

JURNAL KONSTRUKSI DAN INFRASTRUKTUR

Teknik Sipil dan Perencanaan

EFEKTIVITAS CAMPURAN LIMBAH BATA RINGAN TERHADAP PENINGKATAN KUAT TEKAN BEBAS PADA TANAH BEBUTIR HALUS

Hamdan Kadir^{1*}, Wudi Darul Putra¹, Agil Nung¹, Akmal Fais¹

^{1*} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Makassar.

Email Penulis Korespondensi : hamdankdir@umi.ac.id

Nomor HP Penulis Korespondensi : 085299790094

ABSTRACT

Fine-grained soils generally possess low bearing capacity, high plasticity, and low unconfined compressive strength, requiring stabilization prior to their use as subgrade materials in construction works. One alternative method is the utilization of construction waste in the form of lightweight brick waste or *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC), which contains active silica and has the potential to improve soil strength. This study aims to evaluate the effectiveness of AAC waste as a stabilization material for fine-grained soils in improving the *Unconfined Compressive Strength* (UCS). The soil samples were compacted using a standard compaction method to achieve optimum density conditions. AAC waste was added at variations of 0%, 2%, 4%, 6%, and 8% of the dry weight of soil. The soil-AAC mixtures were then molded and tested for UCS under both remolded and unremolded conditions. In addition, UCS tests were conducted with curing periods ranging from 0 to 3 days to analyze the effect of early curing on the strength development of stabilized soil. The results indicated that the addition of AAC waste increased the UCS value up to an optimum content of 6%. At this percentage and a curing period of 3 days, the soil achieved an unconfined compressive strength (q_u) of 2.518 kg/cm², an undrained cohesion (C_u) of 1.259 kg/cm², and a soil sensitivity (S_t) value of 1.747. Overall, AAC waste has significant potential as an environmentally friendly alternative material for the stabilization of fine-grained soils in geotechnical engineering applications.

Keyword: *autoclaved aerated concrete waste, Autoclaved Aerated Concrete (AAC), Unconfined Compressive Strength (UCS), Soil Stabilization, Curing.*

1. PENDAHULUAN

Tanah berbutir halus seperti lempung dan lanau sering menimbulkan permasalahan geoteknik karena memiliki kuat geser rendah, plastisitas tinggi, serta potensi kembang-susut yang besar akibat perubahan kadar air. Kondisi tersebut menyebabkan rendahnya daya dukung dan stabilitas tanah sehingga diperlukan upaya stabilisasi untuk meningkatkan sifat mekaniknya [1].

Stabilisasi tanah umumnya dilakukan menggunakan bahan konvensional seperti semen dan kapur, namun penggunaan material limbah sebagai bahan stabilisasi alternatif mulai berkembang seiring konsep *sustainable construction* [2]. Salah satu limbah konstruksi yang berpotensi dimanfaatkan adalah limbah bata ringan atau *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC). Limbah AAC memiliki kandungan silika dan kalsium yang mampu meningkatkan ikatan antarpartikel tanah melalui reaksi pozzolanik sehingga berpotensi meningkatkan kekuatan tanah.

Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tanah berbutir halus yang diambil dari lokasi penelitian di Kecamatan Moncong Loe, Kabupaten Maros, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan dan limbah bata ringan (*Autoclaved Aerated Concrete/AAC*) yang diperoleh dari sisa material konstruksi di salah satu pembangunan apartemen di Kota Makassar. Tanah dikeringkan secara alami dan diayak untuk memperoleh kondisi homogen sebelum pengujian. Limbah bata ringan dihancurkan hingga ukuran butiran halus agar dapat tercampur secara merata dengan tanah.

2. 2 Komposisi dan Variasi Campuran

Komposisi campuran dirancang untuk mengetahui pengaruh persentase limbah bata ringan (*Autoclaved Aerated Concrete/AAC*) terhadap peningkatan nilai kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength/UCS*) tanah lempung. Variasi campuran yang umum digunakan dalam penelitian stabilisasi tanah berbasis limbah konstruksi berkisar antara 0%–8% dari berat kering tanah, karena pada rentang tersebut material pozzolanik mulai menunjukkan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kekuatan tanah.

Dalam penelitian ini digunakan variasi campuran limbah bata ringan sebesar 0% (tanah asli), 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap berat kering tanah. Variasi tersebut dipilih berdasarkan beberapa penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa penambahan material limbah pada kisaran tersebut mampu meningkatkan karakteristik mekanik tanah secara optimum sebelum mengalami penurunan akibat kelebihan bahan campuran.

