

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia konstruksi beton masih banyak digunakan untuk pembangunan, hal ini dikarenakan Beton memiliki beberapa kelebihan yaitu tahan terhadap korosi, memiliki kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk sesuai kebutuhan, mudah dalam pengerjaan, dan harga yang relatif murah. Beton mempunyai kekurangan dalam hal kuat tarik, sehingga mudah retak. Selain terlepas dari produksi dan konsumsi yang besar-besaran, beton juga merupakan salah satu sumber utama emisi gas rumah kaca global yang berasal dari produksi semen. Pemanasan global menjadi masalah serius dan mendesak yang dihadapi seluruh umat manusia. Untuk menghentikan penggunaan produksi semen secara bertahap, maka diperlukan bahan pengganti semen dengan produk sampingan yang ramah akan lingkungan. Ada beberapa cara dalam mengatasi hal tersebut, salah satunya dengan menggunakan *Eco-Friendly Ductile Cementitious Composite (EDCC)* dengan cara mengganti agregat halus dengan limbah abu terbang.

EDCC adalah jenis baru dari komposit semen yang diperkuat serat dengan fraksi volume 2% serat yang menunjukkan daktilitas tinggi. Dibawah beban tarik, EDCC menunjukkan perilaku tipe pengerasan regangan yang relatif signifikan dengan kapasitas regangan ultimit yang besar (Soleimani-Dashtaki et al., 2017). EDCC mempunyai sifat daktilitas yang tinggi, ketangguhan yang besar, dan kemampuan menyerap energi yang tinggi sehingga EDCC diharapkan dapat digunakan untuk aplikasi retrofit seismik yang disebabkan oleh gempa bumi, benturan, ataupun ledakan.

EDCC merupakan inovasi yang signifikan dalam mendukung konstruksi berkelanjutan. Kemampuannya untuk menahan dan meratakan retakan membuatnya sangat cocok untuk mengurangi risiko kerusakan struktural akibat beban atau faktor lingkungan. Kelebihan lainnya adalah kemampuan untuk menanggapi beban dinamis, menjadikannya pilihan ideal untuk struktur yang mungkin mengalami beban berubah-ubah, seperti jembatan atau gedung tinggi.

Bahan yang dipakai untuk pembuatan EDCC adalah semen, fly ash, silica fume, dan agregat halus (pasir) ditambah superplastisizer sebagai pengurang air. Agregat kasar (kerikil) tidak digunakan pada beton EDCC sama seperti beton ECC dikarenakan material tersebut dapat berpengaruh buruk terhadap daktilitas komposit material tersebut (Li & Mishra, 1996).

Penggunaan serat pada beton berguna untuk menambah kuat tarik beton, mengingat kuat tarik pada beton yang sangat rendah. Dengan ditambahkan serat kedalam beton menjadikan beton yang lebih daktil. Salah satu dari jenis serat diatas adalah *Polyvinyl Alcohol* (PVA). Terdapat kadar optimum serat yang dimasukan kedalam campuran beton. Penggunaan kadar yang terlalu sedikit atau terlalu banyak tidak menghasilkan efek yang baik terhadap beton. Jika serat yang digunakan terlalu banyak maka akan mengurangi kekecekan beton dengan sangat drastis. Beton akan sulit dipadatkan dan banyak rongga udara yang terjebak didalamnya. Persentase optimum serat antara lain dipengaruhi oleh bentuk, aspek rasio (perbandingan antara panjang dan diameter) dan jenis material yang digunakan. Diperlukan pengujian trial mix untuk mendapatkan beton yang baik dengan kekecekan yang cukup (Hasanr et al., 2013).

Berdasarkan uraian-uraian diatas, maka faktor utama yang dipertimbangkan untuk melakukan penelitian EDCC ini untuk mencari karakteristik komposit cementitious (berdasarkan tinjauan kuat tekan dan kuat tarik) menggunakan *fly ash*, semen dan dengan penambahan serat PVA. Penggunaan EDCC di Indonesia masih sangat terbatas dan belum ada standar mix desainnya di Indonesia meskipun EDCC mempunyai karakter yang unggul.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas maka, rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar pengaruh penambahan serat PVA pada EDCC terhadap kuat tekan dan kuat tarik.
2. Berapa kadar optimum penggunaan serat PVA yang digunakan dalam EDCC terhadap kuat tekan dan kuat tarik.

