

Peningkatan Sifat Mekanik Mortar Ringan Dengan Menggunakan Limbah Kelapa Sawit

Improving the Mechanical Properties of Lightweight Mortar Using Palm Oil Waste

Harnedi Maizir¹, Randhi Saily²

¹Program Studi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Pekanbaru, Indonesia

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

Article Info

Article history:

Received 25, September, 2024

Revised 19, Maret, 2025

Accepted 01, April, 2025

Kata Kunci

Kuat tekan

Limbah kelapa sawit

Mortar ringan

Abstrak

Mortar adalah material yang banyak digunakan sebagai bahan bangunan karena kekuatan dan ketahanannya. Mortar dibuat dengan mencampurkan air, semen, dan agregat halus hingga membentuk campuran homogen. Namun dalam beberapa tahun terakhir banyak penelitian mengenai peningkatan kinerja dan kualitas dari mortar dengan menggunakan bahan tambah tertentu, baik yang alami maupun buatan. Provinsi Riau yang didominasi dengan perkebunan kelapa sawit, menghasilkan limbah sawit yang cukup besar. Sehingga menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. disamping itu juga dalam pembuatan mortar diperlukan bahan semen sebagai material pengikat. Diketahui produksi semen menghasilkan polusi udara dan gas CO₂ yang berdampak tidak baik terhadap lingkungan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk membuat mortar ringan dengan menggunakan limbah kelapa sawit sebagai substitusi semen. Pengujian sifat mekanik meliputi kuat tekan bebas berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan standar pengujian material internasional (ASTM). Variasi persentase limbah kelapa sawit yang digunakan adalah 2,5%, 7,5%, 12,5% dan 17,5% dari berat semen. Sampel yang digunakan dalam bentuk kubus dengan ukuran masing-masing sisi 10 cm. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan optimum pada umur 28 hari pada variasi 12,5% dengan density 1002,32 kg/m³ dan nilai kuat tekan 1,32 MPa. Berdasarkan hasil pengujian kekuatan mortar ringan dapat disimpulkan bahwa penambahan persentase limbah kelapa sawit 12,5% dari kadar berat semen dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada campuran mortar ringan sebesar 42 % dibandingkan tanpa menggunakan limbah kelapa sawit.

Abstract

Mortar is a material that is widely used as a building material because of its strength and durability. Mortar is made by mixing water, cement, and fine aggregate to form a homogeneous mixture. However, in recent years there have been many studies on improving the performance and quality of mortar by using certain additives, both natural and artificial. Riau Province, which is dominated by oil palm plantations, produces a large amount of palm oil waste. In addition, in the manufacture of mortar, cement is required as a binder material. It is known that cement production produces air pollution and CO₂ gas, which is not good for the environment. Therefore, this study aims to make lightweight mortar using palm oil waste as a substitute for cement. Mechanical

Keywords:

Compressive strength

Oil palm waste

Lightweight mortar

properties testing includes free compressive strength based on the Indonesian National Standard (SNI) and international material testing standards (ASTM). The percentage variations of palm oil waste used were 2,5%, 7,5%, 12,5%, and 17,5% by weight of cement. The samples used are in the form of cubes with the size of each side of 10 cm. The results showed the optimum compressive strength at the age of 28 days in the 12,5% variation with a compressive strength value of 1,32 MPa. Based on the results of testing the strength of lightweight mortar, it can be concluded that the addition of a palm oil waste percentage of 12,5% of the weight of cement can increase the compressive strength value of lightweight mortar mix by 55% compared to without using palm oil waste.

