



ARTIKEL PENELITIAN

Kajian kuat tekan dan kuat lentur material rammed earth dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit sebagai dinding bangunan

Kinanti Wijaya¹, Sutrisno¹, Nono Sebayang², Putri Lynna A. Luthan³, Ayu Novia^{1,*}

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Medan, Jl Willem Iskandar Psr.V Kampus UNIMED, Medan, 20221, Indonesia

²Department of Building Engineering Education, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Medan, Jl Willem Iskandar Psr.V Kampus UNIMED, Medan, 20221, Indonesia

³Department of Construction Management, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Medan Jl Willem Iskandar Psr.V Kampus UNIMED, Medan, 20221, Indonesia

Disubmit 14 Agustus 2023; direvisi 02 Maret 2024; diterima 04 April 2024



OBJECTIVES Rammed earth is a man-made material equivalent to sedimentary rock. The process of constructing rammed earth involves mixing soil, water, and additives, then compacting it in the formwork to a very compact state. So far, the fiber of empty palm oil bunches is only used as fertilizer and bottom ash from the stacked combustion results which can cause environmental pollution. This study used fiber waste from empty palm oil bunches as an additional stabilizer in the rammed earth mixture. The purpose of this study was to determine the effect of the addition of empty palm oil fruit bunches on the compressive strength and flexural strength of rammed earth. **METHODS** The research method used was an experimental study. Variation of percentage addition Palm Empty Fruit Bunch (EFB) 0%; 0.75%; 1%; and 1.25% by weight of cement. The test object was made in a cylindrical shape with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm and a beam size of 60 cm x 15 cm x 15 cm. Age of treatment of test objects for 28 days. Palm Empty Fruit Bunch (EFB) used in this study has a length ranging from 1-5 cm. The test parameters are sieving compressive strength and flexural strength of rammed earth. **RESULTS** The results showed that the optimum compressive strength occurred in the TRESO variation (0% EFB) that is obtained the average compressive strength value of 5.06 MPa. **CONCLUSIONS** While the optimum flexural

strength occurs at the LRES1.25 variation (1.25% EFB) that is, obtained an average flexural strength value of 0.98 MPa which is able to withstand an average load of 7.3 kN.

KEYWORDS compressive strength; flexural strength; palm empty fruit bunch; rammed earth

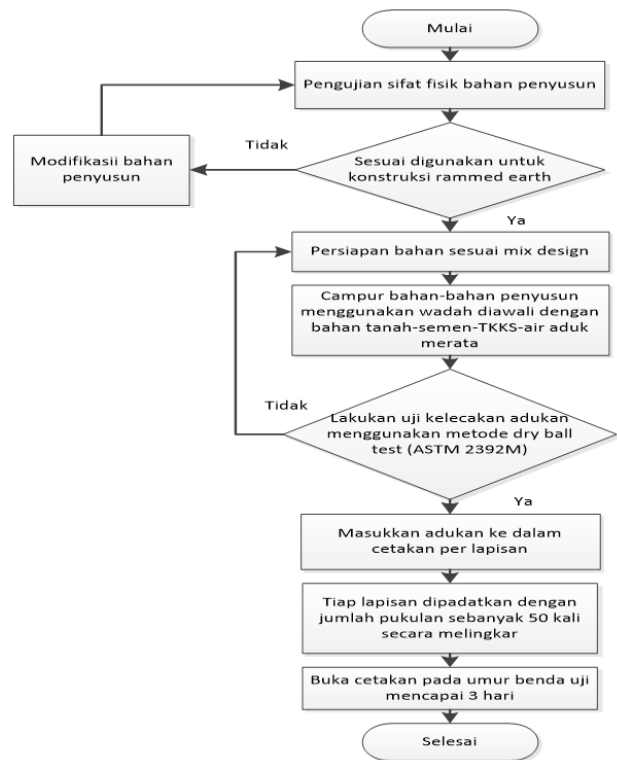
TUJUAN Bahan *rammed earth* buatan manusia yang setara dengan batuan sedimen. Proses dalam membangun *rammed earth* melibatkan campuran tanah, air, dan aditif, kemudian dipadatkan di dalam bekisting sampai keadaan yang sangat padat. Sejauh ini serat tandan kosong kelapa sawit hanya digunakan sebagai pupuk dan bottom ash dari hasil pembakaran yang ditumpuk sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Pada penelitian ini digunakan limbah serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan penstabil tambahan pada campuran *rammed earth*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan serat tandan kosong kelapa sawit terhadap nilai kuat tekan dan kuat lentur *rammed earth*. **METODE** Metode penelitian yang dilakukan menggunakan kajian eksperimen. Variasi persentase penambahan serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) 0%; 0,75%; 1%; dan 1,25% terhadap berat semen. Benda uji dibuat dengan bentuk silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan balok ukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm. Umur perawatan benda uji selama 28 hari. Serat tandan kosong kelapa sawit yang digunakan pada penelitian ini memiliki panjang berkisar antara 1-5 cm. Parameter pengujian yaitu analisa saringan, kuat tekan dan kuat lentur *rammed earth*. **HASIL** Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum terjadi pada variasi TRESO (0% serat TKKS) yaitu didapat nilai tekan rata-rata sebesar 5,06 MPa. **KESIMPULAN** Sedangkan kuat lentur optimum terjadi pada variasi LRES1.25 (1,25% serat TKKS) yaitu didapat nilai kuat lentur rata-rata sebesar 0,98 MPa dimana mampu menahan beban rerata sebesar 7,3 kN.

