

PENGEMBANGAN KONSEP BETON RAMAH LINGKUNGAN PADA *SELF COMPACTING CONCRETE (SCC)* MENGGUNAKAN *BOTTOM ASH* DAN *SIKACIM CONCRETE*

Rudi Ansyah¹, Yusuf Amran*, Chica Oktavia²

Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro^{1,2}

Corresponding Author Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro*

E-mail : rudiaditiatirta@gmail.com¹, yusufamran307@gmail.com*,
chicaoktavia04@gmail.com²

ABSTRAK

Self-Compacting Concrete (SCC) is an innovative type of concrete that can compact itself without the need for a vibrator, thus improving casting efficiency and concrete quality. This study aims to analyze the effect of using bottom ash as a partial replacement for fine aggregates and the addition of Sikacim Concrete on the physical and mechanical properties of SCC. Bottom ash is derived from the waste of the Tarahan coal-fired power plant, while Sikacim Concrete serves as a superplasticizer to improve workability. The mix variations consist of 0%, 25%, and 50% bottom ash and 1.25% Sikacim Concrete. Compressive strength tests were conducted at the ages of 1, 3, 5, and 7 days. The results show that the mixture with 25% bottom ash and 1.25% Sikacim Concrete provided the optimum results at all ages tested. At 1 day, the compressive strength reached 26.233 MPa, an increase from the control concrete which was 19.265 MPa. At 3 days, the highest compressive strength was 33.232 MPa. At 5 days and 7 days, the compressive strength reached 27.571 MPa and 28.718 MPa, respectively, both higher than the control concrete. Conversely, the use of 50% bottom ash led to a decrease in compressive strength at all ages due to a reduction in workability and concrete compaction. Thus, the combination of 25% bottom ash and 1.25% Sikacim Concrete proved effective in improving compressive strength and casting efficiency, as well as being environmentally friendly. This mixture is recommended as an innovative alternative in the development of modern concrete technology while supporting the use of industrial waste as a sustainable construction material.

Kata Kunci : *Self-Compacting Concrete, Bottom Ash, Sikacim Concrete, Compressive Strength, Environmentally Friendly Concrete..*

PENDAHULUAN

Self Compacting Concrete (SCC) merupakan beton yang mampu memadat sendiri tanpa menggunakan alat pemadat ataupun vibrator. Keunggulan yang didapatkan dengan menggunakan *Self Compacting Concrete (SCC)* yaitu dapat mengurangi lamanya konstruksi dan besarnya upah pekerja,

mengurangi kebisingan yang mengganggu lingkungan sekitar, mendukung pelaksanaan *Green Building* karena mengurangi pemakaian energi listrik dengan tidak digunakannya vibrator untuk pemadatan, serta kuat tekan betonnya dapat dibuat untuk beton mutu tinggi atau sangat tinggi (Cahyadkk, 2018).

Self Compacting Concrete (SCC) menawarkan keunggulan di bandingkan

beton konvensional, seperti kemampuan mengalir sendiri tanpa memerlukan vibrasi dan kemampuan mengisi cetakan yang terlalu sempit, penerapan beton SCC memang memiliki potensi yang besar, namun penerapan beton *Self Compacting Concrete (SCC)* dalam dunia konstruksi juga dihadapkan pada beberapa masalah yang perlu diatasi.

Salah satu masalah utama dalam penerapan beton SCC yaitu ketersediaan bahan baku, pemanfaatan agregat lokal yang harus melakukan survei dan eksplorasi untuk menemukan sumber agregat lokal yang berkualitas tinggi sehingga agregat dapat diproses untuk memenuhi persyaratan beton SCC, dan ada juga masalah lainnya yaitu penerapan beton *Self Compacting Concrete (SCC)* perlu pengetahuan dan keahlian tenaga kerja yang terampil dan berpengalaman dalam memahami sifat karakteristik beton SCC, tenaga kerja harus memahami sifat dan karakteristik beton SCC seperti kemampuan mengalir, waktu kerja, dan kekuatan, dan ada juga teknik penuangan beton SCC harus dilakukan dengan benar untuk menghindari segregasi dan penurunan kekuatan beton, pemadatan beton SCC tidak memerlukan vibrasi, tetapi pemadatan masih diperlukan untuk menghilangkan gelembung udara dan memastikan kepadatan beton. Dalam dunia konstruksi pekerjaan beton memegang peranan sangat penting, baik pada bangunan struktural maupun non struktural, dapat dilihat bahwa hampir setiap bangunan yang didirikan seperti perumahan, gedung bertingkat, jembatan, jalan, bendungan, terowongan serta bangunan lainnya selalu memerlukan adanya pekerjaan beton terutama pada pekerjaan konstruksi beton bertulang. Selama ini pemadatan atau vibrasi dilakukan tidak sesuai dengan prosedur dan dapat menurunkan kualitas beton, salah satu solusi mengatasi masalah tersebut yaitu dengan penggunaan beton SCC.

