

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BATA MERAH TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH DI DUSUN BRAU BATU

Safina Putri Chairandy^{1,*}, Dandung Novianto²

Mahasiswa Program Diploma IV-Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang²

Koresponden*, Email: safina.chairandy@gmail.com¹, dandung.novianto@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Stabilisasi tanah adalah upaya untuk meningkatkan daya dukung tanah yang labil dengan menambahkan material tertentu. Kerusakan infrastruktur di wilayah Dusun Brau Kota Batu disebabkan oleh kondisi tanah yang tidak stabil. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk bata merah terhadap nilai kuat geser tanah. Metode yang dilakukan adalah eksperimen di Laboratorium meliputi pengujian kadar air, berat isi, berat jenis, uji saringan dan hydrometer, batas atterberg, dan geser langsung. Limbah bata merah yang digunakan adalah lolos No. 60. Variasi campuran serbuk bata merah sebesar 6%, 10%, dan 14% dengan waktu pemeraman 1 hari, 4 hari, dan 11 hari. Berdasarkan sistem USCS, tanah tergolong pasir bergradasi baik dan sedikit lanau (SW-SM). Hasil pengujian *Direct Shear* tanah asli didapat nilai kohesi (c) = 0,194 kg/cm² dan sudut geser dalam (ϕ) = 13,03°. Pada pengujian tanah campuran serbuk bata merah pada pengujian batas atterberg, nilai indeks plastisitas semakin menurun hingga dibandingkan tanah asli dimana IP tanah asli sebesar 10,82%. Nilai sudut geser pada kadar optimum keseluruhan dicapai pada persentase campuran bata merah 5,3% dengan hasil kohesi (c) = 0,05 kg/cm² dan sudut geser dalam (ϕ) = 32,78°. Q_{ijin} pada fondasi dengan campuran bata merah menunjukkan peningkatan sebesar 2,7 hingga 3 kali lipat daripada tanah asli. Q_{ijin} pada fondasi persegi meningkat dari 12,17 ton menjadi 35,25 ton, fondasi persegi panjang meningkat dari 17,19 ton menjadi 52,61 ton, dan fondasi lingkaran meningkat dari 9,51 menjadi 26,30 ton. Penurunan fondasi pada semua penampang lebih kecil dari batas izin sebesar 25 mm. Berdasarkan uji permodelan, pada batas penurunan izin fondasi sebesar 25 mm, fondasi persegi mampu menahan beban hingga 23,48 ton, fondasi persegi Panjang sebesar 30,93 ton, dan fondasi lingkaran sebesar 22,67 ton.

Kata kunci : stabilisasi tanah; bata merah; geser langsung; daya dukung; penurunan fondasi

ABSTRACT

Soil stabilization is an effort to increase the bearing capacity of unstable soil by adding certain materials. Infrastructure damage in the Brau of Batu City is caused by unstable soil. Therefore, this study aims to determine the effect of red brick powder on the shear strength of soil. The method used is an experiment in the Laboratory including testing water content, unit weight, specific gravity, sieve and hydrometer tests, atterberg limits, and direct shear. The red brick powder used pass No. 60. Variations in the mixture of red brick powder are 6%, 10%, and 14% with curing times of 1 day, 4 days, and 11 days. Based on the USCS system, the soil is classified as well-graded sand with silt (SW-SM). The results of the Direct Shear of the original soil obtained a cohesion (c) = 0,194 kg/cm² and friction angle (ϕ) = 13,03°. In the test of red brick powder mixture soil in the Atterberg limit test, the plasticity index value decreases compared to the original soil where the original soil IP is 10,82%. The friction angle value at the optimum content is achieved at a red brick mixture percentage of 5,3% with a cohesion (c) = 0,05 kg/cm² and a friction angle (ϕ) = 32,78°. Q_{all} on the foundation with a red brick mixture shows an increase of 2.7 to 3 times compared to the original soil. Q_{all} on the square foundation increases from 12,17 tons to 35,25 tons, the rectangular foundation increases from 17,19 tons to 52,61 tons, and the circular foundation increases from 9.51 to 26,30 tons. The settlement value for all foundation types remained below the 25 mm allowable limit. Based on modeling tests, at the foundation settlement limit of 25 mm, square foundations are able to support loads up to 23,48 tons, rectangular foundations of 30,93 tons, and circular foundations of 22,67 tons.