KATA KUNCI kuat tekan; kuat tarik; *rammed earth*; serat tandan kosong kelapa sawit

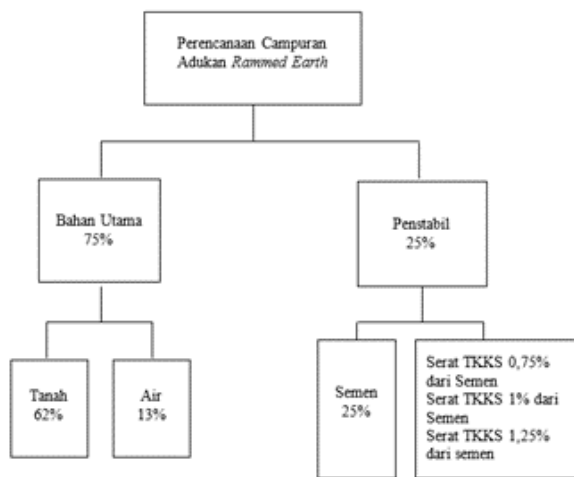
1. PENDAHULUAN

Sejalan dengan penambahan jumlah penduduk dan kemajuan teknologi di Indonesia, tingkat kebutuhan masyarakat terhadap perumahan di Indonesia setiap tahunnya semakin meningkat. Bahan konstruksi alami menjadi perhatian dalam upaya untuk menciptakan material alternatif bangunan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. diantaranya adalah *rammed earth* yang terbuat dari tanah lokal yang dikompaksi dengan kuat. *Rammed earth* (RE) merupakan teknologi yang dikembangkan sejak lama, berupa lapisan dinding atau lantai terbuat dari beberapa lapis tanah yang dipadatkan secara bertahap. Kuat tekan *rammed earth* ditentukan oleh faktor-faktor seperti jenis tanah, distribusi ukuran partikel, teknik pemadatan, kadar air campuran dan jenis / jumlah stabilizer yang digunakan. Manfaat yang signifikan yaitu massa termalnya yang tinggi seperti batu bata atau beton, dapat menyerap panas di siang hari dan melepaskannya di malam hari, material *rammed earth* juga tahan terhadap api dan rayap (Naufal dan Abioso 2022).

Rammed earth digunakan sebagai dinding luar bangunan dengan ketebalan yang sangat bervariasi. Ukuran *rammed earth* untuk dinding yang menahan beban ukurannya berkisar 12 inci (300mm), dan dinding yang tidak menahan beban berkisar 6 inci (150mm). Namun, dinding yang menggunakan material *rammed earth* pada bagian atap harus dapat melindungi dinding tersebut dari terkena hujan. Semakin pesat perkembangan teknologi dan informasi memacu pelaku dunia konstruksi semakin kreatif dan inovatif untuk



GAMBAR 2. Prosedur pebuatan *rammed earth* dengan TKKS.



GAMBAR 1. Campuran *rammed earth*.

menemukan material – material yang berkualitas dan ramah lingkungan. *Rammed earth* memiliki massa atau berat jenis per meter adalah 2.124 kg (4.683 lb) (Krahn 2019).

Proses pembangunan *rammed earth* terdiri atas pemilihan tanah, pengujian, dan konstruksi. Pemilihan tanah melibatkan penilaian bahan baku untuk penggunaan untuk bangunan, serangkaian fase pengujian dilakukan untuk memastikan keberhasilan pembangunan, tahap pengujian akan menetapkan parameter konstruksi, untuk kualitas estetika dan kinerja *rammed earth*, proses konstruksi melibatkan pembuatan material. Menurut Krahn (2019), bahan – bahan penstabil yang biasa digunakan untuk menstabilkan *rammed earth* yaitu: (1) semen Portland, (2) kapur, (3) oksida. Menurut Basehabitat (2018), penggunaan material *rammed earth* memberikan keuntungan yaitu hanya butuh sedikit air dan sumber daya lain seperti aditif, dapat didaur ulang, memiliki sifat isolasi yang baik, tidak mengeluarkan emisi berbahaya, dinding material bagus agar mengurangi kebisingan, tahan terhadap api, air, rayap, dan standar setebal 400 mm dapat digunakan sebagai bantalan beban dalam kon-

TABEL 1. Spesimen *rammed earth*.

Kode Benda Uji	Keterangan	Bentuk	Ket
TRES0	Tekan rammed earth serat 0%	Silinder 15 x 30 cm	Uji Tekan
TRES.75	Tekan rammed earth serat 0.75%		
TRES.1	Tekan rammed earth serat 1%		
TRES.1.25	Tekan rammed earth serat 1.25%		
LRES.0	Lentur rammed earth serat 0%	Balok 60 x 15 x 15 cm	Uji Lentur
LRES.75	Lentur rammed earth serat 0.75%		
LRES.1	Lentur rammed earth serat 1%		
LRES.1.25	Lentur rammed earth serat 1.25%		

TABEL 2. Komposisi campuran *rammed earth* spesimen silinder.

No	Komposisi	Satuan	Rammed earth			
			TRES0	TRES0.75	TRES1	TRES1.25
1.	Tanah	kg	6,98	6,98	6,98	6,98
2.	Semen	kg	2,82	2,73	2,70	2,67
3.	Air	l	1,47	1,47	1,47	1,47
4.	Serat TKKS	kg	-	21,09	28,14	35,19

Sumber : (Perhitungan data)

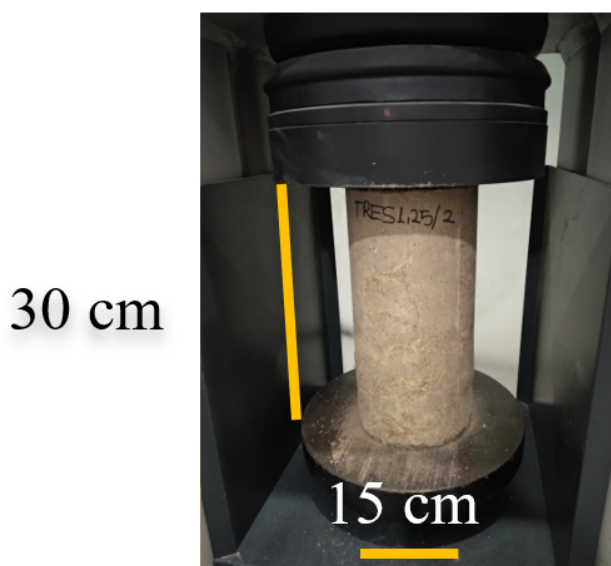
TABEL 3. Komposisi campuran *rammed earth* spesimen balok.