Adapun bahan penunjang lainnya yang berupa *sikacim concrete*, Bahan komponen penting pada beton SCC, sebagai beton segar mempunyai tingkat pengaliran yang lebih baik dibandingkan dengan tingkat pengaliran beton normal. Untuk memperoleh hasil yang lebih maksimal. Perilaku dari beton SCC yang mampu memadat sendiri sangat bermanfaat pada saat pengecoran dengan tulangan yang relatif rapat, karena sifat beton segar yang lebih *workability* untuk mengurangi penggunaan air yang berpengaruh pada kuat tekan beton, di perlukan zat *adiditive* dalam hal ini digunakan *superplasticizer* dengan jenis *sikacim concrete*.

Dalam penelitian ini kami mengembangkan konsep beton ramah lingkungan dengan penggunaan limbah sebagai bahan campuran agregat halus dari material beton normalnya, sehingga pemanfaatannya sebagai bahan campuran dalam pembuatan beton dapat memberi efek positif pada lingkungan. Dalam hal ini kami menggunakan limbah *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus yang berasal Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tarahan yang salah satu dari Sektor Pembangkit Listrik Sumatera Bagian Selatan yang memanfaatkan Teknologi Boiler CFB (*Circulating Fluidized Bed*) dengan kapasitas produksi uap per unit 350 ton/jam untuk memutar turbin generator pada pembebanan 100 MW. Sehingga memungkinkan dapat mengkonsumsi batubara per unit sebanyak 50 ton/jam dengan kandungan abu batubara (*Ash content*) sebesar 5% atau sekitar 2,5 ton/jam. Dengan kata lain dalam sehari akan menghasilkan sekitar 60 ton abu batubara, dengan jumlah limbah yang begitu besar tersebut tanpa adanya pengolahan ataupun daur ulang yang berkelanjutan, tidak menutup kemungkinan lingkungan sekitarnya akan mudah terkena polusi akibat limbah tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Self Compacting Concrete (SCC)

Self Compacting Concrete (SCC) merupakan beton inovatif yang dapat memadatkan sendiri atau tanpa menggunakan vibrator atau alat penggetar untuk memadatkan, serta mampu mengalir dengan beratnya sendiri untuk mengisi bekisting dengan jenuh tanpa mengalami *bleeding* dan *segregasi* (Citrakusuma, 2012).

Self Compacting Concrete (SCC) adalah suatu beton yang ketika masih berbentuk beton segar mampu mengalir melalui tulangan dan memenuhi seluruh ruang yang ada di dalam cetakan secara padat tanpa ada bantuan pemadatan manual atau getaran mekanik. Untuk mendapatkan campuran beton dengan tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) tinggi dan memiliki kekuatan awal yang besar, perlu diperhatikan hal-hal berikut (Rusyandi dkk, 2012):

- 1) Menambahkan bahan pengisi (*filler*) pada campuran beton, seperti *bottom ash* untuk menggantikan sebagian komposisi pasir.
- 2) Penggunaan *superplasticizer* pada campuran beton untuk tingkat *workability* yang tinggi sekaligus menekan faktor air semen untuk mendapatkan kekuatan awal yang besar.

Kelebihan dari penggunaan beton *Self Compacting Concrete (SCC)* antara lain sebagai berikut:

- 1) Mengurangi lamanya konstruksi dan besarnya upah pekerja.
- 2) Mengurangi kebisingan dan mengganggu lingkungan sekitarnya.
- 3) Kuat tekan beton dapat dibuat untuk beton mutu tinggi atau sangat tinggi.
- 4) Tidak memerlukan pemadatan manual.
- 5) Meningkatkan kualitas struktur beton secara keseluruhan.

Diantara kelebihan diatas, penggunaan beton *Self Compacting*

Concrete (SCC) juga memiliki kekurangan, antara lain sebagai berikut:

- 1) Untuk segi biayanya, beton *Self Compacting Concrete (SCC)* dinilai lebih mahal jika dibandingkan dengan beton konvensional pada umumnya.
- 2) Tidak boleh mengalami segregasi tapi tetap harus memenuhi syarat *flowability* pada beton *Self Compacting Concrete (SCC)*.
- 3) Pada pembuatan bekisting beton *Self Compacting Concrete (SCC)*, untuk pengecorannya perlu diperhatikan supaya tidak terjadi kebocoran yang disebabkan campuran beton *Self Compacting Concrete (SCC)* yang lebih cair.

