

PENGARUH GROUND GRANULATED BLAST FURNACE (GGBF) SLAG SEBAGAI BAHAN TAMBAH SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Rano Noviana Anwar¹, Abdul Chalid², Chandra Afriade Siregar³
^{1,2,3} Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana

¹korespondensi : ranoanwar74@gmail.com

ABSTRAK

Beton adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia sesudah air. Permintaan konsumsi yang tinggi ini hanya dapat dipenuhi dengan produksi semen yang besar. Semen ialah bahan utama pembuatan beton, dan juga memberi kontribusi terhadap pencemaran udara terbesar. Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) atau Semen Slag yang merupakan produk dari pengolahan limbah produksi baja menjadi salah satu pilihan yang diminati karena proses produksi lebih ekonomis bila dibandingkan dengan Portland Cement (PC) atau semen biasa. Bahan terkandung yang mempunyai sifat cementitious ini berpeluang untuk menggantikan sebagian semen dalam campuran beton dengan tetap mempertahankan kelebihan sifat mekanis dari beton. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium terhadap benda uji yang telah direncanakan dengan komposisi penambahan semen slag sebesar 0%, 50%, dan 70% dari berat semen yang dibutuhkan dan pada umur 3, 7, 14, 28 dan 60 hari pada suhu ruangan. Sebagai benda uji beton acuan adalah dengan kuat tekan rencana ($f'c$) = 40 MPa. Penelitian dilaksanakan untuk mengetahui kemampuan semen slag pada beton melalui pengujian kuat tekan ($f'c$). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggantian sebagian semen dengan Semen Slag mengakibatkan penurunan kuat tekan pada semua umur beton.

Kata kunci : Kuat Tekan, PC, Beton, GGBFS

ABSTRACT

Concrete is the most used construction material in the world after water. This high demand for consumption can only be met with large cement production. Cement is the main ingredient for making concrete, and also contributes to the biggest air pollution. Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) or Cement Slag, which is a product of steel production waste processing, is one of the preferred choices because the production process is more economical when compared to Portland Cement (PC) or ordinary cement. The contained materials which have cementitious properties have the opportunity to replace some of the cement in the concrete mix while maintaining the advantages of the mechanical properties of the concrete. This research was carried out in the laboratory on test objects that had been planned with the addition of cement slag composition of 0%, 50% and 70% of the required weight of cement and at the age of 3, 7, 14, 28 and 60 days at room temperature. As a reference concrete test object is the design compressive strength ($f'c$) = 40 MPa. The research was carried out to determine the ability of slag cement in concrete through compressive strength testing ($f'c$). The test results show that partial replacement of cement with slag cement results in a decrease in compressive strength at all ages of concrete.

Keywords: Powerful Press, PC, Concrete, GGBFS

PENDAHULUAN

Beton adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia setelah air. Permintaan konsumsi yang tinggi ini hanya dapat dipenuhi dengan produksi semen yang tinggi. Dalam kondisi seperti ini, emisi CO₂ akan menyebabkan ketidakstabilan lingkungan,

dikarenakan siklus produksi, emisi, yang terus berjalan. Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS), adalah hasil produk sampingan dari limbah industri produksi baja dapat dimanfaatkan sebagai material pelengkap semen pada beton. Dengan digunakan bahan ini

akan lebih sedikit mengurangi dampak terhadap lingkungan.

Masalah lingkungan telah menjadi salah satu kekuatan pendorong dari banyaknya penelitian sejenis. Namun belum ada studi sistematis yang telah dilakukan untuk mengembangkan beton berkinerja tinggi dengan mengganti Semen Portland (PC) dengan Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) volume tinggi dan kemudian mengevaluasi sifat teknik dan efek lingkungannya ketika GGBFS terkandung dalam beton tersebut. Dari pernyataan tersebut diatas maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa besar Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) berkontribusi terhadap performa beton segar (*fresh concrete*) dan beton keras (*hardened concrete*)?
2. Berapa besar kuat yang mengandung GGBFS yang bisa dicapai pada umur awal beton terhadap kuat tekan beton normal ?

Maksud penelitian ini adalah untuk mempelajari kinerja semen slag pada beton melalui pengujian kuat tekan, dengan substitusi semen slag dalam berbagai persentase dibandingkan dengan beton normal.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui berapa besar Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) berkontribusi pada performa beton segar (*fresh concrete*) dan beton keras (*hardened concrete*).
2. Mengetahui berapa besar kuat tekan yang mengandung GGBFS yang bisa dicapai

pada umur awal beton bila dibandingkan dengan kuat tekan beton normal.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Bahan tersebut mulai digunakan sekitar awal abad ke-19 di Inggris dan kemudian di Prancis. Nama semen Portland (*Portland Cement*) diusulkan oleh Joseph Aspdin pada tahun 1824 karena campuran air, pasir dan batu-batuan yang bersifat pozzolan dan berbentuk bubuk ini pertama kali diolah di Pulau Portland [1].

