

Studi Eksperimen Pembuatan Bata Merah Ringan Dari Tanah Desa Ledok Kulon Kecamatan Bojonegoro

Experimental Study Of Manufacturing Lightweight Red Bricks From Tanah Ledok Kulon Village, Bojonegoro District

Zuhrul Anam Khoironi*¹, Sujiat², Toni Budii Santoso³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro, Jl. Lettu Suyitno
zuhruk2002@gmail.com

ABSTRAK

Batu bata merah tersusun dari material lempung dan tanah liat dengan melalui proses pengeringan dan pembakaran. Bahan yang murah dan tahan lama menjadi pilihan untuk dijadikan konstruksi terutama pada dinding rumah. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan foam agent terhadap kuat tekan, penyerapan, dan berat jenis bata merah. Material tanah yang digunakan dari desa Ledok Kulon, yang merupakan Kecamatan Bojonegoro, yang sudah dikenal karena daerah penghasil bata merah. Metode penelitian mengacu pada SNI 15-2094-2000. Hasil pengujian menunjukkan semua sampel memiliki kuat tekan rata-rata yang berbeda dengan waktu pembakaran lima hari dan variasi penambahan foam agent 0%, 5%, 6, dan 7%. Nilai tekan pada variasi 0% adalah 18,67 kg/cm²; pada variasi 5% adalah 11,91 kg/cm²; pada variasi 6% adalah 4,62 kg/cm²; dan pada variasi 7% adalah 5,33 kg/cm². Hasilnya menunjukkan bahwa batu bata merah tidak menjadi lebih ringan beratnya ketika foam agent ditambahkan sebesar 5%, 6%, dan 7%. juga akan memberikan kekuatan yang besar tanpa campuran. Untuk penyerapan air batu bata merah, variasi 0% adalah 0,15, variasi 5% adalah 0,19, variasi 6% adalah 0,19, dan variasi 7% adalah 0,25. Menurut SNI-15-2094-2000, campuran batu bata merah yang memenuhi syarat untuk penyerapan air memiliki tingkat penyerapan air maksimum 20%. Pada ketiga tingkatan, penyerapan air memenuhi syarat ialah dengan variasi 6% sebesar 0,19.

Kata kunci: Absorpsi, Bata, Foam Agent, Kuat Tekan.

ABSTRACT

Red bricks are made from clay or clay that is dried and fired. It is used as a cheap, easily obtained, and durable construction material, especially for house walls. The purpose of this study was to determine how the addition of foam agent filling affects the compressive strength, absorption, and specific gravity of red bricks. The soil used in this study came from Ledok Kulon village, which is a sub-district of Bojonegoro, which is well-known to the general public, especially those who live in the Bojonegoro area and its surroundings. This research method is in accordance with SNI 15-2094-2000. The test results showed that all samples had different average compressive strengths with a firing time of five days and variations in the addition of foam agents of 0%, 5%, 6, and 7%. The compressive value at variation 0% was 18.67 kg/cm²; at variation 5% was 11.91 kg/cm²; at variation 6% was 4.62 kg/cm²; and at variation 7% was 5.33 kg/cm². The results show that red bricks do not become lighter in weight when the foam agent is added at 5%, 6%, and 7%. will also provide great strength without a mixture. For water absorption of red bricks, the variation of 0% is 0.15, the variation of 5% is 0.19, the variation of 6% is 0.19, and the variation of 7% is 0.25. According to SNI-15-2094-2000, a mixture of red bricks that meets the requirements for water absorption has a maximum water absorption rate of 20%. At all three levels, the water absorption meets the requirements with a variation of 6% of 0.19.

Keywords: Absorpsi, Brick, Foam Agent, Compressive Strength,

1. PENDAHULUAN

Sumber daya alam di Kabupaten Bojonegoro sangat melimpah, sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai sektor (Lutfiani et al., 2022). Desa Ledok Kulon merupakan daerah yang masih memanfaatkan potensi dari sumber daya alam di Kabupaten Bojonegoro. Hasil dari pemanfaatan berupa batu bata merah yang tersusun dari material tanah lempung dan tanah liat (Umama et al., 2024; Cardoza & Colorado, 2024). Proses pembuatan batu bata merah di Desa Ledok Kulon Kecamatan Bojonegoro kemudian dikenal oleh masyarakat umum untuk memenuhi kebutuhan dalam infrastruktur bangunan baik di perkotaan maupun di pedesaan. Karena pada dasarnya batu bata merah adalah bahan yang sudah lama dikenal dalam dunia infrastruktur dan digunakan dalam pengerjaan dinding (Almuqrin et al., 2024; Xie et al., 2024).