Bottom Ash (Abu Dasar)

Bottom ash merupakan material yang tidak terbakar dengan sempurna dari pembakaran suatu material, seperti pada pembakaran batubara. *Bottom ash* ini diperoleh setelah pembakaran selesai. Biasanya *bottom ash* menempel pada bagian bawah atau dinding dari tungku pembakaran tersebut. Dengan kata lain *bottom ash* adalah limbah dari proses pembakaran batubara pada pembangkit tenaga dan mempunyai ukuran partikel lebih besar serta lebih berat dari *fly ash*, sehingga memungkinkan *bottom ash* dapat jatuh ke dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*).

Adapun karakteristik *bottom ash* diantaranya:

Bottom ash mempunyai butiran partikel sangat berpori pada permukaannya. Partikel *bottom ash* mempunyai batasan ukuran dari kerikil sampai pasir. *bottom ash* merupakan material dengan gradasi yang baik, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda dan lebih mendekati ukuran pasir.

Hal lain yang perlu diperhatikan yaitu adanya *friable* partikel (mudah pecah), umumnya pada *dry bottom ash* yaitu kerak batu bara yang berbentuk seperti kembang (*popcorn* partikel),

partikel ini mudah hancur akibat pemadatan dan sangat berpori. Secara umum ukuran abu dasar dapat langsung dimanfaatkan dipabrik semen sebagai substitusi batuan *trass* dengan memasukkannya pada *cementmill* menggunakan udara tekan (*pneumatic system*). Disamping dimanfaatkan di industri semen, abu dasar dapat juga dimanfaatkan menjadi campuran *asphalt (ready mix)*, campuran beton (*concrete*) dan dicetak menjadi *paving block/batako*.

Berdasarkan komposisi yang terkandung dalam *bottom ash* maka ada beberapa kemungkinan kegunaan dari *bottom ash* antara lain:

- 1) Sebagai *filler* atau pengisi pada campuran aspal dan beton.
- 2) Sebagai lapisan *base* dan *subbase* pada perkerasan jalan.
- 3) Sebagai bahan filtrasi.
- 4) Sebagai agregat dalam semen dan beton ringan.

Ada beberapa keuntungan yang dapat diperoleh, jika menggunakan *bottom ash* antara lain:

- 1) Bagi pembeli/pengguna, *bottom ash* lebih murah.
- 2) Bagi perusahaan/industri, penggunaan limbah batubara sebagai bahan yang bermanfaat akan mengurangi pencemaran lingkungan dan menekan biaya penggunaan lahan untuk menampung limbah tersebut.

Bagi masyarakat, penggunaan limbah batubara merupakan solusi yang tepat untuk mengurangi permasalahan lingkungan akibat pencemaran limbah sehingga lingkungan menjadi lebih nyaman.

Bahan Tambahan (Admixture)

Admixture adalah berupa cairan atau bubuk, yang dicampurkan pada adukan beton (SNI 03-2495-1991) fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan

karakteristik dari beton. Di Indonesia bahan tambah telah banyak digunakan. Manfaat dari penggunaan bahan tambah ini perlu dibuktikan dengan menggunakan bahan agregat dan jenis semen yang sama dengan bahan yang akan dipakai di lapangan. Dalam hal ini bahan yang dipakai sebagai bahan tambah harus memenuhi ketentuan yang diberikan oleh SNI.

Secara umum bahan tambah yang digunakan pada beton dapat dibedakan menjadi 2 yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*) (Muda, Bustami et al. 2014)

1) Additive

Additive sebagai bahan tambah yang ditambahkan pada proses pembuatan semen pada suatu pabrik dengan bertujuan untuk meningkatkan kinerja kuat tekan beton. Beton yang mengalami kekurangan butiran - butiran halus mengakibatkan tidak kohesif dan mudah *bleeding* untuk mengatasi permasalahan ini biasa di gunakan tambahan *Additive*.

2) Superplasticizer

Superplasticizer dalam campuran beton berfungsi membuat adukan beton lebih encer dengan air yang sedikit. *Superplasticizer* yang digunakan yaitu Tipe E yang merupakan bahan kimia yang berfungsi mengurangi air dan meningkatkan kuat tekan beton (Gennardy, 2020). *Superplasticizer* memiliki pengaruh yang besar dalam meningkatkan *workability*. Bahan ini merupakan sarana untuk menghasilkan beton mengalir tanpa terjadinya pemisahan material (segregasi maupun *bleeding*) yang umumnya sering terjadi pada beton dengan jumlah air yang besar, untuk itu bahan ini berguna pada pencetakan beton ditempat-tempat sulit seperti pada tempat penulangan yang rapat. *Superplasticizer* dapat memperbaiki *workability* namun tidak berpengaruh besar dalam meningkatkan kuat tekan beton untuk faktor air semen yang diberikan. Namun kegunaan

Superplasticizer untuk beton mutu tinggi secara umum sangat berhubungan dengan pengurangan jumlah air dalam campuran beton. Pengurangan ini tergantung dari kandungan air yang digunakan, dosis dan tipe dari *Superplasticizer* yang dipakai.