Corresponding Author: Maizir, harnedi@sttp-yds.ac.id

A. PENDAHULUAN

Provinsi Riau merupakan wilayah yang didominasi industri perkebunan kelapa sawit dengan total produksi rata-rata 3,7 juta ton per tahun. Seiring dengan terus meningkatnya produksi kelapa sawit ini, ketersediaan limbah kelapa sawit juga terus meningkat (Zainuri, dkk., 2018). Limbah kelapa sawit merupakan bahan halus yang mengandung silika dan dapat bereaksi membentuk semen. Sehingga dapat menjadi alternatif pengganti semen dalam bidang konstruksi dan salah satunya adalah bahan pembuatan mortar ringan (Liu, dkk., 2016). Material mortar ringan menjadi salah satu alternatif bahan bangunan yang memiliki keunggulan yang dapat dikembangkan untuk digunakan sebagai perkerasan jalan, terutama di Provinsi Riau dimana kondisi tanahnya sebagian besar merupakan tanah lunak dan gambut. Keunggulan material mortar ringan ini memiliki persyaratan spesifikasi yang sangat baik untuk diterapkan di wilayah tanah lunak dan gambut (Hamidi, dkk., 2022). Pembuatan yang mudah serta biaya yang murah, material mortar ringan ini dapat menjadi satu alternatif sebagai pengganti timbunan. Perkembangan pesat material maju mortar ringan telah memotivasi para peneliti untuk mengembangkan penelitian pengujian sifat mekanik mortar ringan itu sendiri. Penentuan komposisi

yang optimal menjadi sesuatu yang penting dalam mempertahankan kualitas mortar ringan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan menghasilkan kualitas mortar ringan yang optimal dengan memanfaatkan limbah kelapa sawit sebagai inovasi yang diusulkan. Dengan penambahan material limbah kelapa sawit ini dapat menyebabkan berkurangnya persentase penggunaan semen sehingga diharapkan menjadi lebih ekonomis. Manfaat menggunakan teknologi material mortar ringan adalah biaya pemeliharaan yang sangat besar dapat dihindarkan, karena teknologi material mortar ringan memiliki persyaratan spesifikasi yang sangat baik untuk diterapkan di wilayah tanah lunak dan gambut. Industri perkebunan kelapa sawit sebagai unit perekonomian yang paling tinggi di Provinsi Riau, sering kali menghasilkan limbah kelapa sawit yang sudah tidak produktif dan dibuang sehingga menyebabkan pencemaran pada lingkungan. Jumlah limbah ini setiap tahun terus mengalami peningkatan seiring dengan areal perkebunan yang terus meningkat. Disisi lain dengan meningkatkan jumlah limbah kelapa sawit ini dapat menjadi potensi dalam mewujudkan *sustainable development goals* (SDGs) atau pembangunan berkelanjutan. Urgensi yang melatarbelakangi penelitian dilakukan dengan menciptakan satu inovasi baru.

Pemanfaatan limbah kelapa sawit menjadi material utama untuk mengurangi berat semen sebagai campuran mortar ringan dan mendapatkan komposisi yang paling optimum. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pendekatan eksperimental yang menguji lima variasi kadar substitusi (0%, 2,5%, 7,5%, 12,5%, dan 17,5%) serta mengevaluasi performanya secara bertahap pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari untuk mengetahui nilai yang paling optimum.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Alternatif material campuran dalam pembuatan mortar ringan, menjadi peran penting dalam meningkatkan kualitas mortar. Peneliti terdahulu telah melakukan kajian dengan menggunakan material limbah sebagai tambahan pada campuran mortar untuk mendapatkan kuat tekan yang tinggi (Mulyadi & Laksana, 2020; Hamidi, dkk., 2022, Nasrullah, dkk., 2022). Limbah kelapa sawit memiliki kandungan pengikat yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi semen. Hasil penelitian Liu, dkk., (2016) menyatakan limbah sawit dapat mengandung 60% silika yang berasal dari pembakaran cangkang dan sabut sawit. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ranjbar, dkk., (2014), yang menggunakan abu sawit sebagai campuran semen karena abu sawit memiliki silika (SiO_2) cukup tinggi yaitu sebesar 89,91%. Sama halnya dengan penelitian Huseien, dkk., (2016) yang menyatakan komposisi silika (SiO_2) yang terdapat didalam abu sawit sebesar 60%. Komposisi unsur dan senyawa ini diketahui melalui uji mikrostruktur seperti yang sudah dilakukan pada penelitian terdahulu (Sun, dkk., 2015; Dony & Das, 2019; Oktaviani, dkk., 2021).

