

Studi Penggunaan Semen Slag sebagai Substitusi Semen Portland pada Beton

by Bagus Hario Setiadji

Submission date: 14-Oct-2021 02:15AM (UTC+0700)

Submission ID: 1673073865

File name: 4595-Article_Text-14817-1-10-20201004.pdf (1.41M)

Word count: 5243

Character count: 28768

**Studi Penggunaan Semen Slag sebagai Substitusi
Semen Portland pada Beton**

Bagus Hario Setiadji^{*1}, Hariadi Dewabrata², Han Ay Lie³, Sie Alexander P. S.⁴

^{1,3}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²PT Jaya Konstruksi, Jakarta, Indonesia

⁴PT Wiswakharman, Konsultan Perencana, Semarang, Indonesia

Jl. Prof Soedarto, SH., Tembalang, Semarang. 50275, Telp: (024)7474770, Fax: (024)7460060

Submitted : 23, Juli, 2020;

Accepted: 3, September, 2020

Abstrak

Era kini ditandai dengan penekanan pada konsevasi energi, beton ramah lingkungan dan beton hijau. Semen merupakan bahan utama pembentuk beton, dan juga penyumbang pencemaran udara terbesar di antara bahan penyusun material tersebut. *Semen slag* atau *Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS)* yang merupakan hasil pengolahan limbah industri baja menjadi salah satu alternatif yang diminati karena proses produksi dan lebih ekonomis bila dibandingkan dengan *Portland Cement (PC)*. Material yang mempunyai sifat *cementitious* ini berpotensi untuk menggantikan sebagian semen dalam campuran beton dengan tetap mempertahankan kelebihan sifat mekanis beton. Penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan pengujian benda uji yang telah didesain dengan komposisi substitusi semen slag sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dari berat semen yang dibutuhkan dan pada umur 28 hari. Sebagai benda uji kontrol beton direncanakan dengan kuat tekan $f'_c = 38$ MPa. Semen slag yang digunakan berdasarkan referensi memiliki *activity index grade* 80. Penelitian dilakukan untuk mengetahui kinerja semen slag pada beton melalui pengamatan kuat tekan (f'_c), hubungan tegangan-regangan ($f_c - \epsilon$) dan modulus elastisitas (E) beton. Pengujian menunjukkan bahwa substitusi *slag* menyebabkan terjadinya penurunan kuat tekan beton, regangan dan modulus elastisitas pada umur 28 hari karena adanya proses kimia yang lebih lamban daripada PC.

Kata kunci : beton ramah lingkungan; kuat tekan; PC; semen slag;

Abstract

This era is marked by an emphasis on energy conservation, environmentally friendly concrete and green concrete. Cement is the main building block of concrete and is also the largest contributor to air pollution among the ingredients that make up the material. Cement slag or Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS), a waste product of the steel processing industry, is one of the preferred alternatives due to the production process and is more economical when compared to Portland Cement (PC). This material

*Corresponding author e-mail : bhsetiadji@ft.undip.ac.id

Another mail : hanaylie@live.undip.ac.id

dewabrata123@yahoo.com

alexanderpatrick1998@gmail.com

with cementitious properties was used to substitute the cement in the concrete mixture while maintaining the advantages of the mechanical properties of concrete. The study was conducted in the laboratory by testing the test specimens that had been designed with a cement slag substitution composition 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% of the required weight of cement and at the age of 28 days. The concrete had a designed compression strength of $f'_c = 38$ MPa and used a cement slag with an activity index grade of 80 based on the reference. The study was conducted to determine the effect of the slag-cement substitution on the influence of slag cement of the concrete's behavior though the investigation into the compressive strength (f'_c) the stress-strain (f'_c - ϵ) response, and the modulus of elasticity (E) of concrete. The results show that slag substitution influenced negatively the concrete compressive strength, strain, and modulus of elasticity at 28 days due to the delayed chemical reaction between PC.

