



Ranah Research
Journal of Multidisciplinary Research and Development

E-ISSN: 2655-0865

082170743613 | ranahresearch@gmail.com | <https://jurnal.ranahresearch.com>

DOI: <https://doi.org/10.38035/rrj.v7i4>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Tinjauan Kuat Tekan dan Microstructure pada Mortar ECC (Engineered Cementitious Composites) dan CR (Crumb Rubber) - ECC

Eka Silvy Maranatha Simbolon¹, Muhammad Aswin¹, Bustami Syam³

¹Departemen Teknik Sipil, Program Studi Magister, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

²Departemen Teknik Sipil, Program Studi Magister, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

²Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Corresponding Author: ekasilvy21@gmail.com

Abstract: *The construction industry continues to develop, which of course has a great influence on the environment. One of the reliable products is engineered cementitious composites (ECC). Usually, ECC products produce green products that are environmentally friendly. The cementitious material of ECC always generated from waste materials and by-products. Meanwhile, the amount of cement used can be less than 500 kg/m³. In this study, palm shell ash (ACS) is used as a cementitious material, and crumb rubber is used as a substitute for fiber. Meanwhile, the amount of cement used is less than 265 kg/m³. In addition to green products, ECC also has superior mechanical properties. Based on the results of the compressive test at the age of 3 days for three types of ECC mortar variations (those are AME, EM and TEM), the average compressive strength was obtained in the range of 19.70-42.67 MPa. As for each type of ECC mortar that is varied with crumb rubber (2.5-12.5%), namely for FCR, CRE and TCRE variations, the average compressive strength is obtained between 17.70-37.28 MPa, there has been a decrease in strength. The addition of ACS to a certain percentage can increase the compressive strength of the ECC, where SiO₂ can produce Calcium Silicate Hydrate (CSH) which is a strength contributor to the ECC. Meanwhile, crumb rubber can cause a decrease in compressive strength because it is quite compressible. If viewed from the aspect of microstructure (based on the SEM observations on EM and CRE samples only), the results of the scanning electron microscope - energy dispersive x-ray spectroscopy (SEM-EDX) Mapping test on the samples from the compression test on the ECC mortar show that the ECC mortar matrix has tighter pores and fewer microcracks compared to the crumb rubber ECC (CR-ECC) samples. However, ECC mortar is denser than CR-ECC, so the results of the microstructure have strengthened the results of the mechanical properties tests that have been carried out.*

Keyword: *palm shell ash, crumb rubber, ECC mortar, CSH, compressive strength, SEM*

Abstrak: Industri konstruksi terus berkembang, yang tentunya sangat berpengaruh terhadap lingkungan. Salah satu produk yang dapat diandalkan yaitu engineered cementitious composites (ECC). Biasanya produk-produk ECC menghasilkan green product yang ramah lingkungan. Material cementitious pada ECC selalu berasal dari material limbah maupun by-product. Sementara, jumlah semen yang digunakan bisa kurang dari 500 kg/m³. Pada penelitian ini, abu cangkang sawit (ACS) digunakan sebagai material cementitious, dan crumb rubber sebagai pengganti serat. Sedangkan jumlah semen yang digunakan kurang dari 265 kg/m³. Selain green product, ECC juga memiliki mechanical properties yang unggul. Berdasarkan hasil uji tekan pada umur 3 hari untuk tiga jenis variasi mortar ECC (yaitu AME, EM dan TEM), diperoleh kuat tekan rata-rata berkisar 19.70-42.67 MPa. Sedangkan untuk masing-masing jenis mortar ECC yang divariasikan dengan crumb rubber (2.5-12.5%) yaitu untuk variasi FCR, CRE dan TCRE, didapat kuat tekan rata-rata antara 17.70-37.28 MPa, telah terjadi penurunan kekuatan. Penambahan ACS sampai persentase tertentu dapat meningkatkan kuat tekan ECC, dimana SiO² dapat menghasilkan Calcium Silicate Hydrate (CSH) yang merupakan penyumbang kekuatan pada ECC. Sedangkan crumb rubber dapat menyebabkan penurunan kuat tekan karena sifatnya yang cukup compressible. Jika ditinjau dari aspek microstructure (berdasarkan pengamatan pada sampel EM dan CRE saja), hasil uji scanning electron microscope - energy dispersive x-ray spectroscopy (SEM-EDX) Mapping pada sampel-sampel hasil uji tekan pada mortar ECC menunjukkan bahwa matriks mortar ECC memiliki pori-pori yang lebih rapat dan microcrack yang lebih sedikit dibandingkan dengan sampel crumb rubber ECC (CR-ECC). Mortar ECC lebih padat dibandingkan dengan CR-ECC, sehingga hasil microstructure telah menguatkan hasil uji mechanical properties yang telah dilakukan.