Aspek lain jika dilihat dari perilaku permukaan mortar ringan, tegangan,

regangan dalam bentuk kontur warna yang mewakili awal terjadinya keretakan. Seperti yang sudah dilakukan pada kajian Suryanita, dkk., (2022) dengan menggunakan pendekatan numerikal. Limbah kelapa sawit yang digunakan merupakan limbah hasil pembakaran limbah padat pabrik kelapa sawit, telah terbukti efektif sebagai bahan pozzolanik untuk menggantikan sebagian semen pada mortar. Peneliti terdahulu mengamati bahwa abu bahan bakar kelapa sawit (*Palm Oil Fuel Ash* atau POFA) dapat digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam mortar, sehingga meningkatkan kelecakan, kuat tekan, dan karakteristik mikrostruktur (Zaimi, dkk., 2023).

Mortar ringan merupakan salah satu jenis material konstruksi berbasis semen yang dirancang dengan densitas lebih rendah dibandingkan mortar konvensional, umumnya berkisar antara 500 hingga 1800 kg/m^3 . Penurunan berat jenis biasanya dicapai melalui penggunaan agregat ringan (seperti *expanded perlite*, *vermiculite*, atau agregat buatan) dan/atau dengan menambahkan bahan pembentuk rongga udara (*foaming agent*) yang menghasilkan struktur berpori dalam mortar (Gündüz & Kalkan, 2022). *Foam agent* adalah bahan tambah yang biasa digunakan untuk pembuatan beton busa (Suryanita, dkk., 2024). Teknik mortar ringan adalah metode untuk mencampur semen, pasir, dan busa dalam proporsi tertentu. Penambahan *foam* ke campuran mortar dapat menyebabkan material campuran akan mengembang hingga empat kali lipat volume awalnya, sehingga mengurangi jumlah material yang dibutuhkan jika dibandingkan dengan material yang tidak memiliki campuran *foam*. Tujuan dari teknik ini adalah untuk mengubah berat isi dan kekuatan sesuai kebutuhan (Hamidi, dkk., 2022).

C. METODOLOGI PENELITIAN

1. Metode Penelitian

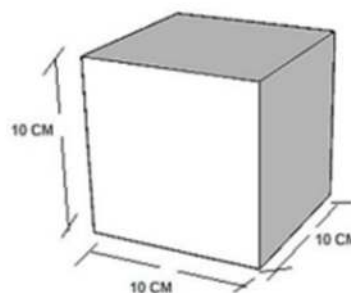
Metode penelitian meliputi persiapan material secara fisik, kemudian pengujian karakteristik material. Adapun pemeriksaan karakteristik material yang dilakukan adalah untuk merencanakan campuran (*mix design*) dan pengujian kelayakan material yang digunakan. Melalui usulan penelitian dosen pemula ini, limbah yang digunakan adalah limbah kelapa sawit yang merupakan hasil pembakaran dari tandan sawit menjadi abu untuk dijadikan bahan tambah substitusi semen (Gambar 1).

Metode penelitian dilaksanakan dengan pemeriksaan *properties* atau karakteristik pada agregat halus terlebih dahulu, yang meliputi pengujian kadar lumpur, pengujian berat jenis, pengujian kadar air, pengujian analisis saringan, pengujian berat volume, pengujian kandungan organik dengan mengikuti standar spesifikasi pengujian seperti pada Tabel 1. Setelah melakukan pengujian *properties* pada agregat halus, maka dilanjutkan dengan pembuatan desain campuran untuk benda uji mortar berbentuk kubus dengan ukuran 10 cm

setiap sisinya menggunakan *foaming agent* seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. Limbah kelapa sawit