Keywords : environment friendly; PC; slag cement; compressive strength

A. PENDAHULUAN

Kesadaran masyarakat akan pelestarian lingkungan semakin meningkat terkait dengan isu *global warming*, sehingga pengembangan produk yang lebih ramah lingkungan menjadi tren di seluruh dunia termasuk di dunia konstruksi. Penggunaan beton yang semakin meningkat menuntut kebutuhan *Portland Cement* (PC), selanjutnya akan disebut semen PC, yang semakin besar pula, hal ini memunculkan kekhawatiran karena dalam proses produksinya menimbulkan emisi karbon dioksida (CO_2) dalam jumlah sangat besar. *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS), selanjutnya akan disebut semen slag, yang merupakan produk limbah proses daur ulang besi dan baja dengan metode *blast furnace* menjadi salah satu alternatif. Semen slag ini dalam proses produksinya lebih hemat energi bila dibandingkan semen, serta mempunyai dampak positif pada konsep *green concrete*. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mempelajari kinerja *semen slag* pada beton melalui pengamatan kuat tekan, perilaku tegangan regangan dan modulus elastisitas dengan substitusi semen slag dalam berbagai persentase. Adapun jumlah substitusi adalah 0%,

10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dari berat semen, dimana beton dengan semen tanpa substitusi (atau 0% semen slag) digunakan sebagai benda uji kontrol.

Kandungan utama *semen slag* terdiri dari CaO (30-50%), SiO_2 (28-38%), Al_2O_3 (8-24%) dan MgO (1-18%) (Cleatus et al., 2018). Berdasarkan teori, kombinasi semen dengan *semen slag* mempunyai efek positif dalam proses pengerasan beton. Diawali dengan proses hidrasi semen yang bereaksi dengan air menghasilkan CSH (*Calcium Silicate Hydrate*) sebagai komponen perekatnya dan Ca(OH)_2 (*Calcium Hydroxide*) sebagai residu reaksi kimia hidrasi. Ca(OH)_2 tidak memberikan dampak pada pembentukan kekuatan beton (Pizon & Lazniewska-Piekarczyk, 2019). *Semen slag* akan bereaksi dengan air dan Ca(OH)_2 sebagai reaksi sekunder (Kumar et al., 2008; Özbay et al., 2016). Dalam proses ini akan terbentuk CSH dalam jumlah yang lebih besar. Semakin tinggi kadar CSH yang dihasilkan, semakin tinggi kekuatannya, juga beton juga menjadi lebih kedap (Angulo-Ramírez et al., 2018; Imran, 2018).

Penelitian ini diharapkan dapat menjelaskan sinergi antara semen dengan *semen slag* dengan harapan dihasilkan alternatif material konstruksi

yang lebih baik, memberikan dampak positif terhadap lingkungan dan sekaligus dapat mengubah limbah B3 sebagai produk samping dari industri baja menjadi bahan yang bermanfaat (Thomas et al., 2016).

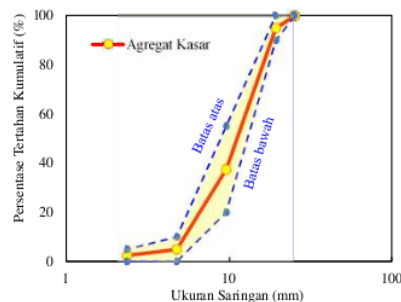
B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Agregat kasar

Agregat kasar membentuk kekuatan sekaligus merupakan bahan utama penyusun beton, dimana volume agregat kasar pada beton kurang lebih mencapai 70%. Pada agregat kasar yang digunakan dilakukan uji analisis saringan (*Sieve Analysis*) untuk mengetahui distribusi ukuran partikel agregat, ukuran agregat maksimum ditetapkan 25 mm. Gradasi agregat kasar menurut ASTM C33-03 (2003) harus memenuhi Tabel 1.

Tabel 1. *Sieve analysis* agregat kasar

Ukuran saringan (mm)	Persentase lolos (%)
25	100
19	90 - 100
12,5	-
9,5	20 - 55
4,75	0 - 10
2,36	0 - 5
Pan	



Gambar 1. Hasil uji *sieve analysis* agregat kasar

2. Agregat halus

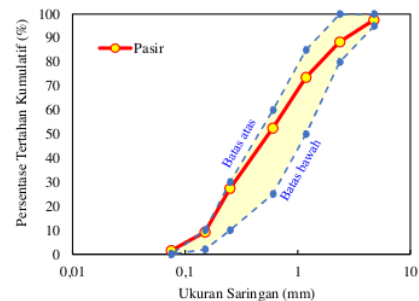
Agregat halus merupakan *filler* yang mengisi rongga-rongga di antara

agregat kasar dalam beton. Fungsi agregat halus/pasir juga sebagai pembentuk mortar, matriks semen yang merupakan media pengikat agregat kasar. Dengan adanya agregat halus, kepadatan massa beton dapat tercapai. Volume agregat halus/pasir berkisar 65% ~ 85% berat terhadap volume agregat kasar. Pada agregat halus yang digunakan dilakukan uji analisis saringan (*Sieve Analysis*) untuk mengetahui distribusi ukuran partikel agregat, yang menurut ASTM C33-03 (2003) harus memenuhi Tabel 2.

