

Self Compacting Green Concrete (SCGC) Kuat Awal Tinggi Menggunakan CaCO₃, Carbide Waste, dan Bottom Ash

Muhammad Zuhul Firdaus¹, Achmad Firmansyah Sunaryoto¹

¹ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo, Jl. Semolowaru No. 84, Menur Pumpungan, Sukolilo, Surabaya, 60118
mhmd.zuhul@gmail.com

Abstract

Concrete in its use has a negative impact on the environment caused by cement material which is a concrete binder. Cement production contributes about 8% of global CO₂ emissions, in addition to poor waste management in Indonesia which is bad for the environment and causes pollution. To reduce these problems, research on the utilization of eco-friendly materials as a substitute for cement in SCC (Self Compacting Concrete) concrete for high early compressive strength concrete is one good solution. As an alternative, the use of CaCO₃ and waste calcium carbide (CAC₂) which is waste from carbide combustion which aims to reduce the amount of cement so that less carbon dioxide is produced and the use of B3 PLTU waste, namely Bottom Ash as a substitute for sand to reduce the cost of fine aggregates. This SCGC concrete research uses a compressive strength target of more than 15 MPa at the age of 1 day which refers to the calculation of mix design with the assumption of 28-day compressive strength of 62.1 MPa with a limitation on the use of cement of 350 Kg/m³. The use of CaCO₃ and waste calcium carbide (CAC₂) as cement substitution and Bottom Ash as fine aggregate substitution. The results also show an increase in effectiveness in reducing the use of cement 350 Kg/m³ with normal SCC concrete K-600 as a comparison and proven to increase the initial compressive strength at the age of 1 day by utilizing the high CaO content in eco-friendly materials that play a role in the first reaction of the mixture which has an effect on the initial compressive strength and the role of Silicate Oxide (SiO₂) which has an effect on the mid-compressive strength of this SCGC concrete. The achievement of SCGC concrete in reducing CO₂ emissions without ignoring the compressive strength produced, which is evidenced by the compressive strength of 15 MPa can be achieved in exactly 1 day and the effectiveness of CO₂ emission production produced by SCGC concrete provides a significant difference of 26.58% when compared to normal SCC concrete K-600.

Keywords: *High Early Strength Concrete, CaCO₃, Carbide Waste, Bottom Ash, Eco Friendly Material.*

Abstrak

Beton dalam penggunaannya menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan yang disebabkan oleh material semen yang merupakan bahan pengikat beton. Produksi semen menyumbang sekitar 8% emisi CO₂ Global, selain itu pengelolaan limbah di Indonesia yang kurang baik berakibat buruk bagi lingkungan dan menimbulkan polusi. Untuk mengurangi masalah tersebut, penelitian pemanfaatan *eco-friendly material* sebagai pengganti semen pada beton SCC (*Self Compacting Concrete*) untuk beton kuat tekan awal tinggi merupakan salah satu solusi yang baik. Sebagai alternatif, penggunaan CaCO₃ dan limbah kalsium karbida (CAC₂) yang merupakan limbah hasil pembakaran karbida yang bertujuan untuk mengurangi jumlah semen sehingga karbon dioksida yang dihasilkan lebih sedikit dan penggunaan limbah B3 PLTU yaitu Bottom Ash sebagai pengganti pasir untuk mengurangi biaya agregat halus. Penelitian beton SCGC ini menggunakan target kuat tekan lebih dari 15 MPa pada umur 1 hari yang mengacu pada perhitungan *mix design* dengan asumsi kuat tekan umur 28 hari sebesar 62,1 MPa dengan pembatasan penggunaan semen sebesar 350 Kg/m³. Penggunaan CaCO₃ dan limbah kalsium karbida (CAC₂) sebagai cement substitution serta Bottom Ash sebagai fine aggregate substitution. Hasil penelitian juga menunjukkan peningkatan efektivitas dalam pengurangan penggunaan semen 350 Kg/m³ dengan beton SCC normal K-600 sebagai perbandingan serta terbukti dapat meningkatkan kuat tekan awal pada umur 1 hari dengan memanfaatkan kandungan CaO yang tinggi pada *eco-friendly material* yang berperan pada reaksi pertama campuran yang berefek pada kuat tekan awal serta peran *Silicate Oxide* (SiO₂) yang berefek pada kuat tekan pertengahan beton SCGC ini. Ketercapaian beton SCGC dalam mengurangi emisi CO₂ tanpa mengabaikan kuat tekan yang dihasilkan, yaitu dibuktikan dengan kuat tekan 15 MPa tepat dapat dicapai dalam waktu 1 hari dan efektivitas produksi emisi CO₂ yang dihasilkan Beton SCGC memberikan perbedaan signifikan sebesar 26,58% jika dibandingkan dengan beton SCC normal K-600.

Kata Kunci: *Beton Kuat Tekan Awal Tinggi, CaCO₃, Limbah Karbit, Bottom Ash, Material Ramah Lingkungan.*

PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah yang kurang diperhatikan seperti di Indonesia menimbulkan banyak polusi, di sisi lain, negara berkembang ini sedang membangun sejumlah besar proyek infrastruktur untuk mengembangkan negara yang banyak menggunakan beton sebagai bahan struktur utama, dimana beton menyumbang berton-ton emisi karbon dioksida, pada proses pembakaran kimia dan *thermal* yang terlibat dalam produksi semen yang merupakan sumber emisi karbon dioksida (CO₂) yang besar. Setiap tahun, lebih dari 4 miliar ton semen diproduksi, menyumbang sekitar 8% emisi CO₂ global.

