



# KEKUATAN MORTAR CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE DENGAN TAMBAHAN ABU CANGKANG SAWIT (POFA)

RAHMADI<sup>1</sup>, HARNEDI MAIZIR<sup>2</sup>, RENI SURYANITA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Riau, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Pekanbaru, Riau, Indonesia

\*Corresponding author: ✉ [reni.suryanita@emg.unri.ac.id](mailto:reni.suryanita@emg.unri.ac.id)

Naskah diterima : 7 Juni 2021. Disetujui: 23 Desember 2021

## ABSTRAK

Ketersediaan kelapa sawit rata-rata 2 juta ton per tahun di Provinsi Riau selain meningkatkan perekonomian juga dapat menimbulkan permasalahan di kalangan industri sebagai penghasil limbah sawit. Salah satu pemanfaatan limbah sawit adalah menggunakan abu sawit sebagai material campuran untuk pembuatan campuran mortar untuk pembuatan bata ringan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai kuat tekan maksimum berdasarkan persentase substitusi POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) dalam campuran mortar CLC. Persentase campuran POFA yang digunakan adalah 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen dalam campuran mortar CLC. Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium untuk mendapatkan kuat tekan mortar dengan ukuran sampel mortar kubus dengan sisi 10 cm<sup>3</sup>. Hasil penelitian mortar menunjukkan bahwa kuat tekan optimum pada umur 28 hari berada pada komposisi 10% POFA dengan kuat tekan maksimum 1,41 MPa. Berdasarkan hasil pengujian kekuatan mortal CLC dapat disimpulkan bahwa penambahan persentase POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) 10% dari kadar berat semen dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada campuran mortar bata ringan sebesar 34,3 % dibandingkan tanpa menggunakan POFA.

**Kata kunci** : Abu Sawit, Bata Ringan, Kuat Tekan, *Palm Oil Fuel Ash* (POFA)

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara agraris yang memiliki kekayaan alam dari sektor perkebunan termasuk diantaranya adalah perkebunan kelapa sawit. Ketersediaan limbah cangkang sawit 2 juta ton/tahun di Provinsi Riau dengan produktifitas *Crude Palm Oil* (CPO) sebesar 989.041 ton per tahun menjadi sumber permasalahan di kalangan industri (Hidayat & Ariyanto, 2019). Hal ini disebabkan produksi olahan kelapa sawit menghasilkan limbah padat yang semakin meningkat, sehingga secara tidak langsung berdampak terhadap lingkungan dan membutuhkan lahan serta areal yang luas untuk tempat penampungannya. Menurut Badan Pusat Statistik Provinsi Riau (2013) wilayah perkebunan sawit terluas di Indonesia berada di Provinsi Riau seluas 1,3 juta ha dengan total produksi 3,7 juta ton. Areal

ini setiap tahun terus meningkat, sehingga abu limbah olahan kelapa sawit juga terus meningkat.

Penambahan abu cangkang sawit *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) pada campuran mortar dapat berfungsi sebagai *pozzolan*, yaitu bahan halus yang mengandung silika dan alumina yang dapat bereaksi dan membentuk bahan semen (Liu et al., 2016). Sehingga, secara tidak langsung dapat menjadi alternatif pengganti semen dalam bidang konstruksi dan salah satunya adalah sebagai bahan substitusi dalam pembuatan bata ringan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC).

Bata ringan CLC terbuat dari mortar berbuisa (*foam concrete*) dimana pembentukan porinya dilakukan secara mekanika melalui penambahan senyawa berbuisa (*foaming agent*) yang dicampur sebagian air terlebih dahulu atau langsung di campur ke dalam adukan. Menurut (Bella et al., 2017) bata ringan CLC adalah bata selular yang mengalami proses perawatan secara alami. Dalam proses pengerjaan CLC digunakan busa organik yang sangat stabil dan ketika proses pencampuran adonan tidak ada reaksi kimia.