No	Komposisi	Satuan	Rammed earth			
			TRES0	TRES0.75	TRES1	TRES1.25
1.	Tanah	kg	17,78	17,78	17,78	17,78
2.	Semen	kg	7,17	6,96	6,88	6,81
3.	Air	l	3,73	3,73	3,73	3,73
4.	Serat TKKS	kg	-	53,73	71,69	89,64

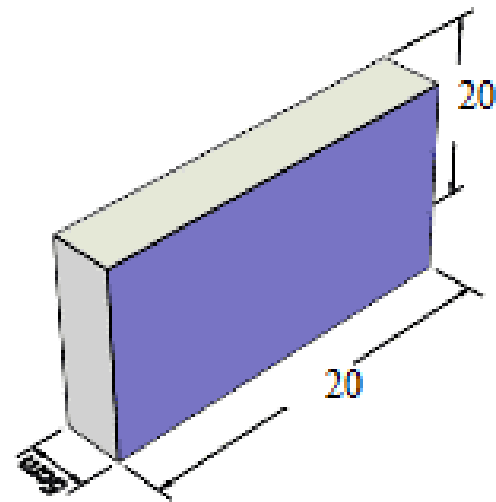
Sumber : (Perhitungan data)

struksi hingga setinggi empat lantai.

Untuk meningkatkan kekuatan *rammed earth*, telah dilakukan berbagai penelitian dengan memanfaatkan penambahan serat alami kedalam campuran, salah satunya adalah dengan menambah serat tandan kosong kelapa sawit. Serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah pertanian yang melimpah dan memiliki potensi sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan sifat mekanik *rammed earth*. TKKS memiliki struktur selulosa berpori yang terbuat dari serat mikro yang strukturnya mirip dengan kayu (Ling dkk. 2019). TKKS dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur, sehingga penggunaannya pada *rammed earth* dapat menghasilkan dinding yang lebih tahan terhadap beban dan lebih tahan lama. Selain itu, TKKS dapat membantu mengurangi retakan dan menghasilkan integritas struktur dari konstruksi, memiliki sifat isolasi termal yang baik dan merupakan bahan baku yang murah dan tersedia melimpah. Hal ini dapat mengurangi biaya produksi dalam membuat *rammed earth*.



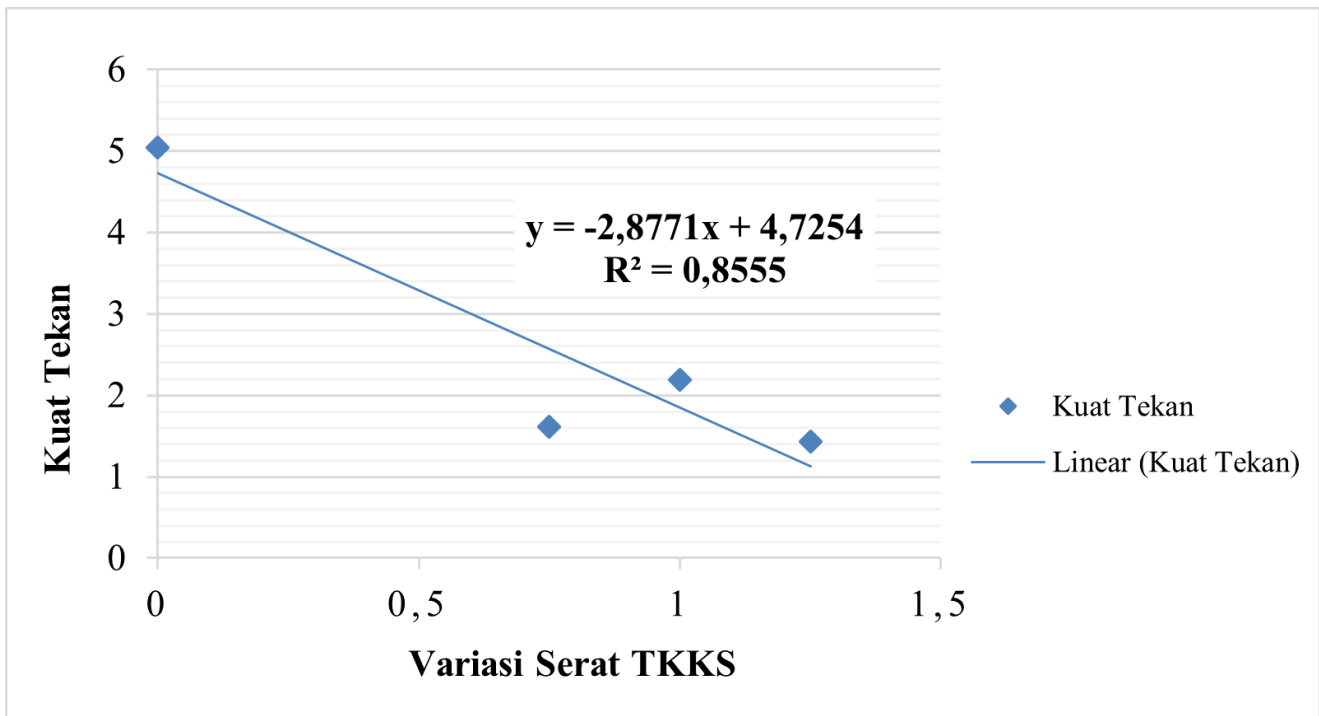
GAMBAR 3. Pengujian kuat tekan spesimen bentuk silinder.

GAMBAR 4. Sketsa produk dinding *rammed earth* dengan serat TKKS.