Efek perkembangan teknologi dan persaingan dunia konstruksi khususnya untuk inovasi material yang lebih maju mendorong perubahan yang signifikan pada batu bata merah yang mulai terganti dengan bata ringan (Mahanna et al., 2024). Kualitas bata merah juga dipengaruhi oleh jenis tanah yang digunakan dan metode pembakarannya (Kogbara et al., 2023). Sehingga, perlu ditingkatkan dalam produksi dan kualitas material atau dengan mencampurkan *foam agent* sebagai bahan dasar pada pembuatan bata merah (Zhang et al., 2024; Hashim & Tantray, 2021). *Foam agent* merupakan larutan surfaktan yang pekat harus dilarutkan dengan air sebelum digunakan. Surfaktan berfungsi untuk mengaktifkan antar muka karena cenderung terkonsentrasi di sana (Bhuyan et al., 2023; Santoso & Miftah, 2023).

Foam agent juga digunakan dalam campuran pembuatan bata merah sebagai bahan pengikat untuk bahan lain yang digunakan. Penggunaan foam agent bertujuan membentuk gelembung yang dapat menurunkan tegangan permukaan pada zat (Algraiti & Kavussi, 2023; XIONG et al., 2019; Khatri et al., 2024). Tujuan penggunaan foam agent adalah untuk membuat bata merah menjadi lebih besar secara fisik tetapi dengan berat yang lebih rendah daripada bata biasa.

Inovasi baru dalam pembuatan bata merah merupakan tujuan dari penelitian dengan membuat batu bata merah dengan berbagai ukuran, mutu, dan kualitas. Penelitian ini menggunakan campuran *foam agent* untuk mengurangi berat jenis bata.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terbagi menjadi 2 (dua), yaitu di Desa Ledok Kulon sebagai lokasi pengambilan material dan Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro sebagai lokasi penelitian skala laboratorium.

Jenis Metode Penelitian

Pendekatan eksperimen dengan metode kuantitatif digunakan dalam penelitian. Eksperimen digunakan untuk menguji kualitas bata merah dengan penambahan campuran *foam agent*. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro. Variabel dalam penelitian ini adalah variasi penambahan *foam agent* dengan variasi presentase 5%, 6%, 7% dan pengambilan sampel tanah, pembuatan benda uji, pengujian kuat tekan, pengujian penyerapan air dan pengujian berat jenis pada bata merah

Bahan Penelitian

Tanah liat atau lempung merupakan bahan dasar dalam pembuatan bata merah yang diambil dari Desa Ledok Kulon Kecamatan Bojonegoro. Sekam padi, sebagai bahan campuran

yang didapatkan dari tempat penggilingan padi. Pasir, yang didapat dari pasir lokal. Foam agent, sebagai bahan pengikat antar rongga yang terjadi saat proses pembakaran. Air, Air yang digunakan ialah air yang ada di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro

Peralatan Penelitian

Pembuatan benda uji menggunakan cetakan batu bata ukuran 20 x 10 x 15 cm dan 5 x 5 cm. Alat uji kuat tekan yang digunakan untuk mengetahui hasil kuat tekan dengan presentase campuran antara foam agent dan tanah liat ialah Mesin CBR (California Bearing Ratio).

Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji pada setiap variasi tanah liat dan foam agent berjumlah 12 (Dua Belas) buah dengan masing-masing benda uji mempunyai dimensi panjang 20 cm, tinggi 15 cm, lebar 10 cm dan 5 cm x 5 cm. Total benda uji yang dibuat penelitian berjumlah 48 (empat puluh delapan) buah. Yang terdiri dari 24 (dua puluh empat) untuk pengujian kuat tekan berukuran 4 x 5 cm dan 24 (dua puluh empat) untuk pengujian kuat tekan, pengujian absopsi, pengujian berat jenis berukuran 20 x 19 x 15 cm.