Self-Compacting Concrete (SCC) secara luas digunakan dalam industri konstruksi yang pada awalnya berasal dan diproduksi di Jepang pada akhir tahun 1980-an untuk memanfaatkan bahan dalam perkuatan yang sangat padat elemen struktur bangunan di area depan aksi seismik (*in front of seismic action*). Dibandingkan dengan beton normal, SCC mengembangkan kualitas tinggi dan meningkatkan produksi dan kondisi kerja, Penggunaan SCC dalam proyek konstruksi pada akhirnya membutuhkan lebih sedikit tenaga kerja terampil untuk pencampuran, penempatan, getaran dan pemadatan beton. Selain itu, dengan menggunakan SCC, mereka dapat mencapai struktur beton yang tahan lama dan lebih efisien.

Dalam persiapan dan pencampuran SCC, perlu menggunakan *plasticizer (water reducers)* untuk memastikan mobilitas yang tinggi dari campuran beton dan untuk mencegah segregasi campuran beton. *Superplasticizer* adalah *water reducing chemicals* dan sesuai namanya, fungsi utamanya adalah untuk mengurangi kadar air campuran beton dengan tetap mempertahankan kemampuan kerja yang konstan. efek yang dihasilkan dari berkurangnya kadar air dalam beton adalah peningkatan kekuatan dan daya tahan beton. (Wasiu Jhon dkk (2019)).

Fine powder diperlukan sebagai binder serta mengontrol homogenitas beton segar sehingga dapat memiliki sifat *easy-flowing* namun tetap memiliki *viscous properties*. Mengingat jumlah binder content yang cukup banyak dibutuhkan dalam SCC, dan harganya relatif lebih mahal dibandingkan dengan bahan penyusun lainnya, maka dengan ini perlunya mencari alternatif bahan lokal yang mudah didapat dan terjangkau.

SCGC adalah inovasi beton, yang mengambil prinsip prinsip dari *Self-Compacting Concrete (SCC)* yang dipadukan dengan konsep *Green Concrete* ramah lingkungan sehingga dalam aplikasinya dapat menghasilkan beton yang mempunyai workabilitas yang baik serta dapat mengalir (*flow*) dengan mudah tanpa adanya tambahan vibrator, serta ramah lingkungan karena menggunakan bahan tambah dari material buangan yang mempunyai efek untuk meningkatkan kualitas beton tersebut.

Kebutuhan terkait inovasi beton saat ini sangat diperlukan dikarenakan tingginya emisi karbon akibat banyaknya produksi semen, memaksa percepatan untuk inovasi dalam alternatif bahan yang terbarukan, berkelanjutan, serta ramah lingkungan sebagai campuran atau substitusi semen, alternatif inovasi material seperti CaCO_3 dan limbah karbit (CaC_2) yang memiliki kandungan CaO yang tinggi yang terbukti dapat meningkatkan kualitas beton itu sendiri dan meningkatkan nilai ekonomis serta ramah lingkungan menjadi pertimbangan penggunaan material tersebut dalam penelitian ini.

Jelas bahwa semen merupakan bagian yang signifikan dari biaya produksi beton, sehingga membatasi semen berpengaruh pada beton yang lebih murah, disamping itu inovasi pada mineral campuran tambahan dapat meningkatkan pengemasan partikel dan mengurangi permeabilitas beton, selain manfaat ekonomi yang akan diperoleh dari memanfaatkan produk sampingan atau bahan limbah ini dalam beton dapat meminimalisir pencemaran lingkungan dan meningkatkan daya tahan beton.

Inovasi optimalisasi terhadap efektivitas reaksi kimia untuk inovasi kuat tekan awal tinggi ini bertujuan untuk :

1. Menguji ketercapaian material dalam meningkatkan kuat tekan beton.
2. Menguji angka pengurangan emisi dan optimalisasi penggunaan bahan limbah.
3. Pengujian penggunaan Eco-friendly material dalam kualitas dan kemampuan kerja beton *Self-Compacting Green Concrete (SCGC)* ini.

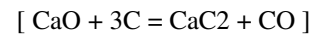
Namun, masih banyak keterbatasan dan ruang lingkup permasalahan yang harus diteliti lebih dalam seperti

ekuivalensi dan stabilitas kesesuaian reaksi kimia untuk mendapatkan hasil yang sama pada setiap pengujian.