Berdasarkan data Direktorat Jendral Perkebunan Kementerian Pertanian sepanjang tahun 2020, luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia diperkirakan sekitar 14,99 juta hektare, dengan jumlah produksi mencapai 51,8 juta ton per tahun. Luas area perkebunan di provinsi Sumatera Utara sekitar 1,38 juta hektare dengan jumlah produksi sekitar 5,65 juta ton. Setiap produksi 1 ton limbah Tandan Buah Segar (TBS) menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebanyak 23% atau sebanyak 230 kg tandan kosong kelapa sawit. Pabrik pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan limbah cair, gas, dan padat. Setiap produksi kelapa sawit menghasilkan limbah berupa tandan kosong, cangkang, dan serat buah. Berbagai jenis komponen limbah pabrik kelapa sawit yang dihasilkan, tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan komponen yang paling banyak. Tandan kosong kelapa sawit umumnya diolah secara tradisional untuk dijadikan pupuk kompos yang akan dimanfaatkan kembali menjadi pupuk pada perkebunan kelapa sawit tersebut. Tandan kosong kelapa sawit juga menghasilkan serat kuat yang biasa digunakan sebagai bahan pengisi dalam produk berserat seperti papan komposit. Menurut Yani (2019), tiap kandungan serat TKKS secara fisik mengandung material-material serat yaitu: (1) kandungan lignin 16.19%, (2) kandungan selulosa 44.14%, (3) kandungan hemiselulosa 19.28%.

Penelitian yang dilakukan oleh Koutous dan Hilali (2021) telah melakukan penelitian tentang mekanik *rammed earth*

GAMBAR 5. Hasil dinding *rammed earth*.



GAMBAR 6. Hubungan variasi serat TKKS dengan kuat tekan.

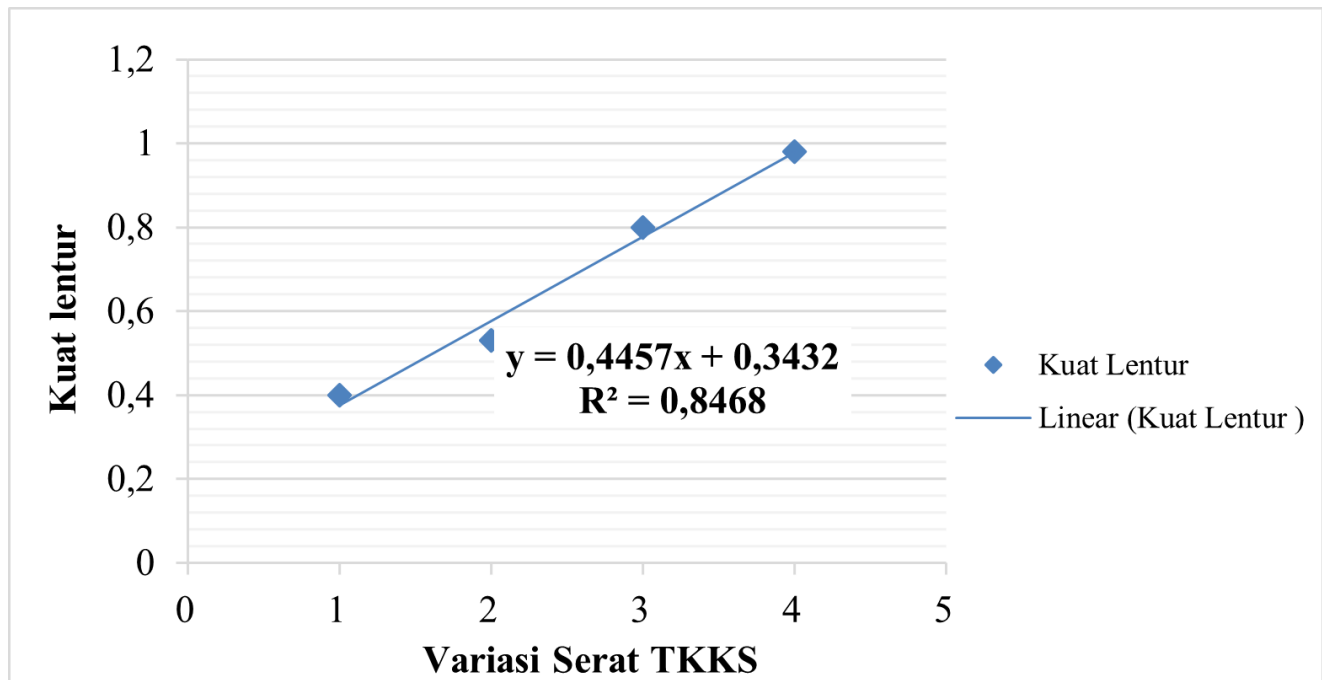
di bawah kuat tekan dan kuat tarik belah. Tanah dan pasir digunakan sebagai bahan dasar dan bahan penstabil yaitu semen 6%, kapur 4%, jerami jelai 0,75%, dan serat kurma 0,75% dengan panjang potongan serat masing-masing berukuran 3 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, serat tanaman (jerami jelai atau serat kurma) dapat meningkatkan kekuatan *rammed earth* seperti semen atau kapur terutama dalam kekuatan tarik. Selain itu, menunjukkan serat tumbuhan menurunkan kekakuan *rammed earth* sedangkan kapur semen meningkatkannya. Siddiqua dan Barreto (2018) menggunakan kalsium karbida dan *fly ash* tipe F untuk stabilisasi pasir berlempung pada konstruksi *rammed earth* dengan hasil dari penelitian tersebut kekuatan meningkat dari 0,2 Mpa menjadi lebih dari 5 Mpa setelah 60 hari perawatan. Selain itu penelitian dari Adi dkk. (2019) mengkaji pengaruh penambahan serat tandan kosong kelapa sawit terhadap kuat lentur beton pada setiap variasi serat. Hasil kuat lentur yang didapat pada penelitian ini rata-rata kuat lentur yang diha-

