

**Evaluasi Kuat Tekan pada Bata ECC dan Bata-CR ECC Berbasis
Silica Fume dan Abu Sekam Padi**

Fatimah Insani Harahap¹, Muhammad Aswin², Ahmad P.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

Sampai saat ini, bata merah tetap banyak digunakan, baik untuk pembuatan dinding bangunan maupun pagar. Penggunaan bata merah yang semakin banyak dan berlebihan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Tanah liat merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Sementara itu, pada umumnya *silica fume* dan abu sekam padi di Indonesia belum banyak dimanfaatkan, baik oleh masyarakat maupun industri. Begitu juga dengan ban bekas yang jumlahnya semakin meningkat setiap tahunnya. Pada penelitian ini akan dipelajari penggunaan *silica fume*, abu sekam padi, dan ban bekas (berupa *crumb rubber*) untuk pembuatan bata *Engineered Cementitious Composites* (ECC). Proporsi campuran sebanyak 16 variasi dibuat berdasarkan persentase *silica fume* dan abu sekam padi yang berbeda yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap berat total semen dan *silica fume*. Benda uji berukuran 200x100x50 mm berjumlah 48 buah. Kemudian dilakukan uji tekan pada mortar bata-ECC pada umur 3 hari. Proporsi campuran yang menghasilkan kuat tekan maksimum kemudian divariasikan dengan *crumb rubber* (CR) 0-12,5%. Uji tekan juga dilakukan pada umur 3 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan maksimum bata-mortar ECC terjadi pada proporsi campuran dengan *silica fume* 15% dan abu sekam 10% yaitu 41,99 MPa. Sedangkan kuat tekan maksimum bata-CR ECC adalah 36,17 MPa dengan komposisi *crumb rubber* 2,5%. Penurunan kuat tekan pada bata-CR ECC disebabkan karena *crumb rubber* memiliki sifat kompresibilitas. Berdasarkan ketentuan SNI 15-2094-2000, bata-mortar ECC memiliki kualitas Mutu-A, dan demikian juga dengan bata-CR ECC.

Kata Kunci: *crumb rubber*; *silica fume*; abu sekam padi; Bata-ECC; Bata-CR ECC; *workability*; kuat tekan

Abstract

Up to present, red bricks are still widely used, both for the building walls and fences. The use of more and more red bricks can cause environmental damage. Clay is a non-renewable natural resource. Meanwhile, in general, silica fume and rice husk ash in Indonesia have not been widely used, both by the community and industry. Likewise with used tires whose number is increasing every year. In this study, the use of silica fume, rice husk ash, and used tires (in the form of crumb rubber) will be studied in producing the Engineered Cementitious Composites (ECC) bricks. The mixture proportion of 16 variations was created based on different percentages of silica fume and rice husk ash,

i.e 0%, 5%, 10%, and 15% of the total weight of cement and silica fume. There are 48 specimens measuring 200x100x50 mm. Then a compression test was carried out on the ECC-brick mortar at the age of 3 days. The proportion of the mixture that provides the maximum compressive strength is then varied with crumb rubber (CR) 0-12.5%. The compressive test was also carried out at the age of 3 days. The results showed that the maximum compressive strength of ECC brick-mortar occurred in the proportion of mixture with 15% silica fume and 10% husk ash, which was 41.99 MPa. Meanwhile, the maximum compressive strength of CR-ECC brick is 36.17 MPa with a crumb rubber composition of 2.5%. The decrease in compressive strength in CR ECC bricks is due to crumb rubber having compressibility properties. Based on the provisions of SNI 15-2094-2000, ECC brick-mortar has Grade-A quality, and the same applies to CR-ECC bricks.

Keywords: *crumb rubber; silica fume; rice husk ash; ECC brick; CR-ECC brick; workability; compressive strength*

A. PENDAHULUAN

Bata merah yang umum dijumpai di Indonesia adalah bata yang terbuat dari tanah liat. Bata ini memiliki warna merah kecoklatan, bertekstur sedikit kasar, dan tidak rapi. Tingginya peminat bata merah ini mengakibatkan berkurangnya sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui ini secara terus menerus. Kualitas bata merah tidak dapat ditentukan dengan pasti karena dibuat secara tradisional. Bentuknya juga tidak seragam sehingga sulit untuk membuat dinding yang rapi.