2. 3 Pengujian Laboratorium

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sifat fisik berupa pengujian kadar air, berat isi tanah, berat jenis tanah dan Analisa saringan. pengujian sifat mekanik yang meliputi pengujian kompaksi dan kuat tekan (UCS). Pengujian UCS dilakukan pada kondisi *remolded* dan *unremolded*. Selain itu, dilakukan variasi waktu peram selama 0 hari, 1 hari, 2 hari, dan 3 hari untuk mengevaluasi pengaruh perawatan awal terhadap perkembangan kekuatan tanah. Nilai kuat tekan bebas (q_u) diperoleh dari hasil pengujian UCS, sedangkan nilai kohesi *undrained* (C_u) dihitung menggunakan hubungan:

$$C_u = \frac{q_u}{2} \quad (1)$$

Dimana :

C_u : kohesi *undrained* (kg/cm^2)

q_u : Nilai kuat tekan bebas (kg/cm^2)

(sumber : Braja M. Das 2010 [5])

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa nilai kohesi *undrained* diperoleh dari setengah nilai kuat tekan bebas tanah. Dengan demikian, semakin tinggi nilai q_u , maka nilai C_u juga akan meningkat. Hal ini terjadi karena peningkatan kuat tekan bebas mencerminkan semakin kuatnya ikatan antarpartikel tanah akibat proses pemadatan atau stabilisasi tanah. Sensitivitas tanah (S_t) ditentukan dari perbandingan nilai q_u kondisi *unremolded* terhadap *remolded*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3. 1 Pengaruh Limbah AAC terhadap Kuat Tekan Bebas (q_u)

Setelah pencampuran, sampel tanah bata ringan dipadatkan pada kadar air optimum yang diperoleh dari hasil uji kompaksi. Selanjutnya, seluruh sampel dilakukan pemeraman (*curing*) selama 0, 1, 2, dan

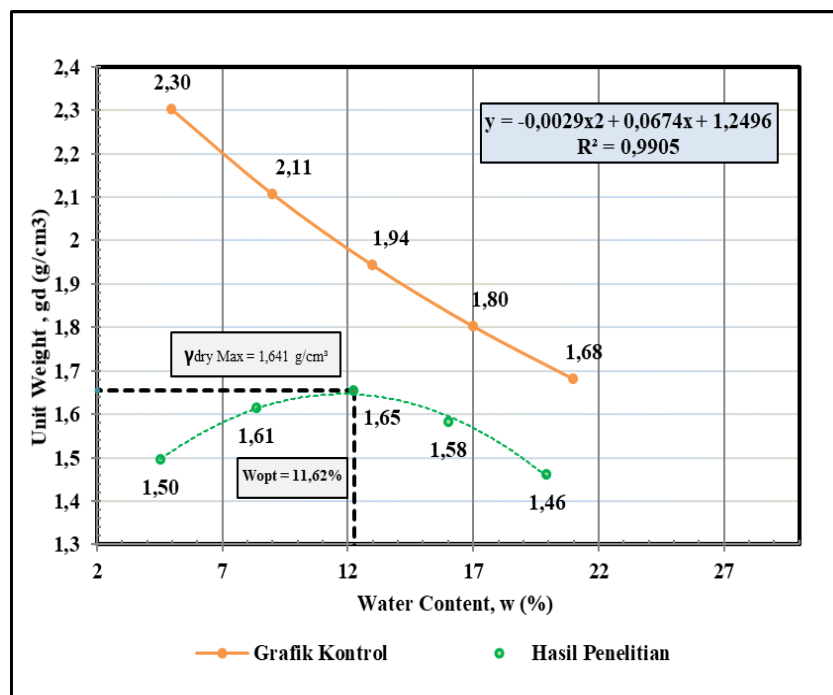
3 hari untuk mengamati perkembangan kekuatan tanah akibat adanya potensi reaksi kimia antara mineral tanah dan kandungan kalsium pada limbah batah ringan. Pemeraman menjadi bagian penting dalam penelitian ini karena reaksi pozzolanik maupun proses pengikatan internal pada material batah ringan umumnya membutuhkan waktu sehingga perubahan kekuatan tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi campuran, tetapi juga durasi pemeraman [6]. Pada pengujian sifat fisis tanah didapatkan informasi sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai Pengujian Fisis Tanah

