

Pemanfaatan Limbah Konstruksi untuk Memperbaiki Gradasi Tanah pada Produksi Bata Compressed Stabilized Earth Block (CSEB)

Andrian Kaifan¹, Munardy², Irham³, Khairul Miswar⁴, Fauzi A. Gani⁵
^{1, 2, 3, 4, 5} Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe, Indonesia
Email: andriankaifan@pnl.ac.id¹, munardy@pnl.ac.id², irham@pnl.ac.id³,
khairulmiswar@pnl.ac.id⁴, fauzi@pnl.ac.id⁵

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v15i1.1208>

(Received: 27 November 2024 / Revised: 07 January 2025 / Accepted: 22 February 2025)

Abstrak

Material semen adalah yang paling umum digunakan sebagai stabilisator untuk meningkatkan sifat-sifat *Compressed Stabilized Earth Blocks* (CSEB). Faktor yang mengatur yang mengendalikan sifat-sifat CSEB termasuk jumlah kandungan lanau dan lempung di dalam tanah. Penelitian ini difokuskan pada pengendalian kandungan lanau dan lempung dan perbaikan gradasi dengan penggunaan limbah konstruksi (beton yang dihancurkan) dan pasir sungai. Tanah yang dipilih dimodifikasi gradasinya dengan menambahkan limbah konstruksi dan pasir mengikuti teori konsep *particle packing* pada kurva gradasi Fuller dengan kandungan lanau + lempung kondisi asli dan sebanyak 20%. Semen digunakan dengan kadar 6%, 8%, dan 10%. Benda uji kubus $15 \times 15 \times 15$ cm³ dicetak dan diuji kepadatan, penyerapan air, dan kuat tekan 28 hari. Hasil dari penelitian terlihat bahwa bata CSEB yang diperbaiki gradasi tanahnya ini masuk pada mutu Kelas C dan kelas B menurut WD-ARS 1333:2018(E) Bagian 7. Bata CSEB dengan campuran limbah konstruksi ini memberikan solusi mengurangi limbah konstruksi.

Kata kunci: CSEB, limbah konstruksi, lanau dan lempung, *particle packing*, kuat tekan.

Abstract

Cement is the most used material as a stabilizer to improve the properties of Compressed Stabilized Earth Blocks (CSEB). The controlling factors that control the properties of CSEB include the amount of silt and clay content in the soil. This study focused on controlling silt and clay content and improving gradation by using construction waste (crushed concrete) and river sand. The selected soil was modified in its gradation by adding construction waste and sand following the particle packing concept theory on the Fuller gradation curve with the original silt + clay content and as much as 20%. Cement was used with levels of 6%, 8%, and 10%. Cube test specimens measuring $15 \times 15 \times 15$ cm³ were moulded and tested for density, water absorption, and 28-day compressive strength. The results of the study showed that the CSEB bricks with improved soil gradation were in Class C and Class B quality according to WD-ARS 1333:2018(E) Part 7. CSEB bricks with a mixture of construction waste provide a solution to reduce construction waste.

Keywords: CSEB, construction waste, silt and clay, *particle packing*, compressive strength

1. Latar Belakang

Bata tanah liat merupakan bahan keramik yang banyak digunakan dalam industri konstruksi. Proses produksinya melibatkan pembentukan tanah liat menjadi balok persegi panjang dengan ukuran standar, diikuti dengan pembakaran hingga suhu berkisar antara 900 - 1200 °C. Bata tanah liat terbuat dari tanah liat yang dibentuk sesuai bentuk yang diinginkan dengan cara mencetaknya secara manual atau menggunakan mesin pencetak, dikeringkan dan dibakar menjadi produk keramik yang tahan lama. Bata merupakan salah satu bahan bangunan yang sangat penting. Konsumsi energi dan polusi adalah dua masalah lingkungan dan biaya uang amat penting yang terkait dengan industri bata tanah liat bakar (Deboucha and Hashim, 2011). Sebuah laporan, pada tahun 1993, menunjukkan bahwa lebih dari 3000 tempat pembakaran bata beroperasi di negara Bangladesh dengan pertumbuhan tahunan sebesar 3% (FAO, 1993).