Pemakaian semen *Portland* secara terus menerus pada campuran beton dapat mengakibatkan bahan semen tersebut habis. *Material cementitious* merupakan yang diketahui dapat menjadi bahan tambah atau bahan pengganti ke dalam campuran semen *Portland*. Beberapa penelitian saat ini mencoba untuk mengurangi penggunaan semen *Portland* dan beralih ke material lain yang tidak terpakai atau dibuang sebagai limbah. Sekam padi merupakan limbah pertanian. Sementara itu, *silica fume* juga merupakan material sisa yang berasal dari pabrik produksi logam. Dikarenakan adanya sifat fisik dan sifat kimia pada abu sekam padi dan *silica fume*, maka kedua material tersebut berpotensi sebagai *filler*

atau bisa sebagai bahan *pozzolan* yang akan bereaksi secara kimia.

Pertumbuhan jumlah kendaraan berdasarkan Badan Pusat Statistik (Badan Pusat Statistik 2018) mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Tercatat hingga tahun 2018, jumlah kendaraan di Indonesia yaitu 126.508.776. Semakin banyaknya kendaraan maka semakin banyak pula limbah ban bekas yang dihasilkan. Selain itu, Media Indonesia (2006) melaporkan bahwa jumlah ban bekas di Indonesia mencapai 11 juta ton per tahun. Upaya yang umum dilakukan untuk mengurangi limbah ini dengan cara pembakaran yang menyebabkan dampak negatif yaitu polusi udara yang merusak lingkungan. Salah satu cara untuk dapat memanfaatkan limbah ban bekas adalah pemanfaatan *crumb rubber* sebagai pengganti agregat. Partikel *crumb rubber* biasanya berukuran 0,075 mm hingga 4,75 mm, didapat dari proses penghancuran menggunakan *cracker mill process*, *granular process*, dan *micromill process*.

Untuk mengurangi kerusakan lingkungan yang disebabkan karena penggunaan tanah liat (atau bata merah), maka pada penelitian ini akan dikaji penggunaan bata *crumb rubber* ECC yang memanfaatkan abu sekam padi,

silica fume dan *crumb rubber*. Kajian sifat mekanikalnya hanya ditinjau berdasarkan uji kuat tekan.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Bata merah konvensional

Bata merah konvensional merupakan bahan konstruksi yang sangat umum ditemui dan digunakan di Indonesia. Menurut Pangaribuan (2014), bata merah dalam proses pembuatannya bukan hanya kegiatan mencetak tanah, mengeringkan dan membakarnya, tetapi diperlukan campuran dan mesin cetak bata supaya tercipta bata dengan kualitas yang sesuai dengan yang diinginkan. Menurut Prayuda (2016), disebutkan bahwa sifat yang perlu diperhatikan pada bata merah adalah kekuatan menahan beban tekan, tidak terdapat cacat atau retak-retak pada permukaannya, kandungan garamnya kecil atau mungkin tidak mengandung garam, tepinya tajam dan penyerapan airnya memenuhi persyaratan.

2. *Engineered cementitious composites (ECC)*

ECC merupakan suatu komposit yang terbentuk dari air, semen, pasir, *material cementitious*, dan beberapa bahan kimia aditif yang diperkuat dengan serat. Agregat kasar tidak digunakan karena cenderung mempengaruhi daktilitas dari komposit tersebut. Kadar serat yang digunakan dalam *ECC* tidak banyak yaitu sekitar 2% atau kurang (Li, 2007). *ECC* yang dapat memadat sendiri dirancang untuk skala besar di tempat aplikasi konstruksi (Lepech and Li, 2008). *ECC* dengan kekuatan awal tinggi dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan penggunaan konstruksi yang segera, seperti infrastruktur transportasi yang perlu dibuka kembali dengan cepat kepada publik (Wang and Li, 2006a). *Green ECC* yang telah dikaji oleh Lepech et al. (2008) dapat

mengoptimalkan penggunaan material yang lebih ramah lingkungan dan *sustainable*.

C. METODE PENELITIAN

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

1. Material

a. Semen tipe I

Semen *Portland* yang digunakan pada penelitian ini merupakan Semen *Portland* Tipe-I dengan merek dagang Semen Padang.

b. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini sudah memenuhi persyaratan air minum, yang diambil dari Laboratorium Bahan dan Rekayasa Beton Universitas Sumatera Utara.

c. Pasir

Pasir yang digunakan pada penelitian ini diambil dari Sei Wampu, Binjai, Sumatera Utara. Ayakan pasir yang digunakan adalah *mesh* #16 (ukuran 1,25 mm).

d. *Superplasticizer*

Superplasticizer pada penelitian ini merupakan tipe SIKAViscocrete 3115N dengan merek dagang PT. SIKAV Indonesia.