Keywords : soil stabilisation; red bricks; direct shear; bearing capacity; settlement of foundations

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan kajian BPBD Jatim, pada Maret 2024 terjadi keretakan tanah yang signifikan di Dusun Brau, Desa Gunungsari, Kecamatan Bumiaji, Kota Batu. Kekuatan geser memiliki peran yang penting, antara lain daya dukung sebuah fondasi sebagai standar keamanan struktur bangunan

[1] Mengeksplorasi dengan membandingkan efektifitas serbuk bata merah, abu sekam padi, dan pasir sirkon sebagai bahan stabilisasi tanah, berdasarkan penelitian tersebut, campuran tanah dengan serbuk bata menghasilkan nilai kuat geser tertinggi. Serbuk bata merah merupakan salah satu jenis pozzolan yang mengandung silika dan alumina sebagai bahan penyusun yang mendominasi, sehingga dapat mengurangi perilaku plastisnya tanah, serta struktur tanah menjadi solid [2]. Bata merah dipilih sebagai bahan tambahan karena telah diteliti mampu meningkatkan kekuatan pada tanah [3].

Daya dukung tanah yang baik akan berpengaruh pada intensitas waktu kekokohan suatu konstruksi. Hal ini menjadikan parameter kuat geser pada pengujian *Direct Shear* perlu diketahui untuk meminimalisir kerusakan konstruksi akibat pergeseran tanah seperti yang terjadi di Dusun Brau.

Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk menganalisis eksperimen penambahan serbuk bata merah dengan parameter nilai kohesi dan sudut geser dalam pada pengujian geser langsung (*Direct Shear*). Parameter pengujian ini diaplikasikan untuk penentuan daya dukung fondasi dangkal.

2. METODE

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen. Pengambilan sampel pada penelitian ini adalah tanah terganggu (*disturb soil*) dan tanah tidak terganggu (*undisturb soil*) pada jenis tanah di Jl. Argomulyo, Dusun Brau, Desa Gunungsari, Kecamatan Bumiaji, Kota Batu. Sampel tanah asli dan dicampur dengan serbuk bata merah (BM) dengan persentase 6%, 10%, dan 14% terhadap berat isi tanah basah. Serbuk bata merah yang digunakan berupa serbuk lolos saringan No. 60. Pengujian *Direct Shear* dilakukan dengan waktu pemeraman 1 hari, 4 hari, 11 hari. Pengujian terdiri dari pengujian sifat fisik dan mekanis tanah, yaitu:

- A. Kadar Air (ASTM D 2216-80)
- B. Berat Isi Tanah (ASTM D 2937-83)
- C. Berat Jenis Tanah (ASTM D 854-83)
- D. Analisa Butiran (SNI 03-1968-1990)
- E. Batas Atterberg (ASTM D 4318-84)
- F. *Direct Shear* (ASTM D 3080-82)

Nilai parameter kuat geser berupa kohesi dan sudut geser dalam digunakan untuk menghitung daya dukung fondasi dangkal menurut Terzaghi

1. Fondasi Persegi dengan sisi B

$$q_u = 1,3. c. N_c + q. N_q + 0,4. \gamma. B. N_\gamma \quad (1)$$

2. Fondasi Persegi Panjang (BxL)

$$q_u = c. N_c \left(1 + 0,3. \frac{B}{L} \right) + q. N_q + \frac{1}{2}. \gamma. B. N_\gamma. \left(1 - 0,2. \frac{B}{L} \right) \quad (2)$$

3. Fondasi Lingkaran dengan diameter B

$$q_u = 1,3. c. N_c + q. N_q + 0,3. \gamma. B. N_\gamma \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Tanah Asli