Gambar 2. Benda uji mortar kubus ukuran 10 cm setiap sisi

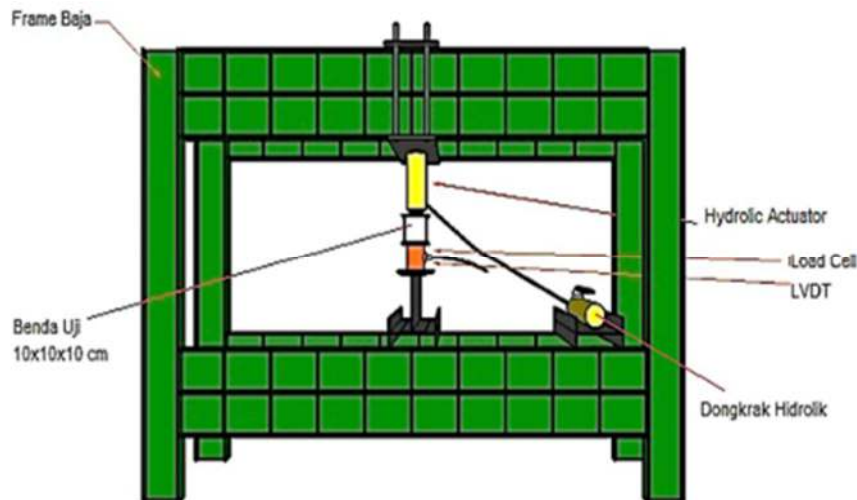
Tabel 1. Standar mutu agregat halus

No.	Jenis Pemeriksaan	Standar Spesifikasi	Standar
1	Kadar lumpur (%)	< 5%	ASTM C-142
2	Berat jenis (gr/cm^3)		
	a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,58 – 2,83	SNI 1970-2008
	b. <i>Bulk specific gravity on dry</i>	2,58 – 2,84	
	c. <i>Bulk specific gravity on SSD</i>	2,58 – 2,85	
	d. <i>Absorption (%)</i>	2 – 7	
3	Kadar air (%)	3 – 5	SNI 03-1971-1990
4	Modulus kehalusan	1,5 – 3,8	SNI 03-1968-1990
5	Berat volume (gr/cm^3)		
	a. Kondisi padat	1,4 – 1,9	SNI 03-4804-1998
	b. Kondisi gembur	1,4 – 1,9	
6	Kandungan organik	<i>Organic plate</i>	SNI 2816-1992

Campuran material mortar ringan terdiri dari *foaming agent*, semen, agregat halus, air dan limbah kelapa sawit. Benda uji dibuat dalam beberapa sampel dengan memvariasikan komposisi limbah kelapa sawit sebagai material substitusi semen sebesar 0%, 2,5%, 7,5%, 12,5%, 17,5% dari berat semen.

Kemudian dilakukan perawatan atau *curing* selama 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Setelah umur *curing* tercapai dilakukan pengujian kuat tekan dengan pemasangan peralatan seperti terlihat pada Gambar 3.

Pengujian kuat tekan mortar ringan meliputi instrumen alat sebagai pendukung diantaranya adalah alat-alat pengujian yang dipersiapkan seperti *switching box*, *data logger*, *load cell*, *jack hidraulic*, dan plat tumpuan sampel. Semua alat harus tersambung satu dengan lainnya dan dapat digunakan dengan baik. Sedangkan benda uji mortar ringan diletakkan pada *loading frame*, hal ini dimaksudkan agar pada saat proses pengujian kuat tekan posisi dari benda uji tidak berubah sehingga distribusi beban yang diberikan bisa maksimal. Sifat mekanik yang akan dianalisis pada studi ini hanya pada pengujian kuat tekan saja.



