kompaksi		
	1. OMC	49,41	%
	2. MDD	1,06	g/cm ³
6	USCS = CL		
7	AASHTO = A-7-6		
8	Pengujian Analisa Saringan		
	#4 (4.75 mm)	100	%
	#8 (2.36 mm)	99,35	%
	#16 (1.18 mm)	97,88	%
	#30 (0.60 mm)	94,17	%
	#50 (0.30 mm)	87,70	%
	#100 (0.15 mm)	80,47	%
	#200 (0.075 mm)	72,46	%

Sumber Data : Hasil Pengujian Laboratorium Teknik Universitas Islam Makassar, 2026

Berdasarkan Tabel 4.1, tanah lempung memiliki kadar air sebesar 48,605%, berat jenis (Gs) 2,68, batas cair (LL) 47,51%, batas plastis (PL) 26,13%, batas susut (SL) 22,25%, berat isi kering maksimum 0,894 t/m³, kadar air optimum 26,69%, serta persentase lolos saringan No. 200 sebesar 72,46%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tanah didominasi oleh butiran halus sehingga tergolong tanah lempung.

Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa tanah memiliki plastisitas yang cukup tinggi dan daya dukung yang relatif rendah apabila digunakan sebagai tanah dasar jalan tanpa perlakuan stabilisasi. Oleh karena itu, penambahan abu sekam padi diharapkan mampu meningkatkan kualitas tanah sehingga memenuhi persyaratan sebagai material subgrade.

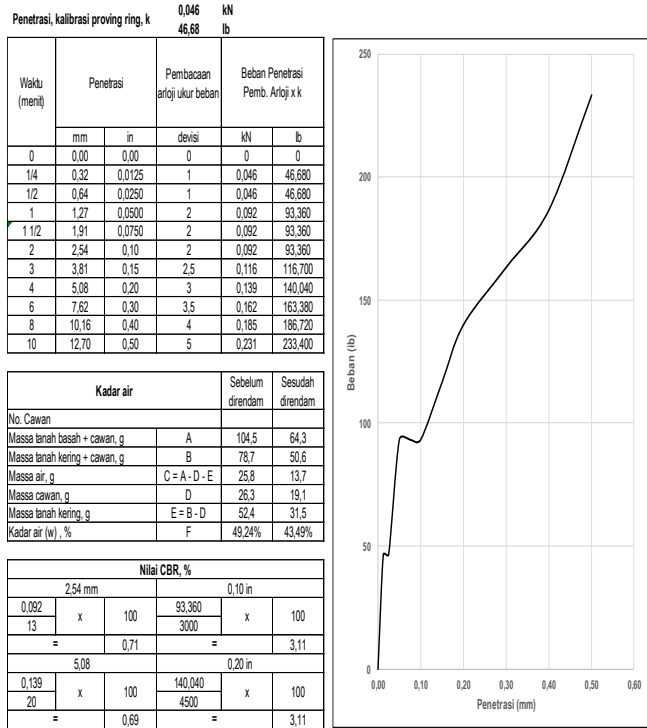
Pengaruh Abu Sekam Padi terhadap Nilai CBR

Pengujian California Bearing Ratio (CBR) dilakukan untuk mengetahui perubahan daya dukung tanah setelah distabilisasi menggunakan abu sekam padi dengan variasi campuran 10% dan 20%. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.2, 4.3, dan 4.4

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Nilai CBR Tanah Lempung Asli dengan Variasi Abu Sekam Padi

UJI CBR LABORATORIUM SNI 1744 : 2012					
Pembangunan, kalibrasi arloji ukur			= 0,01 mm		
Tanggal	11/05/2026	12/05/2026	13/05/2026	14/05/2026	
Jam	15.23				
Pembacaan, dev	443	442	442	442	
Perubahan, dev					
Pengembangan, %					

Densitas, No. Cetakan	Sebelum direndam	Sesudah direndam
Massa benda uji + cetakan, g	10506,6	10540,2
Massa cetakan, g	6237,6	6237,6
Massa benda uji basah, g	4269	4302,6
Isi cetakan, cm ³	2135,6	2135,6
Densitas basah (p), g/cm ³	2,00	2,01
Densitas kering (po), g/cm ³	1,34	1,40