Tabel 2. *Sieve analysis* agregat halus

Ukuran saringan (mm)	Persentase lolos (%)
9,5	100
4,75	95 - 100
2,36 (No.8)	80 - 100
1,18 (No.16)	50 - 85
0,6 (No. 30)	25 - 60
0,3 (No. 50)	10 - 30
0,15 (No. 100)	2 - 10
Pan	

Dari hasil penelitian didapatkan hasil uji analisis saringan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Hasil uji *sieve analysis* agregat halus

Dari pengujian, diketahui agregat memiliki massa jenis 2,59 t/m³.

3. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Ordinary Portland Cement (OPC)* type 1 hasil produksi PT

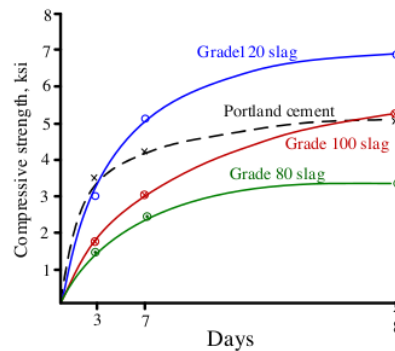
Semen Indonesia di Gresik – Jawa Timur. Untuk pengujian berat jenis semen digunakan percobaan menggunakan botol *Le Chatelier* berdasarkan pada SNI 15-2531-1991. Berat jenis semen merupakan perbandingan antara berat jenis isi kering semen pada suhu kamar dengan berat jenis isi kering air suling pada suhu 4° C yang isinya sama dengan isi semen. Dimana menurut ASTM C188-95 (2003), kisaran berat jenis semen portland yaitu 3,15.

4. Semen slag (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 (Jiang et al., 2018). *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* (Özbay et al., 2016; Angulo-Ramírez et al., 2017). *Semen slag* yang dipakai pada penelitian ini

adalah produksi dari PT Krakatau Semen Indonesia – Cilegon, Banten.

Pada tahapan pendinginan dan pengerasan dari kondisi leleh, *Blast Furnace Slag* didinginkan dengan beberapa cara. *Granulated Blast Furnace Slag* diperoleh dengan memadamkan *Blast Furnace Slag* dari tanur tiup berupa air atau uap, untuk menghasilkan produk granular yang mengandung komponen silika yang kemudian dikeringkan. *GBFS* ini selanjutnya di haluskan menggunakan *Raw Milling Machine* dan diayak setelah melalui proses filterisasi menghasilkan semen slag (Divsholi et al., 2014; Liu et al., 2019)



Gambar 3. Grafik kuat tekan mortar dengan semen slag dan mortar dengan semen Portland (1 ksi = 6.89 MPa) (ACI Committee 233, 2013)

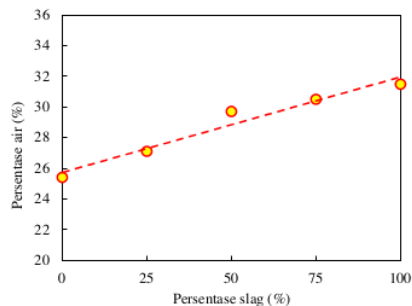
Tabel 3. Hasil pengujian *semen slag*

Uraian	Hasil Uji	Syarat
		SNI 6385 : 2016 (ASTM 989-10, IDT)
1. Tertahan di atas ayakan 45 μ m (no.325), %	19	maks. 20
2. Kehalusan dengan pesawat Blaine, m ² /kg	358	-
3. Kandungan udara dalam mortar slag, % volume	6	maks. 12
4. Kuat tekan semen		
- Semen Blanko		
- 7 hari, kg/cm ²	329	
- 28 hari, kg/cm ²	491	