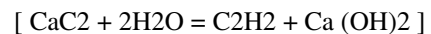
INOVASI BETON SCGC DENGAN ECO-FRIENDLY MATERIAL :

1. Material Limbah Karbit (CaC_2)

Material Limbah Karbit (CaC_2) adalah limbah B3 yang berasal dari industri pengelasan, yang dihasilkan dari reaksi air dengan kalsium karbida yang kemudian menghasilkan reaktor gas asetilena (C_2H_2). Bahan murni tidak berwarna, sedangkan potongan-potongan kalsium karbida tingkat teknis berwarna abu-abu atau coklat dan terdiri dari sekitar 80-85% CaC_2 (sisanya adalah CaO , Ca_3P_2 , CaS , Ca_3N_2 , SiC). Kalsium karbida diproduksi secara industri dalam tungku busur listrik dari campuran kapur dan *coke* (kokas) pada suhu sekitar 2.200°C (3.990°F). Ini adalah reaksi endotermik suhu tinggi untuk membuang kandungan karbon monoksida. Metode ini tidak berubah sejak ditemukan pada tahun 1892:



Limbah yang dihasilkan berupa bubuk yang terdiri dari 85-95% kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), sebagian kecil kalsium karbonat ($\text{CaCO}_3 = 1-10\%$), dan karbon yang tidak bereaksi serta silikat (1-3%). Secara umum, kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dari limbah karbida dihasilkan dari reaksi antara air (H_2O) dan kalsium karbida (CaC_2) sebagai:



Kandungan CaC_2 dari produk diuji dengan mengukur jumlah asetilena yang dihasilkan pada hidrolisis. Sebagai contoh, standar Inggris dan Jerman untuk kandungan fraksi yang lebih kasar masing-masing adalah 295 L/kg dan 300 L/kg (pada tekanan 101 kPa dan suhu 20°C (68°F)). Kotoran yang ada dalam karbida termasuk kalsium fosfida, yang menghasilkan fosfin ketika dihidrolisis. Kandungan Carbide Waste (*Damara, boby dan Zulfikar lubis. 2018*) :

Tabel 1.. Kandungan Kimia Limbah Karbit

Kandungan Kimia	Komposisi (dalam %)
SiO_2	4,3
Fe_2O_3	0,9
Al_2O_3	0,4
CaO	56,5
MgO	1,7
SO_3	0,06
<i>Loi (Lost on Ignition)</i>	36,1

Sumber : *Damara dkk. (2018).*

Mengenai pengaruh limbah karbit, pada dasarnya bahan ini menambah kuat tekan awal beton. Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai penambahan limbah karbit sebagai *binder content*, persentase optimum dari bahan ini

untuk ditambahkan sebagai *binder content* adalah 10%. Jika kita menambahkan limbah karbit sebagai partisi pengikat secara numerik di atas 10%, maka kuat tekannya akan menurun secara drastis. Dengan demikian, angka 10% limbah karbit sebagai partisi semen adalah pilihan yang tepat.

2. Material Bottom Ash

Penelitian mengenai pemanfaatan kembali bottom ash sebagai bahan konstruksi sedang gencar dilakukan oleh para peneliti. Penggunaan bottom ash sebagai bahan konstruksi telah membawa banyak manfaat bagi industri karena biayanya yang murah, kepadatannya yang rendah, dan kesesuaiannya untuk digunakan sebagai pengganti pasir galian alami atau agregat kasar alami yang membuatnya lebih berkelanjutan sebagai bahan konstruksi. (Kalyoncu dkk) telah melakukan penelitian dan menemukan bahwa ukuran *bottom ash* mirip dengan butiran kasar dan halus, material seperti pasir yang dikumpulkan dari dasar boiler berbahan bakar batubara. Sementara itu, sifat fisik dan kimia dari *bottom ash* memiliki sifat-sifat yang diinginkan sehingga cocok untuk digunakan dalam konstruksi teknik.

Dari investigasi laboratorium yang telah dilakukan oleh (Singh dan Siddique et.al), bottom ash batubara ditemukan sebagai material berwarna abu-abu gelap dengan bentuk partikel bersudut. Material ini juga merupakan material berpori yang tidak beraturan dan memiliki tekstur permukaan yang kasar.

Abu batu bara yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada suhu 1400-1500°C di stasiun pembangkit listrik tenaga panas menghasilkan abu dasar dengan ukuran yang berbeda yang dapat dibagi menjadi abu dasar halus dan kasar. Hal ini menunjukkan perbedaan jenis *bottom ash*. Abu Bakar et.al juga menemukan bahwa ukuran bottom ash selama uji analisis ayakan berada pada kisaran antara kerikil dan 0,59 pasir halus dengan persentase yang sangat rendah untuk partikel berukuran *silt-clay* yang lolos dari ayakan 75µm.

Tabel 2. Kandungan Kimia Bottom Ash

Kandungan Kimia	Komposisi (dalam %)
SiO ₂	33,70
Al ₂ O ₃	12,90
Fe ₂ O ₃	6,98
CaO	6,34
K ₂ O	1,19
TiO ₂	0,89
MgO	0,65
SO ₃	0,90
Na ₂ O	0,59
P ₂ O ₅	0,30
BaO	0,22

Sumber : Hauashdh, Ali dkk. (2020).

3. Material Kalsium Karbonat (CaCO₃)

Kalsium Karbonat (CaCO₃) ditemukan dalam batu kapur, mineral yang sangat serbaguna dan merupakan salah satu mineral yang paling melimpah di Bumi, sekitar

4% dari kerak Bumi. Selain menyediakan cara hemat biaya untuk menambahkan kalsium ekstra ke dalam barang-barang yang dapat dikonsumsi seperti vitamin untuk asupan kalsium dan antasida untuk pencernaan, kalsium karbonat juga digunakan untuk menetralkan senyawa asam dalam berbagai konteks. Selain itu, turunan kalsium karbonat digunakan secara luas dalam industri konstruksi, industri pertanian, dan industri semen. Kalsium karbonat juga memberikan jawaban yang tepat untuk mengurangi jejak karbon di bumi.