Semen adalah adukan kapur untuk merekatkan batu bata yang dipakai untuk membuat beton, merekatkan batu bata [2].

Semen dalam pengertian secara umum adalah bahan yang mempunyai sifat *adhesive* dan *cohesive*, yang dapat digunakan sebagai bahan pengikat (*bonding material*), bersama-sama dengan batu kerikil dan pasir.

Beton

Awalnya, beton dibuat hanya dengan campuran tiga bahan yaitu semen, agregat, dan air, semennya adalah semen portland. Kemudian, untuk memperbaiki beberapa sifat beton, baik dalam keadaan segar maupun dalam keadaan mengeras, produk kimia dalam jumlah kecil ditambahkan ke dalam campuran. Campuran bahan kimia ini, sering disebut campuran sederhana. Belakangan, bahan lain yang bersifat anorganik, ditambahkan ke dalam campuran beton. Alasan penggunaan bahan-bahan ini biasanya karena perhitungan

ekonomis yang lebih murah daripada semen Portland.

Curing (Perawatan)

Untuk mendapatkan beton yang baik, penempatan campuran yang tepat harus diikuti dengan *curing* (perawatan) di lingkungan yang sesuai pada tahap awal pengerasan. *Curing* (perawatan) adalah prosedur yang digunakan untuk meningkatkan hidrasi semen, yang terdiri dari kontrol suhu dan pergerakan kelembaban dari dan ke dalam beton. Tujuan *curing* (perawatan) adalah untuk menjaga beton tetap jenuh, atau hampir jenuh.

Ada dua metode *curing* (perawatan) yang biasa digunakan, tergantung pada kondisi di lokasi, ukuran, bentuk, dan posisi bagian beton. Metode ini adalah perawatan basah dan perawatan membran.

Metode pertama adalah dengan menyediakan air yang dapat diserap oleh beton. Ini mensyaratkan bahwa permukaan beton harus terus menerus bersentuhan dengan air untuk jangka waktu tertentu, dimulai setelah permukaan beton tidak lagi rentan terhadap kerusakan. Kondisi seperti itu dapat dilakukan dengan cara penyemprotan terus menerus (genangan), atau dengan menutup beton dengan pasir atau tanah basah, serbuk gergaji atau jerami.

Metode kedua adalah pencegahan kehilangan air dari permukaan beton. Ini bisa disebut metode penghalang air. Teknik yang digunakan yaitu menutup permukaan beton dengan lembaran polietilen secara tumpang tindih,

diletakkan mendatar, atau dengan kertas bertulang.

Setting Time

Setting Time adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan pengerasan pasta semen. Secara garis besar, *setting time* adalah perubahan dari keadaan cair menjadi kaku.

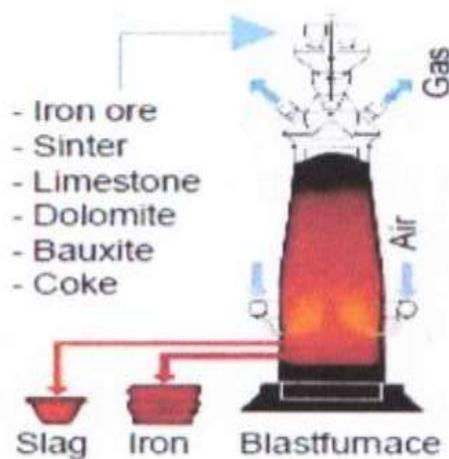
Beton dengan semen yang berbeda bahan

Sebelumnya telah dibahas beton yang mengandung berbagai bahan semen. Alasannya adalah hingga saat ini semen Portland dianggap sebagai yang 'terbaik'. Ketika bahan lain, terutama *fly ash* dan GGBFS, diperkenalkan, keduanya dipandang sebagai pengganti atau pengganti sebagian semen, dan pengaruh serta kinerjanya dibandingkan terhadap standar beton yang hanya mengandung semen Portland.

