

Pengaruh Penggunaan *High Volume Fly Ash* dan *Silica Fume* Terhadap Kuat Tekan Mortar *Engineered Cementitious Composite* dengan Serat *Fiberglass*

Maizuar¹⁾, Syarifah Asria Nanda²⁾, Burhanuddin³⁾, M. Fauzan⁴⁾, Aji Liswandanu⁵⁾,
Arif Rahman⁶⁾

^{1, 2, 3, 4, 5, 6)} Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh, Aceh, Indonesia

Email: maizuar@unimal.ac.id¹⁾, syarifah@unimal.ac.id²⁾, burhanuddin@unimal.ac.id³⁾,
mfauzan@unimal.ac.id⁴⁾, ajiliswandanu06@gmail.com⁵⁾

Corresponding Author: maizuar@unimal.ac.id

(Received: 11 Oktober 2023 / Revised: 28 Oktober 2023 / Accepted: 02 November 2023)

Abstrak

Mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu. ECC tidak menggunakan agregat kasar atau kerikil dalam campuran materialnya, hal ini dikarenakan kerikil dapat mempengaruhi perilaku daktilitas dan kekuatan komposit. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh persentase *fly ash* dan *silica fume* terhadap kuat tekan mortar ECC sebagai substitusi semen. Variasi persentase penggunaan *fly ash* sebesar 50%, 60%, 70% dan 80% dari volume binder yang digunakan, variasi *silicafume* sebesar 10% dan 15% dari berat *fly ash*, penggunaan serat sebesar 0,75% dari volume mortar, penggunaan superplasticizer sebesar 2,4% dari volume binder, dan FAB yang digunakan sebesar 0,27. Banyak benda uji yang digunakan ada 3 sampel setiap variasinya, sehingga total keseluruhan 24 buah. Pengujian dilakukan pada saat mortar berumur 28 hari. membuktikan bahwa, Material yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi dalam standar SNI uji fisis material mortar. Menggantikan sebagian semen dalam mortar dapat menyebabkan penurunan kelecakan pada mortar segar dimana hasil dari uji slump mortar kontrol didapat hasil 32 cm sedangkan pengujian slump mortar dengan variasi *fly ash* dan *silica fume* didapat hasil slump 31 cm, 30 cm dan 29 cm. Dari hasil penelitian ini diperoleh hasil kuat tekan optimum pada variasi *fly ash* 60% *silica fume* 15% mengalami kenaikan sebesar 32,18% dari mortar kontrol.

Kata Kunci: *mortar ECC, fly ash, fiber glass, silica fume, kuat tekan*

Abstract

Mortar is defined as a mixture of materials consisting of fine aggregate (sand), adhesive (clay, lime, Portland cement) and water with a certain composition. ECC does not use coarse aggregate or gravel in its material mixture, this is because gravel can affect the ductility and strength behavior of the composite. The aim of this research is to determine the effect of the percentage of fly ash and silicafume on the compressive strength of ECC mortar as a cement substitute. Variations in the percentage of use of fly ash are 50%, 60%, 70% and 80% of the volume of binder used, variations of silicafume are 10% and 15% of the weight of fly ash, use of fiber is 0.75% of the volume of mortar, use of superplasticizer is 2.4% of the binder volume, and the FAB used was 0.27. The number of test objects used was 3 samples of each variation, for a total of 24. Tests were carried out when the mortar was 28 days old. proves that, the material used in this research meets the SNI standards for physical testing of mortar materials. Replacing some of the cement in the mortar can cause a decrease in the workability of fresh mortar where the results of the

control mortar slump test were 32 cm, while the slump test of mortar with variations of fly ash and silica fume obtained slump results of 31 cm, 30 cm and 29 cm. From the results of this research, the optimum compressive strength results for the fly ash variation of 60% silica fume 15% increased by 32.18% compared to the control mortar.

Keywords: *mortar ECC, fly ash, fiber glass, silica fume, compressive strength*

1. Latar Belakang

Mortar merupakan campuran dari semen, agregat halus dan semen, tidak menggunakan agregat kasar. Seperti halnya Engineered Cementitious Composite (ECC) adalah material yang terdiri dari komposit semen dengan distribusi serat pendek secara acak dengan volume sekitar 2 % (Khin T.Soe, Y.X. dkk, 2013).