Tabel 3. Kandungan Kimia CaCO₃

Kandungan Kimia	Komposisi (dalam %)
CaO	55,76
SiO ₂	1,40
Al ₂ O ₃	0,70
Fe ₂ O ₃	0,17
MgO	0,10
SO ₃	0,91
LOI (Lost on Ignition)	40,60

Sumber : Wasiu john dkk (2019)

CaCO₃ merupakan bahan alami yang memiliki ukuran partikel yang lebih halus dibandingkan dengan partikel semen. Semen berfungsi sebagai pengikat pada beton dan sebagian dari pengikat tersebut dapat digantikan oleh *filler*. *Filler* adalah bahan yang sangat halus, dengan tingkat kehalusan yang hampir sama dengan semen. Hal ini meningkatkan pengemasan partikel beton dan memberikan efek *spacer*.

Beton dengan substitusi CaCO₃ memiliki tingkat *Absorption* yang lebih tinggi, yang meningkatkan kemampuan kerja beton tersebut. Air yang diserap oleh beton yang mengeras, lebih rendah untuk CaCO₃ karena analisis mikroskop menunjukkan porositas yang sangat rendah pada beton CaCO₃.

Dalam penelitian lain tentang uji sifat mekanik dilakukan pada beton CaCO₃ umur 3, 7 dan 28 hari, efek dari CaCO₃ akan membantu meningkatkan kekuatan awal, karena efek akselerator dan tingkat hidrasi yang tinggi yang mengeraskan beton lebih cepat.

METODE PENELITIAN

Perhitungan mix design menggunakan metode ACI (*American Concrete Institute*) dengan perencanaan kuat tekan 62,1 MPa pada umur 28 hari, sehingga perhitungan konversi kuat tekan pada umur 1 hari sebesar 15 MPa (referensi ACI-318). Penggunaan semen pada penelitian ini dibatasi dengan komposisi semen sebesar 350 kg/m³ yang bertujuan untuk mengurangi emisi karbon dan menjaga nilai ekonomisnya tetap kompetitif, sedangkan untuk material lainnya dilakukan penyesuaian pada *mix design* sesuai dengan perhitungan metode yang digunakan dan material yang digunakan dalam kondisi *Saturated Surfaced Dry (SSD)*.

Sebelum menggunakan semua material dalam komposisi beton, peneliti memastikan material yang digunakan memenuhi semua persyaratan sebagai material beton dengan melakukan uji bahan baku. Ada beberapa pengujian bahan baku yang peneliti lakukan untuk mendapatkan data-data material, seperti pengujian berat jenis, penyerapan air, dan kadar air. Berikut ini adalah sifat-sifat material yang akan digunakan dalam pembuatan mix design SCC seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 sebagai data uji material.

Tabel 4. Nilai Uji Data Material

Material	Berat Jenis (SG)	Presentase Absorpsi	Presentase Kelembapan
Agregat Halus	2,59	1,1%	4,5%
Agregat Kasar	2,76	1,76	2,87
Semen	3,15	N/A	N/A
CaCO ₃			
Limbah Karbit CaC ₂	3,1	N/A	N/A
Bottom Ash	3,07	N/A	N/A

Sumber : Hasil Pengujian *Experimental, Specific Gravity (SG), Percentage Absorption, and Percentage Moisture*.

Spesifikasi detail terkait material yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan di bawah ini :

1. Semen

Semen portland tipe 1 merek 'Semen Gresik' adalah jenis semen yang digunakan dalam penelitian ini. Semen jenis ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi beton tanpa adanya kondisi tertentu. Semen jenis ini cukup mudah ditemukan di toko bahan bangunan manapun.

2. Kalsium Karbonat (CaCO₃)

CaCO₃ digunakan sebagai *cement substitution* untuk mengurangi emisi karbon dioksida dalam penggunaan semen, dan juga sebagai *filler* karena ukuran partikelnya yang kecil dan memiliki kandungan CaO yang tinggi.

3. Limbah Karbit (CaC₂)

Limbah kalsium karbida digunakan sebagai *cement substitution* untuk mengurangi penggunaan semen serta pengurangan limbah karbida yang dihasilkan oleh pembakaran karbida

Tabel 5.Variasi Komposisi Mix Design (Kg/m³)

Material		Self Compacting Green Concrete							
		SCGC - 01	SCGC - 02	SCGC - 03	SCGC - 04	SCGC - 05	SCGC - 06	SCGC - 07	SCGC - 08
Semen OPC	(Kg/m ³)	350	350	350	350	350	350	350	350
Air	(Kg/m ³)	120	142	148	157	169	204	212	221
CaCO ₃	(Kg/m ³)	100	105	110	100	95	90	85	95
Limbah Karbit CaC ₂	(Kg/m ³)	25	25	25	25	25	25	25	25
Bottom Ash	(Kg/m ³)	15	15	15	15	15	15	15	15
Agregat Kasar	(Kg/m ³)	1000,24	1000,24	1000,24	1000,24	1000,24	1000,24	1000,24	1000,24
Agregat Halus	(Kg/m ³)	784,1	783	780,5	765	789,4	785	781	772
Superplasticizer	(Kg/m ³)	7	7	7	7	6,65	5,95	5,25	4,55
Total		2401,34	2427,24	2435,74	2419,24	2450,29	2475,19	2473,49	2482,79
w/b		0,25	0,30	0,31	0,33	0,36	0,44	0,46	0,47

Sumber : Pengolahan Data (2024)

4. Material Bottom Ash

Bottom ash digunakan sebagai pengganti pasir, Material bottom ash memiliki kepadatan isi yang rendah dan kecocokannya untuk digunakan sebagai pengganti pasir galian alam atau agregat kasar alam.