Kata Kunci: abu cangkang sawit, crumb rubber, mortar ECC, CSH, kuat tekan, SEM

PENDAHULUAN

Sampai saat ini, beton masih merupakan material utama pada industri konstruksi di Indonesia. Pada dasarnya, beton merupakan perpaduan antara air, semen, agregat halus, agregat kasar, dan bahan tambah, dengan perbandingan tertentu. Realitanya, meskipun material ini digunakan secara meluas, dampaknya terhadap lingkungan bisa sangat merugikan. Keadaan ini terjadi karena penggunaan semen sebagai bahan dasar dalam pembuatan beton. Penting untuk disadari bahwa proses produksi semen memerlukan konsumsi energi yang sangat besar dan berakibat pada pelepasan emisi gas yang berkontribusi pada pemanasan global, terutama karbondioksida (CO₂). Menurut Lehne & Preston (2018), produksi semen global mencapai lebih dari 4 miliar ton per tahun, yang berkontribusi sekitar 8 persen dari total emisi karbon dioksida di seluruh dunia.

Dalam upaya meningkatkan kinerja beton, para peneliti telah menciptakan material komposit mutakhir yang berpotensi menghasilkan produk ramah lingkungan dengan performa yang luar biasa. Keberadaan serat dalam proses pembuatan material ini menjadi kunci utama dalam mencapai ketangguhan yang optimal. Penemuan ini pertama kali dilakukan oleh Victor C. Li pada tahun 1993 di Universitas Michigan, Amerika Serikat. Material komposit ini, yang kemudian dikenal sebagai Engineered Cementitious Composites (ECC), memiliki keunikan karena penyusunnya yang tidak bergantung pada agregat kasar. Sebagai hasilnya, ECC menunjukkan kemampuan kinerja yang tinggi dan berpotensi mengurangi dampak lingkungan (Li, 2007). Komposit ini, ECC, menawarkan kinerja yang luar biasa dengan kemampuan meregang yang sangat tinggi dan tahan terhadap gaya tarik yang kuat. Dengan rentang kemampuan meregang antara 3-7%, ECC jauh lebih superior dibandingkan dengan beton konvensional yang hanya memiliki kemampuan meregang sebesar 0,01%. Selain itu, ECC juga memiliki kekuatan tarik sekitar 4-6 MPa dan kekuatan

tekan sekitar 30-80 MPa, yang dipengaruhi oleh rancangan campuran yang digunakan. (Said & Razak, 2015). Di samping itu, secara umum, komponen utama yang berperan sebagai perekat dalam beton adalah bahan semen. Namun, ECC memanfaatkan material alternatif yang memiliki kemampuan mengikat serupa dengan semen, yang disebut sebagai material cementitious ((Siad dkk., 2017);(Bawono dkk., 2019)). Bahan perekat yang digunakan dalam komposit ECC umumnya berasal dari sumber daya yang tidak terpakai atau hasil sampingan industri. Dalam hal ini, kuantitas bahan semen yang digunakan dalam ECC relatif rendah, yaitu kurang dari 500 kg/m³.

Abu cangkang sawit (ACS) dilibatkan sebagai material cementitious yang inovatif dan crumb rubber sebagai alternatif pengganti serat. Kuantitas semen yang digunakan dalam penelitian ini relatif kecil, yaitu di bawah 265 kg/m³. Komponen penyusun campuran mortar ECC mencakup material cementitious berupa abu cangkang sawit, air, semen, pasir, superplasticizer dan tanpa serat. Di sisi lain, komposisi campuran CR-ECC melibatkan kombinasi dari crumb rubber, abu cangkang sawit, air, semen, pasir dan superplasticizer. Sejumlah studi terkait telah mengintegrasikan crumb rubber dan abu cangkang sawit sebagai komponen penyusun ECC, seperti yang dilaporkan oleh beberapa peneliti, termasuk Harahap et al. (2022), Frisda et al. (2022), Lubis et al. (2024), Adesina dan Das (2021), serta Hasibuan et al. (2024). Penelitian yang dilakukan oleh Zhang et al. (2015) menunjukkan bahwa integrasi crumb rubber dapat memperkuat fleksibilitas dan memberikan kontribusi positif terhadap ketahanan komposit ECC. Upaya pemanfaatan limbah cangkang sawit sebagai sumber daya alternatif merupakan salah satu strategi inovatif dalam mengatasi permasalahan limbah sawit yang melimpah. Sebelumnya, cangkang sawit hanya digunakan sebagai bahan bakar pembangkit energi di pabrik pengolahan minyak sawit, namun menghasilkan sekitar 15% residu abu cangkang sawit yang tidak termanfaatkan dan dibuang di sekitar pabrik. Padahal, limbah cangkang sawit memiliki kandungan silika yang signifikan, yaitu sekitar 50-56% (Efendri dkk., 2019), sehingga berpotensi sebagai sumber daya yang berharga dalam industri konstruksi.