Sebelum memasuki tahapan pembuatan benda uji sudah dilakukan proses pengujian propertis pada bahan. Tahapan pembuatan benda uji dimulai dengan pengayakan pasir menggunakan saringan *mesh* 100. Hal ini bertujuan untuk pasir yang digunakan adalah pasir yang halus tidak bercampur dengan material lain seperti kerikil, tanah, rumah keong dll. Pasir yang digunakan memiliki perbandingan dengan tanah liat yang digunakan yaitu memakai perbandingan 1 : 2 dengan perhitungan 1 untuk pasir : 2 untuk tanah liat

Tahapan selanjutnya menghancurkan tanah liat didalam wadah. Penghancuran tanah liat dilakukan secara manual menggunakan cetok dan kemudian dicampur dengan sekam padi diaduk secara rata. Selanjutnya mencampurkan foam agent dengan air memakai perbandingan 1 : 40 dari air. Proses pencampuran ini dilakukan dengan mesin mixer sampai tercampur semua sampai merata. Setelah itu melumatkan tanah liat dalam wadah dengan air yang sudah tercampur dengan foam agent kemudian diaduk menggunakan cetok sampai rata.

Tahapan ketiga yaitu proses pencetakan sesuai dengan dimensi yang sudah direncanakan. Cetakanyang digunakan ialah cetakan tangan yang terbuat dari plat besi yang tersedia di Laboratorium Teknik Sipil. Proses pencetakan batu bata dilakukan secara manual cenderung lebih lama, tekstur yang kurang padat atau kerapatan pori-pori yang tidak merata sehingga sudut-sudut dari cetakan biasanya tidak terisi, sebelum proses pencetakan cetakan terlebih dahulu diolesi oli agar tanah liat tidak menempel pada cetakan.

Setelah proses pencetakan, tahap selanjutnya pengeringan. Waktu pengeringan dalam penelitian ini selama 7 (tujuh) hari tanpa menggunakan oven. Pengeringan langsung melalui sinar matahari langsung dengan ini pengeringan batu bata akan lebih baik. Batu bata yang sudah berumur satu umur dari masa pencetakan kemudian dibalik. Proses pengeringan batu bata akan sesuai rencana selama tujuh hari apabila kondisi cuacanya baik. Sedangkan pada kondisi udara lembab, maka proses pengeringan batu bata sekurang-kurangnya satu minggu.

Setelah proses pengeringan selesai, selanjutnya proses pembakaran. Proses pembakaran batu bata dilakukan menggunakan tungku dan bertempat di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro. Untuk menghasilkan batau bata yang berkualitas diperlukan temperatur yang tinggi dalam proses pembakaran yaitu antara 920°C dan

1.020°C. Selama proses pembakaran, partikel tanah liat akan mengelompok menjadi bahan padat, menyebabkan permukaannya menyusut, volumenya berkurang, dan strukturnya menjadi kuat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

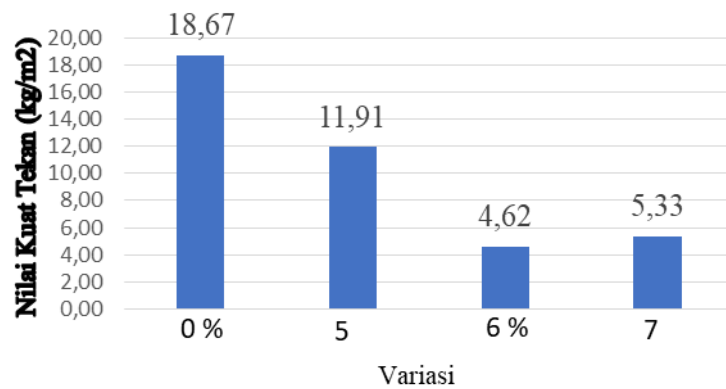
Pengujian Kuat Tekan

Uji kuat tekan dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro menggunakan mesin CBR (*California Bearing Ratio*) dengan memberikan gaya tekan hingga benda uji mengalami *crack* atau keruntuhan. Berikut ini adalah hasil kuat tekan sampel batu bata dengan campuran *foam agent* pada tabel 1.