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan oleh peneliti lain untuk mencari alternatif agar abu limbah sawit dapat dimanfaatkan secara optimal pada konstruksi beton. Hasil penelitian (Liu et al., 2016) menyatakan POFA dapat mengandung 60% silika yang berasal dari pembakaran cangkang dan sabut sawit. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Ranjbar et al., 2014) yang menggunakan abu sawit sebagai campuran semen karena abu sawit memiliki silika ( $\text{SiO}_2$ ) cukup tinggi yaitu sebesar 89,91%. Sama halnya dengan penelitian (Huseien et al., 2016) yang menyatakan komposisi silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang terdapat didalam abu sawit sebesar 60%.

Kemampuan *workability* (kinerja) beton biasa *Ordinary Portland Cement* (OPC) dengan substitusi POFA persentase optimal 15% dalam semen menunjukkan kekuatan tekan yang paling tinggi dan bisa dijadikan sebagai parameter pembuatan beton OPC (Liu et al., 2016). Pemanfaatan POFA sebagai material pengganti semen dapat menjadi solusi pengurangan penggunaan semen. Selain itu juga dapat mengurangi jumlah penumpukan limbah industri kelapa sawit yang dapat merusak kelestarian lingkungan.

Bata ringan CLC mempunyai beberapa kelebihan seperti bisa dipaku, mudah dipotong, daya isolasinya lebih tinggi, dan tahan terhadap api. Bata ringan CLC mempunyai densitas antara 400 kg/m<sup>3</sup> hingga 1800 kg/m<sup>3</sup>, namun untuk pekerjaan struktur densitas CLC yang baik digunakan berkisar antara 1200 kg/m<sup>3</sup> hingga 1400 kg/m<sup>3</sup> (Hashim & Tantray, 2021). Selain itu bata ringan dapat memberikan insulasi panas, *termix*, *fungalddecay*, dan suara yang sangat baik, tidak terpengaruh temperatur yang berubah-ubah, perembesan (*bleeding*) minimal dan ramah lingkungan. Kualitas suatu hasil produksi bata ringan CLC seperti terlihat pada **Gambar 1** yang memiliki berat isi antara 600-1800 kg/m<sup>3</sup> (Subagiono et al., 2020),

Pembuatan mortar campuran bata ringan CLC memerlukan foaming agent yang merupakan suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Salah satu bahan yang mengandung surfaktan adalah detergen yang memiliki gelembung udara. Surfaktan adalah zat yang cenderung terkonsentrasi pada antar muka dan mengaktifkan antar muka tersebut. Dengan membuat gelembung-gelembung udara dalam adukan semen sehingga membentuk pori dan membuat bata menjadi ringan dengan adanya tambahan foaming agent tersebut, sehingga akan timbul banyak pori-pori udara di dalam betonnya (Chandni & Anand, 2018). Foaming agent memiliki bahan dasar sintesis atau protein. Pada umumnya foam berbahan dasar sintesis memiliki kepadatan

sekitar 40 kg/m<sup>3</sup> dan dapat mengembang sekitar 25 kali dari volume awal. Foaming agent jenis ini sangat stabil untuk mortar dengan kepadatan di atas 1000 kg/m<sup>3</sup>. Foaming agent ini dapat bertahan hingga 16 bulan dalam keadaan tertutup. Perbandingan jumlah busa dan air yang digunakan dalam campuran mortar berkisar 1 berbanding 40. Untuk 20 liter foam agent, setelah penambahan air dapat mengembang menjadi sekitar 500 liter busa yang stabil dengan berat sekitar 40 kg/m<sup>3</sup>.



**Gambar 1.** Bata Ringan CLC (*Cellular Lightweight Concrete*)

Untuk mengurangi penggunaan semen dalam campuran mortar CLC, maka dalam penelitian ini mencari solusi inovasi dengan menggunakan POFA yaitu abu yang dihasilkan dari limbah kelapa sawit seperti serat dan cangkang kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan menghasilkan komposisi optimun dari campuran mortar CLC menggunakan POFA sebagai bahan tambah menggantikan sebagian semen sehingga dihasilkan kuat tekan maksimal dari mortar tersebut. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kepada produsen bata ringan dan praktisi pelaksana proyek dalam menghasilkan bata ringan yang berkualitas sebagai penyusun dinding bangunan.