1.3 Tujuan Penelitian

Dari latar belakang dan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui besarnya pengaruh penambahan serat PVA pada EDCC terhadap kuat tekan dan kuat tarik.
2. Untuk mengetahui kadar optimum penambahan serat PVA pada EDCC terhadap kuat tekan dan kuat tarik.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian diatas maka manfaat dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan mortar mutu tinggi dengan pemanfaatan fly ash sebagai Sebagian substitusi binder.
2. Untuk mendapatkan mortar dengan daktilitas yang lebih baik dibandingkan dengan mortar normal dengan menggunakan serat PVA.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Penelitian ini akan dilaksanakan sesuai dengan tujuannya sehingga perlu diberikan batasan-batasan supaya menghindari pemahaman dan pembahasan yang meluas, Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Semen yang digunakan adalah *portland cement* tipe I.
2. Bahan yang digunakan pada campuran beton EDCC ini berupa 60% *fly ash* dari berat semen yang digunakan, 20 % *silica fume* dari berat *fly ash*, *superplastisizer* merek SIKA 8045P, dan serat PVA dari total berat bahan *cementitious*.
3. Benda uji untuk kuat tekan digunakan berbentuk kubus (5 x 5 x 5) cm sebanyak 3 sampel untuk setiap variasi penggunaan serat.
4. Benda uji untuk kuat tarik digunakan berbentuk dogbone dengan ukuran luas penampang 195 mm sebanyak 3 sampel untuk setiap variasi penggunaan serat.
5. Persentase serat yang digunakan adalah 0,25% ; 0,50% ; 0,75% ; 1%.
6. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik pada benda dilakukan pada umur 28 hari.

1.6 Metode penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Metode eksperimental adalah penelitian yang dilakukan dengan menciptakan fenomena pada kondisi terkendali. Tahapan – tahapan yang dilakukan di mulai dari persiapan peralatan, pemeriksaan sifat fisis material, perencanaan campuran beton (*mix design*), pembuatan dan perawatan benda uji beton, pengujian kuat tekan dan kuat tarik dan yang terakhir merupakan pelaporan hasil penelitian.

Tahap persiapan dimulai dengan melakukan studi pustaka dari jurnal-jurnal dan penelitian-penelitian terdahulu sebagai referensi dasar penelitian. Setelah sumber referensi mencukupi, maka dilakukan persiapan material dan peralatan yang dibutuhkan. Selanjutnya dilakukan *trial* EDCC konvensional tanpa tambahan serat. Setelah dilakukan *trial* EDCC, kemudian dilakukan rencana variasi penggunaan serat PVA. Sebelum pembuatan benda uji untuk penelitian, terlebih dahulu dilakukan pengujian sifat fisis agregat halus yang digunakan untuk diketahui karakteristiknya. Setelah diketahui karakteristik dari agregat halus yang digunakan, maka dilakukan *Mix Design* benda uji yang meliputi benda uji tarik dan tekan. Setelah dilakukan *mix design*, dilakukan pembuatan benda uji untuk setiap variasi yang sudah direncanakan. Pada saat pembuatan benda uji, campuran dari EDCC dengan serat PVA yang telah diaduk dilakukan *slump-flow* test untuk mengetahui kemampuan alir dan kemudahan pengerjaan material tersebut. Selanjutnya material yang telah diaduk dituangkan ke dalam cetakan uji tekan dan tarik dan dilakukan pemadatan dengan diketuk dengan palu karet. Campuran yang telah dituang ke dalam cetakan didiamkan selama 1 hari untuk kemudian dilakukan perawatan normal dengan merendam benda uji di dalam rendaman air bersih. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik dilakukan pada 28 hari benda uji dimana sebelum benda uji untuk kuat tekan dan kuat tarik dilakukan pengujian. Jika kuat tekan dan tarik tidak dapat hasil dibawah target maka perlu dilakukan *mix design* kembali. Setelah didapat data pengujian, lalu dilakukan pengolahan data dengan menggunakan persamaan yang sudah ditentukan. Kemudian data yang sudah diolah sesuai dengan persamaan diambil kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1 Beton

Beton merupakan campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air sehingga membentuk suatu batuan. Terkadang, satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan dalam pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan (Mc.Cormac, 2004).