Uraian	Hasil Uji	Syarat SNI 6385 : 2016 (ASTM 989-10, IDT)		
		Grade 80	Grade 100	Grade 110
- Semen Slag - Semen Blanko				
- 7 hari, kg/cm ²	203			
- 28 hari, kg/cm ²	415			
5. Slag Activity Index				
- 7 hari, kg/cm ²	61,7	-	70	90
- 28 hari, kg/cm ²	84,5	75	90	110
6. Berat jenis, g/cm ³	2,88			

(Sumber : Adhimix, 2019)

Dari Tabel 3, hasil pengujian yang dilakukan Puslitbang Adhimix RMC Indonesia, diketahui *slag* ini memiliki *Slag Activity Index Grade 80* (Adhimix 2019). Didapatkan hasil pula untuk berat jenis *semen slag* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 2,88. Jika dibandingkan dengan berat jenis semen PC (ASTM C188-95, 2003), memiliki kisaran berat jenis sebesar 3,15. Sehingga slag ini memiliki berat jenis lebih kecil daripada semen PC.



Gambar 4. Pola kebutuhan air sebagai fungsi % kandungan slag

Rizqi & Sie (2020) melakukan pengujian konsistensi normal untuk menentukan standar basah, dimana air merata pada semen dengan substitusi semen slag. Hasil penelitian Rizqi & Sie (2020) menunjukkan bahwa terdapat hubungan linier yang terus meningkat antara persentase air dengan penambahan

persentase slag (Gambar 4). Hal ini menunjukkan dengan penambahan semen slag, penyerapan air juga lebih tinggi jika dibandingkan dengan hanya menggunakan semen PC (Bougara et al., 2018).

5. Air

Menurut SNI 03-2847-2002, air yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
- Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
- Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi:
 - Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang mengandung air dari sumber yang sama.

2). Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis menggunakan specimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm (ASTM C109/C109M-20b, 2020).

C. METODE PENELITIAN

1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah eksperimental dengan skala laboratorium yang dilakukan di *Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Diponegoro – Semarang*. Benda uji yang digunakan adalah silinder beton dengan diameter 150 x 300 mm berdasarkan SNI 2847:2013 yang diuji untuk menentukan kuat tekan pada umur 28 hari. Komposisi benda uji adalah agregat kasar, agregat halus, semen dan air. Semen akan disubstitusi bertahap dengan *semen slag* sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%, dimana benda uji dengan semen tanpa substitusi semen slag (atau substitusi 0%) digunakan sebagai benda uji kontrol.

2. Job Mix Design

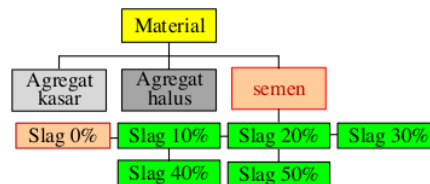
Untuk mendapatkan benda uji beton dengan kuat tekan rencana f'_c 38 MPa digunakan metoda pendekatan sebagai yang tercantum dalam SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Dari perhitungan didapatkan *Job Mix Design* dengan komposisi seperti tersaji dalam Tabel 4.

Tampak bahwa agregat kasar dan halus mendominasi proporsi campuran, dengan kandungan sebesar 72% terhadap berat keseluruhan. Gambar 5 menunjukkan skema penelitian yang dilakukan.

Tabel 4. *Job Mix Design* $f'_c = 38$ MPa

Material	Berat (kg)	% berat
Agregat Kasar	947,3	40.2
Agregat Halus	751,9	31.9
Air	210,2	8.9
Semen	445,7	18.9

Semen slag secara bertahap disubstitusikan sebagai pengganti semen. Karena massa jenis hampir berdekatan, pendekatan berdasarkan perbandingan berat dapat digunakan.