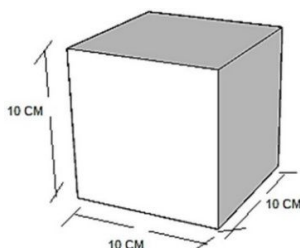
## 2. METODA PENELITIAN

Metode penelitian dimulai dengan melakukan pemeriksaan propertis agregat terdiri dari beberapa pengujian seperti kadar air, berat volume, berat jenis, analisis saringan, kadar lumpur, serta kadar organik. Pemeriksaan propertis agregat halus dilakukan dengan mengikuti standar pengujian seperti terlihat pada **Tabel 1**. Setelah melakukan pengujian propertis dan pemeriksaan agregat halus, maka dilanjutkan dengan pembuatan desain campuran untuk benda uji mortar berbentuk kubus dengan ukuran sisi 10 cm menggunakan *foaming agent* seperti pada **Gambar 2**.

**Tabel 1.** Syarat Mutu Agregat Halus

No.	Jenis Pemeriksaan	Standar Spesifikasi	Standar
1	Kadar lumpur (%)	< 5%	ASTM C-142
2	Berat jenis (gr/cm <sup>3</sup> )		SNI 03-1970-1990
	a. <i>Apperent Specific Gravity</i>	2,58 – 2,83	SNI 03-1970-1990
	b. <i>Bulk Specific Gravity on dry</i>	2,58 – 2,83	SNI 03-1970-1990
	c. <i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,58 – 2,83	SNI 03-1970-1990
	d. <i>Absorption (%)</i>	2 – 7	SNI 03-1970-1990

3	Kadar air (%)	3 - 5	SNI 03-1971-1990
4	Modulus kehalusan	1,5 - 3,8	SNI 03-1750-1990
5	Berat volume (gr/cm <sup>3</sup> )		
	a. Kondisi padat	1,40 - 1,90	SNI 03-4804-1998
	b. Kondisi gembur	1,40 - 1,90	SNI 03-4804-1998
6	Kandungan Organik	<i>Organic Plate</i>	SNI 2816-1992



**Gambar 2.** Benda uji dengan spesifikasi mortar kubus dengan sisi 10 cm

Campuran material mortar CLC terdiri dari foaming agent, semen, pasir, air dan POFA. Benda uji dibuat dalam beberapa sampel dengan memvariasikan komposisi POFA seperti pada **Gambar 3** sebagai substitusi semen sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari kadar semen.



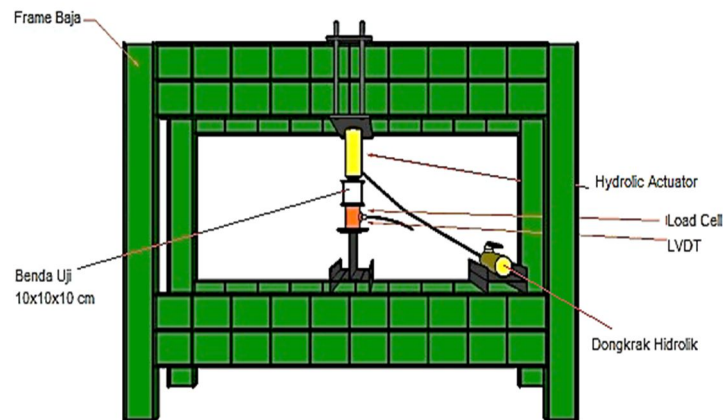
**Gambar 3.** POFA (Palm Oil Fuel Ash)

Kemudian dilakukan perawatan/curing selama 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Setelah umur curing tercapai dilakukan pengujian kuat tekan. Tahap selanjutnya mortar kubus dari ke lima variasi campuran POFA pada Tabel 2 diuji kuat tekan untuk mendapatkan komposisi optimum campuran POFA yang menghasilkan kekuatan maksimum. Pengukuran kekuatan tekan sampel mortar kubus dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Komposisi campuran mix desain mortar CLC dapat dilihat pada **Tabel 2** untuk masing-masing variasi dibuat 3 sampel untuk pengujian pada umur 3, 7, 14 dan 28 hari. Sehingga dibutuhkan sebanyak 60 sampel.