Bata *Compressed Stabilized Earth Blocks* (CSEB) adalah turunan modern dari blok tanah cetakan, yang lebih dikenal sebagai blok batako. Ide memadatkan tanah untuk meningkatkan kualitas dan kinerja balok tanah cetakan, masih menjadi hal yang relatif baru semenjak pemadatan tanah dengan tekanan balok kayu pertama diproduksi. Mesin pertama untuk mengkompresi tanah berasal dari abad ke-18. Tetapi titik balik dalam penggunaan mesin tekan untuk blok tanah terkompresi yang digunakan untuk bangunan dan tujuan arsitektur telah ada sejak tahun 1952 (Deboucha and Hashim, 2011).

Menurut Adam and Agib (2001), pembuatan Bata CSEB yang berkualitas baik dan tahan lama membutuhkan penggunaan tanah liat yang mengandung kerikil halus dan pasir, bersama dengan lumpur dan tanah liat untuk mengikat partikel pasir bersama-sama. Jenis stabilisator yang tepat harus ditambahkan untuk mengurangi ekspansi linier yang terjadi ketika air ditambahkan ke sampel tanah. Dibandingkan dengan bata merah bakar (burnt clay), bata CSEB menghasilkan emisi energi saat produksinya yang jauh lebih sedikit (Waziri et al., 2013). Bahkan, produksi bata CSEB lebih efisien dalam penggunaan energi dan lebih efektif dalam harga (Priji et al., 2020).

Menstabilkan tanah dalam hal pembuatan Bata CSEB ini berarti memberikannya sifat-sifat yang tidak dapat diubah dalam menghadapi kendala fisik. Banyak sekali parameter yang berlaku, tergantung pada desain bangunan, kualitas bahan yang akan digunakan, aspek ekonomi, atau masalah ketahanan. Agar stabilisasi berhasil, proses yang digunakan harus sesuai dengan berbagai keharusan ini (Rigassi, 1985).

Dalam industri pembuatan bata, telah dilakukan penelitian-penelitian tentang cara menggunakan kembali produk limbah yang berbeda sebagai stabilisator untuk menghasilkan bata dengan kualitas yang lebih baik (Faria et al., 2012, Islam et al., 2020, Elahi et al., 2021). Penggunaan blok tanah yang dipadatkan dan distabilkan (CSEB) pada pasangan bata penahan beban sebagian besar dikembangkan selama beberapa dekade terakhir ini.

Beton adalah hasil campuran antara air, semen, pasir dan kerikil yang memiliki perbandingan tertentu yang disesuaikan dengan fungsi dan tujuan pembuatan beton tersebut. Pada prinsipnya beton tersebut direkatkan oleh semen yang dicampur dengan air yang mengikat agregat kasar maupun agregat halus.

Perekatan pasta semen pada agregat ini dengan cara mengisi rongga-rongga sehingga harus diperhitungkan dan memiliki perbandingan yang baik sehingga beton yang dihasilkan pun memiliki kualitas yang baik. Beton juga memiliki peranan penting dalam menentukan umur dan kekuatan suatu bangunan.

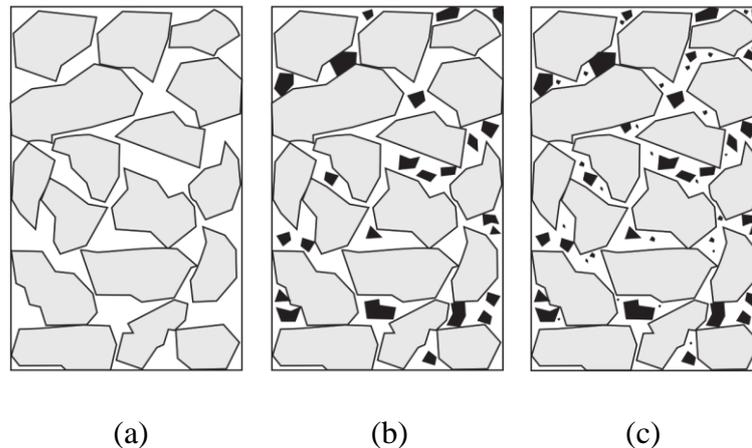
Dalam pengerjaan proyek konstruksi bangunan, biasanya sering ditemukan limbah Hancuran Beton yang tidak dimanfaatkan kembali, Dengan adanya limbah tersebut maka aktivitas pembangunan seringkali terganggu. Oleh karena itu, limbah Hancuran Beton perlu dimanfaatkan dalam proses konstruksi agar tidak terbuang begitu saja. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh limbah konstruksi yaitu hancuran beton yang dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian agregat untuk memperbaiki gradasi tanah pada proses pembuatan Bata CSEB.