Parameter	Nilai Tanah Asli
Kadar Air	38 %
Berat Isi	1,86 gr/cm ³
Berat Jenis	2,60
Liquid Limit (LL)	36,75 %
Plastic Limit (PL)	14,38 %
Plasticity Index (PI)	21,29 %
Kuat Tekan Bebas	1,505 Kg/cm ²
Berat Isi Kering Maks.	1,641 gr/cm ³
Kadar Air Optimum	11,62 %

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Nilai berat isi kering maks ($\gamma_{d_{max}}$) dan kadar air optimum (w_{opt}) yang ditunjukkan pada tabel 1 berasal dari pengujian kompaksi dengan metode *modified proctor* yang dianalisis melalui grafik. Grafik tersebut menunjukkan akibat penambahan kadar air, berat isi kering semakin meningkat pada batas-batas tertentu, selanjutnya berat isi kering berkurang meskipun kadar air ditingkatkan. Berikut nilai grafik keseluruhan yang berasal dari perhitungan kompaksi.



Gambar 2. Grafik Perhitungan Kompaksi

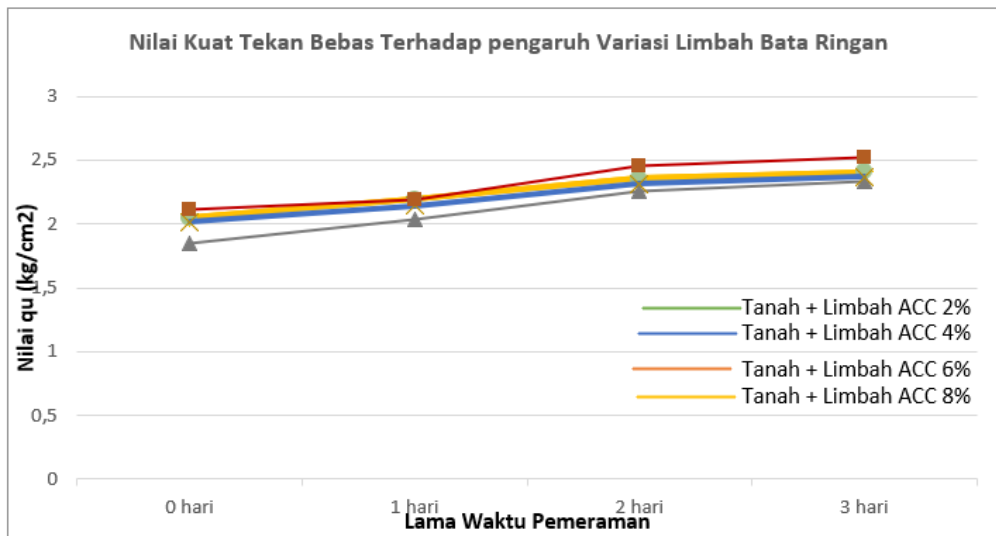
Dari keterangan tabel diatas, menandakan tanah tersebut tergolong dalam tanah berbutir halus berdasarkan aturan ASTM. selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan bebas dan dibandingkan berdasarkan variasi campuran limbah batah ringan (variasi kadar sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%) dan lama waktu pemeraman yang dilakukan (pemeraman selama 0, 1, 2, dan 3). berikut adalah nilai dari kuat tekan bebas yang didapatkan.

Tabel 2. Pengujian Kuat Tekan Bebas terhadap variasi Limbah batah ringan

Variasi Limbah Bata ringan	Hari Pemeraman	Nilai qu (Kg/cm ²)	Nilai Cu (Kg/cm ²)	Nilai St
0%	0 Hari	1,505	0,753	1,707
2%	0 Hari	1,853	0,927	1,828
4%	0 Hari	2,018	1,054	1,906
6%	0 Hari	2,112	1,056	2,074
8%	0 Hari	2,051	1,026	2,098
Variasi Limbah Bata ringan	Hari Pemeraman	Nilai qu (Kg/cm ²)	Nilai Cu (Kg/cm ²)	Nilai St
0%	1 Hari	1,505	0,753	1,707
2%	1 Hari	2,038	1,019	2,040
4%	1 Hari	2,141	1,071	2,194
6%	1 Hari	2,194	1,097	1,818
8%	1 Hari	2,190	1,095	2,066
Variasi Limbah Bata ringan	Hari Pemeraman	Nilai qu (Kg/cm ²)	Nilai Cu (Kg/cm ²)	Nilai St
0%	2 Hari	1,505	0,753	1,707
2%	2 Hari	2,255	1,128	2,081
4%	2 Hari	2,315	1,158	2,316
6%	2 Hari	2,457	1,229	1,946
8%	2 Hari	2,356	1,178	2,095
Variasi Limbah Bata ringan	Hari Pemeraman	Nilai qu (Kg/cm ²)	Nilai Cu (Kg/cm ²)	Nilai St
0%	3 Hari	1,505	0,753	1,707
2%	3 Hari	2,333	1,167	2,017
4%	3 Hari	2,370	1,185	2,286
6%	3 Hari	2,518	1,259	1,747
8%	3 Hari	2,409	1,205	1,890