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap tanah asli diperoleh hasil parameter tanah sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Uji Sifat Fisik dan Mekanis Tanah

Parameter	Simbol	Satuan	Hasil Uji
Kadar Air	w	%	48,53
Berat Isi tanah	γ	gr/cm ³	1,73
Berat Jenis Tanah	Gs		2,50
Analisis Gradasi	Kerikil	%	0,21
	Pair	%	92,07
	Lanau	%	5,58
	Lempung	%	2,15
Batas Cair	LL	%	52,23
Batas Plastis	PL	%	41,41
Indeks Plastisitas	PI	%	10,82
Klasifikasi Tanah berdasarkan USCS			SW- SM
Kohesi	c	kg/cm ²	0,19
Sudut Geser Dalam	ϕ	°	13,03

Sumber: Hasil Pengujian

B. Klasifikasi Tanah

Berdasarkan klasifikasi system USCS, dengan tanah lolos ayakan No. 4 sebesar 92,07% dan lolos saringan No. 200. Tanah asli di Dusun Brau tergolong tanah berbutir kasar dengan dominan pasir. Koefisien keseragaman (Cu) sebesar 7,939 dan koefisien gradasi (Cc) sebesar 1,366, maka Tanah tergolong bergradasi baik karena koefisien gradasi (Cc) diantara 1 hingga 3 dan Koefisien keseragaman (Cu) bernilai > 6. Sehingga klasifikasi berdasarkan USCS, tanah di Dusun Brau tergolong tanah pasir bergradasi baik mengandung sedikit lanau (SW SM)

C. Sifat Fisik dan Mekanis Tanah setelah stabilisasi

Pengujian Sifat Fisik campuran serbuk bata merah dilakukan pengujian batas bata satterberg. Sedangkan pengujian sifat mekanis tanah dilakukan pengujian *direct shear*.

Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah campuran Serbuk Bata Merah

Didapat hasil pengujian batas atterberg pada tanah asli dan tanah yang ditambah bata merah dengan standarisasi ASTM D 4318 – 84.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil pengujian Batas Atterberg

No.	Komposisi Campuran Tanah	Batas Atterberg (%)		
		LL	PL	IP
1	Tanah Asli	52,23	41,41	10,82
2	Tanah Asli + BM 6%	47,54	37,54	10,00
3	Tanah Asli + BM 10%	49,49	39,93	9,56
4	Tanah Asli + BM 14%	43,21	34,72	8,48

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan hasil pengujian seperti pada **Tabel 2.** menunjukkan bahwa nilai IP tanah yang telah dicampur bata merah lebih baik dibandingkan dengan tanah asli dimana IP tanah asli sebesar **10,82%**, sehingga mengartikan bahwa seiring bertambahnya persentase bata merah, maka nilai indeks plastisitas semakin menurun, maka tanah menjadi lebih baik. Nilai Indeks plastisitas menurun karena serbuk bata merah bersifat tidak plastis, sehingga kandungan lanau nya semakin sedikit, yang menyebabkan plastisnya berkurang.

Hasil Pengujian Sifat Mekanis Tanah campuran Serbuk Bata Merah

Pengujian Geser langsung (*Direct Shear*) dilakukan pada tanah asli dan tanah *remoulded* dengan ditambah serbuk bata merah.

Tabel 3. Rekapitulasi Parameter Kuat Geser Tanah

Komposisi Campuran Tanah	Waktu pemeraman (Hari)	Kohesi (kg/cm ²)	Sudut Geser Dalam (°)
TA		0,194	13,030
TA + BM 6%	1	0,094	25,150
	4	0,017	23,142
	11	0,149	21,078
TA + BM 10%	1	0,137	21,426
	4	0,218	34,202
	11	0,103	22,118
TA + BM 14%	1	0,166	21,773
	4	0,019	13,404
	11	0,150	19,308