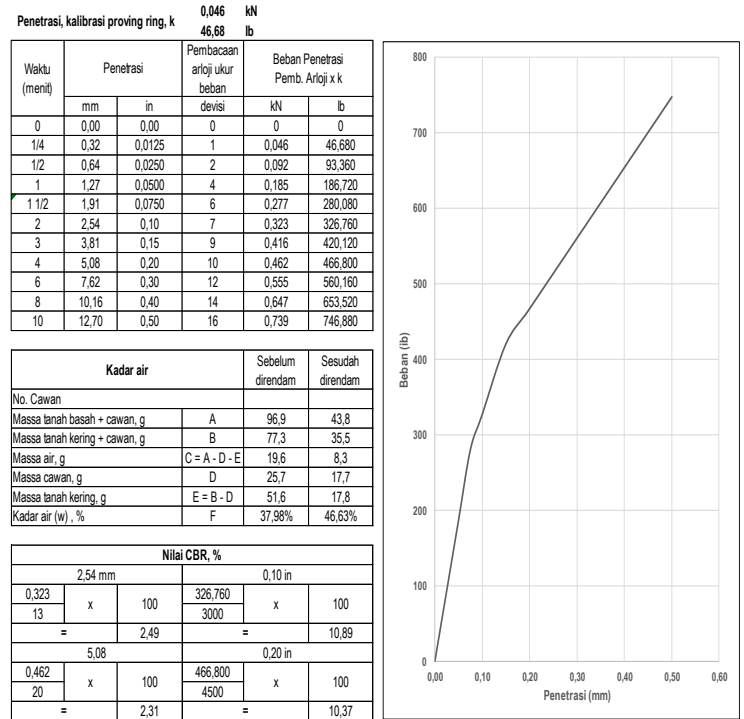
Catatan : Jumlah tumbukan / lapis : 65
Sumber: Hasil Olah Data

Pada pengujian tanah asli, nilai beban penetrasi yang diperoleh pada setiap kenaikan penetrasi masih relatif kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa tanah asli memiliki kemampuan menahan beban yang rendah. Nilai CBR tanah asli pada penetrasi 0,1 inch diperoleh sebesar 0,71% untuk tumbukan 10 kali, 3,11% untuk tumbukan 35 kali, dan 0,71% untuk tumbukan 65 kali. Sedangkan pada penetrasi 0,2 inch diperoleh nilai sebesar 0,58%, 3,11%, dan 2,59%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tanah asli memiliki daya dukung yang rendah sehingga kurang memenuhi persyaratan sebagai tanah dasar konstruksi jalan.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Nilai CBR Tanah Lempung dengan Variasi Abu Sekam Padi 10%

UJI CBR LABORATORIUM SNI 1744 : 2012					
Pembangunan, kalibrasi arloji ukur			= 0,01 mm		
Tanggal	18/05/2026	19/05/2026	20/05/2026	21/05/2026	
Jam	14.37				
Pembacaan, dev	481	479	479	480	
Perubahan, dev					
Pengembangan, %					

Densitas, No. Cetakan	Sebelum direndam	Sesudah direndam
Massa benda uji + cetakan, g	10458,1	10498,8
Massa cetakan, g	6297,6	6297,6
Massa benda uji basah, g	4160,5	4201,2
Isi cetakan, cm ³	2135,6	2135,6
Densitas basah (p), g/cm ³	1,95	1,97
Densitas kering (po), g/cm ³	1,41	1,34



Catatan : Jumlah tumbukan / lapis : 65
Sumber: Hasil Olah Data

Pada variasi campuran 10%, terjadi peningkatan nilai beban penetrasi dibandingkan tanah asli. Hubungan antara penetrasi dan beban menunjukkan bahwa tanah campuran memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap penetrasi piston. Nilai CBR pada penetrasi 0,1 inch diperoleh sebesar 6,22% pada tumbukan 10 kali, 7,78% pada tumbukan 35 kali, dan 10,89% pada tumbukan 65 kali. Sedangkan pada penetrasi 0,2 inch diperoleh nilai sebesar 7,26%, 8,30%, dan 10,37%. Peningkatan nilai CBR tersebut menunjukkan bahwa penambahan campuran 10% mampu memperbaiki sifat mekanis tanah dan meningkatkan daya dukung tanah.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Nilai CBR Tanah Lempung dengan Variasi Abu Sekam Padi 20%

