

Potensial Penggunaan Bata-ECC Berbasis Silica Fume dan Abu Cangkang Sawit Berdasarkan Kuat Tekan

Tani Frisda¹, Muhammad Aswin², Ahmad Perwira M. Tarigan³

^{1,2,3} Program Studi S2 Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater-Kampus USU, Medan, Sumatera Utara, 20155

Submitted : 14, Agustus, 2022;

Accepted: 18, September, 2022

Abstrak

Silica fume dan abu cangkang sawit merupakan salah satu material sisa atau limbah, dan belum dimanfaatkan secara optimal, baik oleh masyarakat maupun industri. Sementara, bata merupakan bahan bangunan yang masih banyak digunakan. Sampai saat ini, penggunaan bata merah masih menimbulkan isu lingkungan. Untuk itu, pada riset ini akan dibuat bata alternatif yang lebih ramah lingkungan, dimana memanfaatkan *silica fume* (SF) dan abu cangkang sawit (ACS/PSA), yang selanjutnya disebut dengan bata-ECC (*engineered cementitious composites*). *Mix design* dibuat dengan 16 variasi persentase yang berbeda dari SF dan ACS/PSA. Uji konsistensi dan *flowability* dibuat untuk mencapai kondisi SCC (*self-compacting concrete*). Secara keseluruhan terdapat 48 buah benda uji bata-ECC dengan ukuran 200x100x50 mm. Uji kuat tekan dilakukan pada umur 3 hari. Nilai tertinggi diperoleh pada variasi SF 10% PSA 10% sebesar 38,42 MPa. Sedangkan kuat tekan tertinggi bata merah dari beberapa panglong yang dipilih adalah 17,67 MPa. Berdasarkan ketentuan SNI 15-2094-2000, pada penelitian ini, bata-ECC tergolong dalam Kelas-150 (Mutu-A).

Kata Kunci: *silica fume*; abu cangkang sawit; Bata-ECC; *flowability*; kuat tekan

Abstract

Silica fume and palm shell ash are one of the residuals or waste materials, and have not been used optimally, both by the community and industry. While brick is a building material that is still widely used. Up to present, the use of red brick still raises environmental issues. For this reason, in this research, alternative bricks that are more environmentally friendly will be made using silica fume (SF) and palm shell ash (PSA), which is called ECC (engineered cementitious composites) brick. Mix design was made with 16 different percentage variations of SF and PSA. Consistency and flowability tests were done to achieve SCC (self-compacting concrete) conditions. In total there are 48 ECC bricks with sized of 200x100x50 mm. Compression test was carried out at the age of 3 days. The highest value was obtained at the variation of SF 10% PSA 10% of 38.42 Mpa (the age of 3 days). Meanwhile, the greatest compressive strength of the red bricks

*Corresponding author e-mail: frisda.tani@gmail.com

Another author e-mail: muhammad.aswin@usu.ac.id

from the selected several panglons is 17.67 MPa. Based on the provisions of SNI 15-2094-2000, in this study, ECC bricks are classified in Class-150 (Grade-A).

Keywords: *silica fume; palm shell ash; ECC brick; flowability; compressive strength*

A. PENDAHULUAN

Sampai saat ini Indonesia telah banyak melakukan pembangunan di segala bidang. Pembangunan perumahan dan gedung merupakan salah satu bagian yang mengalami peningkatan untuk mengimbangi dinamika pertumbuhan penduduknya. Pembangunan pada bidang konstruksi memerlukan material yang tepat dan inovatif. Bata merupakan salah satu bahan bangunan yang masih banyak digunakan untuk dinding.

Umumnya bata yang digunakan adalah bata merah. Bata merah yang ada di pasaran, banyak memiliki cacat fisik, seperti permukaan bata yang tidak rata/ melengkung, mudah pecah/ retak, atau berpori, dan sebagainya. Selain itu, kekuatannya masih rendah. Proses pembuatannya serta pencetakan bata merah juga masih konvensional. Bahan pembuatan bata merah masih banyak menggunakan tanah liat, yang mana dapat menyebabkan terjadinya kerusakan lingkungan akibat pengambilan tanah liat dari sumbernya, serta terjadinya pencemaran udara karena pembakaran bata merah tersebut.