Beton memiliki kelebihan dibandingkan dengan bahan bangunan lain, yaitu beton memiliki kuat tekan yang relatif tinggi, tahan terhadap panas dan tahan terhadap bahaya kebakaran, tahan terhadap korosi sehingga biaya perawatan beton rendah, pengerjaan yang mudah, bahan-bahannya mudah didapat dan harga relatif lebih murah. Beton juga memiliki kelemahan yaitu beton bersifat getas dan lemah terhadap kuat tarik yang mengakibatkan beton mudah retak. Oleh karena itu beton perlu ditambahkan baja tulangan, serat baja dan sebagainya agar beton memiliki kuat tarik yang tinggi.

2.2 Eco Friendly Ductile Cementitious Compositiite (EDCC)

EDCC merupakan tipe baru dari *High Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composite* (HPFRCC) dimana dengan penggunaan 2% fraksi volume serat menunjukkan karakteristik daktilitas yang tinggi (Soleimani-Dashtaki et al., 2017). Di lakukannya penelitian tentang EDCC ini adalah untuk mengurangi jumlah penggunaan semen dan menggantikannya dengan *fly ash* dalam jumlah yang cukup tinggi, menurut Wang et al., (2020) EDCC membawa manfaat untuk sistem perbaikan antara lain:

1. pengurangan jejak karbon dari perbaikan semen dengan mengganti semen dengan produk sampingan industri seperti fly ash, atau pengikat lainnya, yang tidak melibatkan penggunaan semen Portland.
2. potensi menggunakan proses penyemprotan untuk aplikasi.

3. peningkatan kinerja perbaikan termasuk ketahanan retak, ketangguhan dan keuletan di bawah beban statis, kuasi-statis, kelelahan, dan benturan dengan penguatan serat.

Material yang terkandung dalam mortar EDCC adalah semen, *fly ash*, pasir, air, serat, dan beberapa bahan kimia aditif. Penambahan material agregat kasar kedalam mortar EDCC dapat mempengaruhi daktalitas komposit tersebut sehingga agregat kasar tidak menjadi material dalam pembuatan mortar EDCC.

2.3 Material Penyusun EDCC

EDCC memiliki beberapa material penyusun. Penjelasan material penyusun EDCC adalah sebagai berikut.

2.3.1 Semen *portland*

Menurut Irawan (2013), Semen portland adalah kombinasi kimia antara kalsium (Ca), silika (Si), aluminium (Al), besi (Fe) yang di kendalikan secara ketat dan sejumlah kecil bahan lain seperti gipsum yang di tambahkan dalam proses penggilingan akhir untuk mengatur waktu pengikatan (*setting time*) beton. Kapur dan silika mengisi sekitar 85% dari massa. Bahan yang umum digunakan dalam pembuatan semen adalah batu kapur, kerang, dan marl yang di kombinasikan dengan serpih, tanah liat, terak tanur tinggi (*slag*), pasir silika dan bijih besi (*iron ore*).

Mengacu pada SK SNI S-04-1989-F semen portland dipisahkan menurut pemakaiannya menjadi 5 jenis yaitu:

- a. Semen type 1 : Untuk kontruksi pada umumnya, yang biasa disebut sebagai semen portland jenis umum (*normal portland cement*).
- b. Semen type 2 : untuk bangunan yang mempunyai konsentrasi sulfat tinggi, terutama sekali bila diisyaratkan agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang (*modified portland cement*).
- c. Semen tyipe 3 : untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi (*high early strength portland cement*).
- d. Semen type 4 : untuk konstruksi dengan persyaratan panas hidrasi rendah (*low heat portland cement*).

- e. Semen type 5 : untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat terhadap sulfat (*sulfat resisting portland cement*).

2.3.2 Silica fume

Silica fume (Gambar 2.1) merupakan material halus yang kaya akan silika dan merupakan hasil samping dari industri *silicon ferro*. *Silica fume* berwarna abu-abu dan mempunyai ukuran dengan diameter 0,1 sampai 0,2 micron meter atau sekitar 1/100 ukuran semen (ACI 234 .R-06).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penggunaan *silica fume* dapat mempengaruhi sifat sifat beton yaitu meningkatkan kuat tekan dan durabilitas karena dapat memperkecil volume pori didalam beton. Hal tersebut disebabkan karena *silica fume* mempunyai efek *pozzolan* dan *inert filler* yang dapat mengisi rongga antara pasta semen dengan agregat.