Table 1. Pengujian Kuat Tekan

Benda Uji	Beban CBR	Beban, P (N)	Luas Penampang, A (mm ²)	Kuat Tekan, f_c (Mpa)	Rata-Rata	kuat Tekan Rata-rata (Kg/cm ²)	
0	1	16,0	3542,2	2500,0	1,4	1,550	18,67
	2	19,0	4206,4	2500,0	1,7		
	3	17,0	3763,6	2500,0	1,5		
	4	20,0	4427,7	2500,0	1,771		
	5	23,0	5091,9	2500,0	2,037		
	6	10,0	2213,9	2500,0	0,886		
5%	1	12,0	2656,6	2500,0	1,063	0,989	11,91
	2	13,0	2878,0	2500,0	1,151		
	3	8,0	1771,1	2500,0	0,708		
	4	11,0	2435,3	2500,0	0,974		
	5	13,0	2878,0	2500,0	1,151		
	6	10,0	2213,9	2500,0	0,886		
6%	1	4,0	885,5	2500,0	0,354	0,384	4,62
	2	4,0	885,5	2500,0	0,354		
	3	5,0	1106,9	2500,0	0,443		
	4	4,0	885,5	2500,0	0,354		
	5	5,0	1106,9	2500,0	0,443		
	6	4,0	885,5	2500,0	0,354		
7%	1	9,0	1992,5	2500,0	0,797	0,443	5,33
	2	6,0	1328,3	2500,0	0,531		
	3	5,0	1106,9	2500,0	0,721		
	4	5,0	1106,9	2500,0	0,443		
	5	6,0	1328,3	2500,0	0,531		
	6	4,0	885,5	2500,0	0,354		

Dari tabel 1 didapatkan nilai rata rata kuat tekan bata merah 18,67 kg/cm² pada variasi 0% , variasi 5% didapatkan rata-rata kuat tekan batu bata merah sebesar 11,91 kg/cm² , variasi 6% didapatkan kuat tekan sebesar 4,62 kg/cm² , dan pada variasi 7% didapatkan rata-rata kuat tekan sebesar 5,33 kg/cm² pada usia 7 hari.



Gambar 1. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian Penyerapan Air

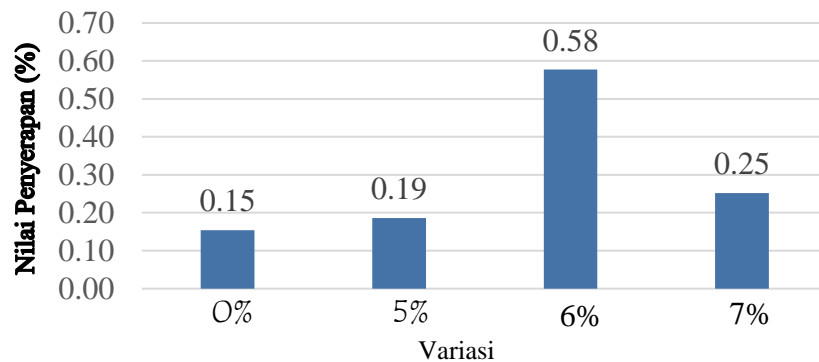
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar daya serap air yang diterima bata merah. Bata merah yang sudah jadi atau sudah selesai dibakar kemudian di rendam selama 24 jam.

Dapat diketahui bahwa besarnya penyerapan air yang terjadi pada bata merah ini berturut-turut adalah pada 0% didapatkan rata-rata penyerapan air sebesar 0,15, variasi 5% didapatkan penyerapan air sebesar 0,19, pada variasi 6% didapatkan rata-rata penyerapan air sebesar 0,58 dan pada variasi 7% didapatkan rata-rata penyerapan air sebesar 0,25. Seperti tabel 2 berikut ini