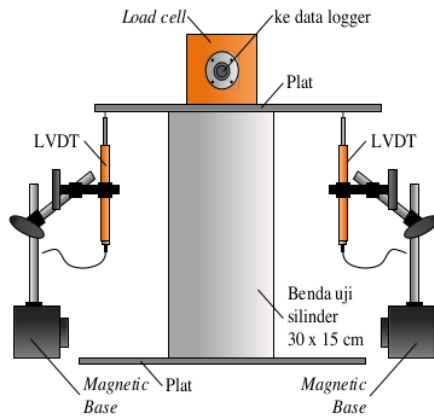


Gambar 5. Skema Penelitian

3. Benda Uji

Untuk setiap kelompok substitusi semen slag disiapkan enam benda uji yang dirawat selama 27 hari, dikeringkan dan diuji pada usia 28 hari (Amini et.al., 2019) Pengukuran kuat tekan dilakukan dengan menggunakan *load cell* kapasitas 500 kN, tipe CLC-500 kNA dan sensitivitas 1.5mv/v. Deformasi longitudinal dibaca oleh dua buah LVDT (*Linear Variabel Differential Transformer*) tipe CDP-25M dengan kecepatan *output* regangan 10000×10^{-6} setiap mm dan kepekaan 2000×10^{-6} regangan/mm. Semua alat ukur dihubungkan dengan data logger tipe TDS-303. Inkrementasi beban dan deformasi direkam menggunakan *software* TDS-7130. Seluruh alat ukur dan perangkat perekam data merupakan produk *Tokyo Sokki Kenkyujo, Japan*. Beban aksial diberikan dengan

penggunaan alat uji tekan *hydraulic jack*. Beban diberikan dengan kecepatan 1,15 kN/detik. Pembebanan dilakukan secara monotonik sampai material beton runtuh. *Set up* pengujian benda uji dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. *Set up* pengujian

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian di laboratorium didapatkan data berupa dimensi dan berat benda uji, nilai gaya tekan aksial dan perubahan bentuk. Data-data tersebut dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai kuat tekan (f'_c) dan regangan silinder (ϵ_c) beton sebagai respon beban.

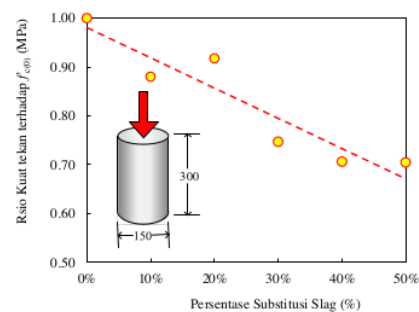
1. Kuat tekan

Kuat tekan didefinisikan sebagai tegangan terbesar yang dapat dipikul material hingga runtuh. Kuat tekan dihitung sebagai respon beban dibagi dengan luas penampang. Dari hasil perhitungan diperoleh data seperti tersaji dalam Tabel 5 berikut besarnya rasio kuat tekan terhadap beton normal $f'_{c(0)}$. Tampak bahwa beton dengan substitusi *slag* mengalami penurunan sebagai fungsi peningkatan jumlah semen slag (Savija et al., 2020)

Tabel 5. Kuat tekan beton dan rasio kuat tekan terhadap $f'_{c(0)}$

Persentase slag (%)	f'_c (MPa)	Rasio kuat tekan terhadap $f'_{c(0)}$ (%)
0%	38,212	100,00%
10%	33,628	88,00%
20%	35,065	91,76%
30%	28,539	74,69%
40%	26,978	70,60%
50%	26,920	70,45%

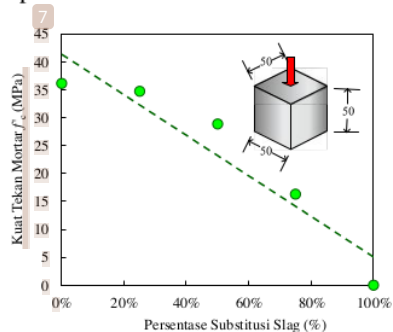
Gambar 7 menunjukkan perilaku penurunan kuat tekan sebagai fungsi ternormalisasi. Sumbu tegak menunjukkan rasio perbandingan kuat tekan beton slag terhadap beton normal. Pada persentase substitusi semen slag sebesar 40% dan 50% deviasi penurunan kuat tekan sangat rendah, sehingga dapat diasumsikan pada persentase ini telah terjadi konvergensi antara kinerja semen dengan *semen slag*.



Gambar 7. Perilaku kuat tekan beton sebagai fungsi % substitusi *slag*

Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan substitusi semen slag, secara umum akan mengakibatkan penurunan kuat tekan beton. Pengaruh negatif semen slag pada beton juga sudah direkam oleh penelitian terdahulu (Watanabe et al., 1992; Jiang et al., 2018). Fungsi penurunan mengikuti pola linier. Hasil uji coba substitusi *semen slag* pada mortar dilakukan oleh

Rizqi & Sie (2020) menggunakan *semen slag* yang identik dan menunjukkan perilaku yang sama. Benda uji berupa kubus 50 x 50 x 50 mm. Pada percobaan ini semen digantikan secara bertahap dengan *semen slag* sampai keseluruhan semen tersubstitusi. Penurunan kuat tekan juga mengikuti pola linier dan tampak dalam Gambar 8.