Keuntungan Menggunakan GGBFS

Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS), atau yang selanjutnya disebut semen Slag, merupakan Green Cement hasil sampingan pengolahan Granulated Blast Furnace Slag (GBFS) yang merupakan limbah dari produksi industri baja [3]. Blast Furnace Slag terbentuk ketika bijih besi atau pelet besi, kokas dan fluks (baik batu kapur atau dolomit) dilebur bersama dalam tanur tinggi (blast furnace). Ketika proses peleburan metalurgi selesai, kapur dalam fluks secara kimia telah bereaksi dengan alluminat dan biji silikat dan abu kokas untuk membentuk produk non logam yang disebut Blast Furnace Slag[3]. Granulated Blast Furnace Slag (GBFS) diperoleh dengan cara mendinginkan Blast Furnace Slag dari

tanur tiup oleh air atau uap, untuk menghasilkan produk granular yang mengandung komponen silika dan selanjutnya dikeringkan. GBFS ini selanjutnya di haluskan menggunakan *Raw Milling Machine*, setelah diayak dan melalui proses penyaringan menghasilkan semen Slag[3]. GGBFS diperoleh dengan cara menggiling (*grinding*) material GBFS dengan vertical Mill atau horizontal Mill [4].



Gambar 1: Diagram Proses Produksi GBFS

Beton yang dibuat dengan semen GGBFS memiliki kekuatan tekan dan lentur jangka panjang yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton PC dan hasilnya bervariasi untuk berbagai berdasarkan kondisi curing (perawatan), pada proporsi campuran, dan usia pengujian.

Kuat tekan campuran beton yang mengandung GGBFS meningkat seiring dengan peningkatan kadar GGBFS namun setelah titik optimum yaitu 55% dari total kandungan bahan pengikat, penambahan GGBFS lebih lanjut tidak meningkatkan kuat tekan beton. Peningkatan kekuatan lambat pada beton yang mengandung GGBFS karena reaksi pozzolan lambat dan

bergantung pada ketersediaan kalsium hidroksida [5].

Dalam penelitian ini, pengaruh penggantian sebagian semen dengan GGBFS terhadap sifat teknik beton dalam kondisi *curing* (perawatan) yang berbeda telah dipelajari. Penggunaan GGBFS pada beton cenderung memperlambat kekuatan awal, yang membatasi penggunaannya pada konstruksi jalur cepat dan beton pasca-tegangan yang dibebani. Hingga beban awal yang tinggi. Kekuatan beton usia dini yang mengandung GGBFS dapat ditingkatkan yaitu dengan mengurangi rasio air /semen.

Kuat Tekan

Kuat tekan beton ialah kemampuan beton keras untuk menahan gaya tekan dalam setiap satu satuan luas permukaan beton. Secara teoritis, kuat tekan beton dipengaruhi oleh kekuatan komponen - komponennya seperti; a) pasta semen, b) volume rongga, c) agregat, dan d) interface (hubungan antar muka) pasta semen dengan agregat [6]. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton adalah:

- Nilai faktor air semen. Untuk memperoleh beton yang mudah dikerjakan, dibutuhkan faktor air semen minimal 0,35. Apabila terlalu banyak air yang digunakan, akan berakibat kualitas beton menjadi kurang baik. Jika nilai faktor air semen lebih dari 0,60, juga akan berakibat kualitas beton yang dihasilkan menjadi kurang baik.
- Rasio agregat - semen. Semen berbentuk pasta berfungsi sebagai perekat butir - butir agregat, sehingga semakin besar rasio

agregat - semen mengakibatkan semakin buruk kualitas beton yang dihasilkan, karena jumlah pasta semen yang menyelimuti agregat menjadi berkurang [7].

- Derajat kepadatan. Semakin baik dalam cara pemadatan beton segar, akan semakin baik juga kualitas yang dihasilkan. Pemadatan di lapangan biasa dilakukan dengan potongan besi tulangan diameter 16 mm yang ditumpulkan, atau dengan alat bantu berupa vibrator.
- Umur beton. Bertambahnya umur beton, akan semakin meningkat pula kuat tekan beton. Pada umumnya, pelaksanaan di lapangan, perancah dapat dilepas setelah berumur 14 hari, dan beton dianggap mencapai kuat tekan 100% pada umur 28 hari.
- Cara perawatan. Beton yang dilakukan perawatan di laboratorium adalah dengan cara perendaman, sedangkan di lapangan dilakukan dengan cara perawatan lembab (menutup beton dengan karung basah) selama 7- 14 hari.
- Jenis Semen. Semen tipe I akan bereaksi lebih cepat daripada PPC. Semen tipe I akan mencapai kekuatan 100% pada umur 28 hari, sedangkan PPC biasanya mencapai kekuatan 100% pada umur 90 hari.
- Jumlah semen. Semakin banyak jumlah semen yang digunakan, semakin baik kualitas beton yang akan dihasilkan, karena pasta semen yang berfungsi sebagai material pengikat jumlahnya cukup untuk

menyelimuti seluruh permukaan agregat yang digunakan.

- Kualitas agregat. Kualitas agregat meliputi: a) gradasi, b) tekture permukaan, c) bentuk, d) kekuatan, e) kekakuan, dan f) ukuran maksimum agregat.

Dalam Prosedur pengujian kuat tekan beton di Indonesia dilakukan dengan mengacu [8].