Table 2 Pengujian Penyerapan Air

No	Benda Uji	Berat Basah (A)	Berat Kering (B)	Nilai daya serap air (A-B)/B x 100%	Rata-rata
1	0%	5.645	4.699	0,20	0,15
2		5.281	4.585	0,15	
3		5.132	4.431	0,16	
4		4.971	4.698	0,06	
5		4.823	4.254	0,13	
6		5.143	4.217	0,22	
1	5%	5.310	4.265	0,25	0,19
2		5.607	4.528	0,24	
3		5.272	4.219	0,25	
4		5.423	4.392	0,23	
5		4.686	4.183	0,12	
6		4.542	4.413	0,03	

Benda Uji	Berat Basah (A)	Berat Kering (B)	Nilai daya	Rata-rata
			serap air (A-B)/B x 100%	
1	4.982	3.936	0,27	0,58
2	4.778	4.024	0,19	
3	5.014	4.901	2,31	
4	5.169	4.139	0,25	
5	4.605	3.690	0,25	
6	5.026	4.158	0,21	
1	5.317	4.222	0,26	0,25
2	5.009	3.973	0,26	
3	5.200	4.152	0,25	
4	4.810	3.698	0,30	
5	4.637	3.804	0,22	
6	4.908	4.030	0,22	



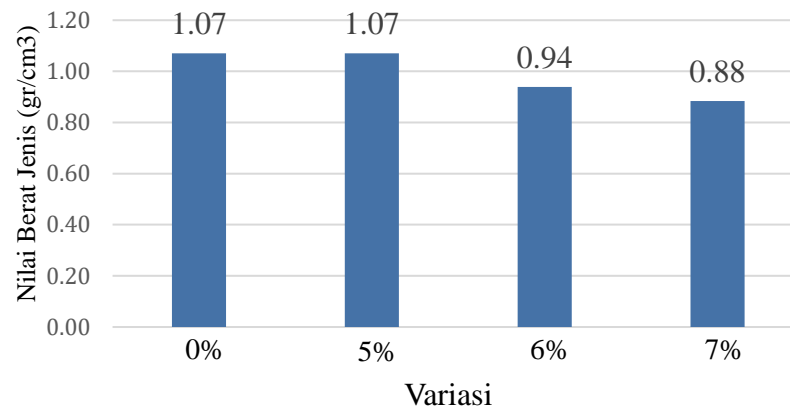
Gambar 2. Pengujian Penyerapan Air

Pengujian Berat Jenis

Berat satuan per meter kubik bata merah diukur melalui pengujian ini. dapat diketahui bahwa besarnya berat jenis yang terjadi pada bata merah pada variasi 5% dan 0% didapatkan rata-rata berat jenis batu bata merah sebesar 1,07 gr/cm³, pada variasi 6% dan 7% mengalami penurunan berat jenis sebesar 0,94 gr/cm³ dan 0,88%. Seperti dalam bentuk tabel 3 sebagai berikut :

Table 3 Pengujian Berat Jenis

No	Benda uji	Berat Kering (M)	Volume Benda (V)	Berat jenis <u>massa</u> <u>volume</u>	Rata-rata
1	0%	4699	4500	1,044	1,07
2		4585	4500	1,019	
3		4431	4500	0,985	
4		4698	4500	1,044	
5		4254	4500	0,945	
6		4217	4500	0,937	
1	5%	5165	4500	1,148	1,07
2		5228	4500	1,162	
3		5519	4500	1,226	
4		4392	4500	0,976	
5		4183	4500	0,930	
6		4413	4500	0,981	
1	6%	3936	4500	0,875	0,94
2		4024	4500	0,894	
3		4901	4500	1,089	
4		4139	4500	0,920	
5		4183	4500	0,930	
6		4158	4500	0,924	
1	7%	4222	4500	0,938	0,88
2		3973	4500	0,883	
3		4152	4500	0,923	
4		3698	4500	0,822	
5		3804	4500	0,845	
6		4030	4500	0,896	



Gambar 3 Grafik Pengujian Berat Jenis

PEMBAHASAN

Seperti yang ditunjukkan oleh data hasil pengujian kuat tekan pada tabel 1, ada penurunan dalam jumlah sekam padi dan agen foam. Itu terjadi antara variasi 0% dan 5% sebesar 6,75%. Pada variasi 0%, kuat tekan batu bata merah rata-rata 18,67 kg/m², pada variasi 5%, kuat tekan rata-rata 11,92 kg/cm². Pada variasi 6%, kuat tekan rata-rata 4,62 kg/cm², dan pada variasi 7%, kuat tekan rata-rata naik 0,71 kg/cm². Ini karena ikatan yang tidak sempurna atau lemah.