UJI CBR LABORATORIUM SNI 1744 : 2012				
Pengembangan, kalibrasi arloji ukur = 0,01 mm				
Tanggal	22/05/2026	23/05/2026	24/05/2026	25/05/2026
Jam	11.18			
Pembacaan, dev	423	423	424	425
Perubahan, dev				
Pengembangan, %				

Densitas, No. Cetakan	Sebelum direndam	Sesudah direndam
Massa benda uji + cetakan, g	10318,1	10374,1
Massa cetakan, g	6271,3	6271,3
Massa benda uji basah, g	4046,8	4102,8
isi cetakan, cm ³	2135,6	2135,6
Densitas basah (p), g/cm ³	1,89	1,92
Densitas kering (po), g/cm ³	1,37	1,36

Penetrasi, kalibrasi proving ring, k 0,046 kN 46,68 lb				
Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan arloji ukur beban	Beban Penetrasi Pemb. Arloji x k
	mm	in	devisi	kN lb
0	0,00	0,00	0	0 0
1/4	0,32	0,0125	3	0,139 140,040
1/2	0,64	0,0250	6	0,277 280,080
1	1,27	0,0500	11	0,508 513,480
1 1/2	1,91	0,0750	15	0,693 700,200
2	2,54	0,10	18	0,832 840,240
3	3,81	0,15	22	1,017 1026,960
4	5,08	0,20	26	1,201 1213,680
6	7,62	0,30	30	1,386 1400,400
8	10,16	0,40	36	1,664 1680,480
10	12,70	0,50	41	1,895 1913,880

Kadar air		Sebelum direndam	Sesudah direndam
No. Cawan			
Massa tanah basah + cawan, g	A	64,4	82,4
Massa tanah kering + cawan, g	B	51,6	66
Massa air, g	C = A - D	12,8	16,4
Massa cawan, g	D	18,5	25,8
Massa tanah kering, g	E = B - D	33,1	40,2
Kadar air (w), %	F	38,67%	40,80%

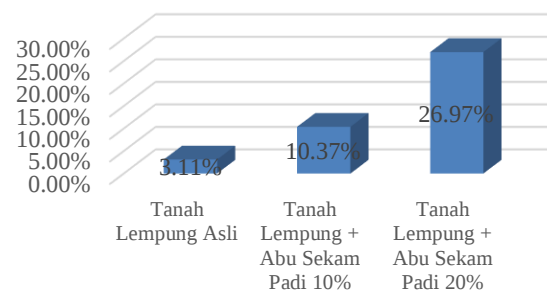
Nilai CBR, %			
2,54 mm		0,10 in	
0,832	x	840,240	x
13	100	3000	100
=	6,40	=	28,01
5,08		0,20 in	
1,201	x	1213,680	x
20	100	4500	100
=	6,01	=	26,97

Catatan : Jumlah tumbukan / lapis : 65

Sumber: Hasil Olah Data

Selanjutnya pada variasi campuran 20%, nilai CBR mengalami peningkatan yang lebih besar dibandingkan campuran 10% maupun tanah asli. Nilai CBR pada penetrasi 0,1 inch diperoleh sebesar 9,34% untuk tumbukan 10 kali, 23,34% untuk tumbukan 35 kali, dan 28,01% untuk tumbukan 65 kali. Sedangkan pada penetrasi 0,2 inch diperoleh nilai sebesar 9,34%, 20,75%, dan 26,97%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa campuran 20% memberikan pengaruh paling efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah.

Perbandingan Hasil CBR 0%, 10%, dan 20%



Sumber: Tabel Hasil Olah Data

Berdasarkan hasil pengujian CBR perbandingan ketiga variasi campuran dapat dijelaskan tanah asli pada tumbukan 65 memiliki nilai CBR sebesar 3,11% yang menunjukkan daya dukung tanah masih rendah dan belum memenuhi syarat yang baik sebagai tanah dasar (subgrade).

Pada campuran abu sekam padi 10% pada tumbukan 65 nilai CBR meningkat menjadi 10,37% peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi 10% memperbaiki kekuatan dan daya dukung tanah lempung secara signifikan dibanding tanah asli.

Pada campuran abu sekam padi 20% pada tumbukan 65 nilai CBR kembali meningkat menjadi 26,97% yang merupakan nilai tertinggi dari seluruh variasi. Ini menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi 20% memberikan pengaruh paling efektif dalam meningkatkan stabilitas daya dukung tanah.