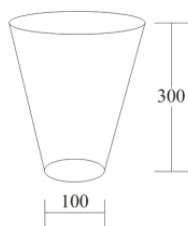
Penggunaan *Superplasticizer* pada campuran beton *Self Compacting Concrete* memiliki keunggulan, yaitu antara lain sebagai berikut:

- (a) Menambah kekuatan tekan pada beton
- (b) Modulus elastisitas yang tinggi
- (c) Permeabilitas yang rendah
- (d) Meningkatkan *workability* beton segar dan Meningkatkan *durability*

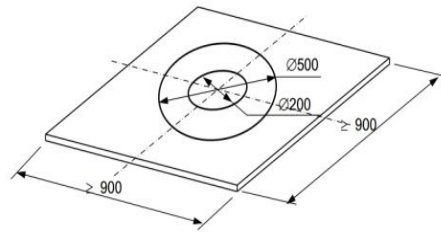
Superplasticizer yaitu komponen penting dari *Self Compacting Concrete* (SCC) yang merupakan bahan tambah pencampur beton yang ditambahkan saat pengadukan dan saat pelaksanaan pengecoran. Penggunaan *Superplasticizer* pada beton *Self Compacting Concrete* (SCC) berpengaruh pada *workability* beton, dimana kadar *Superplasticizer* berpengaruh terhadap sifat beton segar, yaitu *workability* dan diameter alir beton segar. Hal itu dapat dilihat pada besarnya nilai *slump flow Test*, *slump v Funnel Test* dan *slump L box Test*.

Pengujian Beton Segar SCC

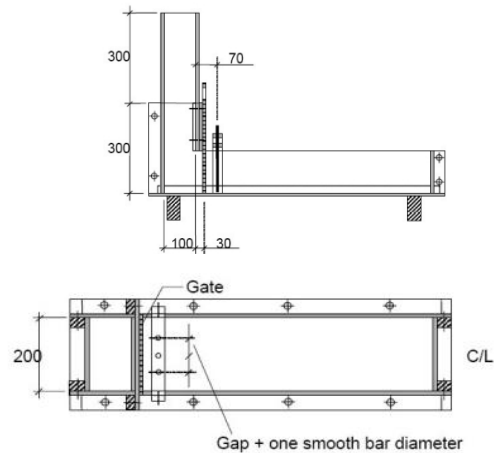
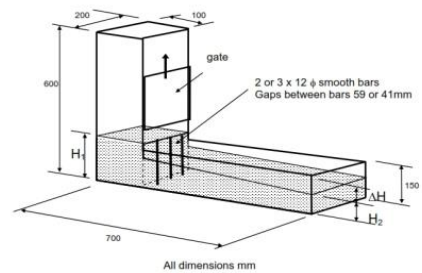
Untuk mengetahui beton segar yang telah dibuat masuk ke dalam kriteria *self compacting concrete*, maka harus memenuhi syarat *filling ability*, *passing ability* dan *segregation resistance*. Ketiga syarat tersebut dapat diketahui dengan tiga pengujian yaitu *Slump Flow Test*, *L-Shaped Box Test* dan *V-Funnel Test*.



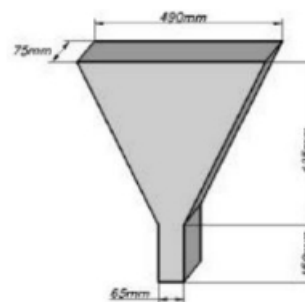
Gambar 1. *Slump cone*



Gambar 2. *Baseplate* untuk *Flow Test*



Gambar 3. Dimensi cetakan *L-Shape Box*



Gambar 4. Alat *V-Funnel Test*

Perawatan Beton Atau Pemeliharaan Beton

Perawatan beton dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, dengan arti perawatan beton dilakukan saat beton sudah 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. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat (Amran 2019).

Perawatan dilakukan minimal umur beton 1 (satu) hari dan beton berkekuatan awal tinggi minimal selama 3 (tiga) hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan perawatan dipercepat (SNI 03-2847-2002) Perawatan ini tidak hanya untuk mendapatkan kekuatan beton saja, tetapi juga untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedekatan terhadap air, ketahanan terhadap arus, serta stabilitas dari dimensi struktur.