**Tabel 2.** Perencanaan Mortar CLC

Bahan	Variasi 1 0%	Variasi 2 5%	Variasi 3 10%	Variasi 4 15%	Variasi 5 20%	Satuan
Air	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	Kg
Pasir	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	Kg
Foam	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	Kg
Semen	4,80	4,56	4,32	4,08	3,84	Kg
POFA	0	0,24	0,48	0,72	0,96	Kg
Density rencana	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	gr/m <sup>3</sup>
Jumlah	12	12	12	12	12	Sampel

Pengujian sifat mekanik mortar CLC dimulai dengan mempersiapkan alat sesuai setting pengujian dimana sebelum pengujian benda uji di ukur dan ditimbang. Pengujian kuat tekan dilakukan secara merata pada bagian permukaan atas mortar bata ringan. Instrumen pengukuran beban yang digunakan adalah load cell sebagai pemberi beban dan linear variable differential transformer (LVDT) yang dipasang pada bagian tengah bata ringan untuk pengukuran deformasi yang terjadi pada permukaan. Kuat tekan bata ringan yang direncanakan adalah sebesar 1 MPa dengan density rencana adalah sebesar 0,800 gr/m<sup>3</sup>. Pengujian menggunakan loading frame yang merupakan rangka portal baja yang digunakan dalam pengujian kuat tekan mortar CLC yang ditempatkan ditengah rangka pengujian. **Gambar 4** menunjukkan loading frame yang digunakan pada penelitian ini.



**Gambar 4.** Loading frame

Pengujian kuat tekan mortar CLC meliputi instrumen alat sebagai pendukung diantaranya adalah alat-alat pengujian yang dipersiapkan seperti switching box, data longger, load cell, jack hidraulic, dan plat tumpuan sampel. Semua alat harus tersambung satu dengan lainnya dan dapat digunakan dengan baik. Sedangkan benda uji mortal CLC 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. Berdasarkan SNI 03-6825-2002 pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari. Nilai kuat tekan diperoleh dari pengujian terhadap sampel bata ringan yang diberikan beban secara vertikal sampai hancur. Nilai kuat tekan dapat dihitung berdasarkan Persamaan (1) sebagai berikut.

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

dengan :

$f'_c$  = Kuat Tekan (MPa)

P = Beban Tekan (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm<sup>2</sup>)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

Pemeriksaan karakteristik material agregat halus dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Teknik Sipil, Universitas Riau. Data hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus dapat dilihat pada **Tabel 3**. Berdasarkan hasil pengujian propertis material agregat halus semua pengujian telah memenuhi standarisasi yang telah ditetapkan ASTM dan Standar Nasional Indonesia (SNI-03-1750-1990, Mutu Dan Cara Uji Agregat Beton, 1990),

(SNI-03-1970-1990 Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, 1990) dan (SNI-03-2816-1992 Metode Pengujian Kotoran Organik Dalam Pasir Untuk Campuran Mortar Atau Beton, 1992).

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Propertis Agregat Halus

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Standar Spesifikasi	Standar Spesifikasi
1	Kadar Lumpur (%)	0,71	<5	ASTM C - 142
2	Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )			SNI-03-1970-1990
	a. <i>Apparent Specific Gravity</i>	2,67	2,58-2,83	SNI-03-1970-1990
	b. <i>Bulk Specific Gravity on Dry</i>	2,60	2,58-2,83	SNI-03-1970-1990
	c. <i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,62	2,58-2,83	SNI-03-1970-1990
	d. <i>Absorption (%)</i>	0,98	2,0-7,0	SNI-03-1970-1990
3	Kadar Air (%)	3,03	3-5	SNI-03-1970-1990
4	Berat Volume (gr/cm <sup>3</sup> )			SNI-03-2816-1992
	a. Kondisi Padat	1649,79	1400-1900	SNI-03-2816-1992
	b. Kondisi Gembur	1543,43	1400-1900	SNI-03-2816-1992
5	Kadar Organik	No.3	Maks No.3	SNI-03-2816-1992
6	Modulus Kehalusan	2,49	1,5- 3,8	SNI 03-1750-1990

### 3.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar CLC

Hasil pengujian kuat tekan mortar umur sampel 28 hari dari masing-masing variasi komposisi benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.