Sehubungan dengan bata merah yang selalu dan banyak digunakan pada rumah maupun gedung, maka sudah sewajarnya untuk meningkatkan kualitas bata tersebut, yang tentunya dengan meminimalkan apa-apa yang menjadi kekurangan dari bata merah tersebut. Namun, pada penelitian ini akan dikaji tentang pembuatan bata yang tidak menggunakan tanah liat sebagai material utamanya. Sehingga kerusakan alam/

lingkungan akibat penggunaan tanah liat dapat dihindarkan. Selain itu juga tidak menggunakan pembakaran dalam proses produksinya. Untuk meningkatkan kekuatan bata yang akan dikaji, serta untuk mendukung pemanfaatan material yang ramah lingkungan, maka pada penelitian ini akan diinvestigasi tentang bata yang memanfaatkan beberapa limbah sebagai bahan penyusunnya, yaitu antara lain abu cangkang sawit dan *silica fume*, yang selanjutnya dinamakan bata-ECC. Proses pembuatan bata-ECC ini sangat sederhana, sehingga masyarakat desa diharapkan dapat memproduksinya dengan mudah.

Abu cangkang sawit merupakan sisa dari proses pengolahan kelapa sawit, yang selama ini dianggap sebagai limbah. Limbah sawit tersebut apabila menumpuk tanpa pengurangan maka akan mengakibatkan pencemaran lingkungan. Abu cangkang sawit yang dipakai pada riset ini diambil dari sisa produksi pabrik kelapa sawit Tinjowan, Simalungun, Sumatera Utara. Menurut Tjokrodimuljo (1998), abu cangkang kelapa sawit memiliki kandungan silika oksida yang cukup tinggi, yaitu sekitar 89,9%. *Silica fume* sebenarnya juga limbah, yaitu merupakan *by-product* dari industri logam. Namun pada penelitian ini, *silica fume* diperoleh dari PT. Sika Indonesia. Berdasarkan hasil uji *chemical content*, kandungan silika oksidanya juga cukup tinggi yaitu 90.21%. Penggunaan kedua material ini (yaitu abu cangkang sawit dan *silica fume*) bertujuan agar bata yang dihasilkan lebih ramah lingkungan. Selain itu, diharapkan juga dapat

memperbaiki sifat-sifat mekanikal dari bata-ECC, terutama kuat tekannya. Uji kuat tekan dilakukan dalam waktu 3 hari ditujukan supaya masa produksinya bisa lebih cepat.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. *Engineered Cementitious Composites (ECC)*

Sekitar tahun 1989, *Engineered Cementitious Composites (ECC)* pertama sekali diperkenalkan oleh Victor Li. Pengembangan *ECC* bertujuan untuk mendapatkan suatu komposit dengan daktilitas dan kuat tarik yang tinggi. *ECC* dikembangkan atas dasar/prinsip fraktur dan mikromekanik (Huang and Zhang, 2014). Selain itu, *ECC* juga dikenal dengan *bendable concrete* (beton yang dapat menekuk/melentur).

Material pembentuk *ECC* yaitu pasir silika (dengan ukuran partikel tidak lebih dari 0,25 mm), air, semen, material *cementitious*, *superplasticizer*, serat sintetis dengan kadar volume fiber yang rendah yaitu 2% atau lebih kecil (Li, 2007).

Material *ECC* disusun dengan paradigma hubungan antara mikrostruktur material, pemrosesan, sifat material dan kinerja dimana hubungan kinerja mekanik komposit dan mikrostruktur material terjadi secara mikromekanis (Wang & Li, 2007).