Faktor- faktor yang mempengaruhi terhadap kuat tekan beton adalah faktor air semen, umur beton, jenis semen, jumlah semen, sifat agregat. Kuat tekan beton sendiri dihitung berdasarkan besarnya beban perasatuan luas, pada persamaan berikut :

$$f_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

f_c = kuat tekan beton (Mpa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)



Gambar 2: Alat uji kuat tekan dan Benda Uji Tekan

Hipotesis Penelitian

Berdasarkan literatur, penelitian terdahulu dan kerangka pemikiran yang dikaji oleh penulis, maka hipotesis penelitian ini adalah terjadi penurunan kuat tekan pada penggantian

sebagian (*substitusi*) semen (beton dengan campuran 40 -50% GGBFS, dan beton dengan campuran 60 - 70% GGBFS) dibandingkan dengan beton murni (0% GGBFS) berdasarkan umur beton.

METODE

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Sangga Buana (USB) YPKP Bandung. Material pengganti komposisi sebagian semen yang digunakan adalah Ground Granulated Blast Furnace (GGBF) Slag dengan persentase campuran yang digunakan adalah 50%, dan 70%. Pengujian yang dilakukan adalah terhadap Kuat Tekan dan Sifat Beton Segar. Benda uji yang digunakan adalah kubus dengan ukuran 150 mm. Total sampel adalah 45 benda uji. Analisis yang dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengujian kuat tekan dan sifat beton segar dengan beton acuan adalah beton normal kuat tekan $f_c'40$ Mpa.

Pada penelitian ini proporsi campuran dengan perbandingan air-semen sebesar 0.4, kuat tekan beton direncanakan dengan nol persen GGBFS dengan rencana tekan sebar 40 MPa bahkan akan lebih besar pada umur beton lebih dari 14 hari. Spesimen direndam dalam air selama sebelum pengetesan dibuat pada suhu air lebih kurang 27°C.

Metode Pelaksanaan

1. Peralatan Membuat Spesimen

- Timbangan
- Sendok Semen (Towel)
- Ember
- Besi Pematik (Tamping rod)

- Cetakan besi berbentuk Kubus
- Concrete Mixer (Molen)

2. Persiapan Bahan Spesimen

- 1) Semen Portland Biasa (OPC). Dalam penelitian ini digunakan semen Portland biasa kelas I dengan merk “Tiga Roda” telah tersertifikasi oleh pemerintah SNI-2049-2015 [9]. Berat jenis semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3.15 ton per m³.
- 2) Agregat kasar ukuran maksimum yang digunakan adalah 20 mm, agregat kubus atau bulat bergradasi baik. Kualitas agregat harus seragam sehubungan dengan bentuk dan gradasi yang sesuai dengan SNI 2493:2011[7]. Berat jenis agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2,8 mm.
- 3) Agregat halus yang digunakan di seluruh pekerjaan ini harus melewati ukuran saringan 4.75 mm yang sesuai dengan SNI 2493:2011[7]. Berat jenis agregat halus yang digunakan adalah 2.6 mm.
- 4) Air yang digunakan adalah yang tersedia di laboratorium.
- 5) Bahan Tambah GGBFS adalah produk sampingan dari industri pembuatan baja dan merupakan serbuk halus dari terak besi. Pemanfaatan produk sampingan ini sebagai cara menyelamatkan lingkungan dengan memanfaatkan produk tanpa membuangnya ke tanah. Penggunaan GGBFS ini akan mengatasi masalah pencemaran di lingkungan. GGBFS yang

digunakan adalah produk PT. KRAKATAU SEMEN INDONESIA (KSI) sesuai dengan SNI 6385:2016[10]. Rata-rata sifat fisika dan kimia semen dan GGBFS bisa dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1: Rata-rata Sifat Fisik dan Kimia Semen dan GGBF Slag Produk PT. Krakatau Semen Indonesia (KSI)

Deskripsi Tes Analisis	Portland Cement Cap "TIGA RODA" (%)	GGBF Slag Krakatau Steel (%)
Berat Jenis	3.28	2.90
Surface Area (m ² /Kg)	314	420
Kalium Oksida (CaO)	62.5	45.2
Deskripsi Tes Analisis	Portland Cement Cap "TIGA RODA" (%)	GGBF Slag Krakatau Steel (%)
Silikon Oksida (SiO ₂)	20.20	34.8
Alumunium Oksida (Al ₂ O ₃)	5.7	14.79
Sulfur Oksida (SO ₃)	1.8	1.74
Ferri Oksida (Fe ₂ O ₃)	3	1.34
Magnesium Oksida (MgO)	2.6	0.99
Kalium Oksida (K ₂ O)	0.87	0.38