5. Agregat Halus

Pasir Lumajang adalah agregat halus yang digunakan dalam produksi beton ini. Pasir dibersihkan untuk menghilangkan kandungan lumpur sebelum digunakan untuk pencampuran untuk meningkatkan kekuatan tekan campuran.

6. Agregat Kasar

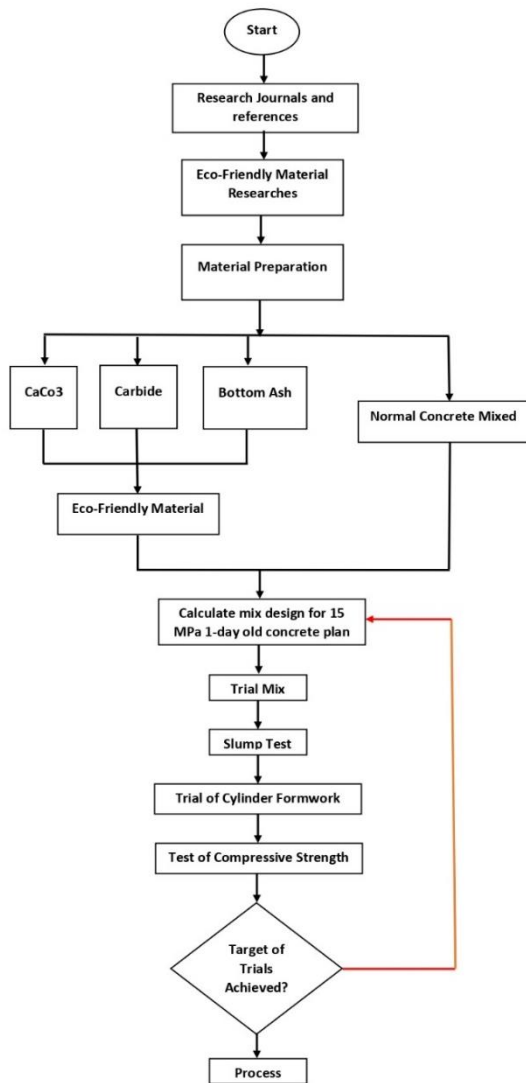
Agregat kasar yang digunakan adalah agregat dengan ukuran antara minimum 10 mm dan maksimum 20 mm.

7. Superplasticizer

Sika Viscocrete 1003 digunakan sebagai water reducer serta untuk meningkatkan workability dari campuran beton serta meningkatkan kuat tekan beton dan resiko dari bleeding dan segregasi. Selain itu, superplasticizer juga sangat penting dalam beton SCC, karena SCC menggunakan rasio air/pengikat yang rendah, maka diperlukan superplasticizer untuk meningkatkan kemampuan kerja beton agar dapat mengisi kekosongan lebih cepat dan juga memastikan beton berada dalam kondisi baik. Pada komposisi ini peneliti menggunakan jumlah optimum berdasarkan campuran percobaan kami, yaitu 1,47% dari berat bahan pengikat (*Binder Content*).

Uji beton dilakukan di laboratorium teknologi beton Universitas Dr. Soetomo. *Mixing* dilakukan berdasarkan referensi EN-206-1, ukuran silinder yang digunakan untuk cetakan beton segar adalah 15 cm x 30 cm. Setiap cetakan akan diisi dengan beton segar tanpa dilakukannya pemadatan manual dikarenakan memanfaatkan sifat flowability pada beton SCC.

Slump-flow test digunakan untuk menentukan "flowability" dengan mengacu pada EN 12350-2. Pada slump-flow test dapat diperoleh workabilitas beton berdasarkan penyebaran beton segar yang dinyatakan dengan besaran diameter yaitu antara 550-650 mm. Hasil campuran beton didiamkan di dalam cetakan silinder selama 24 jam, dan dilakukan resting selama 30 - 45 menit setelah cetakan dibuka sebelum dilakukan tes uji kuat tekan beton.