Sumber: Hasil Analisis

D. Persentase Bata Merah yang memberikan Hasil Optimum Secara Keseluruhan

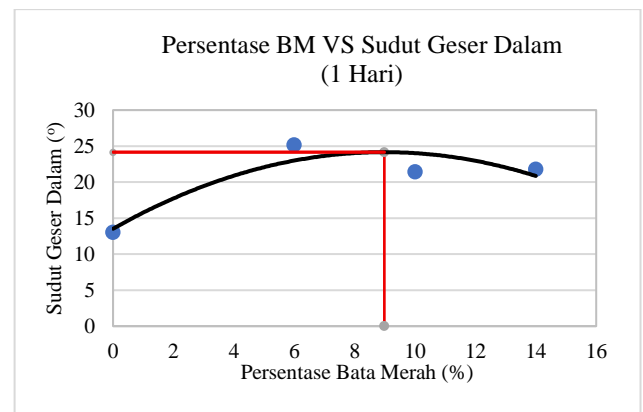
Dalam menentukan persentase bata merah yang memberikan hasil optimum, digunakan pendekatan grafik dengan *trendline* polynomial persamaan kuadrat (orde 2). Berdasarkan garis lengkung yang terbentuk, titik optimum ditentukan dengan mencari titik puncak dari kurva. Titik ini merepresentasikan kondisi dimana penambahan serbuk bata merah memberikan nilai sudut geser dalam (ϕ) tertinggi pada masing masing waktu pemeraman.

Dalam menentukan kohesi (c) pada kadar bata merah optimum, digunakan rumus Colomb dan Mohr dengan nilai tegangan normal (σ_n) dan tegangan geser (τ_f) didapat dari rata rata dari pengujian *Direct Shear* tanah asli.

Nilai tegangan normal (σ_n) tanah asli pada benda uji 1 sebesar 0,176 kg/cm², benda uji 2 sebesar 0,352 kg/cm², dan benda uji 3 sebesar 0,528 kg/cm², sehingga didapat rata rata tegangan normal (σ_n) yang digunakan sebesar **0,352 kg/cm²**.

Nilai tegangan geser (τ_f) tanah asli pada benda uji 1 sebesar 0,237 kg/cm², benda uji 2 sebesar 0,272 kg/cm², dan benda uji 3 sebesar 0,319 kg/cm² sehingga didapat rata rata tegangan geser (τ_f) yang digunakan sebesar **0,276 kg/cm²**.

I. Pemeraman 1 Hari

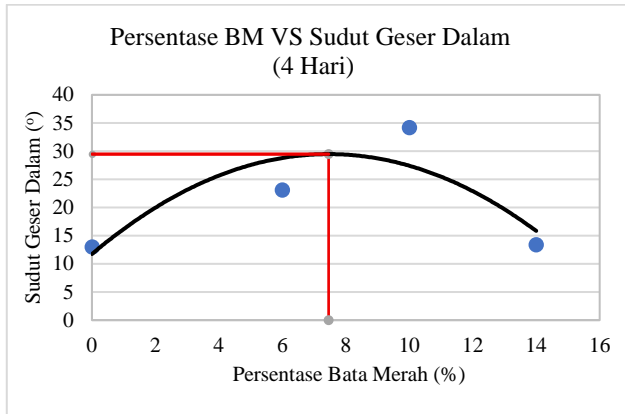


Gambar 1. Nilai Optimum Persentase BM pada Sudut Geser Dalam (Pemeraman 1 Hari)

Berdasarkan grafik diatas, menunjukkan bahwa nilai sudut geser dalam cenderung meningkat setelah ditambah bata merah. Nilai persentase bata merah optimum terjadi pada kadar bata merah **8,98%** dengan nilai sudut geser dalam (ϕ) sebesar **24,16°**. Nilai kohesi (c) pada persentase Bata merah optimum ditentukan menggunakan rumus tegangan geser menurut Colomb dan Mohr, sehingga didapat nilai kohesi (c) sebesar **0,118 kg/cm²**

$$\begin{aligned}\tau_f &= c + \sigma_n \cdot \tan \phi \\ c &= \tau_f - \sigma_n \cdot \tan \phi \\ &= 0,276 - 0,352 \cdot \tan 24,16^\circ \\ &= 0,118 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