Dan data hasil pengujian daya resap pada tabel 2 Menunjukkan bahwa pada variasi 0% sebesar 0,15 dan mengalami kenaikan sebesar 0,04 pada variasi 5%. Dan variasi 5% mendapatkan rata-rata absorpsi sebesar 0,19 dan variasi 6% mendapatkan rata-rata sebesar 0,58. Pada variasi ini mengalami kenaikan sebesar 0,39. Sedangkan pada variasi 7% mendapatkan absorpsi rata-rata sebesar 0,25, Pada variasi ini mengalami penurunan sebesar 0,33. penambahan dan foam agent pada presentase tertentu akan menurunkan porositas batu bata, namun setelah melewati batas optimum variasi penambahan sekam padi dan foam agent akan menaikkan porositasnya. Pada penambahan variasi 5% mengalami kestabilan porositas, sedangkan pada penambahan variasi 6% dan 7% mengalami naik turunnya porositas.

Sedangkan untuk hasil pengujian berat jenis pada tabel 3 Menunjukkan bahwa penambahan foam agent menunjukkan kondisi dimana berat jenis pada presentase 0%, 5% sebesar 1,07 dan pada presentase 6% sebesar 0,94. pada presentase 7% sebesar 0,88. pada penambahan foam agent dari setiap variasi mengalami naik turun hal ini bisa disebabkan karena pada saat pencampuran foam agent kedalam bahan campur lainnya kurang merata yang mengakibatkan tidak stabilnya berat jenis pada setiap variasi,

Perubahan partikel karbon selama pembakaran dapat menyebabkan berat jenis yang tidak stabil pada setiap variasi. Karbon yang dibakar pada panas pembakaran akan menguap dan terbakar seiring dengan waktu pembakaran, menyebabkan banyak rongga di batu bata yang menyebabkan penurunan berat jenis. Berat jenis batu bata untuk dinding nonstruktural harus

lebih ringan daripada batu bata biasa, dengan variasi 5%, 6%, dan 7%. Karena berat jenis batu bata yang ringan mengurangi berat sen sehingga dinding tidak mudah roboh karena berat sen.

Presentase optimum yang terjadi pada penjelasan diatas bahwa batu bata merah yang memiliki kuat tekan yang bagus ialah variasi 0% sebesar 18,67 kg/cm². sedangkan dalam penelitian ini presentase terbaik dalam pengujian kuat tekan pada variasi 5% sebesar 11,92 kg/ dan penyerapan air yang sesuai dengan SNI 15-2094-2000 dari ketiga variasi tersebut ialah presentase dengan variasi 5% sebesar 0,19.

SIMPULAN

Kuat tekan bata merah dalam penggunaan *foam agent* memiliki kuat tekan yang berbeda beda, dari hasil pengujian kuat tekan bata merah yaitu 0% sebesar 18,67 kg/cm², selanjutnya mengalami penurunan pada variasi 5% sebesar 11,91 kg/m², 6% sebesar 4,62 kg/m² dan 7% sebesar 5,33 kg/m². Nilai kuat tekan pada variasi 5%,6%.7% tidak memenuhi standar SNI 15-2094-2000. Sedangkan untuk penyerapan air bata merah pada variasi 0% mendapatkan rata-rata penyerapan air sebesar 0,15, 5% sebesar 0,19. selanjutnya mengalami kenaikan pada variasi 6% sebesar 0,58 dan mengalami penurunan pada variasi 7% sebesar 0,25. Untuk batu bata merah yang memenuhi syarat untuk penyerapan air sesuai dengan SNI-15-2094-2000, tingkat penyerapan air maksimalnya adalah 20%. Sehingga pada ketiga variasi tersebut menunjukkan bahwa penyerapan air yang memenuhi persyaratan yaitu pada variasi 5% sebesar 0,19. Dan pengujian berat jenis bata merah pada presentase 0%, 5% mendapatkan nilai sebesar 1,07 terus mengalami kenaikan pada presentase 6% sebesar 0,94 dan pada presentase 7% mengalami penurunan sebesar 0,88.