Beton tanah ramah lingkungan adalah beton tanah yang tersusun dari material yang tidak merusak lingkungan. Salah satunya berupa penggantian agregat penyusun beton dengan material yang tidak merusak lingkungan (Suharwanto, 2005).

Sifat mekanis bata yang dimaksud di sini adalah sifat bata jika diberi pembebanan atau dipengaruhi dengan perlakuan tertentu. Sifat teknis bata menurut Somayaji (2001) dalam Andayono et al. (2017) di antaranya adalah: 1) Kuat tekan bata, kuat tekan ini adalah kekuatan tekan maksimum bata per satuan luas permukaan yang dibebani; dan 2) Kuat tekan pasangan bata, kuat tekan ini adalah kekuatan tekan maksimum dari pasangan bata dengan mortar. Kuat tekan dinding pasangan batu bata lebih banyak dipengaruhi oleh kekuatan mortarnya, dan dibatasi oleh kekuatan bata.

Di samping itu, distribusi ukuran partikel tanah merupakan bagian utama dari persiapan material tanah untuk produksi bata CSEB. Kuat tekan bata CSEB juga bergantung pada pemadatan partikel tanah ini. Teori *particle packing* menyatakan, bagaimana mengoptimalkan partikel yang masuk ke dalam suatu campuran dengan meminimalkan rasio rongga udara. Menurut kurva optimalisasi gradasi, seperti yang dijelaskan dalam teori *particle packing*, partikel tanah dengan ukuran-ukuran yang berbeda ditambahkan ke dalam campuran untuk meningkatkan kepadatan *particle packing* dengan mengurangi rongga seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Pada Gambar 1(a) menunjukkan bahwa partikel-partikel besar telah mengisi wadah dengan rongga-rongga udara yang besar. Kemudian partikel-partikel yang lebih kecil ditambahkan untuk mengurangi rongga udara (Gambar 1(b)). Partikel-partikel yang lebih kecil diisi untuk makin mengurangi rongga udara sehingga kepadatan meningkatkan.

Konsep optimasi dengan konsep *particle packing* ini telah digunakan oleh para peneliti di bidang teknologi beton seperti untuk menghasilkan beton kinerja tinggi (Wong and Chan, 2013) dan *paving block interlocking* (Hettiarachchi and Mampearachchi, 2019). Berbagai penelitian mengenai kepadatan *particle packing* dengan konsep optimasi ini telah dilakukan. Partikel dianggap sebagai distribusi kontinu dalam teori Kurva Fuller (Fennis and Walraven, 2012). Hal ini didasarkan pada korelasi antara partikel kecil dan besar dalam distribusi (Borges et al., 2014). Penelitian ini mencoba mengendalikan kandungan lanau dan lempung dan perbaikan gradasi dengan penggunaan pasir sungai limbah konstruksi pada bata CSEB. Limbah konstruksi yang digunakan adalah beton yang dihancurkan.



Gambar 1 Konsep *particle packing* oleh Johansen 1989
Sumber: (V. and Santhanam, 2003)

2. Metode Penelitian

Bata CSEB skala laboratorium dalam penelitian ini menggunakan limbah konstruksi berupa beton bekas konstruksi bangunan, tanah dari Desa Paloh Pundi, Kecamatan Muara Satu Kota Lhokseumawe, pasir, dan semen. Uji sifat-sifat fisis tanah meliputi uji kadar air tanah, uji analisis saringan kering, uji Atterberg, uji gravity specific, dan uji berat volume. Untuk uji sifat-sifat mekanis tanah meliputi uji Proctor standar dan uji kuat tekan sampel kubus. Ukuran partikel maksimum semua material adalah 4,750 mm (lolos saringan #4). Penelitian ini berfokus pada modifikasi gradasi tanah berdasarkan teori *particle packing*. Teori kurva Fuller digunakan sebagai kurva teoritis. Persamaan teori Kurva Fuller ditunjukkan oleh Persamaan (1).

$$P(d) = \left(\frac{d}{d_{\max}} \right)^n \quad (1)$$

$$P(d) = \frac{d^n - d_{\min}^n}{d_{\max}^n - d_{\min}^n} \quad (2)$$

dalam hal ini:

- $P(d)$ = fungsi distribusi ukuran partikel kumulatif, d = diameter partikel (m);
- d_{\max} = diameter maksimum ukuran partikel dalam campuran (m);
- n = eksponensial (0,33 – 0,5), yang menentukan kurva distribusi halus atau kasar;
- d_{\min} = diameter minimum ukuran partikel dalam campuran (m).