Mangan Oksida (MnO)		0.25
LOI	2.7	0.22

Persiapan Spesimen dan Curing

1. Uji pendahuluan pertama dilakukan pada agregat halus, agregat kasar dan semen. Pengujian tersebut meliputi distribusi ukuran partikel agregat halus dan agregat kasar, berat jenis semen, berat jenis agregat halus, berat jenis agregat kasar, sesuai SNI-03-2834-2000 [11].
2. Agregat halus, agregat kasar, air, dan semen ditimbang sesuai dengan kebutuhan volume benda uji dan apabila menggunakan bahan tambah GGBFS sebagai pengganti semen ditimbang berdasarkan presentase berat sebagai pengganti semen. Karena perbandingan air-semen 0.4 kemungkinan akan terjadi *unworkability* maka perlu ditambah Super Plasticizer sebanyak 0.7% dari berat semen.
3. Setelah data pengujian bahan diperoleh, desain campuran beton untuk rencana kuat tekan 40 MPa dengan perbandingan air-semen sebesar 0.4 dibuat dengan menggunakan kubus ukuran 150 x 150 x 150 mm. Tiga set kubus dicor untuk pengecoran beton grade 40 MPa. Sampel kubus polos dicuring selama 3, 7, 14, 28, dan 60 hari dalam tangki air. Proporsi campuran untuk masing-masing spesimen seperti terlihat pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2: Proporsi Campuran terdiri dari Semen, GGBF Slag, Agregat Kasar, Agregat Halus

Tip e	W/ B	Sem en (Kg)	GGB FS (Kg)	Air (Kg)	Agr Hal us (Kg)	Agr Kas ar (Kg)
Slag 0%	0,4	520	0	210	670	1005
Slag 50%	0,4	260	260	210	670	1005
Slag 70%	0,4	156	364	210	670	1005

- Cetakan besi untuk ukuran kubus 150 x 150 x 150 mm disiapkan, dikeringkan, dibersihkan, cetakan dipasang atau dikunci secara benar dan rapat supaya tidak terjadi kebocoran, setelah itu diberi minyak pelumas. Campuran beton yang telah diaduk dimasukkan kedalam cetakan dengan dua lapis, masing-masing lapis dipadatkan dengan tangan melalui besi batangan ukuran 25 x 25 x 300 mm sebanyak 25 kali. Setelah selesai diratakan dengan sendok semen. Pada bagian atas ditutup dengan plastik. Spesimen dibuat dengan suhu ruang laboratorium. Spesimen pada penelitian ini yang akan dibuat seperti pada Tabel 3 dibawah ini :

Tabel 3: Ukuran Specimen Kuat Tekan Beton

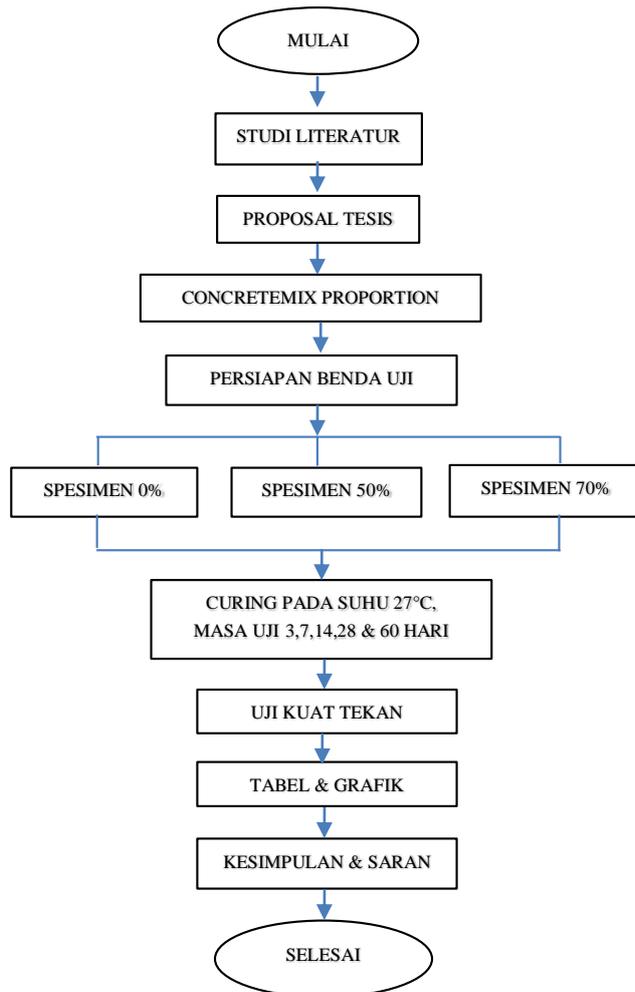
No	Ukuran Benda Uji (mm)	% GGBFS	Umur Uji (Hari)	Water Curing
1	150 x 150 x 150	0	3,7,14,28 dan 60	27°C
2	150 x 150 x 150	50	3,7,14,28 dan 60	27°C
3	150 x 150 x 150	70	3,7,14,28 dan 60	27°C

- Setelah spesimen di cetak keesokan harinya cetakannya dibuka. Sebelum melakukan perendaman (*curing*) dalam air, spesimen ditandai, nama spesimen, pemilik, dan tanggal dan diletakan secara terpisah dan dipastikan spesimen tetap terendam.