e. *Crumb rubber*

Crumb rubber adalah karet daur ulang yang dihasilkan dari ban bekas mobil, truk, dan kendaraan otomotif lainnya. Selama proses daur ulang, serat baja dan tali ban dihilangkan, sehingga yang tersisa hanya karet ban saja. *Crumb Rubber* dibuat hingga 71% karet yang dapat dipulihkan, 14% serat baja, 3% serat lain, dan 12% bahan-bahan lain (Khan and Singh, 2018). *Crumb rubber*

terdiri dari partikel mulai dari 0,075 mm hingga 4,75 mm. Itu diperoleh dari limbah ban dengan menggunakan dua metode yaitu proses *cracker mill* dan proses *granular*. Metode pertama menghasilkan partikel berbentuk tidak beraturan memiliki luas permukaan yang lebih besar. Ukuran partikel ini bervariasi dari 0,5 mm hingga 5 mm dan bahannya umumnya dikenal sebagai *crumb rubber*. Metode kedua biasanya menghasilkan *granulated crumb rubber*, mulai dari 0,5 mm hingga 9,5 mm (Murugan and Natarajan, 2017).

Kandungan kimia limbah ban memiliki proporsi yang berbeda tergantung jenis dan spesifikasi ban. Pada umumnya, kandungan kimia yang terdapat pada limbah ban menurut hasil Puslitbang adalah kadar karbon total 32,19%, kadar silikat 1,64%, kadar sulphur 2,13% dan kadar karet 64,04% Fadiei et al. (2014)

Crumb rubber pada penelitian ini diperoleh dari pembelian *online*. Material

ini merupakan 100% karet daur ulang berkualitas, bebas campuran besi, kawat, dan bahan limbah. Berukuran *mesh* #30-40, dan memiliki sertifikasi pusat penelitian karet Bogor.

f. Abu sekam padi

Sekam padi merupakan produk limbah pertanian yang menjadi bahan baku untuk menghasilkan abu yang dikenal sebagai RHA (*rice husk ash*). Lapisan luar biji padi atau sekam padi sebagian besar terdiri dari silika dan bersifat *pozzolanic* sehingga sangat cocok digunakan pada campuran beton (Bakri, 2009). Abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi pada suhu 400-500 °C akan menjadi *silika amorphous* (Mosaberpanah and Umar, 2020).

Hasil pengujian komposisi kimia pada abu sekam padi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia abu sekam padi

Unsur	Konsentrasi (%)	Unsur	Konsentrasi (%)
Si	78,5	SiO ₂	89,6
P	2,4	P ₂ O ₅	2,1
K	11,4	K ₂ O	4,9
Ca	3,81	CaO	1,77
Mn	1,3	MnO	0,53
Fe	1,28	Fe ₂ O ₃	0,57
Ni	0,04	NiO	0,01
Cu	0,2	CuO ₂	0,075
Zn	0,07	ZnO	0,03
Eu	0,3	Eu ₂ O ₃	0,1
Yb	0,2	Yb ₂ O ₃	0,07
Re	0,5	Re ₂ O ₇	0,2

g. *Silica fume*

Silica fume adalah hasil produksi sampingan reduksi quarsa murni SiO₂ dengan batu bara pada tanur listrik tinggi

dalam pembuatan campuran silikon atau ferro silicon (Akoeb, 2011). Berdasarkan ASTM C 618-86 mengenai *Spesification for Silica Fume for Use in Hydraulic Cement Concrete and Mortar, silica fume*

mengandung kadar SiO_2 yang cukup tinggi yaitu lebih besar dari 85% dan merupakan bahan yang sangat halus, bentuk bulat dan berdiameter yang sangat kecil yaitu 1/100 kali diameter semen (Iqbal et al., 2019). Tetapi, *silica fume* memiliki ukuran partikel yang relatif besar bila dibandingkan dengan abu sekam padi. *Silica fume* memiliki ukuran

partikel yang berkisar di atas 10 μm (Mosaberpanah and Umar, 2020).

Silica fume yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PT. SIKA Indonesia. Hasil pengujian senyawa kimia pada *silica fume* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi kimia *silica fume*

Unsur	Konsentrasi (%)	Unsur	Konsentrasi (%)
Si	87,4	SiO_2	94,2
P	1,90	K_2O	0,731
Ca	1,81	CaO	0,784
Cr	0,052	Cr_2O_3	0,023
Mn	0,051	MnO	0,019
Fe	0,667	Fe_2O_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_2O_3	0,02
Re	0,16	Re_2O_7	0,068

2. Tahapan penelitian

a. Mix design

Mix Design dilakukan agar bata ECC mencapai kualitas yang diharapkan dengan cara merancang dan memilih bahan yang cocok serta menentukan proporsi relatif dari material-material yang akan digunakan dalam campuran bata ECC. Volume bahan mortar ECC dalam 1 m^3 meliputi berat semen 250 kg,

pasir 275 kg, dan faktor air semen (fas) 0,415. Nilai proporsi *silica fume* dan abu sekam padi adalah sama yaitu 0%, 5%, 10% dan 15% dari berat semen. Sedangkan persentase *superplasticizer* disesuaikan terhadap dengan berat total campuran semen dan *silica fume*.