Kuat Tekan Beton (*Compressive strength*)

Berdasarkan SNI 03-1974:2011 (SNI_03-1974, 2011) Kuat tekan beton merupakan besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu oleh mesin tekan. Sifat utama beton adalah Memiliki kuat tekan tinggi dan Memiliki kuat tarik lemah. Kualitasnya tergantung pada kualitas semen dan agregat pembuatnya. Beton bisa kehilangan kekuatan hingga 40% jika pengeringan diadakan sebelum waktu yang tepat.

Nilai kuat tekan beton dapat diperoleh dengan pengujian yang mengacu pada standar yang umumnya digunakan yaitu standar *ASTM (American Society for Testing and Material)*. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi yang dicapai benda uji umur 28 hari. Nilai kuat tekan beton untuk benda uji dengan dimensi yang berbeda dapat diperoleh dengan mengkonversi hasil kali yang telah tersedia pada SNI-1974:2011. Benda uji

yang digunakan pada penelitian ini berbentuk silinder dengan ukuran diameter tinggi 30 cm dan lebar 15 cm. Kuat tekan beton dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

(σ) = kuat tekan beton (Kg/cm²)

P = beban maksimum (Kg)

A = luas penampang benda uji (cm²)

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah pelaksanaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Desain Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhamadiyah Metro dan Laboratorium Universitas Bandar Lampung, Dimana penelitian ini bersifat kajian eksperimental. Metode eksperimen merupakan metode percobaan yang digunakan dalam mempelajari pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain dalam kondisi yang diciptakan. Pengujian *Self Compacting Concrete (SCC)* ini menggunakan penambahan *Bottom Ash* dengan variasi sebesar 0%, 25%, dan 50% sebagai bahan pengganti sebagian Pasir dan zat aditif yang berupa *Superplasticizer* sebanyak 1,25 % dari berat semen. Benda uji yang akan dicetak berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan masing-masing variasi *bottom ash* akan dicetak sebanyak 12 buah sampel untuk masing-masing pengujian kuat tekan. Beton *Self Compacting Concrete (SCC)* akan diuji saat umur beton 1, 3, 5 dan, 7 hari.

Diharapkan dapat diketahui pengaruh bahan tambahan yang diberikan terhadap sifat fisik beton basah dan kuat tekan beton yang dihasilkan. Metode penelitian memberikan gambaran rancangan penelitian yang meliputi :

1. Prosedur dan langkah-langkah yang harus ditempuh

2. Waktu penelitian
3. Sumber data
4. Dengan langkah apa data-data tersebut diperoleh dan selanjutnya diolah dan dianalisis

Tahapan Penelitian

Teknik Sampling

Metode pengambilan sampel adalah metode yang digunakan untuk menentukan pengambilan sampel. Oleh karena itu, penelitian yang baik memerlukan kehati-hatian dan menggunakan metode untuk menentukan spesimen mana yang akan dipelajari (Hidayat, 2017).

Menurut (Sugiyono, 2013), sampel merupakan bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel beton yang mempunyai dimensi $\phi 15$ cm dan tinggi 30 cm. Pengujian kuat tekan pada penelitian ini menggunakan 12 sampel pada setiap variasinya dengan total 36 sampel.

Tahapan Pelaksanaan

Setelah metode pengambilan sampel diterapkan, maka langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengolah data yang diperoleh sehingga data yang diperoleh akurat. Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis sifat mekanik beton memerlukan pemahaman tentang berbagai data yang saling terkait. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi secara mendetail untuk memastikan bahwa semua data yang digunakan sangat efektif dan efisien untuk digunakan sebagai masukan untuk analisis selanjutnya. Beberapa tahapan penelitian sebagai berikut :

Pengujian bahan penyusun beton seperti, agregat kasar, agregat halus, dan semen, serta pembuatan dan pengujian sampel beton meliputi:

- a. Pemeriksaan material agregat kasar
- b. Pemeriksaan material agregat halus

- c. Pemeriksaan material semen
- d. *Job mix design* (perencanaan campuran beton) berdasarkan (SNI_7656, 2012). Penakaran/penimbangan bahan penyusun beton berdasarkan uji karakteristik bahan penyusun dan campuran beton yang sesuai rencana dalam penelitian ini.
- e. Pengujian *slump test* beton (SNI_1972, 2008).
- f. Pembuatan benda uji beton.
- g. Perawatan beton dengan cara perendaman dalam air.
- h. Pembuatan kaping untuk benda uji (SNI_6369, 2008)
- i. Pengujian kuat tekan beton pada umur 1,3,5 dan 7 hari sesuai (SNI_1974, 2011)
- j. Analisis data hasil uji karakteristik bahan penyusun beton dan kuat tekan benda uji beton.