Pengujian Spesimen

- Peralatan pengujian kuat tekan dipastikan sudah dikalibrasi, kecepatan tekan bisa disesuaikan dengan ukuran spesimen supaya tidak terjadi kejut sehingga hasil uji spesimen bisa dipertanggungjawabkan.
- Spesimen yang akan dites dipastikan permukaan yang kontak langsung dengan bidang pelat pada mesin tekan harus rata supaya tidak terjadi konsentrasi tekan pada titik tertentu agar hasilnya tidak mengalami penyimpangan.
- Pada tahap pengujian dirancang untuk menyelidiki kekuatan beton GGBFS dengan mengganti 50%, dan 70% semen dengan

GGBFS. Tiga set kubus dicor dan diuji kuat tekannya untuk grade 40 MPa. Kekuatan tekan pada 3,7, 14, 28 dan 60 hari perawatan pada suhu 27°C. Pada tahap akhir perbandingan kekuatan beton GGBFS dan campuran beton normal yang telah dilakukan ditabulasikan dan dibuat grafik.



Gambar 3: Bagan Alir Metode Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persiapan dan Curing Spesimen

Spesimen disiapkan untuk pengujian dan dapat dibagi menjadi dua ukuran cetakan:

- 1) Spesimen kubus 150 mm dicor dalam cetakan baja. Penempatan dilakukan dua

lapis, masing-masing lapis dipadatkan dengan besi sebanyak 25 kali. Segera setelah pemadatan, kelebihan beton dibuang dan permukaan atas diratakan diratakan dan dihaluskan dengan menggunakan trowel. Untuk mengurangi penguapan, bagian atas kubus yang terbuka ditutup dengan karung goni basah. Spesimen dibuka dari cetakan setelah 24 jam dan ditandai untuk identifikasi selanjutnya diikuti dengan perendaman langsung dalam air pada suhu 27°C. Spesimen ini diuji selama 3, 7, 14, 28, dan 60, hari. Spesimen dicor untuk diuji permeabilitas, absorpsi dan porositas Gambar 4.2 - 4.5 menunjukkan spesimen dicor dalam kubus dan silinder dan bak pengawetan spesimen.

2. Uji kuat tekan dilakukan dengan menggunakan mesin uji CTM (*Compressive Testing Machine*) yang beroperasi pada laju pembebanan konstan 2 - 4 kN/s SNI 03-1974:1990[8]. Spesimen yang diawetkan dalam air dikeluarkan dari wadah dan ditutup dengan penutup tisu basah untuk mempertahankan kelembaban sebelum pengujian. Ujung-ujungnya dikeringkan dan ditempatkan di mesin uji pada suhu kamar dalam keadaan jenuh. Kuat tekan yang dihasilkan merupakan hasil rata - rata dari tiga sampel untuk tiap variabel yang berbeda.

Hasil Pengujian Spesimen

Hasil pengujian spesimen untuk beton normal, spesimen dengan substitusi sebesar 50% GGBFS dan substitusi GGBFS 70% ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4: Hasil Kuat Tekan Beton GGBFS
0%, 50%, dan 70% Terhadap Umur Beton**

Umur Beton (hari)	Kuat Tekan Beton (Mpa)		
	(S-0% GGBFS)	(S-50 % GGBFS)	(S-70 % GGBFS)
3	32.59	28.97	25.82
7	34.49	32.58	28.90
14	37.81	36.75	33.71
28	42.73	42.12	38.66
60	45.68	45.38	41.27

**Gambar 4: Hubungan antara Kuat Tekan dan Umur Beton**

Hasil pengujian kuat tekan yang dijelaskan pada bagian 4.3 pada benda uji beton dengan substitusi sebagai pengganti semen sebesar 0%, 50% dan 70% GGBFS yang dicuring dalam air pada suhu 27°C ditunjukkan pada tabel 4. Pengujian dilakukan pada beton umur benda uji berkisar antara tiga hari sampai dua bulan atau enam puluh hari.