silkan pada tiap variasi serat 0% (3,51 Mpa); 0,25% (4,18 Mpa); 0,75% (4,09 Mpa); 0,75% (4,53 Mpa); 1% (4,62 Mpa) (Siddiqua dan Barreto 2018). Penelitian ini menunjukkan kenaikan terhadap kuat lentur beton pada setiap persentase serat yang ditambahkan, bila dibandingkan dengan beton normal. Walaupun telah ada penelitian sebelumnya yang mengkaji pengaruh penambahan TKKS terhadap sifat mekanik *rammed earth*, namun masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami pengaruhnya terhadap kekuatan tekan dan kekuatan tarik lenturnya. Kuat tekan dan kuat lentur merupakan dua parameter penting untuk mengevaluasi performa dinding partisi sebagai material bangunan. Kuat tekan dilakukan untuk mengukur kemampuan material untuk menahan tekanan, sedangkan kuat lentur untuk mengukur kemampuan material untuk menahan gaya lentur. Oleh karena itu, dengan memahami pengaruh penambahan TKKS terhadap *rammed earth* akan memberikan informasi yang relevan apakah penambahan serat TKKS menghasilkan ram-

TABEL 4. Hasil pengujian kuat tekan *rammed earth* dengan serat tandan kosong kelapa sawit.

Kode Benda Uji	Luas Penampang (mm ²)	Silinder	Beban maks		Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata
			(kN)	(N/mm ²)		
TRES0	17671,5	1	82,2	82200	4,65	5,04 ± 0,825
		2	108,2	108200	6,12	
		3	77,1	77900	4,36	
TRES0.75	17671,5	1	31,5	31500	1,78	1,61 ± 0,705
		2	21,5	21500	1,22	
		3	32,3	32300	1,83	
TRES1	17671,5	1	37,2	37200	2,10	2,19 ± 0,842
		2	40,6	40600	2,3	
		3	38,2	38200	2,16	
TRES1.25	17671,5	1	23,9	23900	1,35	1,43 ± 0,748
		2	25,8	25800	1,46	
		3	26,3	26300	1,49	

± adalah standar deviasi



GAMBAR 7. Hubungan variasi serat TKKS dan kuat lentur.

med earth dengan kuat tekan dan tarik lentur yang sesuai untuk dinding bangunan. Tujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan serat tandan kosong kelapa sawit terhadap kuat tekan dan kuat lentur material *rammed earth* sebagai dinding bangunan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengujian Material Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan. Pembuatan sampel penelitian ini mengacu pada penelitian Koutous dan Hilali (2021). Dimana bentuk spesimen yang digunakan berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan dan spesimen balok berukuran panjang 60 cm dengan lebar 15 cm dan tinggi 15 cm untuk pengujian kuat lenturnya, terdiri dari *rammed earth* tanpa serat tandan kosong kelapa sawit dan *rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit.

2.1 Material

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Pengujian Material Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan, alat - alat yang digunakan berdasarkan SNI masing masing pengujian. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian untuk membuat spesimen *rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit ini adalah tanah, semen Portland dan air. TKKS

diperoleh dari Deli Serdang. Tanah yang disediakan dikeringkan terlebih dahulu dan semua gumpalan - gumpalan tanah dipecah menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, selanjutnya dilakukan analisa saringan dan disesuaikan dengan standard butiran tanah yang direkomendasikan ICD20 menurut Krahn (2019). Pembuatan menggunakan air yang bersih dan tidak mengandung minyak, lumpur, garam, serta serat tandan kosong kelapa sawit yang sudah dilakukan proses pengawetan dengan cara merendam serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) kedalam larutan NaOH 10%. Serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang digunakan berukuran 1-5 cm.

2.2 Prosedur

Gambar 1 menunjukkan proses campuran *rammed earth* dengan variasi serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Perencanaan campuran dilakukan dengan bahan utama 75% yaitu tanah (62%) dan air (13%) dan penstabil 25% yang terdiri dari semen (25%) dan TKKS pada 0,75%, 1% dan 1,25% (Gambar 1).

Spesimen *rammed earth* ada 8 variasi (Tabel 1). Spesimen dilakukan perawatan terlebih dahulu sebelum memasuki tahap pengujian, yaitu dengan melakukan perawatan pada suhu berkisar antara 25 - 30°C. perawatan spesimen ini terus dilakukan sampai berumur 28 hari mengikuti metode Koutous dan Hilali (2019). Pembuatan adukan mengikuti standar Krahn (2019). Komposisi campuran *rammed earth* dalam setiap satu spesimen silinder dan balok dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Gambar 2 menunjukkan prosedur pembuatan *rammed earth* dengan TKKS.

2.3 Instrumen and analisis data

Adapun alat - alat yang digunakan diantaranya gunting, pan, timbangan digital, saringan, alat penggetar ayakan, oven. Oven untuk mengeringkan *rammed earth* diatur pada suhu 150°C. Cetakan balok (15 x 30cm) (Gambar 3) digunakan untuk pengujian kuat tekan, cetakan balok yang digunakan berukuran 60 x 15 x 15cm. Batang pemadat (2,5kg), mesin ku-

TABEL 5. Koefisien determinasi kuat tekan.

Regression Statistics	
Multiple R	0,924941227
R Square	0,855516274
Adjusted R Square	0,78327441
Standard Error	0,782070284
Observations	4

TABEL 6. Hasil pengujian kuat lentur *rammed earth* dengan serat tandan kosong kelapa sawit.