ECC dapat digunakan untuk perbaikan struktur, elemen-elemen struktur yang memerlukan kapasitas regangan tinggi, ketahanan aktivitas seismik, benturan, dan ledakan. Oleh karena itu, *ECC* dirancang untuk peningkatan kekuatan (Bike & Li, 2003). *ECC* juga sangat sesuai diaplikasikan pada infrastruktur transportasi yang membutuhkan peningkatan kekuatan yang cepat (Wang & Li, 2006).

ECC yang lebih ringan daripada beton, dapat diaplikasi pada komponen struktural untuk meminimalkan beban mati (Wang & Li, 2003). Mortar *ECC* juga dapat menghambat frekuensi terjadinya retak, serta melindungi tulangan baja dari korosi secara menerus (Lepech & Li, 2005).

2. Bata Merah

Pada umumnya bata merah digunakan untuk pembuatan dinding. Sementara itu, tanah liat merupakan bahan utama yang digunakan untuk pembuatan bata merah. Pengambilan tanah liat dari alam secara terus-menerus dapat merusak lingkungan, seperti lubang bekas galian dan kerusakan jalan (Mega, 2016).

Sebagai dukungan terhadap pelestarian alam dan lingkungan hidup, telah dilakukan inovasi terhadap campuran bata merah yaitu penggunaan abu cangkang sawit sebagai bahan tambahan pada pembuatan bata merah. Penambahan abu cangkang sawit dapat meningkatkan nilai kuat tekan rata-rata bata merah. Pada penambahan persentase 25% abu cangkang sawit, nilai kuat tekan rata-rata bata merah meningkat sebesar 94,57% dari kuat tekan rata-rata bata merah asli (Herman & Rolly, 2017).

Pada proses pembuatan bata merah, ada beberapa tahapan yaitu pencetakan, pengeringan, dan pembakaran. Proses pembakaran sangat berperan penting pada hasil kuat tekan bata merah. Perbedaan proses pembakaran juga dapat menghasilkan mutu bata yang berbeda (Muhammad, 2021).

Semakin lama waktu pembakaran bata merah maka air yang mengisi pori tanah liat menguap, dan menyebabkan partikel-partikel tanah liat merapat dan saling mengisi pori yang kosong dari tanah liat, sehingga bata merah menjadi *porous* (Cita, Agus & Dody Irnawan, 2022).

Selain meningkatkan porositas, lama pembakaran juga dapat berpengaruh terhadap susut bakar. Apabila kurang dalam pembakarannya maka akan semakin kecil nilai susut bakarnya (Daniswara & Eko, 2022).

C. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan kajian eksperimental, yang terdiri dari beberapa kegiatan yaitu mulai dari pekerjaan persiapan, penyediaan dan pemeriksaan material serta peralatan, pembuatan benda uji, sampai pengujian.

1. Material

Ada beberapa macam material yang digunakan pada penelitian ini, antara lain *silica fume*, abu cangkang sawit, air, pasir, *superplasticizer* dan semen.

a. *Silica Fume*

Silica Fume adalah bahan pozzolan yang kaya akan silika dan dapat bereaksi kimia dengan kalsium hidroksida, membentuk gel *Calcium Silicate Hydrate* (CSH) pada beton. Menurut ASTM C.1240-95 “*specification for silica fume for Use in Hydraulic Cement concrete and Mortar*” *silica fume* adalah material pozzolan yang halus, dimana komposisi silika lebih banyak yang dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau alloy besi silikon (dikenal dengan gabungan antara microsilika dengan *silica fume*). *Silica fume* diperoleh dari PT. Sika Indonesia. Komposisi kimia *silica fume* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji XRF *silica fume*

Unsur	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)
Si	87,4	SiO ₂	94,2
K	1,90	K ₂ O	0,731
Ca	1,81	CaO	0,784
Cr	0,052	Cr ₂ O ₃	0,023
Mn	0,051	MnO	0,019
Fe	0,667	Fe ₂ O ₃	0,286
Ni	0,02	NiO	0,009
Cu	0,081	CuO	0,030
Zn	0,03	ZnO	0,009
Mo	7,72	MoO ₃	3,87
Yb	0,05	Yb ₂ O ₃	0,02
Re	0,16	Re ₂ O ₇	0,068

(Sumber : Hasil pengujian sampel di Laboratorium Mineral dan Material Maju (Lab. Central) FMIPA Universitas Negeri Malang, 2021)

b. Abu cangkang sawit

Abu cangkang sawit merupakan sisa dari pembakaran cangkang kelapa sawit dalam tungku pembakaran dengan suhu 700-800 °C. Abu cangkang sawit pada penelitian ini berasal dari unit pengolahan kelapa sawit pada pabrik kelapa sawit di desa Tinjowan,

Kecamatan Ujung Padang, Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera Utara.