II. Pemeraman 4 Hari

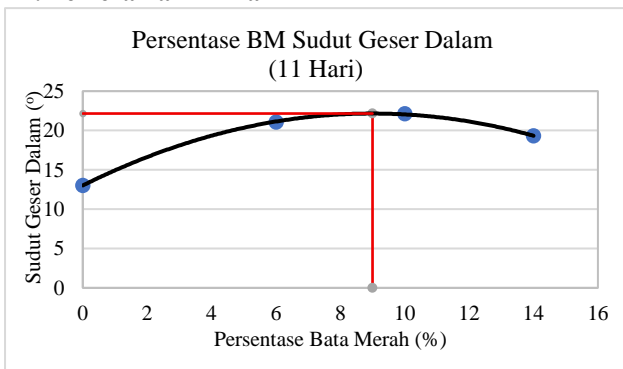


Gambar 2. Nilai Optimum Persentase BM pada Sudut Geser Dalam (Pemeraman 4 Hari)

Berdasarkan grafik diatas, menunjukkan bahwa nilai sudut geser dalam cenderung meningkat setelah ditambah bata merah. Nilai persentase bata merah optimum terjadi pada kadar bata merah 7,46% dengan nilai sudut geser dalam (ϕ) sebesar 29,48°. Nilai Kohesi (c) pada persentase Bata merah optimum ditentukan menggunakan rumus tegangan geser menurut Colomb dan Mohr, sehingga didapat nilai kohesi (c) sebesar 0,077 kg/cm²

$$\begin{aligned}\tau_f &= c + \sigma_n \cdot \tan \phi \\ c &= \tau_f - \sigma_n \cdot \tan \phi \\ &= 0,276 - 0,352 \cdot \tan 29,48^\circ \\ &= 0,077 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

III. Pemeraman 11 Hari



Gambar 3. Nilai Optimum Persentase BM pada Sudut Geser dalam (Pemeraman 11 Hari)

Berdasarkan grafik diatas, menunjukkan bahwa nilai sudut geser dalam cenderung meningkat setelah ditambah bata merah. Nilai persentase bata merah optimum terjadi

pada kadar bata merah 9,00% dengan nilai sudut geser dalam (ϕ) sebesar 22,16°. Nilai Kohesi (c) pada persentase Bata merah optimum ditentukan menggunakan rumus tegangan geser menurut Colomb dan Mohr, sehingga didapat nilai kohesi (c) sebesar 0,132 kg/cm²

$$\begin{aligned}\tau_f &= c + \sigma_n \cdot \tan \phi \\ c &= \tau_f - \sigma_n \cdot \tan \phi \\ &= 0,276 - 0,352 \cdot \tan 22,16^\circ \\ &= 0,132 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

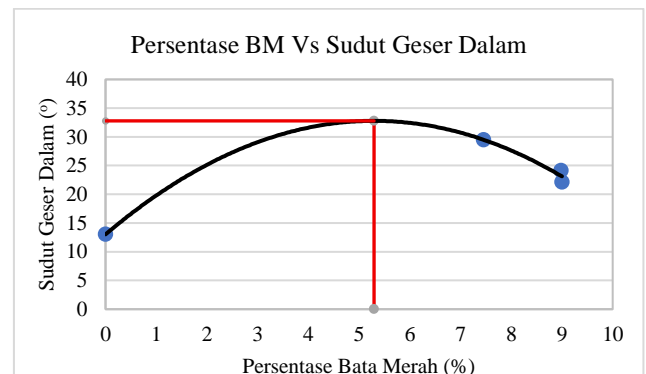
Persentase Bata Merah yang Optimum Keseluruhan

Dilanjutkan dengan merekapitulasi seluruh hasil tersebut guna menentukan kadar optimal secara keseluruhan. Berikut adalah rekapitulasi persentase bata merah optimum pada setiap pemeramannya.