Matriks *trial mix* bata-mortar ECC pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3, sedangkan untuk bata-CR ECC dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Matriks *trial mix* bata-mortar ECC

<i>Silica Fume</i> (SF)	Rice Husk Ask (RHA)			
	0%	5%	10%	15%
0%	SF ₀ RHA ₀	SF ₀ RHA ₅	SF ₀ RHA ₁₀	SF ₀ RHA ₁₅
5%	SF ₅ RHA ₀	SF ₅ RHA ₅	SF ₅ RHA ₁₀	SF ₅ RHA ₁₅
10%	SF ₁₀ RHA ₀	SF ₁₀ RHA ₅	SF ₁₀ RHA ₁₀	SF ₁₀ RHA ₁₅
15%	SF ₁₅ RHA ₀	SF ₁₅ RHA ₅	SF ₁₅ RHA ₁₀	SF ₁₅ RHA ₁₅

(Sumber : Hasil pengujian)

Tabel 4. Matriks *trial mix* bata-CR ECC

SF - RHA	<i>Crumb Rubber</i> (CR)				
	2,5%	5%	7,5%	10%	12,5%
15%-10%	15%-10% CR ₁	15%-10% CR ₂	15%-10% CR ₃	15%-10% CR ₄	15%-10% CR ₅

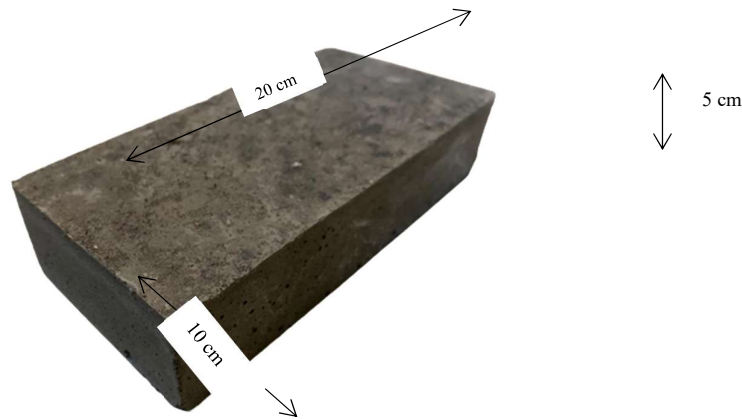
(Sumber : Hasil pengujian)

b. *Trial mix* dan uji tekan

Trial mix bertujuan untuk meninjau kembali apakah komposisi material – material dalam *mix design* dapat menghasilkan bata ECC sesuai dengan yang diharapkan. Untuk kebutuhan *trial mix* maka bata ECC dibuat sebanyak 3 sampel setiap variasi *mix proportion*, yang kemudian diuji tekan pada umur 3 hari. Untuk keperluan pemeriksaan *fresh properties* adukan mortar ECC, maka dilakukan *flowability test*. Hasilnya dibandingkan terhadap ketentuan EFNARC (2005). Sedangkan hasil uji tekan mengacu pada SNI 15-2094 (2000).

3. Pembuatan bata-ECC

Berdasarkan uji tekan bata mortar ECC pada umur 3 hari, maka diperoleh kuat tekan optimumnya. Kuat tekan optimum dicapai pada variasi SF = 15% dan Abu Sekam Padi = 10%. Kemudian *mix proportion* optimum tersebut divariasikan dengan *crumb rubber* dengan kandungan 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% terhadap berat semen. Bata-ECC dan bata-CR ECC memiliki ukuran 200 mm x 100 mm x 50 mm dapat dilihat pada Gambar 1. Kemudian langkah-langkah pembuatan benda uji pada penelitian ini (yang dimulai dari penyediaan material sampai uji *flowability*) dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 1. Dimensi bata-ECC dan bata-CR ECC



Gambar 2. Langkah-langkah pembuatan bata-ECC dan bata-CR ECC

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pemeriksaan kandungan kimia *material cementitious*

Kandungan senyawa kimia *material cementitious* pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Maju (Lab. Central) FMIPA Universitas Negeri Malang. Kadar SiO_2 pada *silica fume* yaitu sebesar 94,2%, pada abu sekam padi sebesar 89,6%.