Gambar 1. (Flowchart) Diagram Alur Penelitian
Sumber : Peneliti

HASIL DAN PEMBAHASAN

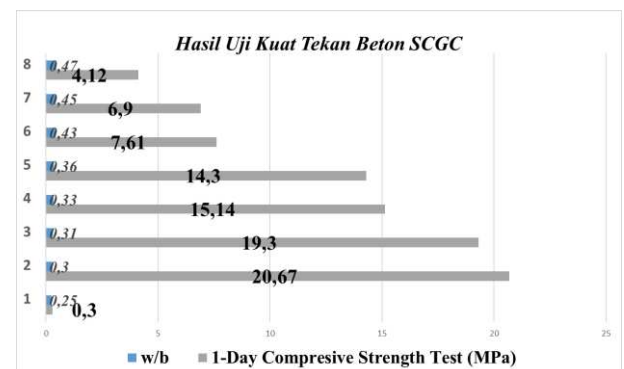
Penelitian ini menguji pada 8 sampel yang memiliki *mix design* w/b yang berbeda beda (benda uji silinder d:15cm t: 30cm, kuat tekan dalam MPa), hasil penelitian ditunjukkan pada tabel 6 berikut :

Tabel 6. Hasil Pengujian 8 Sampel Beton SCGC

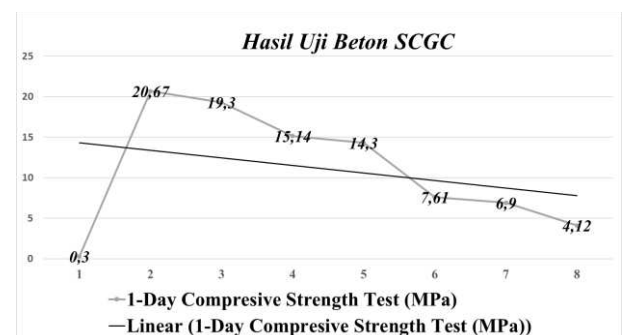
No	Kuat Tekan 1 Hari Rata Rata (MPa)	W/B (%)	Hasil Penelitian
1	0,3	0,25	Slump Not Good, Concrete Not Banded (w/b 0,25)
2	20,67	0,3	Very High Compressive Strength, Slump Not Good (w/b 0,3)

3	19,3	0,31	Very High Compressive Strength, Slump Not Good (w/b 0,31)
4	15,14	0,33	Slightly OK, Slump Good Compressive Strength Nearly Targeted (w/b 0,33)
5	14,3	0,36	Slightly OK, Slump Good Compressive Strength Nearly Targeted (w/b 0,36)
6	7,61	0,43	Very High Slump Compressive Strength Really Low (w/b 0,43)
7	6,9	0,45	Very High Slump Compressive Strength Really Low (w/b 0,45)
8	4,12	0,47	Very High Slump Compressive Strength Really Low (w/b 0,47)

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2024)



Gambar 2. Perbandingan w/b dengan Hasil Rata-Rata Kuat Tekan yang diperoleh
Sumber : Hasil Pengolahan Data (2024)



Gambar 3. Hasil Uji 1 Day Average Compressive Strength SCGC
Sumber : Hasil Pengolahan Data (2024)

Angka kuat tekan optimal yang dihitung untuk kuat tekan satu hari adalah 15,14 MPa dengan menggunakan metode numerik dan berbagai campuran percobaan dan dari penelitian ini didapatkan w/b 0,33

pengujian SCGC 0 adalah yang terbaik. Angka fcr akan menjadi sekitar ± 64 MPa jika kita mengkonversi kuat tekan awal ini menjadi kuat tekan 28 hari.

Kuat tekan 28 hari untuk beton yang memadat sendiri yang direncanakan adalah 62,1 MPa, dengan asumsi kuat tekan pada umur 1 hari adalah 15 MPa, oleh karena itu hasil ini secara umum sangat baik dan di atas rata-rata (*Referensi ACI-318*).

Perhitungan Emisi Karbon (*CO2 Emission Reduction*)

Tabel 7. Perhitungan Manual Emisi Karbon Dioksida (CO_2e)

1. Emisi karbon beton dengan pengaplikasian *Eco-friendly material* (/m³)

Material	Berat	Unit Emisi (CO ₂)	Nilai Emisi (KgCO ₂)
Semen	350	0,865	302,75
CaCO ₃	100	0,3	30
CaC ₂	25	0,02	0,5
Bottom Ash	15	0,095	1,425
Agregat Kasar	1000,24	0,05	50,012
Agregat Halus	765	0,075	57,375
Air	157	0	0
Superplasticizer	7	0,0001	0,0007
Total			442,063

2. Emisi karbon beton SCC K600 sebelum pengaplikasian *Eco-friendly material* (/m³)

Material	Berat	Unit Emisi (CO ₂)	Nilai Emisi (KgCO ₂)
Semen	584,3	0,865	505,4195
Agregat Kasar	1100,24	0,05	55,012
Agregat Halus	556,11	0,075	41,70825
Air	157	0	0
Superplasticizer	6,75	0,0001	0,000675
Total			602,140
% Efisiensi			26,58%

Dengan perhitungan emisi karbon yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *self compacting green concrete* (SCGC) dapat menjadi inovasi untuk mengubah

lingkungan menjadi lebih baik dengan hasil pengurangan emisi karbon hingga 26,58% seperti tabel di atas (*Referensi perhitungan data didapatkan dari data unit emisi dari paper dan jurnal terverifikasi dari penelitian Grbes (2015)*).