Gambar 3. Setting Up Peralatan

Nilai kuat tekan diperoleh dari pengujian terhadap sampel mortar ringan yang diberikan beban secara vertikal sampai hancur. Nilai kuat tekan diperoleh dari perhitungan daya tahan terhadap gaya tekan persatuan luas, sehingga persamaannya sebagai berikut :

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

f'_c = Kuat tekan (MPa)
P = Beban tekan (N)

A = Luas penampang benda Uji (mm^2)

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Uji Karakteristik

Uji karakteristik atau uji *properties* material agregat halus telah memenuhi standarisasi yang telah ditetapkan sesuai dengan Tabel 1. Pemeriksaan ini dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Teknik Sipil Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian propertis agregat halus

No.	Pengujian	Standar Spesifikasi	Hasil Pengujian	Standar Pengujian
1	Kadar lumpur (%)	<3	0,19	ASTM C-142
2	Berat jenis (gr/cm ³)			
	a. <i>Apperent spesific gravity</i>	2,58-2,83	2,75	SNI 1970-2008
	b. <i>Bulk spesific gravity on dry</i>	2,58-2,84	2,59	SNI 1970-2008
	c. <i>Bulk spesific gravity on SSD</i>	2,58-2,85	2,65	SNI 1970-2008
	d. <i>Absorption</i> (%)	2-7	2,25	SNI 1970-2008
3	Kadar air (%)	3-5	3,065	SNI 03-1971-1990
4	Modulus kehalusan	1,5-3,8	2,21	SNI 03-1968-1990
5	Berat volume (gr/cm ³)			
	a. Kondisi gembur	1400-1900	1485,06	SNI 03-4804-1998
	b. Kondisi padat	1400-1900	1762,63	SNI 03-4804-1998
6	Kandungan organik	Maks No.3	No.2	SNI 2816-1992

2. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Sifat mekanis yang akan dianalisis pada studi ini hanya pada kuat tekan saja. Hasil uji kuat tekan mortar ringan umur sampel 28 hari dari masing-masing variasi komposisi benda uji dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan Sifan, dkk.,

(2023), beton ringan mempunyai berat satuan kurang dari 2000 kg/m³. Menurut Sumbawaty, dkk., (2018), beton disebut ringan apabila beratnya <1800 kg/m³. Studi ini menghasilkan berat jenis atau *density* sebesar 1002,32 kg/m³ pada variasi 12,5% umur 28 hari (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil uji kuat tekan mortar ringan umur 28 hari

Variasi (%)	Berat (g)	Density (kg/m ³)	Luas Permukaan (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
0,0	810,04	821,00	10000	6,9	0,69	0,76
	835,79		10000	7,6	0,76	
	817,39		10000	8,4	0,84	
2,5	899,35	906,61	10000	9,1	0,91	1,04
	920,12		10000	10,2	1,02	
	900,37		10000	11,8	1,18	
7,5	1002,66	953,01	10000	10,7	1,07	1,15
	898,61		10000	11,1	1,11	
	957,76		10000	12,7	1,27	
12,5	1002,45	1002,32	10000	13,6	1,36	1,32
	988,65		10000	11,7	1,17	
	1015,86		10000	14,2	1,42	
17,5	979,82	994,75	10000	12,1	1,21	1,14
	1011,31		10000	11,4	1,14	
	993,12		10000	10,7	1,07	

Variasi mortar ringan 0% menghasilkan kuat tekan rerata 0,76 MPa. Sedangkan untuk variasi 2,5% kuat

tekan rerata sebesar 1,04 MPa. Selanjutnya variasi komposisi mortar ringan dengan tambahan abu sawit 7,5%

sebesar 1,15 MPa, sedangkan variasi 12,5% sebesar 1,32 MPa dan variasi 17,5% menghasilkan 1,14 MPa. Hasil pengujian sampel berumur 3 hari hingga 28 hari menghasilkan kuat tekan maksimum pada komposisi campuran 12,5% sebesar 0,48 MPa pada usia 3 hari, 0,69 MPa pada usia 7 hari, 0,79 MPa pada usia 14 hari, 1,06 MPa pada usia 21 hari dan 1,32 MPa pada usia 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 4.