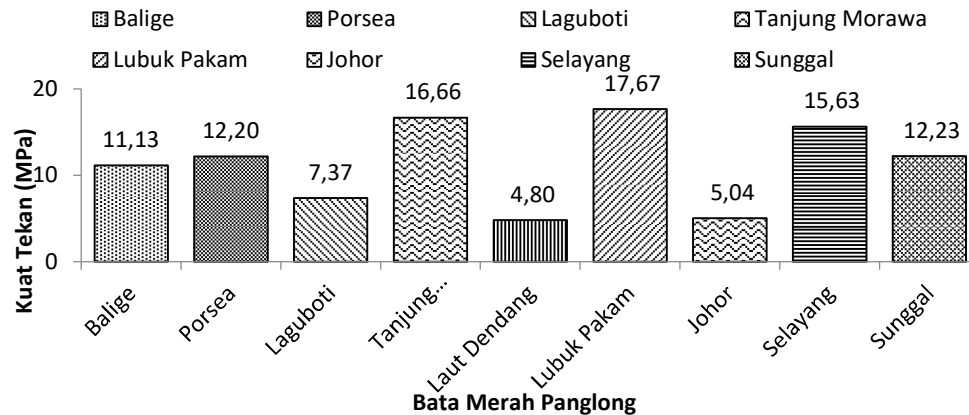
2. *Flowability*

Pengujian *slump-flow test* diameter dan *slump-flow* T500 pada penelitian ini sudah memenuhi persyaratan EFNARC (2005). *Flowability* adukan segar ECC menunjukkan konsistensi yang baik.

3. Kuat tekan bata merah biasa

Bata merah biasa pada penelitian ini diambil dari 3 Kota/Kabupaten berbeda, dengan masing-masing Kota dan Kabupaten mewakili 3 Panglong. Hasil kuat tekan bata merah tertinggi terdapat pada daerah Lubuk Pakam yaitu sebesar 17,67 MPa, kuat tekan ini memenuhi persyaratan SNI 15-2094 (2000) mutu-A (>15 MPa). Sedangkan yang terendah terdapat pada daerah Laut Dendang yaitu 4,80 MPa, menurut SNI 15-2094-2000 berada di bawah mutu-C (5 MPa).

Barchart kuat tekan batu merah biasa dapat dilihat pada Gambar 3.

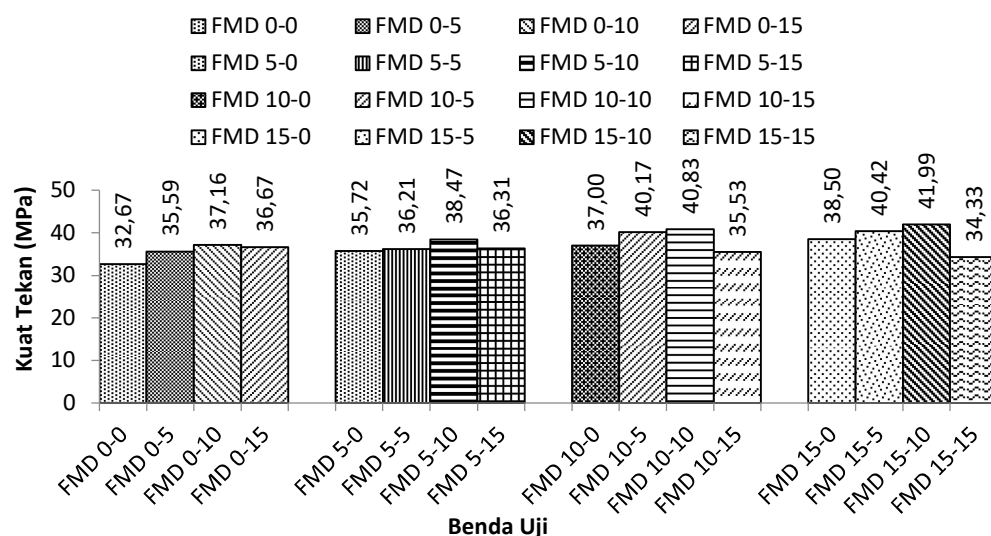


Gambar 3. Kuat tekan bata merah yang bersumber dari 3 Kota/Kabupaten di Sumatera Utara

4. Kuat tekan bata-mortar ECC

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata bata mortar ECC pada umur 3 hari dapat dilihat pada Gambar 4. Diperoleh bahwa bata mortar ECC memiliki kuat tekan rata-rata tertinggi pada variasi FMD 15-10 dengan campuran *silica fume* 15% dan

abu sekam padi 10%, yaitu senilai 41,99 MPa dan paling rendah berada pada variasi FMD 0-0 dengan campuran *silica fume* 0% dan abu sekam padi 0% dengan nilai 32,67 MPa. Seluruh nilai kuat tekan pada bata-mortar ECC memenuhi persyaratan SNI 15-2094 (2000) berada pada mutu-A (>15 MPa).