Perhitungan Biaya Material (*Cost Calculation of Material*)

Berikut hasil perhitungan harga material SCGC dan dibandingkan dengan beton SCC normal K600. Rekapitulasi material adalah sebagai berikut:

1. Rekapitulasi Biaya Material *Self-Compacting Green Concrete* (SCGC)

Tabel 8. Rekapitulasi Biaya Material *Self-Compacting Green Concrete* (SCGC)

Material	Komposisi (Kg/m ³)	Harga (Rp)
Semen	350	350.000
CaCO ₃	100	240.000
Bottom Ash	15	0
CaC ₂	25	0
Agregat Kasar	1000,24	180.043
Agregat Halus	765	149.175
Air	157	3.219
Superplasticizer	7	385.000
Total		1.307.436

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

2. Rekapitulasi Biaya Material Beton SCC Normal K600

Tabel 9. Rekapitulasi Biaya Material SCC Normal K600

Material	Komposisi (Kg/m ³)	Harga (Rp)
Semen	584,3	584.300
Agregat Kasar	1100,24	198.043
Agregat Halus	556,11	108.441
Air	157	3.219
Superplasticizer	6,75	371.250
Total		1.265.479

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

Penambahan Limbah Karbit (CaC₂) dan CaCO₃ sebagai Cementitious Cement dan Bottom Ash sebagai substitusi pasir, dimana pada penelitian beton ini hanya menggunakan semen yang tidak lebih dari 350 Kg/m³, dapat meningkatkan kuat tekan beton satu hari yang melebihi 15 MPa dan mendapatkan hasil nilai slump flow sekitar 550 mm.

Beton ini lebih ramah lingkungan dibandingkan beton biasa, yaitu 26,58% lebih baik dalam mengurangi emisi karbon dioksida. Hal ini dibuktikan dengan pengurangan semen dan digantikan dengan CaCO₃ dan Limbah Karbit sebagai bahan pengikat semen, dengan konsep ketika persentase semen per m³ berkurang maka

dampak emisi dan lingkungannya juga dipastikan berkurang.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Peningkatan kuat tekan yang terbukti ditunjukkan pada hasil penelitian bahwa SCGC 04 w/b 0,33 dengan komposisi bahan semen 350 kg/m³ dapat mencapai kuat tekan 15,14 mpa dalam 1 hari (24 jam), dengan perhitungan kuat tekan rencana pada umur 28 hari mencapai 62,1 MPa (99,1%). Selain peran material alternatif sebagai *cement substitute* hal tersebut dicapai karena penggunaan superplasticizer sebagai water reducer sehingga dengan sedikit water content dapat dicapai kuat tekan yang direncanakan namun hal tersebut akan berpengaruh pada workability beton sehingga harus dilakukan penyesuaian lanjutan.
2. Dalam penelitian SCGC ini membuktikan bahwa penggunaan substitusi semen dengan memanfaatkan material alternatif yang memiliki kandungan CaO tinggi seperti CaCO₃ dan Kalsium Karbida akan meningkatkan kuat tekan yang diperoleh karena peran CaO pada kedua material tersebut berpengaruh pada meningkatnya pengikatan semen (*Calcium Silicate Hydrate*) berhasil bereaksi dengan sangat baik.
3. Kinerja beton SCGC dapat menyentuh titik maksimalnya, dengan kemampuan workability beton SCGC itu sendiri, sehingga pengaruh pada hasil kuat tekan yang diperoleh dapat didasarkan pada tes slump flow nya, dalam penelitian ini workability beton SCGC yang optimal mendapatkan slump flow yang berkisar antara 550 mm sampai 650 mm.
4. Dengan semen yang dibatasi sebesar 350 kg/m³, Cement substitute dari CaCO₃ sangat berperan aktif meningkatkan kuat tekan awal beton dan juga sebagai filler pada beton. Pada penelitian lainnya CaCO₃ juga berperan dalam pengurangan emisi karbon dioksida.
5. Bottom Ash dengan ukuran partikel yang kecil ini, terbukti dapat difungsikan sebagai sand substitute dan juga sebagai filler. Dalam penelitian ini penggunaannya dapat lebih optimal setelah dilakukan penghalusan pada material bottom ash sebelum digunakan sebagai campuran beton.
6. Penggunaan limbah karbit sebagai *binder content* memberikan dampak kontribusi yang sangat baik pada banyak aspek. Dari sisi lingkungan, penggunaan material ini dapat mengurangi limbah karbit dan juga berpotensi mengurangi emisi karbon dari penggunaan semen portland. Selain itu, dari segi ekonomi, penggunaan limbah ini juga dapat mengurangi biaya akhir dari beton karena kita mensubstitusi penggunaan semen portland dan menggantinya dengan limbah karbit yang dapat diperoleh secara gratis dari tempat pembuangan limbah. Selain itu, dari segi sosial, penggunaan limbah ini sebagai bahan campuran beton dapat mengubah cara pandang masyarakat terhadap sampah, dan dapat menunjukkan kepada dunia, bahwa limbah khususnya limbah karbit, merupakan bahan yang masih berguna dan dapat berpengaruh pada lingkungan.