DAFTAR PUSTAKA

- Algraiti, W., & Kavussi, A. (2023). The role of rejuvenating agents in cold recycled foam asphalt mixes. *Case Studies in Construction Materials*, 19(August), e02515. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02515>
- Almuqrin, A. H., Abd El-Hamid, A. A. M., Sayyed, M. I., & Mahmoud, K. A. (2024). Impacts of Saudi Arabian fly ash on the structural, physical, and radiation shielding properties of clay bricks rich vermiculite mineral. *Nuclear Engineering and Technology*, 56(6), 2324–2331. <https://doi.org/10.1016/j.net.2024.01.043>
- Bhuyan, M. A. H., Kurtulus, C., Heponiemi, A., & Luukkonen, T. (2023). Peracetic acid as a novel blowing agent in the direct foaming of alkali-activated materials. *Applied Clay Science*, 231(October 2022), 106727. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106727>
- Cardoza, A., & Colorado, H. A. (2024). Alkaline activation of brick waste with partial addition of ordinary Portland cement (OPC) for reducing brick industry pollution and developing a feasible and competitive construction material. *Open Ceramics*, 18(53), 100569. <https://doi.org/10.1016/j.oceram.2024.100569>
- Hashim, M., & Tantray, M. (2021). Comparative study on the performance of protein and synthetic-based foaming agents used in foamed concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00524. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00524>
- Khatri, B., Hamid, & Jaiswal, A. K. (2024). Optimizing foaming agents for shelf-stable foam-

- mat-dried black mulberry juice powder. *Lwt*, 205(July), 116512. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116512>
- Kogbara, R. B., Al-Zubi, A., & Masad, E. A. (2023). Early age strength of ambient-cured geopolymer mortars from waste concrete and bricks with different alkaline activators. *Materials Open Research*, 2, 8. <https://doi.org/10.12688/materialsopenres.17592.1>
- Lutfiani, B., Zakina, A., Santoso, T. B., Syahrul, O., & Lempung, T. (2022). *De ' Teksi Jurnal Teknik Sipil Unigoro STUDY OF BOJONEGORO SOIL STABILIZATION USING SAND AND LIME Abstrak De ' Teksi Jurnal Teknik Sipil Unigoro ISSN : 2502-3152*. 7(2), 11–20.
- Mahanna, H., Salah, H., Mansour, A., Elareed, A., Abadel, A. A., Nehdi, M. L., & Tahwia, A. M. (2024). Eco-efficient reuse of alum-based water treatment sludge into structural sintering bricks. *Case Studies in Construction Materials*, 20(December 2023), e03011. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03011>
- Santoso, T. B., & Miftah, M. F. (2023). Pengaruh Penambahan Foam Agent Terhadap Density, Daya Serap Air Dan Kuat Tekan Mortar. *Jurnal Riset Teknik Sipil Dan Sains*, 2(1), 32–39. <https://doi.org/10.57203/jriteks.v2i1.2023.32-39>
- Umama, M. A., Zahid, C. Z. Bin, Sarder, N., Joy, J. A., & Ifty, I. I. (2024). Temperature and humidity effects on salt crystallization in burnt clay bricks. *Results in Materials*, 21(October 2023), 100541. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2024.100541>
- Xie, G., Zhang, X., Hao, H., & Thomas, J. (2024). Parametric study of reinforced interlocking brick wall under cyclic loading. *Journal of Building Engineering*, 83(December 2023), 108415. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2023.108415>
- XIONG, C., CAO, G., ZHANG, J., LI, N., XU, W., WU, J., LI, J., & ZHANG, N. (2019). Nanoparticle foaming agents for major gas fields in China. *Petroleum Exploration and Development*, 46(5), 1022–1030. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(19\)60259-4](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(19)60259-4)
- Zhang, Q., Zhang, Z., Wang, F., & Yue, Z. (2024). Comprehensive consideration of user-control variables for drilling resistance measurement system and estimation of uniaxial compressive strength of sandstone and clay brick. *Case Studies in Construction Materials*, 20(May), e03321. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03321>