Pembuatan Benda uji Beton SCC

Campuran Beton Basah SCC

Beton *Self Compacting Concrete* (SCC) merupakan beton yang dirancang memiliki kemampuan mengalir dan memadat sendiri tanpa memerlukan getaran eksternal selama pengecoran. Oleh karena itu, proses pembuatan campuran beton basah SCC memiliki karakteristik dan tahapan berbeda dibandingkan beton konvensional. Tujuan dari proses pencampuran ini adalah menghasilkan adukan beton yang homogen, stabil (*tidak segregasi*), dan memiliki *workability* tinggi sesuai kriteria SCC.

Pembuatan Benda Uji Padat Beton SCC

Beton *Self Compacting Concrete* (SCC) merupakan beton inovatif yang memiliki kemampuan untuk mengalir, mengisi cetakan, dan memadat secara mandiri tanpa memerlukan getaran eksternal. Oleh karena itu, dalam proses pembuatan benda uji padat beton SCC,

prosedur harus dilakukan secara hati-hati dan sistematis agar diperoleh spesimen yang representatif, homogen, dan memenuhi standar pengujian.

Perawatan Benda Uji Beton SCC

Perawatan beton umur 1 hari dengan cara disemprot (*Spraying Curing*) merupakan metode efektif untuk menjaga kelembapan permukaan beton dan mendukung proses hidrasi semen pada fase awal. Dengan penyemprotan air secara rutin dan terkendali, risiko retak dini dapat dikurangi, dan kekuatan beton jangka panjang terjaga.

Perendaman beton selama umur 3, 5, dan 7 hari memastikan reaksi hidrasi berlangsung secara penuh dengan menyediakan air berlimpah dan suhu setabil. Metode ini efektif meningkatkan kekuatan tekan, ketahanan, dan kualitas beton secara keseluruhan.

Pengujian Kuat Tekan Beton

Uji kuat tekan beton aktual pada umur 1, 3, 5, dan 7 hari dilakukan untuk memantau perkembangan kekuatan beton sejak dini. Pengujian ini menggunakan mesin tekan pada benda uji silinder, dan hasilnya menunjukkan kemampuan beton menahan gaya tekan pada umur tertentu. Data hasil pengujian digunakan untuk mengevaluasi kualitas beton dan kesesuaian dengan rencana teknis.

Konversi kuat tekan aktual umur awal (1, 3, 5, dan 7 hari) ke umur 28 hari dilakukan menggunakan faktor koreksi empiris berdasarkan pola perkembangan kekuatan beton. Metode ini berguna untuk memprediksi apakah beton akan memenuhi target f'_c rencana tanpa harus menunggu 28 hari.

HASIL PENELITIAN

Hasil Uji Properti Material Agregat Halus

Dari hasil pengujian agregat halus alam (pasir) pada penelitian ini diperoleh hasil sebagai berikut:

- 1) Kadar air yang terdapat pada agregat halus sebesar 0,0155%.
- 2) Kadar lumpur agregat halus yang terdapat pada penelitian ini sebesar 1,07 %, maka agregat tersebut memenuhi persyaratan kadar lumpur sesuai dengan SK SNI T-15-1990-03 yaitu kadar lumpur pasir harus < 5%.
- 3) Gradasi agregat halus yang digunakan pada penelitian ini masuk pada daerah gradasi 1 SK.SNI.T-15-1990-03, dengan nilai modulus kehalusan 4,26. Dapat disimpulkan bahwa agregat halus yang digunakan cukup halus dikarenakan nilai modulus kehalusan lebih dari standar yang ditetapkan yaitu 1,50 - 3,80 sesuai dengan .SNI.T-15-1990-03.
- 4) Berat jenis dan penyerapan agregat halus alam (Pasir) pada kondisi SSD (*saturated surface dry*) sebesar 2,57 gr/cm³ dan penyerapan air sebesar 1,12 %.