Berdasarkan aplikasi dalam ilmu teknik (Graille dkk 1985), abu cangkang kelapa sawit dimanfaatkan pada berbagai bidang yaitu sebagai bahan tambahan pengganti semen dalam desain beton

mutu tinggi, bahan pengisi (*filler*) dan lapisan perkerasan jalan raya.

Komposisi kimia abu cangkang sawit pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji XRF abu cangkang sawit

Unsur	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)
Si	32,7	SiO ₂	48,9
P	4,90	P ₂ O ₅	6,97
S	2,7	SO ₃	4,1
K	31,0	K ₂ O	20,5
Ca	19,9	CaO	13,8
Ti	0,18	TiO ₂	0,15
Mn	1,0	MnO	0,61
Fe	5,17	Fe ₂ O ₃	3,42
Cu	0,26	CuO	0,15
Zn	0,12	ZnO	0,066
Rb	0,76	Rb ₂ O	0,37
Sr	0,23	SrO	0,12

(Sumber : Hasil pengujian sampel di Laboratorium Mineral dan Material Maju (Lab. Central) FMIPA Universitas Negeri Malang, 2021)

c. Air

Pada penelitian ini air yang digunakan sudah memenuhi persyaratan untuk air minum, dan secara visual air tersebut jernih serta tidak mengandung kotoran atau residu. Air pada penelitian ini diambil dari Laboratorium Bahan dan Rekayasa Beton Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara.

d. Pasir

Pada penelitian ini pasir berasal dari sungai Wampu, Binjai, Sumatera Utara. Sebelum digunakan, pasir terlebih dahulu diayak dengan menggunakan ayakan ukuran *mesh* #16 (1,25 mm). Pasir yang digunakan yaitu butiran yang ukurannya lebih kecil dari 1,25 mm.

e. Superplasticizer

Pada penelitian ini *superplasticizer* yang digunakan merupakan tipe SIKKA *Viscocrete* 3115N dengan merek dagang PT. SIKKA.

f. Semen

Pada penelitian ini digunakan semen *Portland* Tipe I. Kemasan semen yaitu 1 zak 50 kg yang diperoleh dari PT. Semen Padang.

2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Bahan dan Rekayasa Beton Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.

a. Mix Design

Material *cementitious* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *silica fume* dan abu cangkang sawit dimana material *cementitious* sebagai bahan tambah semen. Bahan penyusun mortar ECC dalam 1 m³ mengandung semen 250 kg, pasir 275 kg dan fas 0,415. Nilai proporsi *silica fume* dan abu cangkang sawit yaitu 0%, 5%, 10%, 15% terhadap berat semen. *Superplasticizer* yang digunakan berkisar antara 0.07% sampai 4,15% dari berat binder. Binder

erupakan berat total dari campuran *silica fume* dan semen.

Matriks adukan mortar *ECC* dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah.