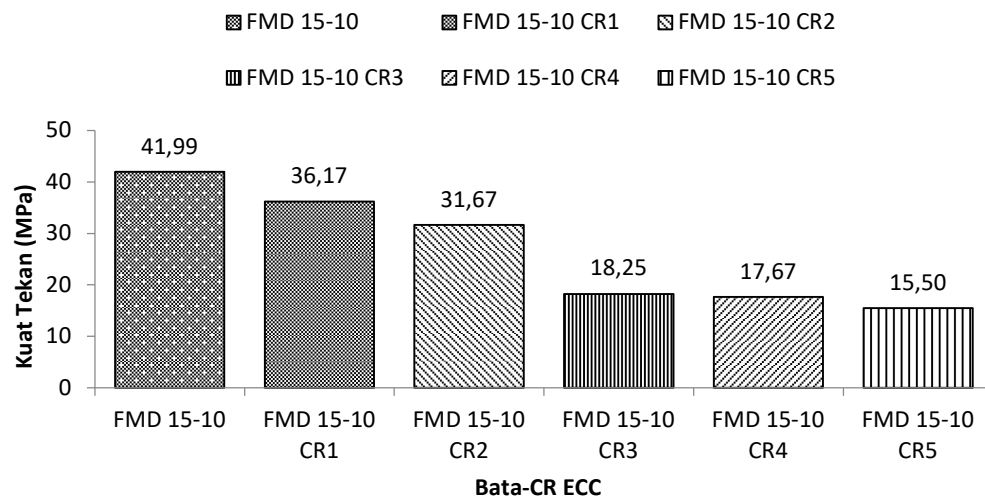


Gambar 4. Kuat tekan rata-rata bata mortar ECC umur 3 hari

5. Kuat tekan bata-CR ECC

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata bata CR-ECC pada umur 3 hari dapat dilihat pada Gambar 5. Diperoleh bahwa bata mortar ECC memiliki kuat tekan rata-rata tertinggi pada variasi FMD 15-10 CR 1 dengan campuran *silica fume* 15% dan abu sekam padi 10%, *crumb*

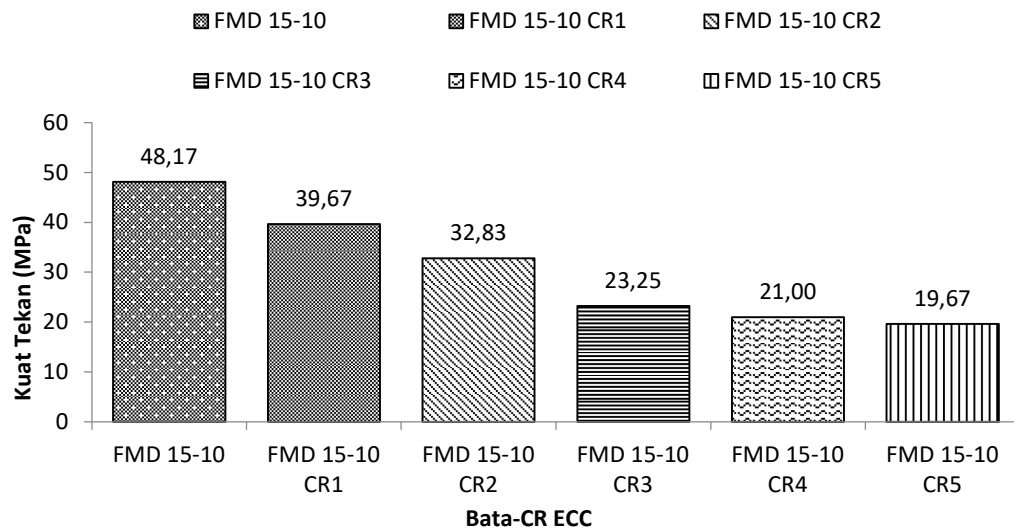
rubber 2,5% yaitu senilai 36,17 MPa dan paling rendah berada pada variasi FMD 15-10 CR 5 dengan campuran *silica fume* 15% dan abu sekam padi 10%, *crumb rubber* 12,5% yaitu senilai 15,5 MPa. Seluruh nilai kuat tekan pada bata-CR ECC memenuhi persyaratan SNI 15-2094-2000, dan berada pada mutu-A (>15 MPa).