Penyelidikan mendalam tentang karakteristik microstructure mortar ECC dan CR-ECC memiliki peran strategis dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sipil, serta memiliki keterkaitan yang kuat dengan disiplin ilmu konstruksi. Dengan melakukan evaluasi struktural pada tingkat mikro (microstructure), maka dapat memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang struktur dan komposisi kimia material tersebut. Hal ini memungkinkan untuk mengidentifikasi hubungan antara microstructure dan perilaku mekanik komposit, sehingga memberikan wawasan yang berharga tentang kinerja material tersebut. Analisis microstructure memiliki peran penting dalam menentukan karakteristik material pada skala yang lebih besar, seperti kekuatan tekan pada komposit Mortar ECC dan CR-ECC. Studi terkait microstructure mortar yang menggunakan abu terbang sebagai bahan cementitious menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan, seperti yang dilaporkan oleh Demir et al. (2017). Dalam studi ini, abu terbang digunakan sebagai pengganti sebagian berat semen dengan proporsi 5% dan 20%. Analisis microstructure dilakukan oleh Demir et al. (2017) menggunakan metode Scanning Electron Microscopy (SEM). Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa mortar yang dihasilkan memiliki struktur yang lebih kompak dan kekuatan tekan yang lebih tinggi berkat pembentukan gel C-S-H. Namun, penelitian lain yang membahas tentang microstructure mortar ECC dan CR-ECC dengan material cementitious abu cangkang sawit dan crumb rubber sebagai pengganti serat masih sangat terbatas.

Pengujian Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDX) Mapping sering digunakan untuk mendapatkan hasil uji SEM yang lebih detail dan lengkap. Kombinasi dari resolusi perbesaran yang tinggi, kemampuan pengamatan yang luas serta kemampuan untuk analisis komposisi dan struktur kristal yang membuat pengujian SEM-EDX Mapping banyak digunakan untuk keperluan penelitian. SEM-EDX Mapping digunakan untuk mengamati morfologi fisik permukaan sampel dan menganalisis komposisi

elemen, termasuk elemen ringan yang dapat dilihat dengan cahaya, seperti karbon, nitrogen, oksigen, dan sebagainya (Bakti dkk., 2018).

Penelitian ini mencoba mengembangkan ECC dengan memanfaatkan limbah cangkang sawit yang cukup banyak di Sumatera Utara, serta pemanfaatan crumb rubber yang berasal dari limbah ban bekas. Mortar ECC dibuat dengan tiga variasi berdasarkan jumlah semen, jumlah pasir, dan faktor air semen (Tipe AME, EM dan TEM). Sedangkan CR-ECC dikembangkan dari masing-masing variasi mortar ECC ini dengan mencampurkan crumb rubber yang memiliki persentase 2.5-12.5%, sehingga terbentuk Tipe FCR, CRE dan TCRE). Pengujian mechanical properties mortar ECC dan CR-ECC hanya ditinjau dari kuat tekan pada umur 3 hari. Kuat tekan yang dihasilkan hanya ditinjau dari efek makro akibat dari beban tekan yang bekerja. Maka untuk tinjauan secara internal, perlu dilakukan uji SEM-EDX sehingga dapat diketahui secara mikro efek dari kekuatan yang dihasilkan oleh mortar ECC dan CR-ECC.

METODE

Material

Komponen yang digunakan untuk membuat mortar ECC meliputi semen, air, pasir sungai, abu cangkang sawit (ACS) dan superplastisizer. Sementara itu, CR-ECC memiliki komposisi serupa namun dengan tambahan crumb rubber sebagai salah satu bahan penyusunnya. Semen sebagai bahan pengikat utama, air yang berfungsi sebagai media hidrasi untuk reaksi kimia, serta pasir sungai yang berperan sebagai agregat halus. Selain itu, digunakan ACS sebagai material cementitious. Superplastisizer ditambahkan untuk meningkatkan kemampuan alir dan workability tanpa perlu menambahkan jumlah air berlebih. Sementara itu, crumb rubber, yang berasal dari karet daur ulang, digunakan sebagai pengganti serat.

Semen dan Material Comentitious

Semen yang digunakan adalah Semen OPC Tipe-1, sedangkan abu cangkang sawit diperoleh dari perkebunan di Kabupaten Serdang Bedagai, Provinsi Sumatera Utara yang dihasilkan dari proses pembakaran. Penelitian ini hanya menggunakan abu cangkang sawit yang memiliki ukuran diameter 0.6 mm (Lolos Ayakan No. 30). Kandungan kimia dari semen dan abu cangkang sawit yang diuji menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia dari Material Cementitious

Oksida Kimia	Semen (%)	Abu Cangkang Sawit (%)
SiO ₂	8.69	42.9
Fe ₂ O ₃	4.99	6.85
CaO	80.81	32.6
SO ₃	2.4	0.8
K ₂ O	0.38	9.1
TiO ₂	0.36	0.32
MnO	0.076	0.59

Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir yang lolos ayakan dengan lubang #1.25 mm. Pasir halus diperoleh dari sungai yang berada di sekitar Binjai Provinsi Sumatera Utara.