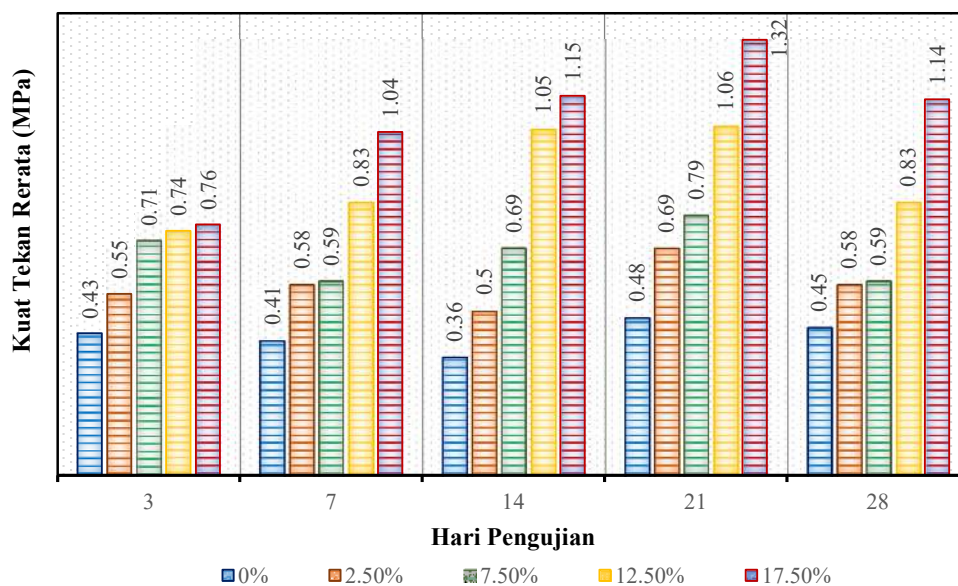
Pada umur 3 hari, seluruh komposisi menunjukkan nilai kuat tekan yang relatif rendah, berkisar antara 0,36 MPa hingga 0,48 MPa. Komposisi kontrol (0%) mencatat kuat tekan sebesar 0,43 MPa, sementara komposisi 3 (7,5%) menunjukkan nilai terendah (0,36 MPa). Ini mengindikasikan bahwa penambahan limbah kelapa sawit cenderung menurunkan kekuatan awal mortar, diduga akibat lambatnya reaksi pozzolan dan terganggunya proses hidrasi awal.

Tren peningkatan kekuatan semakin terlihat jelas di umur 21 hari. Komposisi 4 (variasi 12,5%) menunjukkan performa terbaik dengan kuat tekan 1,06 MPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pada umur ini, efek pozzolan dari limbah kelapa sawit mulai berkontribusi pada pembentukan produk hidrasi. Puncak performa terlihat pada umur 28 hari dengan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 1,32 MPa. Adapun proses pengujian kuat tekan benda uji dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada Gambar 4 terlihat penambahan umur pengujian mortar ringan dari umur 3 hari hingga 21 hari telah menghasilkan penambahan kekuatan mortar ringan, namun mengalami penurunan pada umur 28 hari. Hal yang serupa juga diperoleh pada penambahan persentase substitusi limbah kelapa sawit, dimana penambahan persentase limbah menghasilkan penambahan kekuatan mortar ringan.

Tabel 4. Hasil uji kuat tekan mortar ringan

Variasi (%)	No. Sampel	Hari Pengujian Kuat Tekan (MPa)									
		3		7		14		21		28	
		Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata
0,0	1	0,43	0,43	0,44	0,41	0,65	0,36	0,74	0,48	0,69	0,45
	2	0,44		0,66		0,74		0,73		0,76	
	3	0,41		0,54		0,74		0,75		0,84	
2,5	1	0,39	0,55	0,54	0,58	0,47	0,50	0,82	0,69	0,91	0,58
	2	0,43		0,58		0,73		0,87		1,02	
	3	0,41		0,63		0,58		0,80		1,18	
7,5	1	0,39	0,71	0,53	0,59	0,74	0,69	1,13	0,79	1,07	0,59
	2	0,20		0,29		0,38		0,99		1,11	
	3	0,49		0,67		0,94		1,04		1,27	
12,5	1	0,44	0,74	0,68	0,83	0,77	1,05	1,07	1,06	1,36	0,83
	2	0,49		0,69		0,78		0,99		1,17	
	3	0,51		0,71		0,82		1,12		1,42	
17,5	1	0,44	0,76	0,54	1,04	0,47	1,15	0,82	1,32	1,21	1,14
	2	0,41		0,58		0,73		0,87		1,14	
	3	0,49		0,63		0,58		0,80		1,07	