Hasil Uji Properti Material Agregat Kasar

Dari hasil pengujian agregat kasar pada penelitian ini diperoleh hasil sebagai berikut:

- 1) Kadar air agregat kasar pada agregat kasar alam sebesar 0,0077 %
- 2) Kadar lumpur agregat kasar alam yang terdapat pada penelitian ini sebesar 0,234% agregat kasar yang digunakan memenuhi persyaratan kadar lumpur sesuai dengan SK.SNI.T-15-1990-03 yaitu kadar lumpur pasir harus < 1%.
- 3) Gradasi agregat kasar untuk agregat kasar alam masuk pada gradasi ukuran maksimum 19 mm dengan modulus kehalusan 2,53
- 4) Berat jenis dan penyerapan agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini, untuk agregat kasar alam memiliki berat jenis dalam kondisi SSD (*saturated surface dry*) sebesar 2,63 gr/cm³ dan penyerapan air 2,36%

Pengujian Semen Portland

Hasil pengujian semen PCC (*portland composite cement*) merek Tiga Roda, hasil pengujian sebagai berikut:

- 1) Densitas semen yang digunakan pada penelitian ini sebesar $3,64 \text{ gr/cm}^3$, densitas yang didapat cukup baik sesuai standar ASTM C – 188 yaitu berat jenis semen portland berkisar antara $3,10 - 3,30 \text{ gr/cm}^3$.
- 2) Waktu ikat awal semen didapat pada waktu 135 menit. Waktu ikat awal semen tersebut memenuhi standar sesuai SNI-03-6827-2002 yaitu waktu awal ikat semen harus > 45 menit.

Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, pengaruh penggantian terhadap campuran *Bottom Ash dan Sikacim Concrete* didapatkan hasil kuat tekan beton *Self Compacting Concrete (SCC)* 0% sebesar 20,932 Mpa, 25%+1,25% sebesar 28,652 Mpa, 50%+1,25% sebesar 26,684 Mpa. Dari hasil pengujian tersebut disimpulkan pada variasi 25%+1,25% yang kuat tekannya sebesar 28,652 Mpa. Sedangkan untuk kuat tekan beton pada variasi *Bottom Ash dan Sikacim Concrete* 0%, dan 50%+1,25% mengalami penurunan, yang mana kuat tekannya sebesar 20,932 Mpa, dan 26,684 MPa.

Analisis Regresi Linier Berganda

Pada tabel model *summary* nilai determinasi $R^2 = 0,543$ pada umur beton 1 hari dari nilai tersebut dapat diartikan bahwa, variasi pada variabel dependen Y (Kuat tekan beton) dipengaruhi oleh kedua variabel independen X_1 dan X_2 sebesar 54,3%, Sedangkan sisanya sebesar 45,7% dipengaruhi oleh variabel lainnya yang tidak termasuk dalam model *summary*. Sedangkan pada *Standard Error of Estimate (SEE)* mendapat nilai sebesar 4,517. Pada tabel model *summary* pada umur beton 3 hari nilai determinasi $R^2 = 0,970$ dari nilai tersebut variasi pada

variabel *dependent* Y (Kuat tekan beton) dipengaruhi oleh 2 variabel *independent* X_1 dan X_2 sebesar 97,0%, Sedangkan sisanya sebesar 30% dipengaruhi oleh variabel lainnya yang tidak termasuk dalam model *summary*. Sedangkan pada *Standard Error of Estimate (SEE)* sebesar 1,347. Semakin kecil nilai *SEE* akan menunjukkan suatu model regresi semakin tepat prediksi variabel dependen. Pada tabel model *summary* pada umur beton 5 hari nilai determinasi $R^2 = 0,774$ dari nilai tersebut variasi pada variabel *dependent* Y (Kuat tekan beton) dipengaruhi oleh 2 variabel *independent* X_1 dan X_2 sebesar 77,4%, Sedangkan sisanya sebesar 22,6% dipengaruhi oleh variabel lainnya yang tidak termasuk dalam model *summary*. Sedangkan pada *Standard Error of Estimate (SEE)* sebesar 2,105. Selanjutnya Pada tabel model *summary* pada umur beton 7 hari nilai determinasi $R^2 = 0,700$ dari nilai tersebut variasi pada variabel *dependent* Y (Kuat tekan beton) dipengaruhi oleh 2 variabel *independent* X_1 dan X_2 sebesar 70,0%, Sedangkan sisanya sebesar 30,0% dipengaruhi oleh variabel lainnya yang tidak termasuk dalam model *summary*. Sedangkan pada *Standard Error of Estimate (SEE)* sebesar 4,026. Semakin kecil nilai *SEE* akan menunjukkan suatu model regresi semakin tepat prediksi variabel dependen.