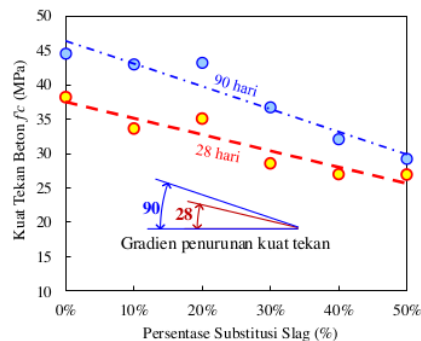
Gambar 8. Perilaku mortar-slag usia 28 hari (Rizqi & Sie, 2020)

Penelitian terkait (Rizqi & Sie, 2020) pada respon waktu ikat menggunakan alat uji Vicat sesuai dengan ASTM C1117-89 (1994) menunjukkan bahwa dalam kondisi murni (substitusi 100%), waktu ikat semen slag akan sangat tertunda. Pengamatan menunjukkan bahwa setelah 5 jam, semen belum mengalami pengikatan. Hal ini menandakan bahwa semen slag membutuhkan pemicu (*trigger*) berupa semen PC untuk mengaktifkan proses hidrasinya (Allahverdi et al., 2018). Batasan 50% substitusi dalam penelitian ini, didasarkan pada hasil temuan tersebut (Rashad, 2018).

Kelanjutan pengamatan respon waktu, penelitian yang dilakukan oleh Laras & Herianti (2020), yang menguji beton dengan substitusi semen slag yang sama pada umur 90 hari, menemukan bahwa hasil uji kuat tekan pada beton umur 90 hari menunjukkan hasil yang konsisten dengan hasil uji kuat tekan pada beton dengan umur 28 hari (Gambar 9).

Hasil tersebut senada dengan temuan Aliabdo et al. (2019).

Pengamatan terhadap laju penurunan kuat tekan sebagai fungsi persentase substitusi semen slag lebih berpengaruh negatif pada usia 90 hari (Laras & Herianti, 2020), bila dibandingkan dengan respon usia beton 28 hari. Hal ini tampak dari gradien penurunan pada usia 90 hari yang lebih besar dari gradien beton usia 28 hari (Gambar 9).



Gambar 9. Perilaku beton slag usia 28 dan 90 hari (Laras & Herianti, 2020)

Kuat tekan beton usia 90 hari mengalami peningkatan 9% ~ 16% terhadap usia beton 28 hari. Prediksi peningkatan kuat tekan beton berbasis semen berdasarkan PBI 1971 untuk 90 hari dari kuat tekan beton usia 28 hari adalah 20%. Dengan demikian penggunaan semen slag masih memenuhi kaidah normatif sebagai *binding agent*. (Savija et al., 2020)

2. Regangan

Regangan didefinisikan sebagai rasio perubahan panjang terhadap panjang semula. Hasil pendataan LVDT menghasilkan respon perubahan panjang sebagai fungsi beban. Modulus elastisitas E merupakan respon kekakuan material, dan ditentukan sebagai perbandingan antara tegangan dan regangan pada titik pengamatan. Pendekatan ini dikenal dengan modulus kekakuan sekan (*secant*

stiffness). Tabel 6 menunjukkan properti mekanis beton berbasis semen slag.

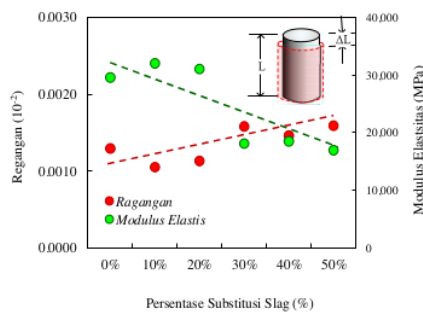
Hasil pengujian pada umur 28 hari menunjukkan tren peningkatan regangan terhadap benda uji pembandingan/referensi dengan kadar *semen slag* 0%.