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan tabel diatas, diketahui terjadi peningkatan pada nilai kuat tekan saat dilakukan pemeraman. Begitu juga dengan penambahan pada variasi limbah batah ringan (AAC) yang terdiri dari 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%. Pada hari ke-0 (tanpa pemeraman), hasil kuat tekan bebas menggambarkan kontribusi awal limbah AAC sebagai filler yang mengisi rongga tanah dan meningkatkan densitas lokal antarpartikel. Namun pada hari ke-1 hingga hari ke-3, tren peningkatan UCS semakin terlihat terutama pada variasi campuran 4–8%[7]. Hal ini menunjukkan bahwa pemeraman memberi waktu bagi terbentuknya ikatan yang lebih stabil pada struktur tanah, sehingga memberikan peningkatan kekuatan yang lebih signifikan dibanding kondisi tanpa curing [8] [9].



Gambar 3. Grafik nilai kuat tekan bebas terhadap pengaruh variasi limbah bata ringan.

Secara umum, penambahan limbah bata ringan memberikan peningkatan nilai UCS pada semua variasi, dengan kecenderungan peningkatan terbesar terjadi pada kadar campuran 6% dan pada variasi 8% mengalami sedikit penurunan, kualitas (dari segi nilai q_u , c_u dan sensitifitas tanah)[10][11], terutama setelah pemeraman 2–3 hari. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian terdahulu yang menyebutkan bahwa material berbasis AAC dapat memicu terbentuknya ikatan sementasi sekunder dan mengurangi plastisitas tanah[12]. Sementara itu, variasi 2% memberikan peningkatan yang relatif lebih kecil karena jumlah material limbah bata ringan belum cukup untuk memengaruhi struktur tanah secara signifikan [5].

3. 2 Pengaruh terhadap Kohesi Undrained (C_u)

Nilai kohesi undrained (C_u) menunjukkan tren yang sejalan dengan nilai q_u . Peningkatan C_u terjadi hingga kadar bata ringan 6%, dengan nilai C_u maksimum sebesar 1,259 kg/cm². Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan limbah bata ringan mampu meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan tegangan geser pada kondisi *undrained*.

Penambahan limbah bata ringan (*Autoclaved Aerated Concrete/AAC*) sebesar 6% menghasilkan nilai kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength/UCS*) yang lebih tinggi dibandingkan penambahan 8% karena pada kadar tersebut terjadi kondisi optimum antara partikel tanah dan material stabilisasi. Pada campuran 6%, kandungan silika dan kalsium dari limbah bata ringan masih mampu berinteraksi secara efektif dengan partikel tanah dan air melalui reaksi pozzolanik, sehingga terbentuk ikatan antarpartikel yang meningkatkan kepadatan dan kekuatan tanah. Reaksi ini menghasilkan senyawa pengikat seperti *calcium silicate hydrate* (C-S-H) yang berperan dalam meningkatkan kohesi dan kekuatan struktur tanah [8]. Namun, ketika kadar limbah bata ringan ditingkatkan menjadi 8%, nilai UCS cenderung menurun. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah partikel limbah yang bersifat ringan dan berpori sehingga campuran menjadi lebih renggang dan kurang padat. Kelebihan material limbah bata ringan dapat menyebabkan distribusi partikel tanah menjadi tidak homogen dan mengurangi kontak langsung antarbutiran tanah. Selain itu, sifat *porous* pada limbah bata ringan meningkatkan jumlah rongga udara (*void ratio*) di dalam campuran sehingga kepadatan tanah menurun dan kekuatan tekan bebas menjadi lebih rendah [8].

3.3 Sensitivitas Tanah (St)

Sensitivitas tanah cenderung menurun dengan bertambahnya kadar limbah bata ringan hingga kadar optimum. Penurunan nilai St menunjukkan bahwa tanah hasil stabilisasi menjadi lebih stabil dan tidak terlalu bergantung pada struktur alaminya. Pada kadar bata ringan 6% dan waktu peram 3 hari, diperoleh nilai sensitivitas sebesar 1,747, yang menunjukkan tanah berada pada kategori sensitivitas rendah hingga sedang.