Pada gambar 4 spesimen pada umur 3 hari menunjukkan bahwa kuat tekan beton mengandung GGBFS 50% sebesar 28.97 MPa, dan GGBFS 70% mencapai sebesar 25.82 MPa,

kuat tekannya lebih rendah dari beton GGBFS 0% sebesar 32.59 MPa. Pada umur 7 hari hasil yang terendah pada spesimen beton dengan GGBFS 70% sebesar 28.90 MPa diikuti oleh beton dengan GGBFS 50% sebesar 32.58 MPa, sedangkan beton normal masih menghasilkan mutu tertinggi yaitu sebesar 34.49 MPa.

Pada gambar terlihat juga bahwa spesimen dengan GGBFS 50% mengalami kenaikan yang signifikan dalam seminggu jika dibandingkan dengan beton normal, dengan demikian sudah bisa dibandingkan pada umur beton 7 hari terhadap spesimen dengan GGBFS 0%. Sampel beton dengan GGBFS 50% dan beton GGBFS 70% pada Gambar menunjukkan bahwa tingkat awal hidrasi beton yang mengandung GGBFS lebih lambat jika dibandingkan dengan GGBFS 0%. Ini bisa dipahami bahwa proses hidrasi pada beton yang disubstitusi dengan GGBFS akan mengalami proses hidrasi yang lambat karena klinker membebaskan kalsium dan alkali, sehingga mempengaruhi tingkat hidrasi pada usia dini klinker komposit semen dan GGBFS. Hal ini membuktikan bahwa semen mengandung GGBFS membutuhkan pemicu (*trigger*) berupa semen PC untuk mengaktifkan proses hidrasinya [3].

Pada umur 14 hari, kekuatan tertinggi dicapai oleh beton GGBFS 0% sebesar 37.81 MPa diikuti oleh spesimen GGBFS 50% dengan 36.75 MPa. Sampel yang menghasilkan kuat tekan yang rendah adalah GGBFS 70% yaitu sebesar 33.71 MPa. Pada Gambar menunjukkan bahwa pengembangan beton GGBFS 50% setelah berumur seminggu menunjukkan

perkembangan yang signifikan dan bisa dibandingkan dengan beton tanpa GGBFS yang dicuring pada 27°C.

Pada umur 28 hari beton yang mengandung GGBFS 0% mencapai kekuatan tertinggi dengan 42.73 MPa diikuti oleh beton yang mengandung GGBFS 50% sebesar 42.12 MPa dan terendah dicapai oleh beton dengan GGBFS 70% sebesar 38.66 MPa. Dari hasil pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa beton GGBFS 50% sudah bisa dibandingkan (*comparable*) dengan beton normal yang dicuring dengan suhu 27°C.

Pada umur 60 hari beton dengan GGBFS 70% menghasilkan kuat beton terendah sebesar 41.27 MPa sedangkan mutu beton tertinggi dihasilkan oleh GGBFS 0% atau beton normal sebesar 45.68 MPa kemudian diikuti oleh beton GGBFS 50% mencapai nilai kekuatan sebesar 45,38 MPa.

Dari Gambar menunjukkan bahwa penggunaan porsi besar sebagai pengganti semen dengan GGBFS 70% memperlihatkan trend yang menurun dalam kuat tekan beton dan sudah tidak bisa dibandingkan lagi dalam performa untuk daya dukung beton pada perencanaan konstruksi.

Hipotesis

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, pengujian hipotesis hasil penelitian adalah sebagai berikut :

(a) Pengaruh penggantian sebagian (*substitusi*) semen dengan komposisi 50% semen GGBFS diperoleh kuat tekan

terhadap umur beton berdasarkan tabel 4 adalah kuat tekan beton pada umur beton 3 hari sebesar 28,97 Mpa atau lebih rendah dari kuat beton normal (acuan) yaitu sebesar 32,59 Mpa, kuat tekan beton pada umur beton 7 hari sebesar 32,58 Mpa lebih rendah dari kuat tekan beton normal (acuan) sebesar 34,49 MPa, kuat tekan beton pada umur beton 14 hari sebesar 36,75 Mpa lebih rendah dari kuat tekan beton normal (acuan) sebesar 37,81 Mpa, kuat tekan beton pada umur beton 28 hari sebesar 42,12 Mpa lebih rendah dari kuat tekan beton normal (acuan) sebesar 42,73 Mpa dan kuat tekan beton pada umur beton 60 hari sebesar 45,38 Mpa lebih rendah dari kuat tekan beton normal (acuan) sebesar 45,68 Mpa.

Berdasarkan pengujian tersebut pada umur beton 3, 7, 14, 28 dan 60 hari penggantian sebagian semen dengan campuran slag 50% tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton meskipun memiliki trend semakin naik dan mendekati. Hasil ini sesuai dengan hipotesis yang disampaikan.