Gambar 5. Kuat tekan rata-rata bata CR-ECC umur 3 hari

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata bata CR-ECC pada umur 7 hari dapat dilihat pada Gambar 6. Diperoleh bahwa bata CR-ECC memiliki kuat tekan rata-rata tertinggi pada variasi FMD 15-10 CR 1 dengan campuran *silica fume* 15%, abu sekam padi 10%, *crumb rubber* 2,5% yaitu senilai 39,67

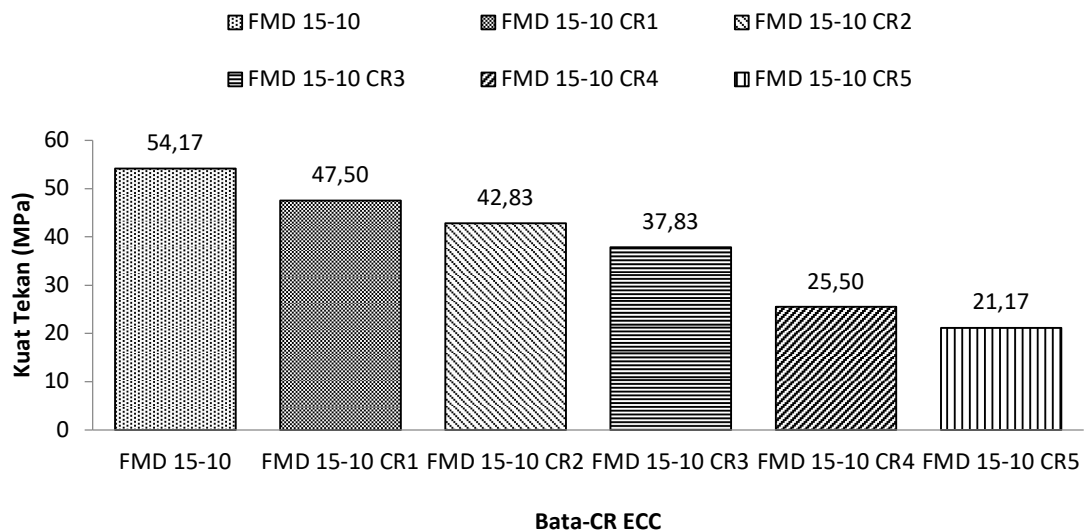
MPa dan paling rendah berada pada variasi FMD 15-10 CR 5 dengan campuran *silica fume* 15% dan abu sekam padi 10%, *crumb rubber* 12,5% yaitu senilai 19,67 MPa. Seluruh nilai kuat tekan umur 7 hari pada bata-CR ECC memenuhi persyaratan SNI 15-2094-2000, dan berada pada mutu-A (>15 MPa).



Gambar 6. Kuat tekan rata-rata bata CR-ECC umur 7 hari

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata bata CR-ECC pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 7. Ditunjukkan bahwa bata mortar ECC memiliki kuat tekan rata-rata tertinggi pada variasi FMD 15-10 CR 1 dengan campuran *silica fume* 15%, abu sekam padi 10%, *crumb rubber* 2,5% yaitu senilai 47,50 MPa dan

paling rendah berada pada variasi FMD 15-10 CR 5 dengan campuran *silica fume* 15% dan abu sekam padi 10%, *crumb rubber* 12,5% yaitu senilai 21,17 MPa. Seluruh nilai kuat tekan umur 28 hari pada bata-CR ECC memenuhi persyaratan SNI 15-2094-2000, dan berada pada mutu-A (>15 MPa).



Gambar 7. Kuat tekan rata-rata bata CR-ECC umur 28 hari

E. KESIMPULAN

Hasil pengujian kandungan senyawa kimia *silica oksida* (SiO_2) *silica fume* dan abu sekam padi masing-masing adalah 94,2% dan 89,6%, pengujian ini dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang. Dari 16 *mix proportion* bata-mortar ECC dengan campuran *silica fume* dan abu sekam padi, didapatkan kuat tekan optimum pada 15% *silica fume* dan 10% abu sekam padi yaitu 41,99 MPa. Kemudian hasil kuat tekan optimum pada bata-CR ECC terdapat pada campuran 2,5% *crumb rubber* yaitu 36,17 MPa. Seluruh hasil kuat tekan pada bata-mortar ECC dan bata-CR ECC memenuhi persyaratan SNI-15-2095-2000 dengan kekuatan rencana mutu-A (>15 MPa). Berkurangnya nilai kuat tekan dengan penambahan persentase *crumb rubber* dikarenakan *crumb rubber* bersifat elastis dan kurang padat, bahan dari mortar ECC tergantikan oleh *crumb rubber* yang menyebabkan kuat tekan menjadi berkurang. Bata merah dari 3 Kota/Kabupaten yang berada di Sumatera Utara dengan total keseluruhan 9 panglong dilakukan pengujian tekan dengan nilai tertinggi pada daerah Lubuk Pakam dengan nilai 17,67 MPa yang memenuhi persyaratan mutu-A (15 MPa), sedangkan nilai kuat tekan terendah berada pada daerah Laut Dendang dengan nilai 4,80 MPa, nilai ini tidak memenuhi persyaratan mutu-C (5 MPa).