Uji Signifikansi Simultan (Statistik F)

Berdasarkan tabel ANOVA atau uji F pada umur beton 1 hari, diperoleh nilai dari F hitung sebesar 1,189 dan F tabel = 5,14 dikarenakan F hitung $>$ F tabel maka H_0 Ditolak, dengan probabilitas $0,472 < 0,05$, ini berarti model regresi tidak signifikan secara statistik. dan pada umur beton 3 hari, diperoleh nilai dari F hitung sebesar 32,396 dan F tabel = 5,14 dikarenakan F hitung $>$ F tabel maka H_0 Ditolak, dengan probabilitas $0,111 < 0,05$. ini berarti model regresi tidak signifikan secara statistik, pada umur beton 5 hari, diperoleh nilai dari F hitung sebesar 3,428

dan $F_{\text{tabel}} = 5,14$ dikarenakan $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ maka H_0 Ditolak, dengan probabilitas $0,315 < 0,05$. ini berarti model regresi tidak signifikan secara statistik, dan pada umur beton 7 hari, diperoleh nilai dari F_{hitung} sebesar 2.335 dan $F_{\text{tabel}} = 5,14$ dikarenakan $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ maka H_0 Ditolak, dengan probabilitas $0,369 < 0,05$. ini berarti model regresi tidak signifikan secara statistik. Dengan demikian dapat disimpulkan analisis regresi linier berganda berdasarkan hasil uji F, model regresi tidak signifikan secara statistik pada semua umur beton yang di uji.

Uji Signifikansi Parameter Individual (Uji Statistik t)

Dari hasil analisis regresi linier berganda yang diterapkan, kuat tekan beton sebagai variabel Y sedangkan umur beton sebagai X_1 dan kadar campuran sebagai X_2 , didapat persamaan regresi pada beton umur 1 hari $Y = 17,421 - 0,139x_1 + 0,022x_2$. Pada beton umur beton 3 hari persamaan regresi berbentuk $Y = 21,841 - 0,217x_1 + 0,031x_2$. Pada beton umur beton 5 hari persamaan regresi berbentuk $Y = 21,197 - 0,110x_1 + 0,035x_2$. Pada beton umur beton hari persamaan regresi berbentuk $Y = 18,372 - 0,174x_1 + 0,061x_2$.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan hasil penelitian pemanfaatan *bottom ash* sebagai pengganti sebagian agregat halus (pasir) dan penggunaan *Sikacim Concrete* berpengaruh signifikan terhadap *workability* beton *Self Compacting Concrete (SCC)*. Kombinasi optimum sebesar 25% *bottom ash* dan 1,25% *Sikacim Concrete* terbukti meningkatkan kemampuan alir beton, memudahkan pengisian cetakan tanpa alat bantu getar, serta mencegah *segregasi* dan *bleeding*. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi tersebut mampu memperbaiki sifat reologi beton *SCC*, sehingga proses pengecoran

menjadi lebih cepat, efisien, dan berkualitas. Sebaliknya, penggunaan *bottom ash* dalam jumlah berlebih (hingga 50%) menurunkan *workability*, mengurangi kelecakan, dan menyebabkan penurunan homogenitas campuran beton.

Penggunaan 25% *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus dan 1,25% *Sikacim Concrete* dari berat semen merupakan komposisi optimum dalam beton *Self Compacting Concrete (SCC)*. Kombinasi ini terbukti meningkatkan *workability*, mempercepat proses pengecoran tanpa alat bantu getar, dan menghasilkan kuat tekan tertinggi rata-rata 28,94 Mpa, melebihi beton normal dan campuran lainnya. Peningkatan ini disebabkan oleh perbaikan mikrostruktur beton melalui *hidrasi* yang lebih baik, pengisian pori, dan dispersi partikel yang optimal. Sebaliknya penggunaan *bottom ash* hingga 50% justru menurunkan *workability* dan kekompakan beton. Oleh karena itu, kombinasi tersebut dinilai efektif dalam meningkatkan mutu beton sekaligus mendukung pemanfaatan limbah ramah lingkungan. Selain itu, hasil analisis regresi linier berganda menunjukkan bahwa umur beton (X_1) dan jenis campuran (X_2) berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton. Pengaruh paling kuat terjadi pada umur 3 hari, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 97%, yang menunjukkan hubungan matematis yang sangat erat antara kedua variabel terhadap kuat tekan beton.

DAFTAR PUSTAKA

- SK_SNI_S-04-1989-F. (1989). *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A Spesifikasi Bahan Bangunan (Bahan bangunan bukan logam)*. Bandung.
- SNI_03-1968. (1990). *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Badan Standard Nasional Indonesia.

- SNI_03-1970. (1990). *Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*. In: SNI.
- SNI_03-1971. (1990). *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*.
- SNI_03-1974. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*.
- SNI_03-6827. (2002). *Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland Dengan Menggunakan Alat Vicat*.
- SNI_15-2049. (2004). *Semen Portland*. Jakarta: BSN.
- SNI_1969. (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. In: Bandung: BSN.
- SNI_1973. (2008). *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran, dan Kadar Udara Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI_2417. (2008). *Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI_2493. (2011). *Tata Cara Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Beton DiLaboratorium*. SNI, 2493, 2011.