(b) Pengaruh penggantian sebagian (*substitusi*) semen dengan komposisi 70% semen GGBFS diperoleh kuat tekan terhadap umur beton berdasarkan tabel 4 adalah kuat tekan beton pada umur beton 3 hari sebesar 25,82 Mpa lebih rendah dari kuat beton normal (acuan) sebesar 32,59 Mpa, kuat tekan beton pada umur beton 7 hari sebesar 28,90 Mpa lebih rendah dari kuat tekan beton normal (acuan) sebesar

34,49 MPa, kuat tekan beton pada umur beton 14 hari sebesar 3,71 Mpa lebih rendah dari kuat tekan beton normal (acuan) sebesar 37,81 Mpa, kuat tekan beton pada umur beton 28 hari sebesar 38,66 Mpa lebih rendah dari kuat tekan beton normal (acuan) sebesar 42,73 Mpa dan kuat tekan beton pada umur beton 60 hari sebesar 41,27 Mpa lebih rendah dari kuat tekan beton normal (acuan) sebesar 45,68 Mpa.

Berdasarkan pengujian tersebut pada umur beton 3, 7, 14, 28 dan 60 hari tidak terdapat pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton. Hasil ini sesuai dengan hipotesis yang disampaikan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji dan analisis data yang dihasilkan maka diperoleh kesimpulan, terkait dengan pengaruh suhu *curing* umumnya beton pada semua tingkat penggantian GGBFS berperilaku mirip dengan spesimen beton tanpa GGBFS (beton normal). Sedangkan laju pengembangan kekuatan, besarnya pengembangan kekuatan maksimum yang dicapai, dan waktu pencapaiannya sangat tergantung pada suhu *curing*, kondisi *curing*, GGBFS sebagai pengganti semen, dan rasio pasta semen pada benda uji beton.

Nilai kekuatan beton yang mengandung GGBFS pada usia dini cenderung lebih rendah dibandingkan dengan spesimen beton *control* (normal), terutama pada tingkat penggantian semen yang lebih besar oleh GGBFS.

Spesimen yang mengandung GGBFS dan *curing* pada suhu yang lebih tinggi atau diekspose pada tempat yang terbuka akan menghasilkan nilai kekuatan yang lebih tinggi. Penggunaan GGBFS 50% sebagai bahan substitusi pengganti semen pada umur uji beton 60 hari masih bisa dibandingkan dengan beton normal, penggunaan porsi besar sebagai pengganti semen dengan GGBFS 70% memperlihatkan trend yang menurun dalam hal kuat tekan beton dan sudah tidak bisa dibandingkan lagi terhadap beton normal. Hasil ini sesuai dengan hipotesis yang disampaikan.

Pengembangan kekuatan beton menggunakan GGBFS akan tergantung pada sejumlah besar faktor termasuk sifat dan proporsi GGBFS, semen Portland, dan bahan beton lainnya, juga suhu *curing*, dan pendukung *curing*nya seperti suhu panas yang akan mempercepat proses hidrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Mulyono, *Teknologi Beton*, 2nd Ed. Yogyakarta: Andi, 2003.
- [2] "Kamus Besar Bahasa Indonesia (Kbbi)," *Online*, 2018.
- [3] B. H. Setiadji, H. Dewabrata, H. Ay Lie, And S. A. P. Subagyo, "Studi Penggunaan Semen Slag Sebagai Substitusi Semen Portland Pada Beton," *Siklus J. Tek. Sipil*, Vol. 6, No. 2, Pp. 117–128, 2020, Doi: 10.31849/Siklus.V6i2.4595.
- [4] "Aplikasi Material Ggbfs Pada Infrastruktur Ramah Lingkungan Berperforma Tinggi," Cilegon, 2020.
- [5] A. Oner And S. Akyuz, "An Experimental Study On Optimum Usage Of Ggbs For The Compressive Strength Of Concrete," Vol. 29, No. 6, Pp. 505–514, 2007, Doi:

- <https://doi.org/10.1016/j.cemconcom.2007.01.001>.
- [6] K. Tjokrodinuljo, *Teknologi Beton*, 1st Ed. Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gajah Mada, 2007.
- [7] B. S. Nasional, *Sni 2493 : 2011*. 2011. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [8] Sni 03-1974, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. 1990.
- [9] Badan Standarisasi Nasional Indonesia, *Sni 2049-2015. Semen Portland. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta*. 2015.
- [10] Sni 6385:2016, *Sni 6385:2016 Spesifikasi Semen Slag Untuk Digunakan Dalam Beton Dan Mortar Standard Specification For Slag Cement For Use In Concrete And Mortars (Astm C989 – 10, Idt)*. 2016. [Online]. Available: <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/9989-sni63852016>
- [11] Sni 03-2834-2000, *Sni 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. 2000.