Kode Benda Uji	Balok	l (mm)	b (mm)	h (mm)	P (kN)	Kuat lentur (Mpa)	
LRES0	1	450	150	150	3,2	3200	0,43
	2	450	150	150	3	3000	0,4
	3	450	150	150	2,8	2800	0,38
LRES0.75	1	450	150	150	3,9	3800	0,52
	2	450	150	150	4	4000	0,53
	3	450	150	150	4,1	4100	0,55
LRES1	1	450	150	150	6	6000	0,8
	2	450	150	150	6	6000	0,8
	3	450	150	150	5,9	5900	0,79
LRES1.25	1	450	150	150	7,5	7500	1
	2	450	150	150	7,2	7200	0,96
	3	450	150	150	7,3	7300	0,98

Sumber: Pengolahan data; l= panjang bentang; b= lebar uji benda; h=tinggi benda; P=beban maksimum

at tekan *Concrete Testing Machine* (CTM) merk Control buatan Jerman menggunakan metode EN 12390-3:2001 (standar Eropa). Uji kuat lentur menggunakan mesin kuat lentur (*Hydraulic Concrete Beam*) sesuai metode SNI 03-4431-2011 dan peralatan pendukung seperti sekop, sendok semen, wadah stainless, ember, sarung tangan dan lain-lain. Data dianalisis dengan menggunakan analisis regresi linier sederhana, uji F dan koefisien determinasi menggunakan software SPSS ver 20.

2.4 Model

Modelling dilakukan dengan membuat produk kecil berupa dinding dengan menggunakan material *rammed earth*. Perencanaan produk yang akan dibuat yaitu berukuran panjang 20 cm; Tinggi 20 cm; dan ketebalan dinding yang direncanakan yaitu 5 cm (Gambar 4).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pada penelitian ini pengujian kuat tekan *rammed earth* dilakukan setelah umur mencapai 28 hari. Pengujian tekan material *rammed earth* bertujuan untuk mengetahui kemampuan material *rammed earth* dalam menahan beban tekan maksimum sebelum runtuh. Spesimen *rammed earth* dibuat berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm hingga mengalami kehancuran. Data hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari berdasarkan hasil perhitungan kuat tekan rata – rata seluruh variasi dapat dilihat pada Tabel 4.

TABEL 7. Koefisien determinasi kuat lentur.

Regression Statistics	
Multiple R	0,920221869
R Square	0,846808289
Adjusted R Square	0,770212433
Standard Error	0,125392242
Observations	4

Hasil pengujian kuat tekan pada Tabel 4 menunjukkan data hasil pengujian kuat tekan rata-rata *rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit pada umur 28 hari yaitu pada spesimen TRES0 didapat nilai kuat tekan rata-rata sebesar 5,06 Mpa, TRES0,75 didapat nilai kuat tekan rata-rata sebesar 1,61 Mpa, pada TRES1 didapat nilai kuat tekan rata-rata sebesar 2,19 Mpa dan TRES1,25 didapat nilai kuat tekan rata-rata sebesar 1,43 MPa. Berdasarkan data hasil pengujian kuat tekan spesimen, nilai kuat tekan optimum terjadi pada variasi spesimen TRES0 yaitu persentase campuran normal sebesar 5,06 MPa. Sedangkan kuat tekan minimum terjadi pada variasi spesimen TRES1,25 yaitu pada persentase campuran serat tandan kosong kelapa sawit 1,25% dengan nilai kuat tekan sebesar 1,43 MPa. Pada Gambar 5 menunjukkan hasil dinding *rammed earth*.

Penurunan kuat tekan material *rammed earth* pada penambahan campuran 1,25% serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terjadi dikarenakan jumlah serat yang cukup banyak sehingga menimbulkan rongga di dalam *rammed earth* yang menyebabkan pemadatan *rammed earth* kurang optimal dan juga diakibatkan serat yang kurang merata tercampur pada bahan penyusun *rammed earth*, karenanya serat berkumpul dan membentuk rongga dalam *rammed earth*. Nilai uji kuat tekan yang tinggi pada dinding partisi akan menunjukkan kestabilan truktur yang lebih baik dalam menahan beban, selain itu juga menunjukkan peningkatan daya tahan terhadap deformasi, gempa dan tekanan lainnya. Pada umumnya, untuk dinding partisi bangunan perumahan atau komersial ringan, nilai uji kuat tekan berkisar antara >1 – 2,5 Mpa. Sehingga, dengan campuran TKKS pada *rammed earth* dinding partisi dapat digunakan untuk komersial ringan.

Persamaan regresi linier yang diperoleh dari hasil analisis adalah $Y = - 2,8771X + 4,7254$ dan $R^2 = 0,8555$ (Gambar 6). Nilai koefisien determinasi sebesar 0,783 atau 78,3% (Tabel 5) dapat diartikan bahwa sebesar 78,3% penambahan serat tandan kosong kelapa sawit berpengaruh terhadap kuat tekan *rammed earth* dan 21,7% sisanya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain diluar variabel x. Nilai signifikan F (simultan) yang diperoleh adalah 0,0750 dan nilai F hitung = 11,84239 dimana syarat nilai signifikan $F < \alpha$ 0,005 atau $F \text{ hitung} > F \text{ ta}$

bel. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi serat TKKS (x) berpengaruh negatif terhadap kuat tekan (y) dan pengaruhnya tidak signifikan. Penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Amna dkk. (2017), bahwa penggunaan serat dalam konstruksi berpengaruh pada kuat tekan, yaitu menurunkan kuat tekan. Hal ini karena penulangan serat yang terjadi secara alami dan penulangannya bisa tidak sesuai dengan arah beban yang diterima, sehingga dapat menghalangi pengikatan antar material. Oleh karena itu, hasil uji kuat tekan yang didapatkan seiring dengan peningkatan konsentrasi TKKS menurunkan kuat tekan.