Tabel 4. Rekapitulasi Persentase Optimum tiap Pemeraman

No.	Waktu Pemeraman	Persentase BM (%)	Sudut Geser Dalam (°)
1	0 Hari	0	13,03
2	1 Hari	8,98	24,16
3	4 Hari	7,46	29,48
4	11 Hari	9,00	22,16

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4. Grafik Hubungan Sudut Geser dalam dan Persentase Bata Merah yang optimum

Berdasarkan grafik gabungan hubungan antara persentase bata merah terhadap sudut geser dalam optimum pada tiap pemeraman, didapatkan persentase bata merah optimum keseluruhan terjadi pada persentase bata merah 5,29% dengan nilai sudut geser dalam (ϕ) sebesar 32,78°. Nilai Kohesi (c) pada persentase Bata merah optimum ditentukan menggunakan rumus tegangan geser menurut Coulomb dan Mohr, sehingga didapat nilai kohesi (c) sebesar 0,049 kg/cm²

$$\begin{aligned}\tau_f &= c + \sigma_n \cdot \tan \phi \\ c &= \tau_f - \sigma_n \cdot \tan \phi \\ &= 0,28 - 0,35 \cdot \tan 32,78^\circ \\ &= 0,049 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

E. Analisis Kapasitas Daya Dukung Tanah

Berdasarkan hasil pengujian Geser Langsung (*Direct Shear*) diperoleh nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) yang akan digunakan untuk analisis daya dukung fondasi dangkal dengan metode Terzaghi. Dalam perhitungan ini diasumsikan bahwa tanah mengalami keruntuhan geser umum, dengan faktor keamanan sebesar 3.

Terdapat 3 penampang fondasi dangkal, yaitu fondasi persegi dengan dimensi 1m x 1m, fondasi persegi Panjang dengan dimensi 1m x 1,5m, dan fondasi lingkaran dengan diameter 1m. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung fondasi dangkal, diperoleh nilai Q_{ijin} pada tanah asli dan tanah dengan bata merah. Nilai Q_{ijin} ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Rekapitulasi Q_{ijin} Fondasi Dangkal

Komposisi Campuran Tanah	Penampang Fondasi		
	Persegi (ton)	Persegi Panjang (ton)	Lingkaran (ton)
Tanah Asli	12,17	17,19	9,51
Tanah Asli + BM 5,3 %	35,25	52,61	26,30

Sumber: Hasil Analisis

Pada penampang persegi, daya dukung tanah menunjukkan kenaikan sebesar 189,56% atau peningkatan sekitar 2,9 kali lipat. Pada penampang persegi panjang, peningkatan yang terjadi lebih tinggi, yaitu kenaikan sebesar 206,6% atau peningkatan sekitar 3,06 kali lipat. Sementara itu, pada penampang lingkaran, daya dukung tanah menunjukkan kenaikan sebesar 176,57% atau peningkatan sekitar 2,77 kali lipat.

F. Penurunan Fondasi Dangkal

Perhitungan penurunan fondasi mempertimbangkan dimensi fondasi dan Q_{ijin} yang bekerja pada masing masing bentuk penampang fondasi.

Tabel 6. Penurunan Fondasi Dangkal

Komposisi Campuran Tanah	Penurunan Fondasi		
	Persegi (mm)	Persegi Panjang (mm)	Lingkaran (mm)
Tanah Asli	7,51	8,80	8,33
Tanah Asli + BM 5,3 %	19,37	23,28	16,52

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan, penurunan fondasi pada tanah campuran bata merah menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan tanah asli. Hal ini dikarenakan beban yang diberikan menggunakan beban izin yang lebih besar. Seiring meningkatnya daya dukung tanah, maka semakin besar beban yang diterima, maka penurunan yang terjadi

akan lebih besar, namun masih berada dalam batas penurunan yang diizinkan yaitu 25 mm.

G. Permodelan Skala Laboratorium

Uji permodelan skala laboratorium menggunakan box berukuran 60 cm x 60 cm x 50 cm. Uji permodelan skala laboratorium dilakukan untuk dua jenis tanah, yaitu tanah asli dan tanah asli yang dicampur dengan serbuk bata merah pada kadar optimum yaitu 5,3%.