Superplasticizer (SP)

Superplasticizer yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari PT. SIKA yang memiliki nama produk yaitu *Viscocrete 3115N*. Karakteristik dari SP disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik dari superplasticizer (SP)

Material	Nama Produk	Warna Cairan	Bahan Dasar Kimia
SP	Viscocrete 3115N	Cairan/Keruh,	<i>Aqueous solution of modified</i>

Mix Design

Penelitian ini menggunakan Mix Design untuk merancang komposisi mortar yang tepat dan menghasilkan benda uji yang memenuhi standar teknis yang ditentukan. Dua variasi penelitian dilakukan, yaitu dengan penambahan crumb rubber dan tanpa crumb rubber. Komposisi campuran tanpa crumb rubber dikodekan sebagai Tipe-1 (yaitu AME, EM, dan TEM), sedangkan komposisi campuran dengan crumb rubber disebut dengan Tipe-2 (yaitu FRC, CRE dan TCRE). Proporsi mortar ECC Tipe-1 ditentukan melalui trial dan error di laboratorium dengan mengacu pada referensi terkait. Sementara itu, proporsi campuran CR-ECC Tipe-2 diambil dari proporsi campuran mortar ECC yang menghasilkan kekuatan tekan tertinggi dari masing-masing variasi Tipe-1. Rincian proporsi campuran mortar ECC dan CR-ECC disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Mix Design dari Mortar ECC Tipe-1

Kode eksperimen	Semen (kg)	Abu Cangkang Sawit (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Superplasticizer (kg)	CR (kg)
AME 0%	10.72	-	4.449	11.792	0.075	-
AME 5%	10.467	0.523	4.344	11.513	0.167	-
AME 10%	10.239	1.024	4.249	11.263	0.256	-
AME 15%	10.011	1.502	4.155	11.012	0.34	-
EM 0%	9.898	0.99	4.157	9.57	0.247	-
EM 5%	10.134	0.507	4.256	10.134	0.162	-
EM 10%	9.898	0.99	4.157	9.898	0.247	-
EM 15%	9.673	1.451	4.063	9.673	0.329	-
TEM 0%	10.275	0	4.264	10.275	0.072	-
TEM 5%	10.034	0.502	4.515	10.034	0.161	-
TEM 10%	9.803	0.98	4.411	9.803	0.245	-
TEM 15%	9.583	1.437	4.312	9.583	0.326	-

Tabel 4. Mix Design dari CR-ECC Tipe-2

Kode eksperimen	Semen (kg)	Abu Cangkang Sawit (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Superplasticizer (kg)	CR (kg)
FCR 2,5%	10.149	1.015	4.212	11.164	0.254	0.254
FCR 5%	10.043	1.004	4.168	11.047	0.251	0.502
FCR 7,5%	9.996	0.996	4.134	10.957	0.249	0.747
FCR10%	9.866	0.987	4.094	10.852	0.247	0.987
FCR 12,5%	9.779	0.978	4.058	10.757	0.244	1.222
CRE 2,5%	9.802	0.98	4.117	9.802	0.245	0.245
CRE 5%	9.707	0.971	4.077	9.707	0.243	0.485
CRE 7,5%	9.615	0.961	4.039	9.615	0.240	0.721
CRE 10%	9.524	0.952	4.000	9.524	0.238	0.952
CRE 12,5%	9.435	0.944	3.963	9.435	0.236	1.179
TCRE 2,5%	9.709	0.971	4.369	9.709	0.243	0.243
TCRE 5%	9.615	0.961	4.327	9.615	0.240	0.481
TCRE 7,5%	9.524	0.952	4.286	9.524	0.238	0.714
TCRE 10%	9.435	0.944	4.246	9.435	0.236	0.944
TCRE 12,5%	9.347	0.935	4.206	9.347	0.234	1.168

Jumlah semen yang digunakan pada mortar ECC dari masing-masing variasi AME, EM dan TEM kurang dari 265 kg/m³. Komposisi semen pada mortar ECC dengan kode AME sebesar 250 kg/m³ dengan proporsi pasir 1.1 kali berat semen per m³ dan faktor air semen (fas) = 0.415. Komposisi semen pada mortar ECC dengan kode EM sebesar 250 kg/m³

dengan proporsi pasir 1 kali berat semen per m^3 dan faktor air semen = 0.415. Sedangkan, komposisi semen pada mortar ECC dengan kode TEM sebesar $265 \text{ kg}/m^3$ dengan proporsi pasir 1 kali berat semen per m^3 dan faktor air semen = 0.450.