Variasi	Sampel	Berat Kg	Berat Rerata Kg	Luas Permukaan mm <sup>2</sup>	Beban Maksimum N	Kuat Tekan N/mm <sup>2</sup>	Kuat Tekan Rerata MPa
0%	1	0,785	0,776	1000	11800	1,180	1,067
	2	0,780		1000	10200	1,020	
	3	0,765		1000	10000	1,000	
5%	1	0,790	0,785	1000	13200	1,320	1,300
	2	0,785		1000	12800	1,280	
	3	0,780		1000	13000	1,300	
10%	1	0,795	0,795	1000	14200	1,420	1,410
	2	0,790		1000	14000	1,400	
	3	0,800		1000	14250	1,425	
15%	1	0,785	0,783	1000	12300	1,230	1,150
	2	0,780		1000	10500	1,050	
	3	0,785		1000	11700	1,170	
20%	1	0,790	0,780	1000	12030	1,203	1,078
	2	0,785		1000	10300	1,030	
	3	0,765		1000	10000	1,000	

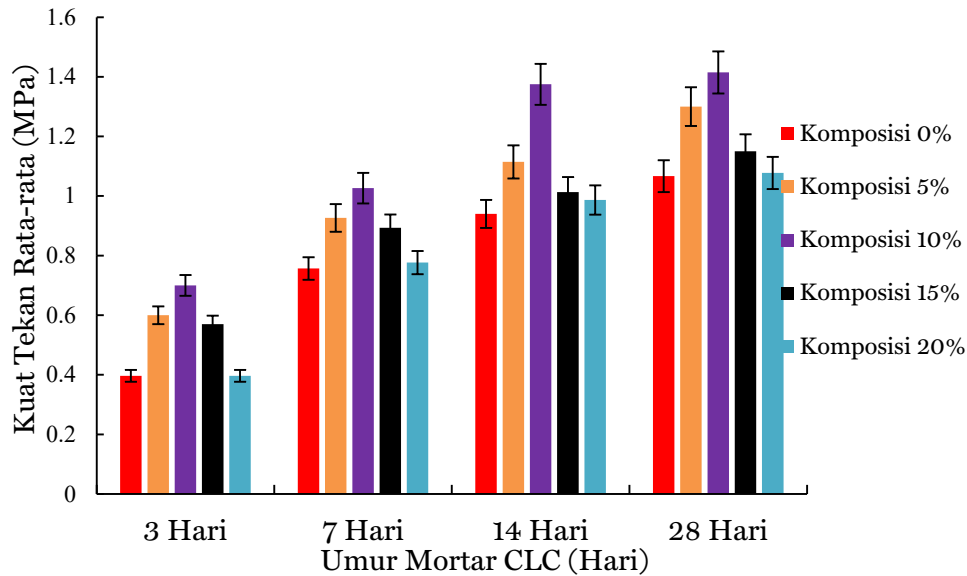
Variasi POFA 0% menghasilkan kuat tekan rerata sebesar 1,067 MPa dengan berat rerata 0,776 Kg. Sedangkan untuk variasi 5% POFA menghasilkan kuat tekan rerata sebesar 1,300 MPa dengan berat rerata 0,785 Kg. Sedangkan untuk variasi komposisi POFA 15% menghasilkan kuat tekan rerata sebesar 1,150 MPa dengan berat rerata 0,795 Kg. Selanjutnya untuk variasi komposisi POFA 20% menghasilkan kuat tekan rerata sebesar 1,078 MPa dengan berat rerata sebesar 0,790 Kg. Komposisi optimum campuran mortar CLC dihasilkan melalui perbandingan 10% POFA terhadap berat semen telah menghasilkan

kuat tekan rerata yang paling besar umur 28 hari yaitu 1,410 MPa dengan berat rerata 0,80 Kg. Pengujian kuat tekan sampel mortar untuk umur 28 hari untuk komposisi campuran mortar 10% POFA dapat dilihat pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Keruntuhan Variasi 10% POFA Trial Mortar umur 28 hari