Proporsi lanau dan lempung pada penelitian ini dibuat dalam 2 proporsi yaitu kondisi aslinya dan sebesar 20%. Partikel material CSEB dalam berbagai ukuran limbah konstruksi, lanau dan lempung, dan pasir sungai digabungkan sehingga distribusi ukuran partikel total dari campuran tanah yang dimodifikasi masuk dalam

kurva Fuller. Masing-masing 3 perlakuan campuran dirancang dengan stabilisator semen sebesar 6%, 8%, dan 10% yang dipadatkan dan dicor ke dalam cetakan kubus berukuran $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ pada kadar air optimum.

Perawatan benda uji dilakukan dalam waktu 28 hari dengan ditutup terpal. Uji kuat tekan dan absorpsi air dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Gambar 2 menunjukkan prosedur pematatan sekaligus pengecoran benda uji kubus, perawatan dan pengujian.



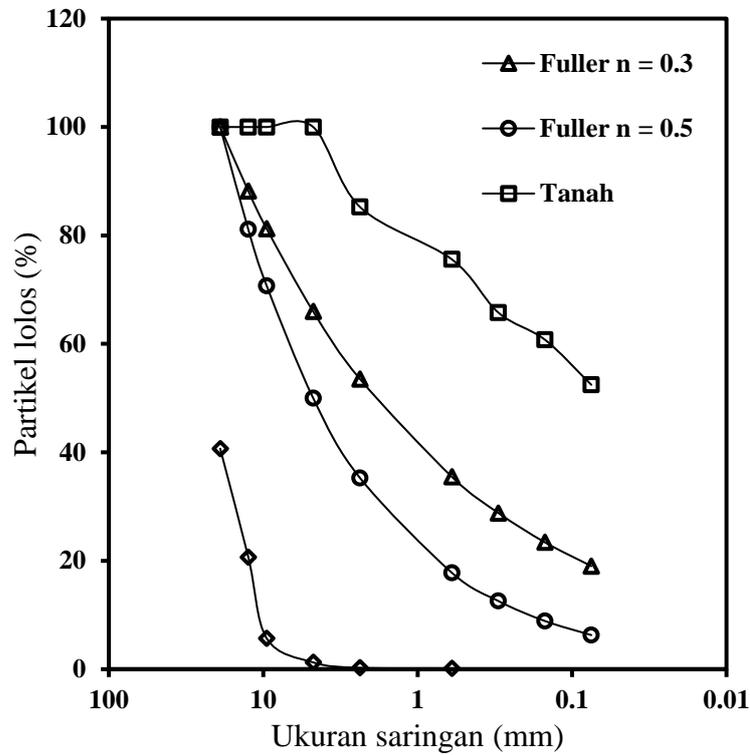
Gambar 2 Persiapan limbah konstruksi lolos saringan #12,5 mm, benda uji, dan uji tekan benda uji