Gambar 4. Hasil pengujian kuat tekan



Gambar 5. Pengujian kuat tekan mortar ringan

Untuk komposisi 17,5% dari berat semen substitusi limbah kelapa sawit pada campuran mortar ringan terjadi penambahan sebesar 76,74% pada umur 3 hari dibandingkan tanpa limbah, sedangkan pada umur 7, 14 dan 28 hari masing-masing berturut turut terjadi peningkatan kuat tekan mortar sebesar 153,66%, 219,44% dan 153,33%. Hasil ini dibandingkan dengan campuran mortar tanpa menggunakan limbah

kelapa sawit (0%) bahwa substitusi limbah kelapa sawit pada campuran mortar ringan dapat meningkatkan kekuatan mortar ringan.

Pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai bahan substitusi semen pada komposisi campuran akan menghasilkan kondisi yang berbeda dengan penambahan limbah pada komposisi campuran. Pada penelitian [Rahmadi, dkk., \(2021\)](#), semakin besar pori-pori dari

mortar CLC maka semakin rapuh mortar CLC tersebut, yang semakin kecil nilai kuat tekan atau kekuatan pada bata ringan. Nilai kuat tekan untuk komposisi penambahan 10% POFA yang diperoleh dari pengujian cenderung mempunyai pori yang lebih kecil dan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi mortar CLC yang lain. Nilai kuat tekan terbesar diperoleh dengan komposisi penambahan 10% POFA terhadap berat semen dibandingkan dengan komposisi 15% dan 20% POFA.

E. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan mortar ringan menggunakan campuran limbah sawit dengan variasi komposisi 0%, 2,5%, 7,5%, 12,5% dan 17,5%, didapatkan kuat tekan paling optimum pada variasi 12,5%. Nilai kuat tekan paling maksimum yang diperoleh yaitu sebesar 1,32 Mpa pada umur 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan mortar ringan sebesar 12,5% limbah sawit dari berat semen dalam campuran telah menaikan kuat tekan sebesar 42% jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan sebelum dilakukan substitusi campuran limbah sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Dony, W., & Das, A. M. (2019). Studi Mikrostruktur Mortar Geopolimer Abu Sawit dengan Variasi Rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH . *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 19(1), 132-138.
<https://doi.org/10.33087/jiubj.v19i1.587>
- Gündüz, L., & Kalkan, Ş. O. (2022). The Effect of Different Natural Porous Aggregates on Thermal Characteristic Feature in Cementitious Lightweight Mortars for Sustainable Buildings. *Iranian Journal of Science and Technology*, Transactions of Civil Engineering, 47, 843–861.
<https://doi.org/10.1007/s40996-022-00937-3>
- Hamidi, A., Saily, R., & Hidayat, M. A. (2022). Pengaruh Sifat Karakteristik Mortar Busa Dengan Penambahan Addictive. *Sainstek*, 10(1), 73–79.
<https://doi.org/10.35583/js.v10i1.210>
- Huseien, G. F., Mirza, J., Ismail, M., & Hussin, M. W. (2016). Influence of Different Curing Temperatures and Alkali Activators on Properties of GBFS Geopolymer Mortars Containing Fly Ash and Palm-oil Fuel Ash. *Construction and Building Materials*, 125, 1229–1240.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.153>
- Liu, M. Y. J., Alengaram, U. J., Santhanam, M., Jumaat, M. Z., & Mo, K. H. (2016). Microstructural Investigations of Palm Oil Fuel Ash and Fly Ash Based Binders in Lightweight Aggregate Foamed Geopolymer Concrete. *Construction and Building Materials*, 120, 112–122.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.076>
- Mulyadi, A., & Laksana, G. (2020). Pemanfaatan Limbah Abu Tempurung Kelapa Sawit Untuk Campuran Mortar. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 88–93.
<https://doi.org/10.36546/tekniksipil.v9i2.296>
- Nasrullah, A., Firdaus, F., & Edowinsyah, E. (2022). Pengaruh Campuran Abu Layang dan Abu Sekam Padi Terhadap Kekuatan Kompresi Geopolimer Mortar Ringan. *Jurnal Tekno*, 19(2), 59–67.
<https://doi.org/10.33557/jtekno.v19i2.1962>
- Oktaviani, S., Subaer, S., & Nurhayati, N.