Untuk mewakili 1 m dilapangan, panjang penampang akan diperkecil menjadi 10 cm di laboratorium. Dengan demikian, skala panjang yang digunakan adalah 1:10. Ukuran penampang fondasi di lapangan pada fondasi persegi adalah 1m x 1m, persegi panjang 1m x 1,5m, dan fondasi lingkaran dengan diameter 1 m.

Pada saat dilakukan pembebanan, penurunan fondasi yang diizinkan < 25 mm, apabila telah terjadi pada batas penurunan maka pemberian beban dihentikan dan dilakukan pengujian pada penampang fondasi lain dan variasi tanah lainnya. Nilai pembebanan yang mampu diterima oleh fondasi hingga batas penurunan didapatkan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Rekapitulasi Beban Permodelan

Komposisi Campuran Tanah	Penampang Fondasi	Q_{ijin} (ton)	CBR Lapangan Model		CBR di Lapangan (*)	
			(div)	(kg)	(kg)	(ton)
Tanah Asli	Persegi	12,17	143	89,55	8954,66	8,95
	Persegi Panjang	17,19	163	102,07	10207,06	10,21
	Lingkaran	9,51	98	61,37	6136,76	6,14
	Persegi	35,25	375	234,83	23482,50	23,48
TA+ BM 5,3%	Persegi	52,61	494	309,34	30934,28	30,93
	Lingkaran	26,30	362	226,68	2266	22,67

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan uji permodelan menggunakan tanah asli, fondasi persegi 1m x 1m di lapangan mampu menahan beban hingga 8,95 ton hingga batas penurunan 25 mm. Pada fondasi persegi panjang 1m x 1,5m di lapangan mampu menahan beban sebesar 10,21 ton hingga batas penurunan 25 mm. Pada fondasi lingkaran berdiameter 1m di lapangan mampu menahan beban sebesar 6,14 ton hingga batas penurunan 25 mm.

Berdasarkan uji permodelan menggunakan tanah asli ditambah bata merah, fondasi persegi 1m x 1m di lapangan mampu menahan beban hingga 23,48 ton hingga batas penurunan 25 mm. Pada fondasi persegi panjang 1m x 1,5m di lapangan mampu menahan beban sebesar 30,93 ton hingga batas penurunan 25 mm. Pada fondasi lingkaran berdiameter 1m di lapangan mampu menahan beban sebesar 22,67 ton hingga batas penurunan 25 mm. Semua penampang fondasi masih berada dalam kondisi aman terhadap Q_{ijin} .