3. Hasil dan Pembahasan

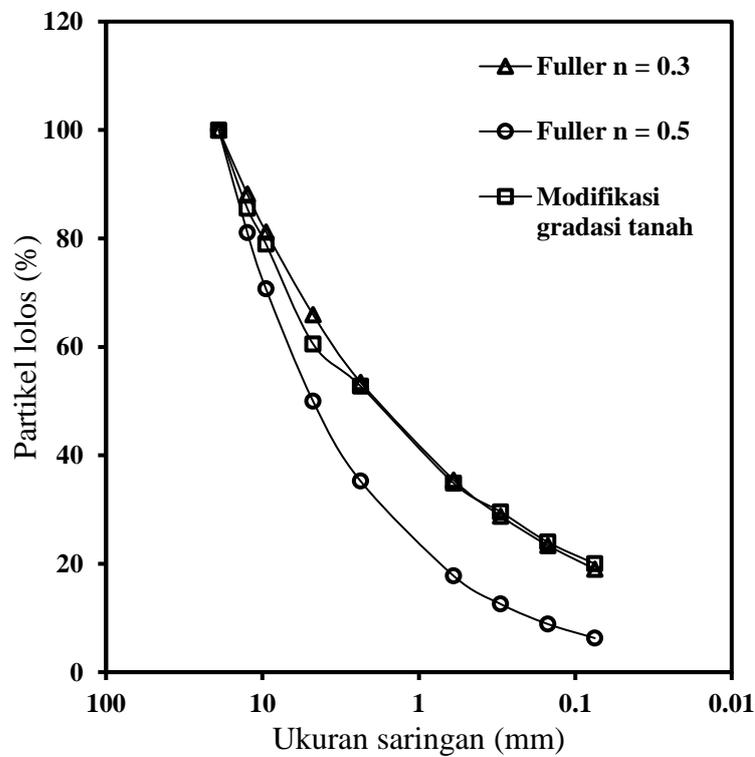
Tanah yang digunakan terdiri dari satu jenis tanah dengan kandungan lanau dan lempung masing-masing sebesar kandungan aslinya sebesar 52,45% dan kandungan yang dimodifikasi sebesar 20%. Gradasi tanah asli ini jika dibandingkan dengan gradasi Fuller diperlihatkan pada Gambar 3. Distribusi gradasi tanah selanjutnya dimodifikasi dengan dan limbah konstruksi, dibuat dekat dan dibandingkan dengan kurva optimasi teoritis Fuller berpangkat $n = 3$ ditunjukkan pada Gambar 4. Ukuran partikel maksimum untuk limbah konstruksi dipilih sebesar 12,5 mm.

Limbah konstruksi terdiri dari limbah konstruksi dari beton yang dihancurkan seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Kurva gradasi pada Gambar 6 menunjukkan tanah yang gradasinya dimodifikasi dan limbah konstruksi untuk mendapatkan kandungan tanah yang lebih halus (lanau dan lempung) sebesar 20% dan bagaimana *tracking* kurva gradasinya dengan kurva *particle packing* teoritis. Stabilisator pada CSEB menggunakan tanah yang dimodifikasi ini adalah semen sebesar 6%, 8% dan 10%. Tanah dengan kandungan lanau dan lampung asli dan yang dimodifikasi

menjadi 20% ini kemudian dipadatkan sekaligus dicor pada kadar air optimum ke dalam cetakan kubus skala laboratorium berukuran $15 \times 15 \times 15$ cm³.

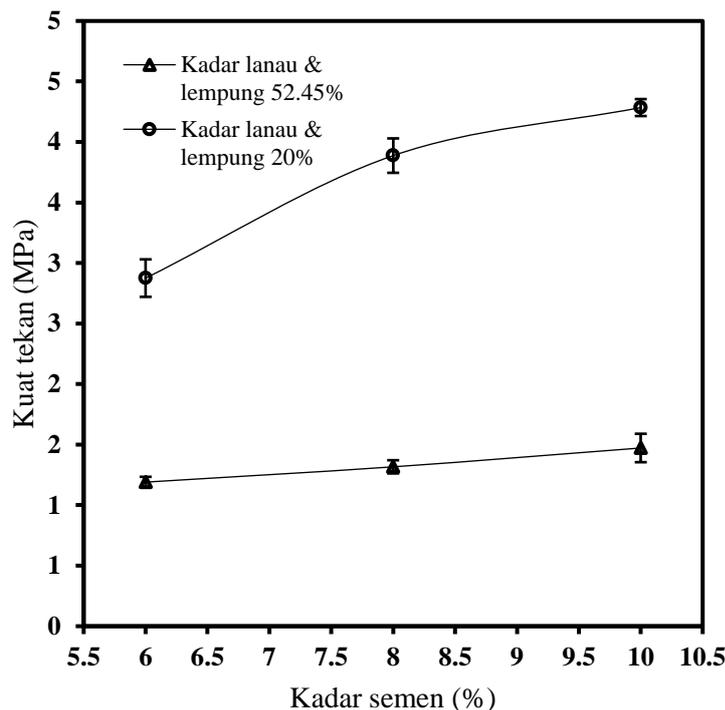


Gambar 3 Gradasi tanah, limbah konstruksi, dan kurva gradasi Fuller



Gambar 4 Modifikasi gradasi tanah dengan limbah konstruksi mendekati gradasi Fuller finer