Tabel 3. Matriks *mix design* bata-*ECC*

Silica Fume (SF)	Abu Cangkang Sawit			
	0%	5%	10%	15%
0%	SF ₀ ACS ₀	SF ₀ ACS ₅	SF ₀ ACS ₁₀	SF ₀ ACS ₁₅
5%	SF ₅ ACS ₀	SF ₅ ACS ₅	SF ₅ ACS ₁₀	SF ₅ ACS ₁₅
10%	SF ₁₀ ACS ₀	SF ₁₀ ACS ₅	SF ₁₀ ACS ₁₀	SF ₁₀ ACS ₁₅
15%	SF ₁₅ ACS ₀	SF ₁₅ ACS ₅	SF ₁₅ ACS ₁₀	SF ₁₅ ACS ₁₅

b. Trial mix dan uji tekan

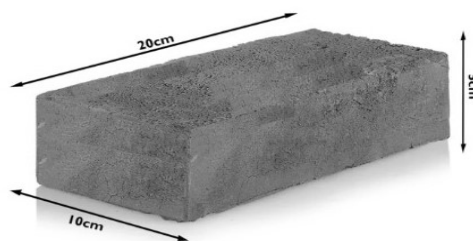
Pada dasarnya *trial mix* ditujukan untuk mengecek *workability* adukan segar mortar *ECC*, serta untuk mencapai kuat tekan 3 hari terhadap bata *ECC*. *Workability test* selalu mengacu kepada EFNARC (2005).

Pada proses *trial mix* dibuat 3 sampel bata-*ECC* untuk setiap variasi *mix proportion*, yang kemudian diuji tekan

pada umur 3 hari. Kuat tekan bata *ECC* akan dibandingkan terhadap ketentuan yang terdapat pada SNI 15-2094 (2000).

c. Proses pembuatan bata-*ECC*

Pada saat *trial mix*, benda uji bata *ECC* langsung dibuat. Hasil uji tekan bata *ECC* pada umur 3 hari akan dibandingkan terhadap ketentuan SNI 15-2094-2000. Kemudian akan diklasifikasikan mutu atau kelas dari masing-masing bata *ECC*. Bata *ECC* memiliki ukuran 200x100x50 mm. Jumlah total benda uji yaitu 48 buah.



Gambar 1. Dimensi bata *ECC*

Tahapan pembuatan bata-*ECC* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Pekerjaan dimulai dari penyiapan seluruh bahan atau material

penyusun mortar *ECC*, penimbangan, pengadukan, pencetakan, sampai pada pengujian. Campuran diaduk merata dan dihentikan ketika *workability* adukan sudah tercapai.



Gambar 2. Proses pembuatan benda uji

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pemeriksaan kandungan kimia material cementitious

Pemeriksaan kandungan kimia pada abu cangkang sawit dan *silica fume* dilakukan pada Laboratorium Mineral dan Material Maju (Lab. Central) FMIPA Universitas Negeri Malang. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa kadar SiO_2 pada abu cangkang sawit adalah 48,9 % dan *silica fume* adalah 94,2 %.

2. Flowability

Hasil pengujian *flowability* pada *slump-flow* diameter dan pengujian

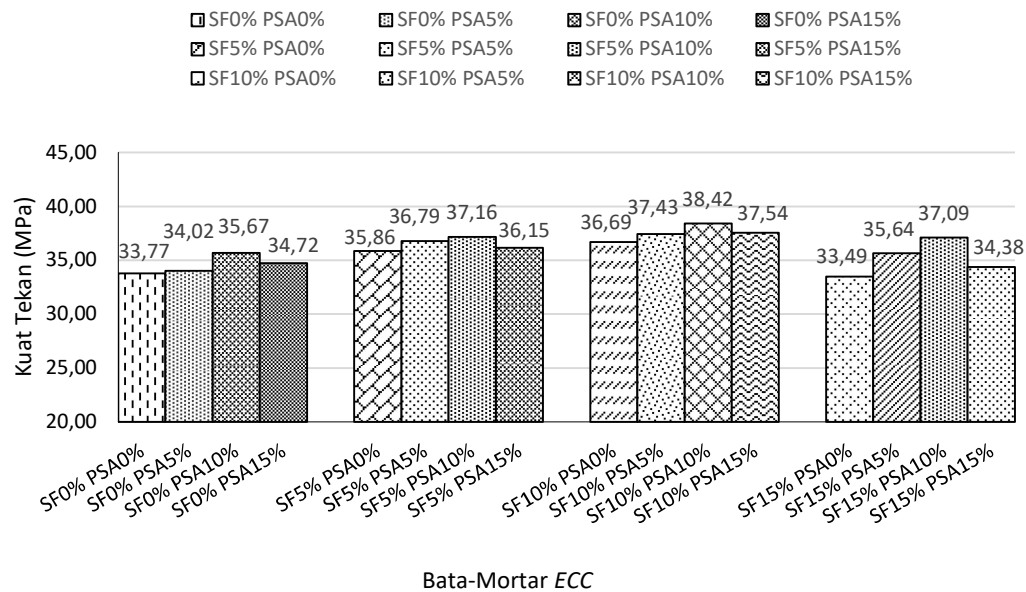
slump-flow T_{500} test berdasarkan EFNARC (2005) didapat bahwa *flowability* sudah memenuhi persyaratan yang ditentukan.

3. Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan mesin uji tekan berkapasitas 2500 kN. Nilai kuat tekan merupakan nilai rata-rata dari tiga buah sampel. Nilai rata-rata kuat tekan bata-mortar ECC untuk umur 3 hari dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 3.

Tabel 4. Kuat tekan rata-rata Bata-Mortar ECC pada umur 3 hari

Benda Uji	<i>Silica Fume</i>	Kuat Tekan Rata-Rata Bata-Mortar ECC (MPa)			
		0% ACS	5% ACS	10% ACS	15% ACS
1	0%	33.77	34.02	35.67	34.72
2	5%	35.86	36.79	37.16	36.15
3	10%	36.69	37.43	38.42	37.54
4	15%	33.49	35.64	37.09	34.38

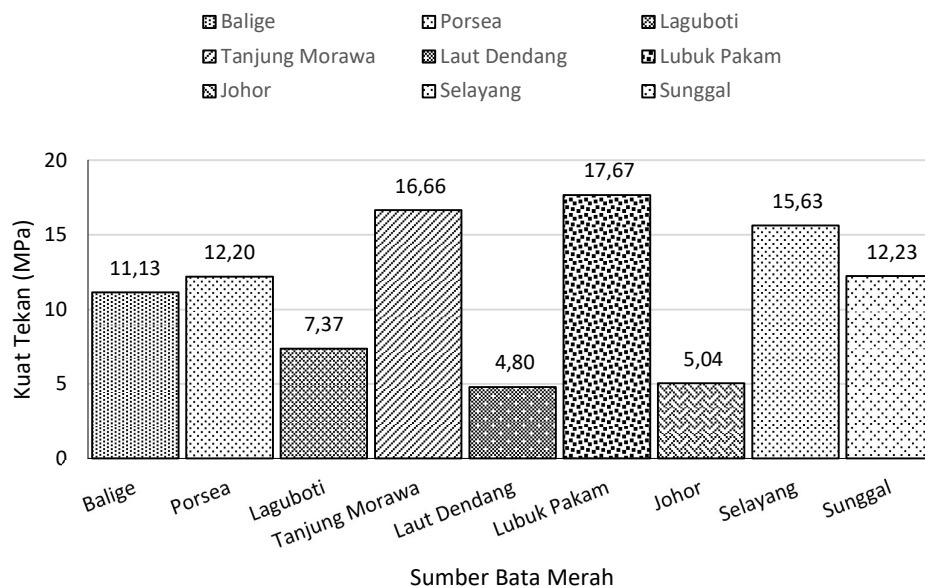


Gambar 3. Kuat tekan rata-rata Bata-Mortar ECC pada umur 3 hari

Tabel 5. Kuat tekan rata-rata bata merah

(Sumber: diambil dari beberapa Toko Bahan Bangunan/TBB di Sumatera Utara)

No	Lokasi TBB	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
1	Balige	11.13
2	Porsea	12.20
3	Laguboti	7.37
4	Tanjung Morawa	16.66
5	Laut Dendang	4.80
6	Lubuk Pakam	17.67
7	Johor	5.04
8	Selayang	15.63
9	Sunggal	12.23



Gambar 4. Kuat tekan rata-rata bata merah
(Sumber: diambil dari beberapa TBB di Sumatera Utara)