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Hasil pengujian sampel tanah Dusun Brau, Desa Gunungsari, Kecamatan Bumiaji Kota Batu sebelum distabilisasi didapatkan parameter sifat fisik tanah dengan nilai kadar air (w) = 48,53%, berat isi tanah (γ) = 1,73 gr/cm³, Berat Jenis Tanah (G_s) = 2,5, batas cair (LL) = 52,2%, batas plastis (PL) = 41,4% dan indeks plastisitas (PI) = 10,8%. Untuk sifat mekanis pada pengujian *direct shear* didapatkan nilai kohesi (c) = 0,194 kg/cm² dan sudut geser dalam (ϕ) = 13,03°. Berdasarkan klasifikasi USCS, tanah di Dusun Brau tergolong tanah pasir kelanauan (SW-SM).
- Berdasarkan hasil pengujian batas batas Atterberg, pada pengujian tanah dan bata merah dengan persentase 6%, 10%, dan 14% menjelaskan bahwa seiring dengan bertambahnya persentase bata merah pada campuran tanah asli maka nilai indeks plastisitas mengalami penurunan.
- Berdasarkan hasil pengujian tanah ditambah bata merah apda pengujian *Direct Shear*, dapat dijelaskan bahwa bata merah tidak secara cukup untuk meningkatkan nilai kohesi. Sedangkan pengaruh penambahan bata merah terhadap nilai sudut geser dalam menunjukkan peningkatan, namun peningkatan tersebut belum signifikan. Dengan demikian, penambahan bata merah berlebih justru menurunkan nilai parameter kuat geser tanah.
- Pada pemeraman 1 hari didapat nilai optimum bata merah sebesar 8,9% dengan nilai sudut geser dalam (ϕ) sebesar 24,16° dan kohesi (c) sebesar 0,12 kg/cm². Pada pemeraman 4 hari didapat nilai optimum bata merah sebesar 7,46% dengan nilai sudut geser dalam (ϕ) sebesar 29,48° dan kohesi (c) sebesar 0,08 kg/cm². Pada pemeraman 11 hari didapat nilai optimum bata merah sebesar 9% dengan nilai sudut geser dalam (ϕ) sebesar 22,16° dan kohesi (c) sebesar 0,13 kg/cm².
- Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Andiani 2022) nilai maksimum dicapai pada kadar 8% dengan nilai kohesi 0,375 kg/cm². Pada penelitian (Khalilurrahman 2022) yang membeirkan hasil maksimum pada kadar 10% dengan nilai kohesi 0,45 kg/cm² dan sudut geser dalam 24,23°. Namun pada penelitian yang dilakukan (Gracella 2021) justru menurunkan parameter kuat geser pada kadar 20% dengan nilai kohesi 0,321 kg/cm² dan sudut geser dalam 67,959°. Sedangkan pada penelitian yang saya lakukan, persentase campuran serbuk bata merah optimum dicapai pada kadar 5,29% dengan nilai kohesi (c) sebesar 0,05 kg/cm² dan nilai sudut geser dalam (ϕ) sebesar 32,78°.
- Berdasarkan parameter hasil pengujian *Direct shear* Tanah Asli dan Tanah asli ditambah bata merah, dengan demikian beban yang diizinkan pada penampang fondasi persegi mengalami peningkatan dari 12,17 ton menjadi 35,25 ton, atau mengalami peningkatan hingga 2,9 kali lipat. Sedangkan pada fondasi persegi panjang mengalami peningkatan dari 17,19 ton menjadi 52,61 ton, atau mengalami peningkatan hingga 3,06 kali lipat. Pada penampang fondasi lingkaran mengalami peningkatan dari 9,51 ton menjadi 26,30 ton, atau mengalami peningkatan hingga 2,76 kali lipat.
- Berdasarkan uji permodelan, maka kondisi di lapangan hingga batas penurunan 25 mm, fondasi persegi 1m x 1m mampu menahan beban hingga 8,95 ton pada tanah asli dan 23,48 ton pada tanah campuran, pada fondasi persegi panjang 1m x 1,5m mampu menahan beban sebesar 10,21 ton dan 30,93 ton pada tanah campuran. Pada fondasi lingkaran berdiameter 1m mampu menahan beban sebesar 6,14 ton pada tanah asli dan 22,67 ton pada tanah campuran bata merah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ara, E. P., Gandi, S., dan Sarie, F. (2021). Perbandingan Penggunaan Abu Sekam Padi, Serbu Batu Bata, dan Pasir Sirkon sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung. *Jurnal Kacapuri*, 4(1).
- Eryunaningsih, R. T., & Wulandari, S. (2024). Pengaruh Penambahan Serbuk Bata Merah dan Limbah Polyethylene Terephthalate pada Tanah Lempung. *Jurnal Teknik Sipil*, 20(1), 111-125.
- Hidalgo, C., Carvajal, G., & Muñoz, F. (2019). Laboratory evaluation of finely milled brick debris as a soil stabilizer. *Sustainability*, 11(4), 967.
- Terzaghi (1987). *Mekanika Tanah Dalam Praktek* Rekayasa Jakarta, Penerbit Erlangga.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Bowles, J.E. (1989). *Sifat-sifat fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua. Jakarta.
- Bowles, J. E. (1991). "Sifat-sifat Fisis Tanah dan Geoteknis Tanah." Erlangga. Jakarta