- (2021). *Pengaruh Penambahan Nano Quartz Terhadap Kuat Tekan dan Kekerasan Vickers Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash*. 17(3), 240–248.
<https://doi.org/10.35580/jspf.v17i3.27880>
- Rahmadi, Maizir, H., & Suryanita, R. (2021). Kekuatan Mortar Cellular Lightweight Concrete dengan Tambahan Abu Cangkang Sawit (POFA). *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 17(3), 239–247.
<https://doi.org/10.25077/jrs.17.3.239-247.2021>
- Ranjbar, N., Mehrali, M., Behnia, A., Alengaram, U. J., & Jumaat, M. Z. (2014). Compressive Strength and Microstructural Analysis of Fly Ash/Palm Oil Fuel Ash Based Geopolymer Mortar. *Materials & Design*, 59, 532–539.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.03.037>
- Sifan, M., Nagaratnam, B., Thamboo, J., Poologanathan, K., & Corradi, M. (2023). Development and Prospectives of Lightweight High Strength Concrete Using Lightweight Aggregates. *Construction and Building Materials*, 263.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129628>
- Sumbawaty, N., Ahzan, S., & Prasetya, D. S. B. (2018). Uji Porositas dan Kuat Tekan Batako Ringan Berbahan Dasar Limbah Pengolahan Emas (LPE) dengan Filler Pohon Pisang (FPP). *Jurnal Penelitian dan Pengkajian Ilmu Pendidikan: e-Saintika*, 1(2), 87-93.
<https://doi.org/10.36312/e-saintika.v1i2.107>
- Sun, X., Zhang, B., Dai, Q., & Yu, X. (2015). Investigation of Internal Curing Effects on Microstructure and Permeability of Interface Transition Zones in Cement Mortar With SEM Imaging, Transport Simulation and Hydration Modeling Techniques. *Construction and Building Materials*, 76, 366–379.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.014>
- Suryanita, R., Maizir, H., Zulapriansyah, R., Subagiono, Y., & Arshad, M. F. (2022). The Effect of Silica Fume Admixture On The Compressive Strength of The Cellular Lightweight Concrete. *Results in Engineering*, 14, 1-9.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100445>
- Suryanita, R., Putra, A. M., & Maizir, H. (2024). Studi Eksperimental Sifat Mekanis Bata Ringan CLC Dengan Penambahan Fly Ash. *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 215–227.
<https://doi.org/10.31849/siklus.v10i2.21182>
- Zaimi, S. A., Sidek, M. N. M., Hashim, N. H., Saman, H. M., Jaya, R. P., & Marzuki, N. A. (2023). Potential of Palm Oil Fuel Ash as a Partial Replacement of Fine Aggregates for Improved Fresh and Hardened Mortar Performance. *Advances in Civil Engineering*, 2023(1).
<https://doi.org/10.1155/2023/9064645>
- Zainuri, Z., Yanti, G., & Megasari, S. W. (2018). Optimasi Metode Pemisahan Serat Pelepah Kelapa Sawit Terhadap Kuat Tekan Bata Ringan. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 4(2), 80–90.
<https://doi.org/10.31849/siklus.v4i2.1186>



© 2025 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)