Gambar 2. 1 Silicafume

Sumber: <https://bit.ly/EcPlaza-Products-SilicaFum>

2.3.3 Fly ash

Menurut Mulyono (2005) abu terbang (*fly ash*) merupakan butiran halus dari pembakaran batu bara atau bubuk batu bara. *Fly ash* tidak mempunyai kemampuan mengikat seperti semen, namun dengan ukurannya yang halus dan adanya air, silika oksida (SiO_2) yang terkandung dalam *fly ash* akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat dengan kemampuan yang mengikat.

Fly ash dapat diklasifikasikan menjadi 3 yaitu *fly ash* tipe C, *fly ash* tipe F, dan *fly ash* tipe N (ACI Manual of concrete Practice 1993 Part I 226.3R-3). Jumlah kalsium, silika, alumina, dan kandungan besi dalam abu merupakan perbedaan

utama antara kelas kelas tersebut, sifat sifat kimia tersebut sangat dipengaruhi oleh kandungan kimia dari batu bara yang dibakar yaitu antrasit, bituminus, serta lignit.

1. Kelas C

Abu terbang tipe C merupakan abu terbang yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignit atau batubara muda. Untuk abu terbang tipe C, kadar total dari SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ lebih besar dari 50%. Kadar CaO mencapai 10%. Dalam campuran beton, jumlahan abu terbang yang digunakan sebanyak 15%-35% dari berat silinder.

2. Kelas F

Abu terbang tipe F merupakan abu terbang yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran antrasit atau bituminus batubara. Abu terbang tipe F mempunyai kadar total dari SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ kurang dari 70%. Kadar CaO abu terbang tipe F kurang dari 5%. Dalam campuran beton, jumlahan abu terbang yang digunakan sebanyak 15%-25% dari berat silinder.

3. Kelas N

Jenis ini adalah buangan atau pozzolan alam yang terkalsinasi. Seperti opalinse chert, tanah diatomaceous dan debu-debu vulkanik.

Pada penelitian ini fly ash yang digunakan adalah abu terbang yang diperoleh dari PLTU Pangkalann Susu. Berdasarkan studi yang dilakukan Rozi & Tarigan (2020) fly ash yang dihasilkan oleh PLTU Pangkalan Susu mengandung kadar kalsium (CaO) lebih dari 10%. Hal ini menunjukkan bahwa fly ash PLTU Pangkalan Susu tergolong dalam fly ash kelas C. Berikut persentase rata-rata senyawa oksida yang terkandung dalam fly ash PLTU Pangkalan Susu.

Tabel 2. 1 Senyawa oksida pada PLTU Pangkalan Susu

Senyawa Oksida	Persentase Rata-rata (%)
SiO ₂	34,81%
CaO	23,39%
AlO	14,92%
FeO	16,49%
MgO	4,92%

Sumber: Rozi & Tarigan (2020)

2.3.4 Air

Air merupakan salah satu bahan dasar yang paling penting dalam pembuatan beton karena dapat menentukan mutu dalam campuran. Tujuan utama dari penggunaan air ialah agar terjadi hidrasi, yaitu reaksi kimia antara semen dan air yang menyebabkan campuran ini menjadi keras. Untuk bereaksi dengan semen Portland, air yang diperlukan hanya sekitar 25-30 persen dari berat semen (Tjokrodinuljo, 2007).

Dalam beton air berfungsi sebagai bahan untuk bereaksi kimia dengan semen membentuk suatu pasta semen. Selain itu air digunakan sebagai bahan pelumas pada beton yang berhubungan dengan workability. Pemberian air yang berlebihan pada adukan beton juga akan mengurangi kekuatan beton itu sendiri (Yudianto, 2011).

2.3.5 Pasir

Menurut SNI 03 – 6820 – 2002, agregat halus merupakan agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi batuan atau pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai butiran sebesar 4,76 mm. Syarat agregat halus menurut SNI 03 – 6820 – 2002 adalah sebagai berikut:

1. Tidak menggunakan agregat yang berukuran seragam dan berbentuk bulat.
2. Partikel yang mudah pecah maksimum 1,0%.
3. Kadar lumpur maksimum 5%.
4. Tidak mengandung zat organik.
5. Besar butir yang tertinggal diantara dua saringan yang berurutan tersebut pada ayat 2.2.1 butir I diatas harus tidak lebih dari 50% antara saringan No. 50 dan No.100 tidak lebih dari 25%.
6. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan).