3.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur

Pengujian tarik lentur material *rammed earth* dengan penggunaan serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai substitusi semen bertujuan untuk mengetahui nilai kuat lentur maksimum yang terjadi sebelum material *rammed earth* mengalami keruntuhan. Metode pembebanan uji lentur ini menggunakan 2 titik pembebanan. Hasil pengujian kuat lentur *rammed earth* dengan dimensi 60 cm x 15 cm x 15 cm pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan data hasil pengujian kuat lentur *rammed earth* dengan penambahan variasi serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang ditunjukkan pada Tabel 4 bahwa *rammed earth* normal tanpa penambahan serat tandan kosong kelapa sawit (LRES0) mampu menahan beban rerata sebesar 3 kN dengan kuat lentur rerata sebesar 0,4 MPa. Pada *rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit 0,75% (LRES0,75) mampu menahan beban rerata sebesar 4 kN dengan kuat lentur rerata sebesar 0,53 MPa. Pada *rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit 1% (LRES1) mampu menahan beban rerata sebesar 5,9 kN dengan kuat lentur rerata sebesar 0,8 MPa. Pada *rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit 1,25% (LRES1,25) mampu menahan beban rerata sebesar 7,3 kN dengan kuat lentur rerata sebesar 0,98 MPa. Hal demikian menunjukkan bahwa kuat lentur material *rammed earth* dengan penggunaan serat tandan kosong kelapa sawit mengalami peningkatan. Dimana nilai lentur optimum diperoleh pada persentase serat TKKS sebesar 1,25% (LRES1,25) dengan nilai rerata lentur sebesar 0,98 Mpa.

TABEL 8. Dekriptif Kuat Lentur.

Keode benda uji	Balok	Kuat lentur rata-rata
LRES0	1	0,4
	2	
	3	
LRES0,75	1	0,53
	2	
	3	
LRES1	1	0,8
	2	
	3	
LRES1,25	1	0,98
	2	
	3	

Sumber: Pengolahan data

TABEL 9. Uji Homogenitas 1.

Levene Statistic	df1	df2	Sig
2,871	4	16	,003

Sumber: Hasil pengolahan data

Persamaan regresi linier yang diperoleh dari hasil analisis adalah $Y = 0,4457X + 0,3432$ dan $R^2 = 0,8468$ (Gambar 7). Koefisien determinasi adalah sebesar 0,770 (77,0%) (Tabel 7). Hal ini diartikan bahwa sebesar 77,0% penambahan serat tandan kosong kelapa sawit berpengaruh terhadap kuat lentur *rammed earth* dan 23% sisanya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain diluar variabel x. Nilai signifikan F (simultan) yang diperoleh adalah 0,0798 dan nilai F hitung = 11,0555, dimana syarat nilai signifikan $F < \alpha$ 0,005 atau F hitung $> F$ tabel. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi serat TKKS (x) berpengaruh positif terhadap kuat lentur (y) akan tetapi pengaruhnya tidak signifikan. Berdasarkan output SPSS, terdapat perbedaan rata-rata kuat lentur dari masing-masing benda uji seperti terlihat pada Tabel 8. Untuk pengujian kesamaan varian (uji homogenitas) di dapat bahwa nilai Levene Statistic sebesar 2,871 dengan signifikansi sebesar 0,003 yang di dapat bahwa varian keempat jenis benda uji adalah tidak sama atau tidak homogen (Tabel 9).

Untuk pengujian perbedaan antar rata-rata uji tekan pada benda uji, maka dilakukan pengujian Anova seperti pada Tabel 10. Dari hasil pengolahan di atas, didapatkan bahwa nilai signifikansi adalah 0,001 yang lebih kecil dibandingkan 0,005 artinya data-rata uji tekan masing-masing benda uji adalah berbeda.

Penggunaan serat dalam material bangunan dapat mempengaruhi kuat lentur material tersebut yaitu meningkatkan kuat lentur material daripada kuat lentur material tanpa penggunaan serat, karena penulangan serat dalam material bangunan terjadi secara alami dan dapat menulangi material bangunan dengan baik sesuai dengan arah beban yang diterimanya (Adi dkk. 2019; Amna dkk. 2017; Anysz dan Narloch 2019). Serat TKKS memiliki struktur selulosa berpori yang terbuat dari serat mikro yang strukturnya mirip dengan kayu (Ling dkk. 2019)(Ling dkk, 2019). Kekuatan konstruksi sangat dipengaruhi pada kualitas semen, jenis material yang digunakan, adesi dan ikatan antar material, pemadatan dan perawatannya. Kelebihan beton normal mapupun beton ringan yaitu memiliki kuat tekan yang tinggi tapi lemah pada kuat lentur, sehingga diperlukan tulangan dan bahan tambahan lainnya untuk memperbaiki karakteristik tersebut agar menjadi berkualitas. Menulangi beton secara alami dengan serat yang disebarkan acak keda-

TABEL 10. Uji Homogenitas 2.

	Sum Of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between Groups	35,329	4	0,6775	11,0555	,001
Within Groups	1231,200	16	0,432		
Total	1266,529	20			