Ada beberapa metode untuk meningkatkan kualitas mortar, salah satunya dengan cara menambah material cementitious seperti fly ash. Dengan penambahan fly ash pada mortar bertujuan untuk meningkatkan kualitas mortar seperti kuat tekannya dan bisa juga untuk mengurangi limbah yang ada pada PLTU yang masih sedikit pengolahannya untuk di dimanfaatkan. Penambahan fly ash pada mortar juga dapat meningkatkan workability, dikarenakan sifat fisik fly ash yang halus menjadikan mortar lebih plastis dan kohesif. Mudah dipompa karena plastis dan kohesif. Fly Ash didalam mortar meningkatkan kuat tekan dan perkembangan signifikan setelah umur mortar 28 hari. Dalam penelitian ini menggunakan fly ash sebesar 50%, 60%, 70%, dan 80%, yang diambil dari volume binder menggantikan sebagian semen.

Untuk lebih meningkatkan kekuatan mortar dilakukan penambahan bahan silica fume sebagai pengganti sebagian semen pada campuran mortar. Penambahan bahan yang bersifat pozzolan ini sebenarnya telah banyak diteliti baik pada campuran beton maupun mortar untuk menambah kekuatannya. Ilham (2005) dalam penelitiannya tentang pengaruh sifat-sifat fisik dan kimia bahan pozzolan pada beton kinerja tinggi menyatakan bahwa beton dengan campuran silicafume menunjukkan pencapaiannya kuat tekan melebihi yang direncanakan pada umur 28 hari. Dalam penelitian ini akan menggunakan silicafume sebanyak 10 % dan 15 % yang diambil dari jumlah fly ash.

Dalam perkembangannya, teknologi mortar serat memunculkan berbagai inovasi dengan adanya beberapa serat yang difungsikan untuk memperbaiki sifat tertentu dari mortar. Salah satu serat tersebut adalah fiberglass. Jenis serat ini didesain untuk mengurangi terjadinya retak pada mortar akibat plastic shrinkage, tetapi juga tidak menutup kemungkinan dapat meningkatkan kekuatan mortar, baik itu berupa kuat tarik maupun kuat tekan. Oleh karena itu pada penelitian ini akan menambahkan serat kaca (fiberglass) sebagai bahan tambah kedalam mortar segar sebesar 0,75% dari volume mortar.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan percobaan laboratorium untuk membandingkan sifat mekanis pada mortar kontrol dan mortar dengan *fly ash*. Mortar kontrol dan mortar *fly ash* memiliki rancangan campuran mortar yang sama, namun jumlah semen pada mortar *fly ash* lebih sedikit karena sebagian bahan pengikat berupa *fly ash*, *silicafume* juga digunakan dalam campuran mortar ECC

ini guna mendapatkan hasil yang lebih baik dan dilakukan penambahan serat *fiberglass* pada mortar ECC ini. Dilakukan pengujian kuat tekan untuk mendapatkan hasil yang akan dibandingkan dengan mortar kontrol.

2.1 Material Penyusun ECC

2.1.1 Fly Ash

Fly ash digunakan sebagai bahan substitusi semen Portland pada mortar, karena mempunyai sifat *pozzolanic*. Hal ini memungkinkan terjadinya peningkatan kekuatan dan durabilitas dari mortar. Adanya penggunaan *fly ash* dapat menjadi faktor kunci pada pemeliharaan mortar tersebut. *Fly ash* juga dapat meningkatkan workability dari semen dengan berkurangnya pemakaian air.

Fly ash terdiri dari bahan inorganik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatis. *Fly ash* dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelas, yaitu:

1. Kelas N, *Fly ash* kelas N merupakan hasil kalsinasi dari pozzolan alam seperti tanah diatomik (hasil pelapukan), batu apung, dan abu vulkanik.
2. Kelas F, *Fly ash* kelas F biasanya dihasilkan dari pembakaran batubara antrasit tetapi ada juga yang dihasilkan dari batubara *subbituminous* dan lignit.
3. Kelas C, *Fly ash* kelas C dihasilkan dari pembakaran lignit, dan dapat juga dihasilkan dari pembakaran batubara antrasit. *Fly ash* kelas C mengandung kadar kalsium oksida (CaO) lebih dari 10%.