2.3.6 Superplasticisizer

Superplasticisizer (Gambar 2.2) merupakan bahan tambah (*admixture*). Admixture adalah bahan yang ditambahkan pada campuran beton, sebelum atau

selama pengadukan beton untuk mengubah sifat beton sesuai dengan rencana. *Superplasticizer* juga mempunyai pengaruh yang besar dalam meningkatkan *workability*, *superplasticizer* merupakan sarana untuk menghasilkan beton yang mengalir tanpa terjadi pemisahan (*segrasi/bleeding*) yang umumnya terjadi pada beton dengan jumlah air yang besar.

Terdapat berbagai jenis *super-plasticizer* yang dapat digunakan dalam campuran beton, seperti *superplasticizer naphthalene*, *polycarboxylate* dan *sodium glukonat*. *Superplasticizer polycarboxylate* (PCE) mampu untuk mengurangi kadar air sampai 40% dan bisa digunakan untuk beton dengan mutu tinggi, perbandingan air dan semen yang di dapat adalah 0,2. PCE memiliki nilai slump yang baik dan tidak menyebabkan keterlambatan pada beton untuk mendapatkan kekuatan yang ingin dicapai (Utami et al., 2018).



Gambar 2. 2 Superplasticizer

Sumber: https://bit.ly/Sika_Viscocrete_5800_product

2.3.7 Polyvinyl alcohol

PVA memiliki gaya adesi yang tinggi sehingga sangat baik sebagai matriks komposit karena dapat meningkatkan sifat mekanis dan kekompakan dari komposit (Kroschwitz, 1998). Salah satu dari kegunaan PVA adalah sebagai bahan adesif (perekat). *Water-soluble PVA* films bersifat mudah terdegradasi oleh air sehingga digunakan sebagai bahan baku pembuatan beton dan semen serta pelapis kantung laundry, pestisida, herbisida, serta pupuk.

Menurut Ogur (2005) polivinil alkohol memiliki kekuatan tarik yang tinggi, fleksibilitas yang baik, dan sifat penghalang oksigen yang baik. Serat Polivinil Alkohol (PVA) diproduksi melalui pemrosesan polivinil alkohol yang merupakan polimer yang tidak beracun, larut dalam air, dan dapat terurai sepenuhnya. Selama proses ini serat PVA dibuat dengan kristalinitas tinggi dan orientasi kristal, yang menghasilkan kekuatan tarik yang sangat baik dari 0,9 – 1,9 GPa dan modulus elastisitas 11 – 43 GPa. Selain itu, serat PVA memiliki ketahanan alkali yang tinggi, sifat perekat yang baik, dan resistivitas yang besar terhadap cuaca panas. Oleh karena itu, mereka adalah pilihan serat yang sangat baik untuk digunakan dalam campuran beton (Salman Soleimani-Dashtaki et al., 2017).

Tabel 2. 2 Sifat fisis PVA

Berat jenis	1,3
Kekuatan tarik	1600 Mpa
Kekuatan lentur	40 Gpa
Titik leleh	435°
Warna	Putih
Penyerapan air	<1% dari berat
Tahan alkali	Sangat baik
Permukaan beton	mengikat
Tahan korosi	Sangat baik

Sumber: Palembang (2019)

2.4 Pengujian Sifat Fisis Agregat

Pengujian sifat fisis material EDCC mengacu pada peraturan *American Society for Testing and Material* (ASTM), dan Standar Nasional Indonesia (SNI).