Perawatan benda uji dilakukan sampai berumur 28 hari dengan cara menutupnya dengan terpal plastic. Kuat tekan benda uji kubus 28 hari dengan gradasi tanah yang dimodifikasi dengan limbah konstruksi untuk berbagai kadar semen dan kadar lanau dan lempung ditunjukkan pada Gambar 5. Menurut hasil uji kuat tekan yang ditunjukkan pada Gambar 5, kuat tekan yang tertinggi dicapai dengan kadar semen 10%. Hal ini sejalan dengan penelitian Malkanthi, Wickramasinghe and Perera (2021) yang menghasilkan kekuatan bata CSEB tertinggi sebesar 5,3 MPa untuk perawatan benda uji 28 hari pada 20% kadar lanau dan lempung dengan menggunakan stabilisator semen sebesar 10%.



Gambar 5 Kuat tekan benda uji bata CSEB pada kadar semen 6%, 8%, dan 10%

Nilai-nilai kuat tekan, berat kering, penyerapan air benda uji bata CSEB ditunjukkan pada Tabel 1. Untuk memperoleh nilai untuk satu uji, dua benda uji diuji dan diambil nilai rata-ratanya.

Standar deviasi untuk pengujian kuat tekan, berat kering, penyerapan air juga ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai kerapatan kering menunjukkan bahwa semua benda uji yang dibuat dengan gradasi tanah yang ditingkatkan mengikuti teori *particle packing* kurva Fuller $n = 0.3$ mencapai nilai lebih dari 1794 kg/m³. WD-ARS 1333:2018(E) Bagian 7 mendefinisikan persyaratan bagi bata CSEB dengan nilai minimum kepadatan kering sebesar 1700 kg/m³ untuk dan nilai maksimum 15% untuk penyerapan air (ARSO, 2018).

Dalam aturan tersebut juga dijelaskan bahwa nilai kuat tekan kering bata CSEB Kelas C, Kelas B, dan Kelas A berturut-turut adalah 3 – 4 MPa, 4 – 5 MPa, dan 5 – 12 MPa. Kelas mutu benda uji bata CSEB dalam penelitian menurut WD-

ARS 1333:2018(E) juga ditunjukkan pada Tabel 1 tersebut. Dari Tabel 1 hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan kadar lanau dan lempung pada kondisi asli (52,45%) tidak dapat memenuhi mutu bata menurut WD-ARS 1333:2018(E). Sementara itu, penggunaan semen 6% dengan kadar lanau dan lempung sampai 20% tidak dapat memenuhi persyaratan WD-ARS 1333:2018(E).

Berdasarkan hasil penelitian ini juga terlihat bahwa penggunaan semen sebesar 8 dan 10% pada kadar lanau dan lempung 20% masih masuk dalam persyaratan bata CSEB menurut WD-ARS 1333:2018(E) pada mutu Kelas C dan kelas B.

Tabel 1 Hasil uji kuat tekan, berat kering, penyerapan air

Persentase lanau + lempung	Persentase semen	Kuat tekan (MPa)				Berat kering (Kg/m ³)				Penyerapan air (%)				Mutu CSEB menurut WD-ARS 1333:2018E
		BU1	BU2	Rata-rata	SD	BU1	BU2	Rata-rata	SD	BU1	BU2	Rata-rata	SD	
52.45	6	1.22	1.16	1.190	0.044	1.84	1.79	1.812	0.033	10.8	11.7	11.255	0.686	n/a
	8	1.36	1.28	1.317	0.054	1.77	1.82	1.794	0.039	13.2	12.5	12.855	0.502	n/a
	10	1.56	1.39	1.472	0.117	1.82	1.83	1.822	0.010	11.5	11.4	11.435	0.021	n/a
20	6	2.99	2.77	2.876	0.155	1.83	1.79	1.808	0.033	9.78	10.2	9.995	0.304	n/a
	8	3.99	3.79	3.888	0.142	1.78	1.81	1.795	0.023	12.4	12	12.180	0.283	Class C
	10	4.24	4.33	4.285	0.070	1.83	1.81	1.817	0.012	10.9	9.98	10.455	0.672	Class B

3 Kesimpulan dan Saran

3.1 Kesimpulan

Kuat tekan bata CSEB tertinggi sebesar 4,285 MPa diperoleh untuk perawatan 28 hari pada 20% kadar lanau dan lempung dengan menggunakan stabilisator semen sebesar 10%. Penggunaan semen sebesar 8% dan 10% pada kadar lanau dan lempung 20% dengan perbaikan gradasi tanah melalui penambahan limbah konstruksi dan pasir untuk mendekati gradasi Fuller *finer* sudah masuk dalam persyaratan bata CSEB pada mutu Kelas C dan kelas B seperti yang disyaratkan oleh WD-ARS 1333:2018(E) Bagian 7. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan solusi mengurangi limbah konstruksi.