Tabel 6. Tegangan, regangan, dan modulus elastisitas

No.	Persentase slag (%)	Kuat tekan f_c (MPa)	Regangan ϵ (10^{-2})	Modulus Elastisitas E (MPa)
1	0%	38,212	0,129	29.579
2	10%	33,628	0,105	32.027
3	20%	35,065	0,113	31.031
4	30%	28,539	0,158	18.082
5	40%	26,978	0,146	18.472
6	50%	26,920	0,159	16.931

3. Modulus elastisitas

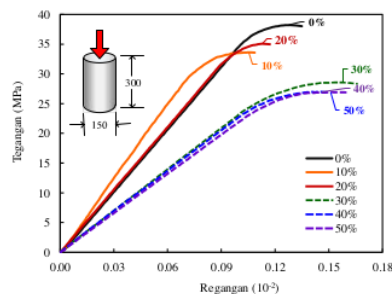
Dari hasil penelitian nilai modulus elastisitas beton menunjukkan pola yang menurun sebagai fungsi peningkatan substitusi semen slag (Gambar 10). Modulus elastisitas untuk substitusi semen slag sebesar 10% dan 20% lebih tinggi dari beton biasa, namun masih dalam kategori beton normal.



Gambar 10. Grafik regangan dan modulus elastisitas

Pada substitusi di atas 20%, tampak modulus elastisitas mengalami penurunan, sehingga kurva tegangan-regangan menjadi lebih landai. Peningkatan substitusi sebesar 30%, 40%, dan 50% menghasilkan modulus elastisitas maupun regangan *ultimit* yang sangat mendekati, menandakan bahwa

substitusi diantara 20% ~ 30% merupakan batasan kritis fungsi semen slag dalam beton (Gambar 11).



Gambar 11. Grafik tegangan-regangan

E. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap benda uji pada umur 28 hari dengan menggunakan beberapa variasi substitusi *semen slag* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Substitusi semen slag, mengakibatkan penurunan kuat tekan beton pada umur 28 hari pada semua nilai variasi substitusi, semakin besar persentase substitusi semen slag akan semakin kecil kuat tekan beton yang diuji. Hal ini sejalan dengan referensi yang ada, tren penurunan kuat tekan akan terus

terjadi sampai dengan umur benda uji 90 hari. Penurunan kuat tekan mengikuti pola linier, dan gradient penurunan usia 90 hari lebih tajam bila dibandingkan dengan gradient usia 28 hari akibat adanya reaksi sekunder pada semen slag. Tampak masih terjadi peningkatan kuat tekan yang cukup signifikan dalam jeda 62 hari, menandakan kembali adanya reaksi sekunder dalam slag semen. Perlu adanya standarisasi untuk penentuan kuat tekan beton berbasis semen slag, sehingga usia tegangan karakteristik tidak dinilai pada usia 28 hari.

2. Penurunan kuat tekan beton pada umur 28 hari disemua nilai variasi substitusi terjadi karena pada penelitian ini adalah digunakan semen slag dengan *Activity Index* 80. Hal ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Cleetus et al.(2018), dimana penelitian menggunakan semen slag dengan *Activity Index* 100. Mengutip data dari hasil trial yang tercantum dalam (ASTM C33-03, 2003) yang menyatakan bahwa terdapat pencapaian *strength* yang sangat berbeda di tiap tingkatan *Slag Activity Index*, maka dapat disimpulkan bahwa dari aspek kekuatan, produk semen slag yang ideal dipakai sebagai substitusi semen minimal berada dalam tingkatan *Grade* 100 sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan dengan pemakaian semen. Juga perlu diperhatikan bahwa *Slag Activity Index* mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap perilaku kuat tekan beton slag.
3. Pengamatan terhadap modulus elastisitas awal menunjukkan bahwa substitusi sampai 20% tidak signifikan mempengaruhi perilaku, namun terjadi penurunan yang cukup besar pada saat substitusi semen PC ditingkatkan menjadi 30%. Yang Menarik adalah bahwa setelah persentase ini, peningkatan substitusi

hampir tak berpengaruh pada modulus elastisitas. Temuan inimenunjukkan bahwa substitusi 20% ~ 30% merupakan peralihan yang mengakibatkan penurunan modulus, dan diatas 30% perilaku beton di dominasi oleh pengaruh semen slag.