Tabel 1 Komposisi *Fly Ash*

Nama senyawa	Persentase (%)
SiO ₂	34,81
CaO	23,39
Al ₂ O ₃	14,92
Fe ₂ O ₃	16,49
MgO	4,92
Total senyawa SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , dan Fe ₂ O ₃	66,22

Sumber : (Rozi & Tarigan, 2020)

2.1.2 Semen

Menurut ASTM C 150 semen portland di defenisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan untuk tambahan, yang digiling bersama-sama bahan utamanya. Bahan utama penyusun semen adalah kapur (CaO), silica (SiO₃), dan alumina (Al₂O₃). Fungsi utama semen pada beton adalah mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk suatu massa padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat.

2.1.3 Agregat Halus

Berdasarkan ASTM C-330, agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,75 mm. bentuk butiran dan tekstur permukaan agregat halus sangat mempengaruhi kebutuhan permukaan air dan sifat-sifat mekanik kolom.

2.1.4 Serat *Fiberglass*

Serat kaca (*Fiberglass*) adalah kaca cair yang ditarik menjadi serat tipis dengan garis tengah antara 0,005 mm hingga 0,01 mm. Serat tersebut dapat digunakan sebagai material komposit yang biasa dikenal dengan *Glass Reinforced Plastik*.



Gambar 1 Serat *Fiberglass*

2.1.5 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimia semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004).

2.1.6 *Silica Fume*

Silica fume merupakan pozzolan halus yang digunakan sebagai bahan tambah pada beton. Penambahan *silica fume* dapat menaikkan nilai karakteristik beton seperti kuat lentur dan kuat tekan. *Silica fume* juga dapat menjadikan beton tahan terhadap bahan kimia dan kedap terhadap air, karena ukuran partikel *silica fume* yang lebih halus daripada semen sehingga dapat mengisi rongga dalam beton (Sudiby, 2021).

2.1.7 *Superplasticizer*

Kegunaan *superplasticizer* pada beton mengurangi penggunaan air, tanpa harus kehilangan kelecakannya. Tetapi penggunaan *superplasticizer* ini harus hati-hati, baik dari segi dosis maupun dari segi waktu, karena akibat penggunaan *superplasticizer* campuran beton dipengaruhi variabel waktu. *Superplasticizer* dapat mengatasi dampak bentuk agregat yang buruk dan gradasi agregat buruk (Yunita, 2008).

2.2 Metode Eksperimental

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian kuat tekan pada mortar *Engineered Cementitious Composite*.

2.2.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan mortar dimaksudkan untuk mengetahui mutu mortar yang digunakan pada setiap benda uji. Kuat tekan mortar sangat tergantung pada faktor air semen, umur, serta kualitas pengerjaan dan perawatan. Pengujian kuat tekan mortar dilaksanakan pada waktu beton berumur 28 hari, karena menurut (Mulyono, 2004) kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton, dimana kekuatan beton akan naik secara cepat sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. (Wang et al., 2020) menyatakan sifat tegangan-regangan dari beton adalah tergantung dari kuat tekan, umur pada saat pembebanan, kecepatan pembebanan, sifat bahan beton (agregat dan semen), serta jenis dan ukuran benda uji. kuat tekan beton yang timbul dapat dihitung dengan menggunakan persamaan,

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

di mana:

- $f'c$ = Kuat tekan beton uji (kg/cm^2)
- P = Beban maksimum (kg); dan
- A = Luas penampang benda uji

Peralatan - peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: oven pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, cawan kedap udara dan tidak berkarat dengan ukuran cukup, cawan terbuat dari gelas atau logam, neraca dengan ketelitian 0,01 gr dan kapasitas 311 gr dengan ketelitian 1°C , peralatan piknometer dengan kapasitas 100 ml, botol berisi air suling, tungku listrik, bak perendam, ring yang terbuat dari kuningan yang telah diketahui beratnya (W_1) dan volumenya (V_1), pisau pemotong, perata dan timbangan, alat Atterberg, alat batas cair yang standar, alat untuk membuat alur standar (*Grooving Tool*), sendok dempul (*Scrap*), plat kaca 45 cm x 45 cm x 0,9 cm, cawan kadar air minimum 4 buah, spatula dengan panjang 1,25 cm, botol tempat air suling, batang pembanding dengan 0,3 mm panjang 10 cm, kurs untuk menentukan kadar air, tabung hidrometer, gelas ukur kapasitas 1000 ml, Thermometer 0 – 50 c dengan ketelitian 0,1 c, larutan *Natrium Sulfat* (NaSO_4), desikator, stopwatch, mixer, aquadest, mold pemadatan $\varnothing 4''$, mold pemadatan $\varnothing 6''$, palu pemadatan standard, palu pemadatan modified, extruder mold, palu karet, kantong plastik dan alat CBR lab.