Berdasarkan data hasil pengujian kuat tekan rata-rata bata-mortar *ECC* dapat dilihat pada Gambar 3, dapat ditunjukkan bahwa nilai tertinggi tercapai pada variasi komposisi SF10% ACS 10% sebesar 38,42 MPa. Sedangkan hasil pengujian kuat tekan dari beberapa Toko Bahan Bangunan (TBB) diperoleh kuat tekan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 4, yaitu tertinggi pada lokasi Lubuk Pakam sebesar 17,67 MPa. Perbedaan hasil yang sangat signifikan ini dikarenakan pembuatan bata merah dipengaruhi oleh komposisi, material, pencetakan, pengeringan dan pembakaran (Chandola, 1996).

Selain itu, perbedaan hasil kuat tekan bata merah juga dipengaruhi oleh jenis dan kualitas bahan baku, cara pembuatan, perbandingan jumlah bahan yang digunakan dan perawatan bata (Yildirim & Duygun, 2017).

Meningkatnya nilai kuat tekan bata ECC ini disebabkan karena keberadaan abu cangkang sawit dan *silica fume* dalam campuran.

Jurianto (2014) melaporkan bahwa persentase kandungan abu cangkang sawit dalam bata yang paling baik pada penelitian ini adalah 10% abu cangkang sawit.

Berdasarkan ketentuan SNI 15-2094-2000, bata-mortar *ECC* dan bata merah tergolong dalam Kelas-150 (Mutu A).

E. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia pada abu cangkang sawit dan *silica fume* yang dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang, diketahui senyawa silika (SiO_2) yang terkandung dalam abu cangkang sawit dan *silica fume* sebanyak 48,9 % dan 94,2 %, sehingga abu cangkang sawit dan *silica fume* dapat digunakan sebagai material tambahan dalam campuran mortar *ECC*.

Penggunaan *silica fume* sebagai material tambahan dalam campuran mortar *ECC* sampai dengan 10%

memberikan hasil kuat tekan pada umur 3 hari lebih besar dibandingkan dengan mortar ECC tanpa penambahan *silica fume*.

Penggunaan abu cangkang sawit sebagai material tambahan dalam campuran mortar ECC dengan persentase 10% menghasilkan kuat tekan lebih besar dibandingkan dengan persentase penambahan 0%, 5%, dan 15% pada umur 3 hari. Nilai kuat tekan optimum sebesar 38,42 MPa dihasilkan oleh mortar ECC dengan persentase penambahan *silica fume* sebanyak 10% dan abu cangkang sawit sebanyak 10%.