Analisis Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Material Subgrade

Berdasarkan hasil pengujian, penggunaan abu sekam padi memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan karakteristik mekanik tanah lempung. Variasi campuran 20% menghasilkan nilai CBR tertinggi sehingga dapat dikategorikan sebagai komposisi optimum pada penelitian ini.

Pemanfaatan abu sekam padi sebagai bahan stabilisasi juga memberikan keuntungan dari aspek lingkungan karena memanfaatkan limbah pertanian yang mudah diperoleh dan bernilai ekonomis. Dengan meningkatnya daya dukung tanah, material hasil stabilisasi ini berpotensi digunakan sebagai lapisan tanah dasar (subgrade) pada konstruksi jalan sehingga dapat mengurangi penggunaan material stabilisasi konvensional yang relatif lebih mahal.

V. KESIMPULAN

1. Tanah lempung yang berasal dari Kelurahan Mallawa, Kecamatan Mallusetasi, Kabupaten Barru memiliki karakteristik fisik berupa kadar air sebesar 32,90%, berat isi 1,46 g/cm³, berat jenis 2,68, batas cair 50,55%, batas plastis 26,13%, indeks plastisitas 24,42%, dan persentase lolos saringan No. 200 sebesar 72,46%. Berdasarkan sistem klasifikasi USCS, tanah tergolong CL (lempung anorganik plastisitas rendah hingga sedang), sedangkan menurut AASHTO termasuk kelompok A-7-6.
2. Penambahan abu sekam padi (ASP) memberikan pengaruh positif terhadap sifat mekanik tanah lempung, yang ditunjukkan dengan

meningkatnya nilai California Bearing Ratio (CBR) pada setiap variasi campuran dibandingkan dengan tanah asli. Hal ini menunjukkan bahwa abu sekam padi mampu meningkatkan daya dukung tanah sebagai material subgrade jalan.

3. Campuran abu sekam padi sebesar 20% menghasilkan nilai CBR tertinggi, yaitu 26,97%, sehingga merupakan variasi yang paling optimum dalam penelitian ini. Hasil tersebut menunjukkan bahwa abu sekam padi berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi tanah lempung yang efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk meningkatkan kualitas tanah dasar (subgrade) pada konstruksi jalan.

REFERENSI

- [1] U. J. I. Karakteristik *et al.*, “Uji karakteristik tanah kapur dari desa pasempe kecamatan palakka di kabupaten bone sebagai subgrade pada timbunan jalan,” vol. xx, no. x, pp. 1–7, 2023.
- [2] Z. A. Halim, “Analisis daya dukung tanah lempung terstabilisasi serbuk arang kulit kakao dengan variasi waktu pemeraman,” 2025.
- [3] A. S. Millah, Apriyani, D. Arobiah, E. S. Febriani, and E. Ramdhani, “Analisis Data dalam Penelitian Tindakan Kelas,” *J. Kreat. Mhs.*, vol. 1, no. 2, pp. 140–153, 2023.
- [4] 2023 Fatmawati & Ashad, “Barakka Kajian Karakteristik Parkiran di Mall Ratu,” vol. I, no. 1, pp. 23–27, 2023.
- [5] A. Sabilla, C. Sitti, and R. Hildayani, “Klasifikasi Tanah Lempung Berdasarkan Sistem Usccs (Unified Soil Classification System) Dan Aashto (American Association of State Highway and Transportation Officials),” vol. 4, no. November, pp. 737–745, 2025.
- [6] S. Musdalifah and C. Suwahyo, “Pengaruh Pemanfaatan Limbah Dedak Padi Sebagai Pengganti Filler pada Karakteristik Campuran Aspal,” vol. 03, no. 1, pp. 143–148, 2025.
- [7] D. Jenderal and B. Marga, “Spesifikasi umum 2018,” no. Revisi 2, 2020.
- [8] 2023 Saputri & Halim, “Analisis Perbandingan Kinerja Campuran Aspal dengan Agregat Kasar Dominan Bulat dan Agregat Kasar Dominan Pecah Menggunakan,” vol. 03, no. 1, pp. 148–157, 2025.
- [9] Y. Achmad, “Perbaikan Tanah Untuk Meningkatkan CBR Dengan Bahan Aditif Serbuk Bata Merah Dan Abu Sekam Padi,” vol. 2, 2016.
- [10] J. E. Bowles, *Foundation Analysis And Fifth Edition*.