3.2 Saran

Penelitian sejenis dapat dikembangkan dengan pengaturan kadar lanau dan lempung lebih besar dari 20% mengingat pada umumnya kadar lanau dan lempung tanah dapat mencapai lebih dari 50%.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dilakukan dengan fasilitas laboratorium yang ada di Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe. Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh Bapak Yasir, Teknisi Laboratorium Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe, dan Bapak Adam Maula serta Bapak T. Muhammad Arief Ikhsan.

Daftar Kepustakaan

- Adam, E., Agib, A., 2001. Compressed Stabilised Earth Block Manufacture in Sudan, Printed by Graphoprint for the United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.
- Andayono, T., Sipil, T., Teknik, F., Negeri, U., 2017. Kualitas batu bata pasca sosialisasi persyaratan pokok membangun rumah lebih aman gempa the brick quality requirement for earthquake- resistant building 17, 81–88.
- ARSO, 2018. Compressed stabilized earth blocks - Requirements, production and construction. African Standard, WD-ARS 13333, First Edition.
- Borges, P.H.R., Fonseca, L.F., Nunes, V.A., Panzera, T.H., Martuscelli, C.C., 2014. Andreasen particle packing method on the development of geopolymer concrete for civil engineering. *J. Mater. Civ. Eng.* 24.
- Deboucha, S., Hashim, R., 2011. A review on bricks and stabilized compressed earth blocks. *Sci. Res. Essays* 6, 499–506.
- Elahi, T.E., Shahriar, A.R., Islam, M.S., 2021. Engineering characteristics of compressed earth blocks stabilized with cement and fly ash. *Constr. Build. Mater.* 277, 122367.
- FAO, 1993. Status and Development Issues of the Brick Industry in Asia. *Reg. Wood Energy Dev. Program. Asia* 1–73.
- Faria, K.C.P., Gurgel, R.F., Holanda, J.N.F., 2012. Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. *J. Environ. Manage.* 101, 7–12.
- Fennis, S.A.A.M., Walraven, J.C., 2012. Using particle technology for sustainable concrete mixture design. *Heron* 57, 73–101.
- Hettiarachchi, H.A.C.K., Mamparachchi, W.K., 2019. Validity of aggregate packing models in mixture design of interlocking concrete block pavers (ICBP). *Road Mater. Pavement Des.* 20.
- Islam, M.S., Elahi, T.E., Shahriar, A.R., Mumtaz, N., 2020. Effectiveness of fly ash and cement for compressed stabilized earth block construction. *Constr. Build. Mater.* 255, 119392.
- Malkanathi, S.N., Wickramasinghe, W.G.S., Perera, A.A.D.A.J., 2021. Use of construction waste to modify soil grading for compressed stabilized earth blocks (CSEB) production. *Case Stud. Constr. Mater.* 15, e00717.
- Priji, P.D., Moses, E., Chockalingam, M.P., Venkatakrisniah, R., 2020. Compressed stabilised earth block: A case study. *J.Crit. Rev.* 7.
- Suharwanto, 2005. Pengaruh beton daur ulang dan bahan tambah fly ash terhadap kuat tekan beton. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- V., S.K., Santhanam, M., 2003. Particle packing theories and their application in concrete mixture proportioning: A review. *Indian Concr. J.* 77, 1324–1331.

- Waziri, B.S., Lawan, Z.A., Mustapha, M.M., 2013. Properties of Compressed Stabilized Earth Blocks (CSEB) for low-cost housing construction: A preliminary investigation. *Int. J. Sustain. Constr. Eng. Technol.* 4, 39–46.
- Wong, V., Chan, K.W., 2013. Applying theories of particle packing and rheology to concrete for sustainable development. *Organ. Technol. Manag. Constr. an Int. J.* 5, 844–851.