Adapun jenis saringan yang akan digunakan seperti diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Jenis Saringan

No	Seri Ayakan (mm)
1	4,750
2	2,000
3	1,180
4	0,425

5	0,250
6	0,150
7	0,075
8	Pan

Semua peralatan tersebut tersedia di laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh dalam keadaan baik.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Rancangan Campuran Mortar ECC

Dilakukan perencanaan campuran mortar untuk pembuatan sampel benda uji mortar yang akan di uji dengan variasi yang sudah ditentukan. Untuk banyaknya material yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Mix Design mortar ECC

No	Kode Benda Uji	CE	FA	SF	Air	Pasir	SP	FG
		(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)
1	Kontrol	425	-	-	337,5	468,8	30	0
2	TE50%10%	253,1	281,3	28,1	136,7	210,9	13,5	0,75
3	TE60%10%	191,3	337,5	33,8	136,7	210,9	13,5	0,75
4	TE70%10%	129,4	393,8	39,4	136,7	210,9	13,5	0,75
5	TE80%10%	67,5	67,5	45	136,7	210,9	13,5	0,75
6	TE50%15%	239,1	281,3	42,2	136,7	210,9	13,5	0,75
7	TE60%15%	174,4	337,5	50,6	136,7	210,9	13,5	0,75
8	TE70%15%	109,7	393,8	59,1	136,7	210,9	13,5	0,75

3.2 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan setelah umur mortar mencapai 28 hari, hasil pengujian kuat tekan mortar dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil pengujian kuat tekan mortar

No	Sampel	f'c rata-rata (MPa)	Persentase kenaikan (%)	Umur Mortar ECC (hari)	Berat Volume Mortar (gr/m ³)
1	Kontrol	35,2	0,0	28	2098,1
2	FA50SF10	42,3	16,72	28	2268,3
3	FA60SF10	42,1	16,46	28	2205,3
4	FA70SF10	42,0	16,19	28	2195,5
5	FA80SF10	25,6	-37,5	28	2166,4
6	FA50SF15	57,5	38,747	28	2216,5
7	FA60SF15	62,1	43,348	28	2193,9
8	FA70SF15	40,7	13,443	28	2234,7
9	FA80SF15	6,1	-473,913	28	2118,4

Untuk pengujian kuat tekan dilakukan perawatan benda uji dari bak perendaman lalu benda uji dilap dan ditimbang. Penguatan kuat tekan dilakukan dengan alat *compression testing machine (CTM)*. Setelah didapat nilai gaya tekan mortar, kemudian dihitung kuat tekan mortar yang dapat dilihat pada lampiran. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan penambahan Fly Ash mempengaruhi kuat tekan ECC. Pada variasi FA50%SF10% mengalami peningkatan kuat tekan dengan rata-rata 42,3 MPa. Pada variasi FA60%SF10% sampai FA80%SF10% berurutan mengalami penurunan dengan nilai kuat tekan rata-rata 42,1 MPa, 42,0 MPa dan 25,6 MPa, dimana kuat tekan rata-rata FA80%SF10% 25 MPa lebih kecil dari kuat tekan rata-rata mortar kontrol 35,2 MPa. Sedangkan untuk variasi FA50%SF15% dan FA60%SF15% mengalami peningkatan kuat tekan dengan rata-rata 57,5 MPa dan 62,1 MPa. Pada variasi FA70%SF15% dan FA80%SF15% berurutan mengalami penurunan dengan nilai kuat tekan rata-rata 40,7 MPa dan 6,1 MPa, dimana kuat tekan rata-rata FA80%SF15% 6,1 MPa lebih kecil dari dari kuat tekan rata-rata mortar kontrol 35,2 MPa.