Sumber: Hasil pengolahan data

lam adukan beton dapat mencegah terjadinya retakan yang terlalu dini baik akibat beban maupun akibat panas hidrasi. Salah satu serat yang bisa digunakan adalah serat karbon, serat plastik, serat baja, serat alam dan serat fiber glass (Adi dkk. 2019; Lubis 2016; Mostafa dan Uddin 2016). Berdasarkan Ling dkk. (2021), penambahan serat tandan kosong kelapa sawit pada batu semen dapat menggantikan penggunaan pasir dan mengurangi densitas dan meningkatkan penyerapan air. Selain itu, TKKS pada batu semen juga mengurangi kekuatan pada batu jika penambahan TKKS tidak melebihi 15%. Berdasarkan Taallah dkk. (2014) dan Araki dkk. (2016), menyatakan bahwa perbedaan asal material serat yang digunakan akan memberikan karakteristik fisik dan mekanik yang berbeda. Gabungan penggunaan semen dan serat harus dengan perbandingan yang sesuai agar mendapatkan kestabilan produk yang baik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan bahwa hasil pengujian kuat tekan rata-rata *rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit 0% (TRES0) didapat nilai kuat tekan rata-rata sebesar 5,06 MPa. Pada *rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit 0,75% (TRES0.75) didapat nilai kuat tekan rata-rata sebesar 1,61 MPa. Pada *rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit 1% (TRES1) didapat nilai kuat tekan rata-rata sebesar 2,19 MPa. Pada *rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit 1,25% (TRES1.25) didapat nilai kuat tekan rata-rata sebesar 1,43 MPa. Hasil pengujian kuat lentur *Rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit 0% (LRES0) mampu menahan beban rerata sebesar 3 kN dengan kuat lentur rerata sebesar 0,4 MPa. Pada *rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit 0.75% (LRES0.75) mampu menahan beban rerata sebesar 4 kN dengan kuat lentur rerata sebesar 0,53 MPa. Pada *rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit 1% (LRES1) mampu menahan beban rerata sebesar 5,9 kN dengan kuat lentur rerata sebesar 0,8 MPa. Pada *rammed earth* dengan penambahan serat tandan kosong. Kelapa sawit 1.25% (LRES1.25) mampu menahan beban rerata sebesar 7,3 kN dengan kuat lentur rerata sebesar 0,98 MPa. Kuat tekan optimum terjadi pada variasi TRES0 (0% serat TKKS) yaitu didapat nilai tekan sebesar 5,06 MPa. Sedangkan kuat lentur optimum terjadi pada variasi LRES1.25 (1,25% serat TKKS) yaitu didapat nilai lentur sebesar 0,98 MPa dimana mampu menahan beban rerata sebesar 7,3 kN. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa penambahan serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan substitusi *rammed earth* tidak dapat meningkatkan nilai kekuatan tekan *rammed earth* itu sendiri, namun penambahan serat tandan kosong kelapa sawit yang digunakan tersebut dapat meningkatkan nilai kuat lentur pada material *rammed earth*. Selanjutnya, berdasarkan nilai kuat tekan yang dihasilkan *rammed earth* dengan campuran TKKS memenuhi persyaratan sebagai bahan dinding bangunan non-struktural.

5. NOTASI

1. f_c = Kekuatan tekan (MPa)

2. F = Beban maksimum (N)
3. A_c = Luas penampang benda uji (mm^2)
4. F_r = Kuat lentur (MPa)
5. P = Beban maksimum (N)
6. L = Panjang bentang (mm)
7. b = Lebar benda uji (mm)
8. h = Tinggi benda uji (mm)

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Negeri Medan yang telah memberikan support dana penelitian melalui hibah Dana PNPB Universitas Negeri Medan Tahun Anggaran 2023 dengan nomor kontrak 0009/UN33.8/PPKM/PIT/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi MM, Sofyan SS, Hajar YY. 2019. Pengaruh kuat lentur beton terhadap penambahan serat tandan kosong kelapa sawit. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*. 8(2):426. doi:10.29103/tj.v8i2.156.
- Amna K, Wesli W, Hamzani H. 2017. Pengaruh penambahan serat tandan sawit terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*. 4(2). doi:10.29103/tj.v4i2.19.
- Anysz H, Narloch P. 2019. Designing the composition of cement stabilized rammed earth using artificial neural networks. *Materials*. 12(9):1396. doi:10.3390/ma12091396.
- Araki H, Koseki J, Sato T. 2016. Tensile strength of compacted rammed earth materials. *Soils and Foundations*. 56(2):189–204. doi:10.1016/j.sandf.2016.02.003.
- Basehabitat. 2018. *Handbook*. Altmunster: Internasional Summer School.
- Koutous A, Hilali E. 2019. Grain shape effects on the mechanical behavior of compacted earth. *Case Studies in Construction Materials*. 11:e00303. doi:10.1016/j.cscm.2019.e00303.
- Koutous A, Hilali E. 2021. Reinforcing rammed earth with plant fibers: A case study. *Case Studies in Construction Materials*. 14:e00514. doi:10.1016/j.cscm.2021.e00514.
- Krahn TJ. 2019. *Essential rammed earth construction: The complete step-by-step guide*. New Society Publishers. <https://newsociety.com/books/e/essential-rammed-earth-construction>.
- Ling JH, Lim YT, Leong WK, Jusli E, Sia HT. 2019. Properties of cement brick with partial replacement of sand and cement with oil palm empty fruit bunches and silica fume. *Journal of the Civil Engineering Forum*. 5(3):289. doi:10.22146/jcef.47982.
- Ling JH, Lim YT, Leong WK, Sia HT. 2021. Utilization of oil palm empty fruit bunch in cement bricks. *Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering*. 4(1):1. doi:10.30659/jacee.4.1.1-10.
- Lubis MYdF. 2016. Kekuatan komposit polymeric foam diperkuat serat. *Mekanik Teknik, Mesin ITM*. 4(2):67–76. <http://jurnal.mesin.itm.ac.id/index.php/jm/issue/view/6>.
- Mostafa M, Uddin N. 2016. Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces. *Case Studies in Construction Materials*. 5:53–63. doi:10.1016/j.cscm.2016.07.001.

- Naufal MF, Abioso WS. 2022. Penggunaan rammed earth sebagai solusi material ramah lingkungan. *DESA - DESIGN AND ARCHITECTURE JOURNAL*. 1(2):53–58. doi:[10.34010/desa.v1i2.7775](https://doi.org/10.34010/desa.v1i2.7775).
- Siddiqua S, Barreto PNM. 2018. Chemical stabilization of rammed earth using calcium carbide residue and fly ash. *Construction and Building Materials*. 169:364–371. doi:[10.1016/j.conbuildmat.2018.02.209](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.209).
- Taallah B, Guettala A, Guettala S, Kriker A. 2014. Mechanical properties and hygroscopicity behavior of compressed earth block filled by date palm fibers. *Construction and Building Materials*. 59:161–168. doi:[10.1016/j.conbuildmat.2014.02.058](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.058).