Crumb rubber ECC dibuat berdasarkan proporsi mortar ECC yang divariasikan dengan crumb rubber (0;2.5;5;7.5;10 dan 12.5%) yang divariasikan terhadap mortar ECC kode AME, EM dan TEM. CR-ECC dengan kode FCR berasal dari AME yang divariasikan dengan crumb rubber (0;2.5;5;7.5;10 dan 12.5%). CR-ECC dengan kode CRE berasal dari EM yang divariasikan dengan crumb rubber (0;2.5;5;7.5;10 dan 12.5%). CR-ECC dengan kode TCRE berasal dari TEM yang divariasikan dengan crumb rubber (0;2.5;5;7.5;10 dan 12.5%).

Pembuatan Benda Uji

Pencampuran bahan-bahan mortar ECC dan CR-ECC dilakukan dalam wadah kering hingga mencapai konsistensi yang diinginkan, yang memakan waktu sekitar 10-12 menit. Proses pencampuran bahan-bahan mortar ECC dan CR-ECC dilakukan dalam beberapa tahap. Pertama, semua bahan dan material disiapkan. Kemudian, air dan superplastisizer (SP) ditambahkan ke dalam wadah pencampur, diikuti dengan penambahan semen dan pasir secara bertahap (setiap $1/3$ bagian lalu aduk). Untuk CR-ECC, crumb rubber ditambahkan setelah pasir. Setelah tercampur merata, campuran segar kemudian dimasukkan ke dalam kerucut Abrams untuk mengukur waktu kemampuan aliran (T500) dan diameter rata-rata distribusi campuran. Setelah itu, mortar dan CR-ECC yang telah diukur kemampuan alirannya dimasukkan ke dalam cetakan kubus ($15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$) untuk pengujian lebih lanjut. Pengujian ini dilakukan dengan tiga sampel untuk masing-masing variasi.

Prosedur Pengujian

Pengujian kuat tekan mortar ECC dan CR-ECC dilakukan di Laboratorium Bahan dan Rekayasa Beton Universitas Sumatera Utara dengan menggunakan compressive Testing machine yang berkapasitas 3000 kN (diproduksi oleh ELE Group). Pengujian kuat tekan mortar ECC dan CR-ECC dilakukan pada umur 3 hari. Pengujian microstructure terbatas dilakukan pada mortar ECC dan CR-ECC dengan kuat tekan yang paling maksimum (paling tinggi). Pengujian microstructure pada penelitian ini dilakukan dari segi Scanning Electron Microscope (SEM) EDX Mapping. Pengujian SEM-EDX Mapping dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang dengan merk alat FEI, tipe Inspect-S50. Alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1. Sampel pengujian untuk SEM-EDX Mapping berbentuk kubus dengan ukuran panjang, lebar dan diameter maksimal 1 cm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sampel pengujian SEM-EDX Mapping dipotong dari mortar ECC dan CR-ECC yang telah dilakukan pengujian kuat tekan terlebih dahulu.



Gambar 1. Alat SEM-EDX Mapping pada Lab Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang

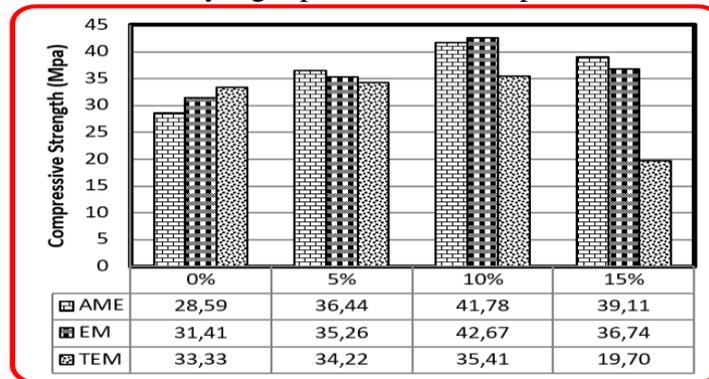


Gambar 2. Sampel Uji SEM-EDX Mapping: (a). Mortar ECC, (b.) Crumb Rubber ECC

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kuat Tekan Mortar ECC

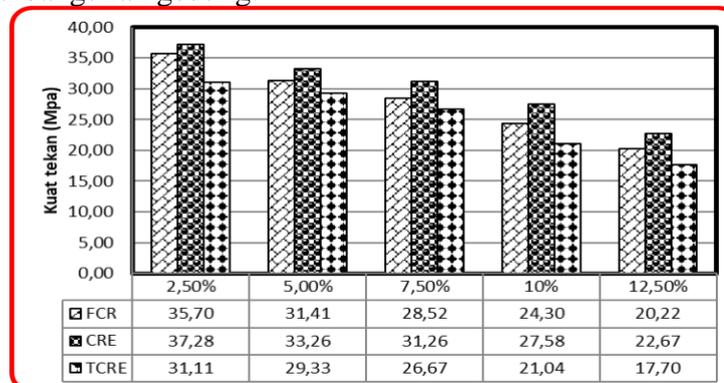
Hasil dari pengujian kuat tekan rata – rata mortar ECC ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan hasil uji tekan pada umur 3 hari untuk tiga jenis variasi mortar ECC (yaitu AME, EM dan TEM), diperoleh kuat tekan rata-rata berkisar 19.70-42.67 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi adalah 42.67 MPa, yang diperoleh dari komposisi EM-10.



Gambar 3. Kuat Tekan Rata – Rata Mortar ECC

Hasil Kuat Tekan Crumb Rubber ECC (CR-ECC)

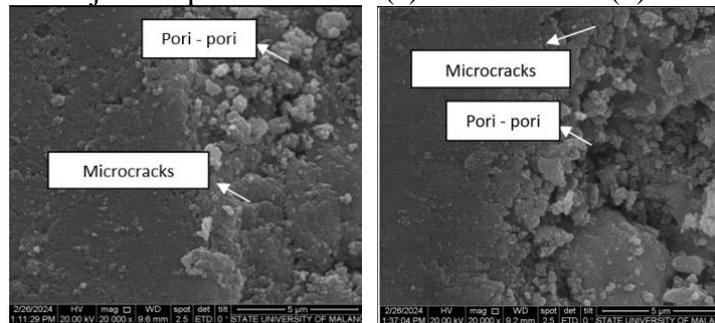
Hasil dari pengujian kuat tekan rata – rata Crumb Rubber ECC ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil pengujian kuat tekan masing-masing jenis mortar ECC yang divariasikan dengan crumb rubber (2.5-12.5%) yaitu untuk variasi FCR, CRE dan TCRE, didapat kuat tekan rata-rata antara 17.70-37.28 Mpa. Hasil pengujian kuat tekan rata – rata dari CR-ECC menunjukkan bahwa kuat tekan CR-ECC lebih rendah dibandingkan dengan mortar ECC.. Hal ini disebabkan oleh sifat crumb rubber yang dapat dikompresi (compressible), sehingga kurang efektif menahan beban tekan. Meskipun demikian, nilai kuat tekan CR-ECC masih memenuhi standar SNI 2847 Tahun 2019 yang mensyaratkan kuat tekan minimal 17 MPa untuk beton struktural bangunan gedung.



Gambar 4. Kuat Tekan Rata – Rata CR-ECC

Hasil Pengujian SEM-EDX Mapping
Hasil Pengujian SEM Mortar ECC dan CR-ECC

Hasil Pengujian SEM-EDX Mapping dari Mortar ECC (EM-10) dan CR-ECC (CRE-2.5) berturut – turut ditunjukkan pada Gambar 5(a) dan Gambar 5(b).



Gambar 5. Hasil Pengujian SEM: (a). SEM Mortar ECC (EM-10), (b). SEM CR-ECC (CRE-2.5)

Gambar 5(a) menunjukkan bahwa pada sampel tekan mortar ECC (EM-10) memiliki pori-pori yang lebih padat. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Al Bakri Abdullah dkk., 2012), semakin kecil ukuran pori-pori dan microcracks pada benda uji, maka semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan. Penggunaan abu cangkang sawit sebagai bahan tambah dalam campuran mortar ECC memungkinkan terbentuknya gel C-S-H yang lebih padat, sehingga menghasilkan pori-pori yang lebih padat dan microcracks yang lebih kecil dan sedikit jumlahnya.

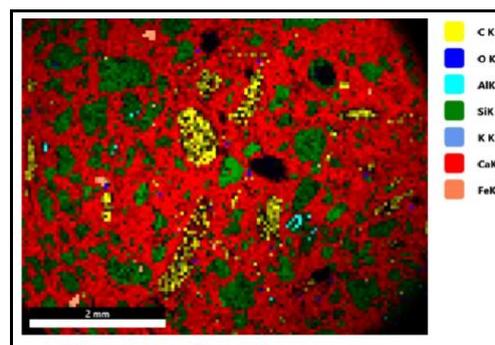
Gambar 5(b) menunjukkan bahwa sampel kuat tekan crumb rubber ECC (CRE-2.5) memiliki pori-pori dan microcracks yang lebih banyak dan lebih besar dibandingkan dengan mortar ECC (EM-10). Kondisi ini menyebabkan kuat tekan crumb rubber ECC lebih rendah daripada mortar ECC. Pori – pori dan microcracks pada CR-ECC terbentuk dimungkinkan oleh banyaknya crumb rubber yang masuk ke dalam pori-pori antara material penyusun. Pasta semen tidak mampu bekerja secara efektif untuk mengikat seluruh butiran material penyusun sehingga terbentuk pori – pori dan microcracks yang cukup banyak.