2.4.1 Berat jenis agregat halus

Berat jenis adalah perbandingan relatif antara antara massa jenis zat dengan massa jenis sebuah air murni. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis hidrolis yang berhubungan dengan perencanaan campuran (*mix design*) beton. Berdasarkan SNI 1969:2008, berat jenis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$BJ.SSD = \frac{D}{(B+D-C)\gamma_d} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$BJ.OD = \frac{A}{(B+D-C)\gamma_d} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

BJ.SSD = Berat jenis kering permukaan (gr/cm³)

BJ.OD = Berat jenis kering oven (gr/cm³)

A = Berat benda uji kering oven (gr)

B = Berat piknometer berisi air (gr)

C = Berat piknometer + benda uji + air (gr)

D = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gr)

γ_d = Berat isi air pada suhu 4°C = 1 gr/cm³

2.4.2 Absorpsi

Absorpsi adalah kemampuan suatu benda untuk menyerap air. Nilai absorpsi sangat berkaitan dengan berat jenis maupun porositas suatu bahan, karena nilai absorpsi yang besar mengindikasikan banyaknya rongga rongga yang terdapat dalam material tersebut. Semakin besar nilai absorpsi juga dapat menyebabkan menurunnya kekuatan beton, karena pori-pori yang ada menyebabkan ikatan antar partikel pada suatu material berkurang (Simanjuntak, n.d.). Untuk mengetahui nilai absorpsi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$W_a = \frac{D-A}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

A = Berat benda uji kering oven (gr)

D = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gr)

W_a = Penyerapan air agregat (%)

2.4.3 Kadar lengas agregat halus

Kadar lengas adalah banyaknya air yang terkandung dalam agregat. Kegiatan ini bertujuan untuk mengakuratkan perencanaan campuran adukan beton karena

adanya faktor koreksi kadar air campuran beton terhadap kuat tekan rencana yang akan dicapai. Nilai kadar lengas maksimum adalah 3% untuk beton yang mengalami abrasi dan maksimal 5% untuk beton yang tidak mengalami abrasi. Kadar lengas agregat dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Kadar lengas} = \frac{B-C}{C-A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- A = Berat cawan (gr)
- B = Berat benda uji awal + cawan (gr)
- C = Berat uji kering + oven (gr)

2.4.4 Berat volume agregat halus

Berat volume agregat adalah perbandingan antara berat dengan volume agregat dalam keadaan kering. Kegiatan ini dilakukan untuk mempermudah perhitungan *mix design*. Pengujian berat volume agregat halus dilakukan dalam dua keadaan yaitu dalam keadaan gembur dan dalam keadaan padat.

$$\text{Volume air} = (C - (A + B)) \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Berat volume} = \frac{E-B}{D} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

- A = Berat plat kaca (gr)
- B = Berat silinder (gr)
- C = Berat silinder + air + plat kaca (gr)
- D = Berat air = volume air = volume silinder (cm³)
- E = Berat silinder + benda uji (gr)

2.4.5 Analisa saringan agregat

Analisa saringan agregat kegiatan analisis yang digunakan untuk menentukan presentase berat butiran agregat yang lolos dalam suatu set saringan, yang dibutuhkan untuk keperluan campuran dalam adukan beton (*mix design*). Analisa

saringan dilakukan dengan menggunakan saringan nomor 4 (4,75 mm), 8 (2,36 mm), 16 (1,18 mm), 30 (0,600 mm), 50 (0,300 mm), 100 (0,150 mm), 200 (0,075). Analisa saringan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Persentase tertahan} = \frac{\text{berat bertahan}}{\text{Jumlah berat tertahan}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{Persen lolos kumulatif} = \frac{100 - \text{presentase bertahan}}{100} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

2.4.6 Modulus halus butir

Modulus halus butir adalah suatu nilai yang digunakan untuk mengukur kehalusan atau kekerasan butir agregat. Semakin besar nilai modulus halus butir maka semakin besar butiran agregatnya. Nilai modulus halus butir dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{MHB} = \frac{\text{Jumlah persentase kumulatif yang tertinggal}}{100} \dots\dots\dots (2.9)$$

2.5 Slump Flow Test

Slump-Flow Test dapat digunakan untuk menentukan “*filling ability*” baik di laboratorium maupun di lapangan. memakai alat ini dapat diperoleh kondisi workabilitas berdasarkan kemampuan penyebaran beton segar yang dinyatakan dengan diameter yaitu antara 60-75 cm. Kebutuhan nilai *slump flow* untuk pengecoran bidang vertikal berbeda dengan bidang horizontal. Kriteria yang umum digunakan untuk menentukan awal workabilitas beton SCC berdasarkan tipe konstruksi, yakni untuk konstruksi vertikal disarankan dengan *slump flow* 65-70 cm, sedangkan untuk konstruksi horizontal dengan *slump flow* 60-65 cm.