Semakin besar pori-pori dari bata ringan maka semakin rapuh bata ringan tersebut, yang semakin kecil nilai kuat tekan atau kekuatan pada bata ringan. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian yang dilakukan, dimana kuat tekan untuk komposisi 10% POFA yang diperoleh dari pengujian cenderung mempunyai pori yang lebih kecil dan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi bata ringan yang lain. Perbandingan hasil pengujian untuk 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari usia mortar CLC dapat dilihat pada Gambar 6. Nilai kuat tekan terbesar diperoleh dengan komposisi 10% POFA terhadap berat semen. Hasil ini dibandingkan dengan campuran mortar tanpa menggunakan POFA (0% POFA) bahwa penambahan POFA pada campuran mortar dapat meningkatkan kekuatan mortar bata ringan CLC. Pada **Gambar 6** terlihat penambahan umur pengujian mortar CLC dari umur 3 hari hingga 28 hari telah menghasilkan penambahan kekuatan bata ringan. Untuk komposisi 10% dari berat semen penambahan POFA pada campuran bata ringan terjadi penambahan sebesar 75% pada umur 3 hari dibandingkan tanpa pencampuran POFA, sedangkan pada umur 7, 14 dan 28 hari masing-masing berturut turut terjadi peningkatan kuat tekan mortar sebesar 35,5%, 46,8% dan 32,7%. Hal ini seiring dengan penelitian yang dilakukan oleh peneliti terdahulu bahwa penambahan POFA dalam campuran bata ringan dapat meningkatkan kuat tekan bata ringan.



Gambar 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar CLC

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan mortar CLC menggunakan campuran POFA 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% didapatkan kuat tekan maksimal pada 10% POFA terhadap berat semen pada campuran mortar. Sehingga dari pengujian kuat tekan mortar didapat nilai kuat tekan terbesar pada campuran POFA 10% yaitu sebesar 1,41 MPa. Hasil pengujian kuat tekan mortar CLC sebesar 10% POFA dalam campuran telah menaikan kuat tekan sebesar 32,7% dibandingkan dengan nilai kuat tekan sebelum dilakukan substitusi campuran POFA menggantikan berat semen dalam campuran mortar. Kekuatan mortar CLC ini sangat dipengaruhi oleh perawatan dan pembuatan benda uji mengikuti ketentuan standar pengujian dan menyimpan sampel dengan baik agar tidak rusak atau hancur sebelum pengujian mengingat mortar kubus CLC lebih rapuh dari mortar beton umumnya.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada workshop PT. Harista Karsa Mandiri yang telah menyediakan sarana dan prasarana dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badan\_Pusat\_Statistik\_Provinsi\_Riau. (2013). *Peningkatan Jumlah Limbah Sawit di Provinsi Riau*.
- Bella, R. A., Pah, J. J. S., & Ratu, A. G. (2017). Perbandingan Presentase Penambahan Fly Ash terhadap Kuat Tekan Bata Ringan Jenis CLC. *Jurnal Teknik Sipil, VI(2)*, 199–204.
- SNI-03-1750-1990, Mutu dan Cara Uji Agregat Beton, (1990).
- SNI-03-1970-1990 Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus, (1990).
- SNI-03-2816-1992 Metode Pengujian Kotoran Organik dalam Pasir untuk Campuran Mortar atau Beton, (1992).
- BSN. (2002). SNI 03-6825-2002. *Standar Nasional Indonesia Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*.
- Chandni, T. J., & Anand, K. B. (2018). Utilization of Recycled Waste as Filler in Foam Concrete. *Journal of Building Engineering, 19*, 154–160. <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.04.032>
- Hashim, M., & Tantray, M. (2021). Comparative study on the performance of protein and synthetic-based foaming agents used in foamed concrete. *Case Studies in Construction Materials, 14*, e00524. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00524>
- Hidayat, A., & Ariyanto, A. (2019). Peningkatan Kekuatan Melalui Penambahan Cangkang Sawit



- Pada Beton Ringan Struktural Sebagai Agregat Kasar. *Jurnal Aptek*, 11(1), 25–30.
- 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.
- 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.
- Ranjbar, N., Mehrli, 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.
- Subagiono, Y., Maizir, H., & Suryanita, R. (2020). Perilaku Mekanik Bata Ringan dengan Penambahan Silica Fume. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 16(3), 194–204.