Hasil Pengujian EDX Mapping Mortar ECC dan CR-ECC

Hasil Pengujian EDX Mapping Mortar ECC (EM-10) dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 6 sedangkan untuk CR-ECC (CRE-2.5) berturut – turut ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 7.

Tabel 5. Data EDX Mortar ECC ECC (EM-10)

Unsur	Persentase (%)
C	26.0
O	40.3
Al	2.6
Si	8.4
K	1.0
Ca	20.1
Fe	1.7



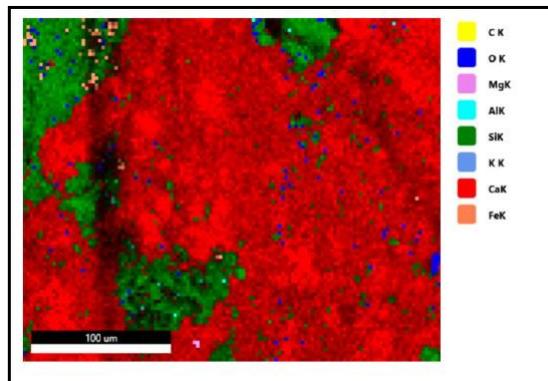
Gambar 6. Mapping Mortar ECC ECC (EM-10)

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 6, Ca (calsium), silika (Si) dan oksigen (O) merupakan unsur yang paling dominan dan tersebar di permukaan mortar ECC. Hal ini menunjukkan terdapat kandungan CSH yang besar pada ECC, yang menyebabkan kuat tekan ECC cukup besar. Dari Tabel 5 tersebut, persentase unsur Ca (Calsium) sebesar 20.1%, oksigen (O) sebesar 40.3% dan kandungan unsur silika (Si) pada mortar ECC tersebut adalah 8.4%. Unsur – unsur tersebut merupakan unsur penyusun dari hasil reaksi hidrasi semen yaitu C-S-H. Gel kalsium silikat hidrat (C-S-H) merupakan singkatan dari senyawa $CaO.SiO_2.H_2O$ (Darmawan & Anggraini, 2008). Unsur H (hidrogen) tidak terlihat pada hasil EDX dan Mapping dikarenakan air telah menguap.

Kandungan CSH yang besar pada mortar ECC dimungkinkan karena adanya penambahan silika dari abu cangkang sawit. Terjadi reaksi kimia antara senyawa silika dioksida (SiO_2) dengan kalsium hidroksida membentuk kalsium silikat hidrat (CSH) baru. Dapat disimpulkan bahwa abu cangkang sawit yang bebas bercampur dengan kalsium hidroksida akan terjadi reaksi lebih lanjut yang membentuk pasta semen yang baru. Hal ini memberikan pengaruh terhadap hubungan antara permukaan mortar dengan zona yang akan dituju lebih kuat dan memberikan peningkatan kuat tekan pada mortar ECC.

Tabel 6. Data EDX Crumb Rubber ECC (CRE-2.5)

Unsur	Persentase (%)
C	13
O	45.2
Mg	0.9
Al	2.5
Si	8.1
K	0.2
Ca	27.8
Fe	2.4



Gambar 7. Mapping Crumb Rubber ECC (CRE-2.5)

Pada Tabel 6 dan gambar 7, sama halnya dengan mortar ECC, ditunjukkan bahwa unsur yang dominan dan terlihat di permukaan CR-ECC adalah Ca, S, dan O yang menandakan adanya kandungan C-S-H yang signifikan, sehingga meskipun kuat tekan CR-ECC lebih rendah daripada mortar ECC namun masih memenuhi standar minimal untuk kuat tekan beton struktural yaitu 17 MPa sesuai dengan SNI-2847-2019. Kandungan C-S-H yang tinggi ini dipengaruhi oleh efek abu cangkang sawit namun kehadiran crumb rubber membuat fase ikatan semen menjadi terganggu.

KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan abu cangkang sawit dengan atau tanpa crumb rubber dalam pembuatan mortar ECC dan CR-ECC mempengaruhi kekuatan tekan dan microstructure komposit tersebut. Persentase penambahan abu cangkang sawit dan crumb rubber memiliki batasan tertentu untuk mencapai kondisi optimum. Mortar ECC dengan penambahan 10% abu cangkang sawit mencapai kekuatan tekan maksimum sebesar

42.67 MPa. Sementara itu, CR-ECC dengan penambahan 10% abu cangkang sawit dan 2,5% crumb rubber memiliki kekuatan tekan yang lebih rendah, yaitu sebesar 37.28 MPa. Jika batas penambahan dilampaui, kekuatan tekan akan menurun. Analisis microstructure menggunakan SEM-EDX Mapping pada sampel-sampel hasil uji tekan pada mortar ECC menunjukkan bahwa matriks mortar ECC memiliki pori-pori yang lebih rapat dan microcrack yang lebih sedikit dibandingkan dengan sampel crumb rubber ECC (CR-ECC). Mortar ECC lebih padat dibandingkan dengan CR-ECC, sehingga hasil microstructure telah menguatkan hasil uji mechanical properties yang telah dilakukan.

REFERENSI

- Adesina, A., & Das, S. (2021). Performance of engineered cementitious composites incorporating crumb rubber as aggregate. *Construction and Building Materials*, 274. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122033>
- Al Bakri Abdullah, M. M., Hussin, K., Bnhussain, M., Ismail, K. N., Yahya, Z., & Razak, R. A. (2012). Fly ash-based geopolymer lightweight concrete using foaming agent. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(6), 7186–7198. <https://doi.org/10.3390/ijms13067186>
- Bakti, A. I., Gareso, P. L., & Rauf, N. (2018). Characterization of Active Carbon from Coconut Shell using X-Ray Diffraction (X-RD) and SEM-EDX Techniques. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 8(2), 115. <https://doi.org/10.26740/jpfa.v8n2.p115-122>
- Bawono, A. A., Lechner, B., & Yang, E. H. (2019). Skid resistance and surface water drainage performance of engineered cementitious composites for pavement applications. *Cement and Concrete Composites*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103387>
- Darmawan, A., & Anggraini, D. (2008). Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Journal of Scientific and Applied Chemistry Pengaruh Substitusi Semen oleh Silika Abu Sekam Padi terhadap Kuat Tekan dan Suhu Reaksi Semen Portland. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 11(1), 15–19. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/ksa>
- Demir, İ., Sevim, O., Filazi, A., & Sengul, C. G. (2017). *Examination of Microstructure of Fly Ash in Cement Mortar*. <https://www.researchgate.net/publication/321824728>
- Efendri, E., Adi Prasetya. (2019). Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Sawit dan Limbah Crumb Rubber terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Vulkanisat Handgrip Rubber. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 30(2), 156-176.
- Frisda, T., Aswin, M., Perwira, A., & Tarigan, M. (2022). *sIKLUs : Jurnal Teknik Sipil Potensial Penggunaan Bata-ECC Berbasis Silica Fume dan Abu Cangkang Sawit Berdasarkan Kuat Tekan*. 8(2), 261–271. <https://doi.org/10.31849/siklus.v8i2.10999>
- Harahap, F. I., Aswin, M., & Tarigan, A. P. M. (2022). *sIKLUs : Jurnal Teknik Sipil Evaluasi Kuat Tekan pada Bata ECC dan Bata-CR-ECC Berbasis Silica Fume dan Abu Sekam Padi*. 8(2), 248. <https://doi.org/10.31849/siklus.v8i2.10993>
- Hasibuan, F. H., Aswin, M., & Hasibuan, G. C. R. (2024). Study on Early Compressive Strength of Mortar- and Crumb Rubber-Engineered Cementitious Composites Contain Variation of Cement, Palm Shell Ash and River Sand. *E3S Web of Conferences*, 519. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451904008>
- Lehne, J., & Preston, F. (2018). *Chatham House Report Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete #ConcreteChange*. www.chathamhouse.org
- Li, V. C. (2007). *Engineered Cementitious Composites (ECC)-Material, Structural, and Durability Performance*.
- Lubis, A., Aswin, M., Cynthia, G., & Hasibuan, R. (2024). The Role of Superplasticizers on the Workability Consistency of ECC Mortar Fresh Mortar Due to an Increase in the

- Percentage of Palm Shell Ash Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). *Jurnal Indonesia Sosial Sains*, 5(5), 1236. <http://jiss.publikasiindonesia.id/>
- Said, S. H., & Razak, H. A. (2015). The effect of synthetic polyethylene fiber on the strain hardening behavior of engineered cementitious composite (ECC). *Materials and Design*, 86, 447–457. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.125>
- Siad, H., Lachemi, M., Sahmaran, M., Mesbah, H. A., Hossain, K. M. A., & Ozsunar, A. (2017). Potential for using recycled glass sand in engineered cementitious composites. *Magazine of Concrete Research*, 69(17), 905–918. <https://doi.org/10.1680/jmacr.16.00447>
- Zhang, Z., Ma, H., & Qian, S. (2015). Investigation on properties of ECC incorporating crumb rubber of different sizes. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 13(5), 241–251. <https://doi.org/10.3151/jact.13.241>