7. Pada Life Cycle Analysis (LCA), dilakukan perhitungan manual produksi carbon dioxide emissions dengan membandingkan beton LCGC dengan beton SCC normal K-600 berdasarkan data emission unit Grbes tahun 2015, diperoleh hasil peningkatan keefektifan dalam pengurangan emisi karbon dioksida sebesar 26,58% lebih baik, yang mana pengurangan emisi karbon merupakan parameter bahwa semakin rendah emisi karbon, maka semakin baik pula kualitas lingkungan hidup/ LCA nya.
8. Pada perhitungan Life Cycle Cost (LCC), Rekapitulasi menunjukkan bahwa pada perhitungan harga beton SCGC lebih besar Rp. 41.674,00 dibanding dengan Beton SCC normal K-600 akan tetapi jika melihat dari manfaat yang diberikan seperti:
 1. Peningkatan kuat tekan beton 1 hari
 2. Pengurangan emisi karbon dioksida
 3. Serta pemanfaatan limbah B3maka nilai tersebut layak untuk dipertimbangkan sebagai bentuk konkrit menjaga lingkungan, keberlanjutan dan mendukung infrastruktur hijau.

DAFTAR PUSTAKA

- EFNARC. (2002). (*European Federation of national trade associations representing producers and applicators of specialist building products*), *Specification and Guidelines for self- compacting concrete*, February 2002, Hampshire, U.K.
- American Concrete Institute. *Self-Consolidating Concrete*, ACI 237R-07
- EFNARC. (2002). *Specification and guidelines for self-compacting concrete. European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures*.
- Grbes, A. (2015). "A Life Cycle Assessment of Silica Sand; Comparing the Benefit Process". MDPI: Sustainability.
- Ali, Maisarah, Muhd Sufian Abdullah, and Siti Asmahani Saad, "Effect of Calcium Carbonate Replacement on Workability Mechanical Strength of Portland Cement Concrete", *Advanced Materials Research*, 1115(2015),137–41<<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1115.137>>
- Kalyoncu, R., and S. Rustu. 2002. "Coal combustion products-production and uses." In Proc., Coal Combustion By-products and Western Coal Mines: A Technical Interactive Forum. Carbondale, IL: Southern Illinois Univ.
- Anisa, Evelyn Anabela, Rahmad Afriansya, Julian Randisyah, and Pinta Astuti, "Studi Pemanfaatan Prekursor Fly Ash Lokal Pada Self Compacting Geopolymer Concrete (SCGC)", *Semesta Teknik*, 24.2 (2021), 111–19 <<https://doi.org/10.18196/st.v24i2.13075>>
- Fadiq Umar Rasyid, *Life Cycle Assessment Terhadap Emisi Karbon Pemanfaatan Fly Ash Dan Bottom Ash Sebagai Substitusi Material Konstruksi*, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, 2023.

- Damara, B., & Lubis, Z. (2018). "PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH B3 PADA KUAT BETON MUTU K-175". *Civilla : Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan*, 3(1), 100–107. <https://doi.org/10.30736/cvl.v3i1.216>
- Aprida, L. F., Dermawan, D., & Bayuaji, R. (2015). "Identifikasi Potensi Pemanfaatan Limbah Karbit dan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Alternatif Pengganti Semen". *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, 4(2), 13–16.
- Hauashdh, Ali & Radin Mohamed, Radin Maya Saphira & Jailani, Junaidah & Rahman, Junita. (2020). "Stabilization of Peat Soil Using Fly Ash, Bottom Ash and Portland Cement: Soil Improvement and Coal Ash Waste Reduction Approach". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 498. 012011. 10.1088/1755-1315/498/1/012011.
- Muthusamy, Khairunisa, Mohamad Hafizuddin Rasid, Gul Ahmed Johio, Ahmed Mokhtar Albshir Budiea, Mohd Warid Hussin, and Jahangir Mirza, "Coal Bottom Ash as Sand Replacement in Concrete: A Review", *Construction and Building Materials* 236 (2020) 117507 <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117507>>
- Singh, M. and Siddique, R. (2015) "Properties of Concrete Containing High Volumes of Coal Bottom Ash as Fine Aggregate". *Journal of Cleaner Production*, 91, 269-278. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.026>>
- M. Singh and R. Siddique, 2016, "Effect of coal bottom ash as partial replacement of sand on workability and strength properties of concrete," *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 620–630.
- Oyebisi, Solomon & Olutoge, Festus & Faithfulness, Bankole & Owamah, Hilary & Dike, Daniel. (2023). "Sustainability assessments of ternary mixed concrete: A cradle-to-gate analysis". *Materials Today: Proceedings*. 10.1016/j.matpr.2023.08.320.
- Widodo, Slamet, Faqih Ma'arif, Zhengguo Gao, and Maris Setyo Nugroho, "Use of Ground Calcium Carbonate for Self-Compacting Concrete Development Based on Various Water Content and Binder Compositions", *The Open Civil Engineering Journal*, 16.1 (2022), 1–8 <<https://doi.org/10.2174/18741495-v16-e2208180>>
- John, Wasiu, Agbawhe Okeoghene Oghenekume, and Tuleun Lawrence Zahemen, "The Effect of Calcium Carbonate Filler on Self-Compacting Concrete Using Different Aggregate Sizes", *European Journal of Engineering Research and Science*, 4.9 (2019), 9–16 <<https://doi.org/10.24018/ejers.2019.4.9.1485>>
- Manasseh, Joel, "Effect of Carbide Waste on the Properties of Rice Husk Ash Concrete", *Global Journal of Engineering Research*, 8.2 (2009), 57–65