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Universitas Sumatera Utara yang telah memberikan kesempatan pada penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akoeb, M. A. (2011) 'Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal Dan Beton Dengan Bahan *Additive Silica Fume* Antara Uji *Non Destructive* Dengan Uji *Destructive* (Suatu Penelitian Beton Dengan Faktor Air Semen 0 , 45 ', Jurnal Teknik Sipil, 1(1), pp. 101–115. Available at : <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/JT S/article/view/776>
- 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>
- Bakri, . (2009) 'Komponen Kimia Dan Fisik Abu Sekam Padi Sebagai Scm Untuk Pembuatan Komposit Semen', Perennial, 5(1), p. 9. Available at : <https://journal.unhas.ac.id/index.php/perennial/article/view/184>
- Badan Pusat Statistik. 2018. Available at : <https://www.bps.go.id>
- 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>
- Fadiel (2014) '*Use of Crumb Rubber To Improve Thermal Efficiency of Cement-Based Materials*', *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7(1), pp. 1–

11. Available at :<https://thescipub.com/pdf/ajeassp.2014.1.11.pdf>
- Iqbal Maulia, Ismeddiyanto dan Suryanita, R. (2019) 'Sifat Mekanik Paving Block Komposit Sebagai Lapis Perkerasan Bebas Genangan Air (Permeable Pavement)', Jurnal Teknik, 13(1). Available at : <http://journal.unilak.ac.id/index.php/teknik/article/view/2558>
- Khan, S. and Singh, A. (2018) 'Behavior of Crumb Rubber Concrete', *International Journal of Research in Engineering, IT and Social Sciences*, 08(2), pp. 86–92. Available at : https://www.researchgate.net/profile/Sabir-Khan-9/publication/333044437_Behavior_of_Crumb_Rubber_Concrete/links/5cd92c0d92851c4eab9a0bec/Behavior-of-Crumb-Rubber-Concrete.pdf
- Lepech, M. D. et al. (2008) 'Design of green engineered cementitious composites for improved sustainability', *ACI Materials Journal*, 105(6), pp. 567–575. Available at : <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203885307-140/design-green-engineered-cementitious-composites-pavement-overlay-applications-lepech-keoleian-qian-li>
- Li, V. C. and Wang, S. (2006) 'Microstructure variability and macroscopic composite properties of high performance fiber reinforced cementitious composites', *Probabilistic Engineering Mechanics*, 21(3), pp. 201–206. Available at : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026689200500072X>
- 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://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/84661/ECC_Book_Chapter.pdf?sequence=1
- Media Indonesia. (2006). Afsel Tuduh Indonesia Dumping Produk Ban. Selasa. 5/12/2006, Jakarta. Available at : <https://mediaindonesia.com/>
- Mosaberpanah, M. A. and Umar, S. A. (2020) 'Utilizing Rice Husk Ash as Supplement to Cementitious Materials on Performance of Ultra High Performance Concrete: – A review', *Materials Today Sustainability*, 7–8. Available at : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2589234719300582>
- Murugan, R. B. and Natarajan, C. (2017) 'Investigation on the use of waste tyre crumb rubber in concrete paving blocks', *Computers and Concrete*, 20(3), pp. 311–318. Available at : https://www.researchgate.net/profile/Rethinavelsamy-Bharathi-Murugan/publication/321158137_Investigation_on_the_use_of_waste_tyre_crumb_rubber_in_concrete_paving_blocks/links/5c59ad6545851582c3cff698/Investigation-on-the-use-of-waste-tyre-crumb-rubber-in-concrete-paving-blocks.pdf
- Pangaribuan M. R, Puspita P (2014) 'Pembuatan Batu Bata Merah Desa Panorama Dan Desa Dusun Besar'; Jurnal Pengabdian Sriwijaya. Available at :

<https://ejournal.unsri.ac.id/index.php/jpsriwijaya/article/view/1696>

Prayuda, H, 2016. Gaya Lateral *InPlane* Struktur Dinding Pasangan Bata $\frac{1}{2}$ Batu Melalui Beban Statik. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2016. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta. *Available at* : <https://publikasiilmiah.ums.ac.id/xmlui/handle/11617/7511>



© 2022 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY Licens (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)