3.4 Pengaruh Waktu Pemeraman

Pengaruh waktu peram hingga 3 hari menunjukkan peningkatan nilai q_u dan C_u yang relatif terbatas. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan kekuatan tanah pada umur awal lebih didominasi oleh efek mekanis akibat pemadatan dibandingkan reaksi kimia dari limbah bata ringan.

4. KESIMPULAN

Penambahan limbah bata ringan (*Autoclaved Aerated Concrete/AAC*) efektif meningkatkan kuat tekan bebas, kohesi *undrained*, dan stabilitas tanah berbutir halus hingga kadar optimum sebesar 6%. Penambahan limbah AAC melebihi kadar optimum menyebabkan penurunan kekuatan akibat meningkatnya porositas campuran. Nilai kuat tekan bebas maksimum sebesar 2,518 kg/cm², kohesi *undrained* 1,259 kg/cm², dan sensitivitas tanah 1,747 diperoleh pada kadar AAC 6% dengan waktu peram 3 hari. Secara keseluruhan, limbah AAC berpotensi digunakan sebagai material alternatif ramah lingkungan untuk stabilisasi tanah berbutir halus pada pekerjaan geoteknik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Dermawan, A. Laksono, A. Ridwan, Y. Cahyo, and D. A. Karisma, "Uji Stabilitas Tanah Ekspansif Menggunakan Penambahan Limbah Bata Ringan Pada Jalan Tamanan Kabupaten Nganjuk Expansive Soil Stability Test Using Addition of Lightweight Brick Waste to Tanjangan Road, Nganjuk Regency," vol. 2, no. 1, 2020.
- [2] J. Musianirudin and T. Mindaistiwi, "Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Bahan Campuran Semen dan Serbuk Batu Bata Dengan Metode Kuat Tekan Bebas," *J. Tek. Sipil*, vol. 15, no. 2, pp. 78–92, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal2.untagsmg.ac.id/index.php/JTS>.
- [3] D. Abriari, M. N. Abduh, and S. Sariman, "Pengaruh Penggunaan Silica Fume dan Serbuk Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Bebas dan Kuat Geser Tanah Lempung," *J. Penelit. Tek. Sipil Konsolidasi*, vol. 2, no. 3, pp. 287–293, Sep. 2024, doi: 10.56326/jptsk.v2i3.4396.
- [4] Pratikso, A. Rochim, R. Mudiyo, and A. Situmorang, "Stabilization of Expansive Soil with Lime, Fly Ash and Cement," *Int. J. Intell. Syst. Appl. Eng.*, vol. 11, no. 4s, pp. 491–497, 2023.
- [5] B. M. Das, "Principles of Geotechnical Engineering," 2010.
- [6] R. Budiarto, "Pengaruh Penambahan Limbah Bata Ringan Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung," Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta, 2023.
- [7] A. Muntohar, "Influence of rice husk ash and lime on engineering properties clayey subgrade," *Electron. J. Geotech. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–13, 2000, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/290086695>.
- [8] R. Rawat and V. K. Sonthwal, "Soil Stabilization Using Waste Material : A Review," *Int. J. Tech. Innov. Mod. Eng. Sci. I*, vol. 4, no. 7, pp. 866–869, 2018, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/327633166>.
- [9] M. Singh and A. Mittal, "A Review On The Soil Stabilization With Waste Materials," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, pp. 11–16, 2014, [Online]. Available:

- https://www.ijera.com/special_issue/AET_Mar_2014/CE/Version_2/C11116.pdf.
- [10] A. Zulnasari, S. A. Nugroho, and F. Fatnanta, “Perubahan Nilai Kuat Tekan Lempung Lunak Distabilisasi Dengan Kapur dan Limbah Pembakaran Batubara,” *J. Rekayasa Sipil*, vol. 17, no. 1, p. 24, Jul. 2021, doi: 10.25077/jrs.17.1.24-36.2021.
- [11] N. N. Nisrina, “Stabilitas Tanah Lempung Ekspansif Dengan Campuran Bottom Ash Pabrik Kertas Dan Limbah Karbit Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR) Soaked,” Universitas Sriwijaya, Sriwijaya, 2022.
- [12] V. Valliappan and S. Vijayasimhan, “Reuse of Waste Materials in Geotechnical Practice,” *MATEC Web Conf.*, vol. 400, p. 02001, 2024, doi: 10.1051/mateconf/202440002001.