2.6 Perawatan

Perawatan beton dimaksudkan agar mengembangkan kekuatannya secara wajar dan sempurna serta memiliki tingkat sruktur (Mulyo, T., 2003). Perawatan beton dilakukan saat mulai mengeras yang bertujuan untuk menjaga agar beton

tidak cepat kehilangan air dan sebagai tindakan menjaga kelembaban/suhu beton sehingga beton dapat mencapai mutu beton yang diinginkan.

Pelaksanaan perawatan beton dilakukan setelah beton mengalami atau memasuki fase hardening (untuk permukaan beton yang terbuka) atau setelah bekisting beton dilakukan bongkaran dengan durasi tertentu yang dimaksudkan untuk memastikan terjaganya kondisi yang diperlukan untuk proses reaksi senyawa kimia yang terkandung dalam campuran beton. Proses curing pada beton memainkan peran penting pada pengembangan kekuatan dan daya tahan beton. Proses curing ini meliputi pemeliharaan kelembaban dan kondisi suhu, baik dalam beton maupun di permukaan beton dalam periode waktu tertentu.

2.7 *Capping*

Pembuatan *capping* pada beton dilakukan dengan belerang atau senyawa *capping* lainnya. *Capping* dilakukan dalam mempersiapkan spesimen beton silinder untuk pelaksanaan pengujian kuat tekan. Pemberian *capping* diperlukan untuk memastikan distribusi beban aksial yang merata keseluruh bidang tekan beton.

2.8 Kuat Tekan dan Kuat Tarik

Kuat tekan merupakan gambaran mutu beton, menurut SNI 2847-2019 kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur bila di bebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan. Faktor yang dapat mempengaruhi hasil kuat tekan, yaitu faktor air semen, umur beton, jumlah semen, ukuran partikel material, dan metode perawatan.

Rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut (Antono, 1995).

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.10)$$

keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan benda uji (MPa)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

P = Gaya tekan aksial maksimum (N)

Kuat tarik (*tensile strength*) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah (Palembangan et al.,2019). Benda uji untuk pengujian kuat tarik pada penelitian ini menggunakan benda uji *dogbone* dimana besar nilai kuat tarik yang diperoleh dihitung dengan membagi besar nilai beban tarik maksimum (N) dengan luas penampang terkecil benda uji (mm²). kuat tarik adalah kebalikan dari kuat tekan, dan nilainya bisa berbeda. Untuk menghitung nilai kuat tarik dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$f'_{ct} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

f'_{ct} = kuat tekan benda uji (Mpa)

A = luas penampang benda uji (mm²)

P = gaya tarik aksial maksimum (N)

Penelitian yang dilakukan oleh Palembang et al (2019) menghasilkan nilai kuat tekan rata rata 33.9 MPa pada umur 7 hari, 39,0 MPa pada umur 14 hari, 44,6 MPa pada umur 28 hari dan menghasilkan kuat tarik 3,108 MPa pada umur 7 hari, 3,547 pada umur 14 hari, dan 4,34 MPa pada umur 28 hari dengan cara mengganti sebagian agregat halus dengan limbah abu terbang yang diambil dari sisa sisa pembakaran batu bara serta dengan penambahan serat PVA. Material yang digunakan meliputi semen, pasir, *fly ash*, *Superplasticizer*, dan air. Benda uji yang digunakan berupa kubus dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm. Kuat tekan dan kuat tarik beton ECC dengan serat PVA dari penelitian terdahulu dapat diperlihatkan (Tabel 2.3) dan proporsi campuran material dapat diperlihatkan (Tabel 2.4).

Tabel 2. 3 Kuat tekan dan kuat tarik PVA-ECC dari penelitian terdahulu

Umur (Hari)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik (Mpa)
7 Hari	33,9	3,108
14 Hari	39,0	3,547
28 Hari	44,6	4,34

Sumber: Palembang et al (2019)

Tabel 2. 4 komposisi campuran Material PVA 2% ECC

Material	Berat Jenis (Kg/m ³)	Rasio Berat
Semen	570	1
<i>Fly Ash</i>	684	1,2
Pasir	456	0,8
Air	319,2	0,56
<i>Superplasticizer</i>	6,84	0,012
PVA	26	0,02 (2%)

Sumber: Palembang et al (2019)