Berdasarkan ketentuan SNI 15-2094-2000, bata-mortar ECC tergolong dalam Kelas-150 (Mutu A).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Sumatera Utara dan Laboratorium Beton Teknik Sipil yang telah memberikan kesempatan dan ijin untuk melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C.1240-95. (1995). "specification for silica Fume for Use in Hydraulic Cement concrete and Mortar" Available at: <http://www.microsilica-fume.com/wp-content/uploads/2017/12/ASTM-C1240-silica-fume-in-cementitious-mixture.pdf>
- Cita Yulianto, Agus Setyawan & Dody Irnawan (2022). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Terhadap Sifat Mekanik Batu Bata Merah: Jurnal Teknosains Kodepena Vol. 03, Issue 01, pp. 31-41. Available at: <http://www.jtk.kodepena.org/index.php/jtk/article/view/48/33>
- Chandola, Varizani, V.N, (1996) Consise Handbook of Civil Engineering. Available at: https://books.google.co.id/books/about/Concise_Handbook_of_Civil_Engineering.html?id=taZsHR-7Ri4C&redir_esc=y
- Daniswara & Eko Walujodjati. (2022). Pengaruh Campuran Pasir Terhadap Batu Bata Merah: Jurnal Konstruksi Vol. 20; No. 1; 2022; Hal 95-102. Available at: <https://jurnal.itg.ac.id/index.php/konstruksi/article/view/1018/898>
- EFNARC (2005) Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, pp. 21-22. Available at : <https://static1.squarespace.com/static/5e6b93d41858c8369bc361b9/t/5f33f458654885030c0ddf6d/1597240420192/SCC+Guidelines+r1+May+2005.pdf>
- Fajar, Muhammad (2021) Pengaruh Posisi Peletakan Bata Merah pada Tungku Pembakaran Konvensional terhadap Kuat Tekan Bata Merah. Diploma thesis, Universitas Negeri Padang. Available at: <http://repository.unp.ac.id/34539/>
- Graille, J. Lozano, P., Pioch, D. & Geneste, P. (1985). Essais d'alcoolyse d'huiles Vegetales avec des Catalyseurs Naturels Pour la Production de Carburants Diesel. Oleagineux, 40(5): 271-276. Available at: [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvn_sjt1aadkposzje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2154421](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvn_sjt1aadkposzje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2154421)
- H. J. Kong, S. Bike and V. C. Li. (2003). "Development of a Self-Consolidating Engineered Cementitious Composite employing Electrosteric ispersion/Stabilization". Cement and Concrete Composites, Elsevier, 25(3), 301-309. Available at:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946502000574>
- Jurianto, Gordon, (2014). “Pengaruh Substitusi Sebagian Semen Dengan Abu Kerak Boiler Cangkang Kelapa Sawit dan Accelerator Terhadap Kuat Tekan Beton”, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta. Available at: https://www.academia.edu/9256484/PENGARUH_SUBSTITUSI_SEBAGIAN_SEMEN_DENGAN_ABU_KERAK_BOILER_CANGKANG_KELAPA_SAWIT_DAN_ACCELERATOR_TERHADAP_KUAT_TKAN_BETON
- Li, V. C. (2007) “Engineered Cementitious Composites (ECC) – Material, Structural, and Durability Performance,” in Concrete Construction Engineering Handbook. CRC Press, pp. 2–39. Available at: https://www.researchgate.net/publication/268273534_Engineered_Cementitious_Composites_ECC_-_Material_Structural_and_Durability_Performance
- M. Lepech and V. C. Li (2005). “Water Permeability of Cracked Cementitious Composites”. Turin, Italy, ICF 11. Available at: https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/84690/Lepech_ICF11.pdf?sequence=1
- Mega (2016) Dampak Industri Bata Merah Terhadap Kondisi Lingkungan Di Kecamatan Nagreg. S1 thesis, Universitas Pendidikan Indonesia. Available at: <http://repository.upi.edu/26603/>
- SNI 15-2094-2000. (2000). Bata merah pejal untuk pasangan dinding. Available at: <https://www.scribd.com/document/369708629/SNI-15-2094-2000-Bata-Merah-Untuk-Pasangan-Dinding-pdf>
- SNI 03-0691-1996, (1996), Bata Beton (Paving Block). Available at: https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/110917/mod_resource/content/1/sni-03-0691-1996-paving-block.pdf
- S.T. Yildirim, N.P. Duygun, (2017) IOP Conference Series: Mat. Sci. and Eng. 245. Available at: <https://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/245/2>
- S. Wang and V. C. Li. (2006). “High Early Strength Engineered Cementitious Composites.” ACI Materials J. 103(2), 97-105. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.146.2410&rep=rep1&type=pdf>
- S. Wang and V. C. Li. (2003). “Materials design of lightweight PVA-ECC”. In Proc., HPFRCC, A.E. Naaman and H.W. Reinhardt, Eds. Ann Arbor, MI, 379-390. Available at: https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/84661/ECC_Book_Chapter.pdf?sequence=1
- Tjokrodinuljo, K, (2007) “Teknologi Beton”, Biro, Yogyakarta. Available at: <https://onsearch.id/Record/IOS13916.BKTDB0711201300463>
- Zainuri, 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. doi.org/10.31849/siklus.v4i2.1186. Available at: <https://journal.unilak.ac.id/index.php/SIKLUS/article/view/1186>



© 2022 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/>)