4 Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh penggunaan *high volume fly ash* dan *silica fume* terhadap kuat tekan mortar *engineered cementitious composite* membuktikan bahwa, Material yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi dalam standar SNI uji fisis material mortar. Menggantikan sebagian semen dalam mortar dapat menyebabkan penurunan kelecakan pada mortar segar dimana hasil dari uji slump mortar kontrol didapat hasil 32 cm sedangkan pengujian slump mortar dengan variasi *fly ash* dan *silica fume* didapat hasil slump 31 cm, 30 cm dan 29 cm. Hasil pengujian kuat tekan dengan benda uji yang dibuat, dapat disimpulkan bahwa menggantikan sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* pada mortar ECC mempengaruhi kuat tekan mortar ECC yang diuji dengan umur mortar mencapai 28 hari dari waktu pembuatan mortar tersebut. Pada variasi *fly ash* 50% dan 60% dengan *silicafume* 15% mengalami peningkatan sebesar 38,74 % dan 43,34 % dengan kekuatan rata-rata 57,5 dan 62,1 MPa dari mortar kontrol 35,2 MPa. Sedangkan Pada variasi *fly ash* 80% dengan variasi *silica fume* 15% mengalami penurunan sebesar 473,91% dengan kuat tekan rata-rata 6,1 MPa dari mortar kontrol 35,2 MPa. Menggantikan sebagian semen paling optimal terhadap kuat tekan terjadi pada variasi *fly ash* 60% dengan *silica fume* 15% yang memiliki peningkatan kuat tekan sebesar 43,34% dengan kuat tekan rata-rata 62,1 MPa. Dapat disimpulkan bahwa menggantikan sebagian semen dengan *fly ash* dan persentase *fly ash* berpengaruh terhadap kuat tekan mortar.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, ada beberapa hal yang disarankan yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan menggunakan *silicafume* yang berbeda dan persentase yang berbeda agar mengetahui kekuatan yang dihasilkan dari persentase *silicafume* yang berbeda.

2. perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan menggunakan persentase serat yang berbeda dan serat yang berbeda dengan komposisi yang berbeda juga agar mengetahui sifat masing-masing dari bahan penyusun mortar engineered cementitious composite (ECC).
3. perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan persentase *fly ash* yang berbeda dan bisa juga dengan sumber *fly ash* yang berbeda.

Daftar Kepustakaan

- 1969:2008, S. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Badan Standar Nasional Indonesia, 20.
- Antoni & Nugraha. (2007). Teknologi Beton. Andi Offset.
- ASTM C-330 Lightweight Aggregates For Structural Concrete.*
- ASTM C 150 - 92* Spesifikasi Standar untuk Semen Portland.
- Chou, M.-I. M. (2012). *fly ash*. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, 3820–3843. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_121
- Chung, K. L., Ghannam, M., & Zhang, C. (2018). *Effect of specimen shapes on compressive strength of engineered cementitious composites (ECCs) with different values of water-to-binder ratio and PVA fiber.*
- Khin T.Soe, Y.X.Zhang, L. . Z. (2013). *engineered cementitious composite.*
- Komara, I., Suprobo, P., & Faimun, F. (2021). *Analisis Perilaku Material dan Komposisi Engineered Cementitious Composite.*
- Mulyono, T. (2004). Teknologi Beton. Andi.
- Rozi, M. F., & Tarigan, J. (2020). Efek Buruk Yang Merusak Lingkungan Ini, *Maka. 1*(5), 567–579.
- SNI 03-6825-2002. (2002). Sni 03-6825-2002. Standar Nasional Indonesia Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil.
- Sudiby, A. (2021). Pengaruh Penggunaan Silica Fume Dengan Material Batu Laterit Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton. *13*(1), 1–5.
- Supriani, F., & Islam, M. (2019). Pengaruh Metode Perlakuan Dalam Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Dan Durabilitas Beton. *Inersia, Jurnal Teknik Sipil, 9*(2), 47–54. <https://doi.org/10.33369/ijts.9.2.47-54>
- Wang, Q., Banthia, N., Sun, W., & Gu, C. (2020). Water permeability of Eco-Friendly Ductile Cementitious Composites (EDCC) under an applied compressive stress. *Cement and Concrete Composites, 107*, 103500.
- Yunita, N. (2008). Rancang Campur High Strength Self Compacting Concrete (HSCC) Dengan Menggunakan Adva Superplasticizer [universitas Indonesia]. <https://lib.ui.ac.id/file?file=digital/2016-8/20248334-S35748-Nourma Yunita.pdf>