4. Substitusi semen dengan semen slag menunjukkan tren nilai regangan yang meningkat pada semua variable dengan umur benda uji 28 hari, semakin besar persentase substitusi semen slag akan semakin besar pula nilai regangannya, regangan pada saat tercapainya tegangan karakteristik beton, cenderung lebih rendah dari beton biasa, sehingga pendekatan penentuan regangan ini harus didekati dengan rumus yang termodifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 233. (2013). Slag Cement in Concrete and Mortar. In *ACI 233R-803*.
- Adhimix, P. (2019). *Memahami Salah Satu Bahan SCM yang Digunakan Di Adhimix RMC Indonesia*.
- Aliabdo A.A., Abd Elmoaty M., Abd Elmoatya dan Emam M.A. (2019). Factors affecting the mechanical properties of alkali activated ground granulated blast furnace slag concrete, *Construction and Building Materials*, 197, 339-355. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.086
- Allahverdi, A., Maleki A. dan Mahinroosta, M. (2018). Chemical activation of slag-blended Portland cement, *Journal of Building Engineering*, 18, 76-83. doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.03.004
- Amini, K., Ceylan, H., & Taylor, P. C. (2019). Effect of curing regimes on hardened performance of concrete containing slag cement. *Construction and Building*

- Materials*, 211, 771–778. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.273>
- Angulo-Ramírez D.E., de Gutiérrez R.M. dan Medeiros M. (2018). Alkali-activated Portland blast furnace slag cement mortars: Performance to alkali-agregat reaction, *Construction and Building Materials*, 179, 49-56. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.183
- Angulo-Ramírez D.E., de Gutiérrez R.M. dan Puertas F. (2017). Alkali-activated Portland blast-furnace slag cement: Mechanical properties and hydration, *Construction and Building Materials*, 140, 119-128. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.092
- ASTM C109 / C109M-20b. (2020). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens)*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM C1117-89. (1994). *Standard Test Method for Time of Setting of Shotcrete Mixtures by Penetration Resistance*. Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM C188-95. (2003). *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials
- ASTM C33-03. (2003). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Bougara A., Lynsdale, C. dan Milestone N.B.. (2018). The influence of slag properties, mix parameters and curing temperature on hydration and strength development of slag/cement blends, *Construction and Building Materials*, 187, 339-347. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.166
- Cleetus, A., Shibu, R., Sreehari PM, Paul, V.K., dan Jacob, B. (2018). *Analysis And Study Of The Effect Of GGBFS on Concrete Structures, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Mar Athanasius College of Engineering, Kerala, India.*
- Divsholi, B. S., Lim, T. Y. D., & Teng, S. (2014). Durability Properties and Microstructure of Ground Granulated Blast Furnace Slag Cement Concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 8(2), 157–164. <https://doi.org/10.1007/s40069-0130063-y>
- Imran, I. (2018). *Semen Slag–Materi Workshop PT Krakatau Semen Indonesia.*
- Jiang Y., Ling T-C., Sji, C. dan Pan, S-Y. (2018). Characteristics of steel slags and their use in cement and concrete—A review, *Resources, Conservation & Recycling*, 136, 187-197. doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.023
- Kumar, S., Kumar R., Bandopadhyay A., Alex T.C., Kumar B.R., Das S.K. dan Mehrotra S.P. (2008). Mechanical activation of granulated blast furnace slag and its effect on the properties and structure of portland slag cement, *Cement and Concrete Composites* 30, 679–685. doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.05.005

- Laras, P. dan Herianti A. (2020). Pengaruh Substitusi Semen Slag Terhadap Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton, Tugas Akhir Program Studi Teknik sipil UNDIP.
- Liu, J., Yu, Q., Zuo, Z., Yang, F., Han, Z., & Qin, Q. (2019). Reactivity and performance of dry granulation blast furnace slag cement. *Cement and Concrete Composites*, 95(July 2016), 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.10.008>
- Özbay E., Erdemir, M. dan Durmus H.I. (2016). Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties – A review, *Construction and Building Materials*, 105, 423-434. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.153
- Pizon, J., & Lazniewska-Piekarczyk, B. (2019). Microstructure of High C3A portland slag cement pastes, modified with accelerating admixtures for concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 603(3). <https://doi.org/10.1088/1757899X/603/3/032089>
- Rashad A.M. (2018). An overview on rheology, mechanical properties and durability of highvolume slag used as a cement replacement in paste, mortar and concrete, *Construction and Building Materials*, 187, 89-117. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.150
- Rizqi, S. Y. dan Sie, A. P. S. (2020). Pengaruh Usia Mortar Berbasis Semen-Slag Pada Perilaku Mekanis Mortar, Tugas Akhir Program Studi Teknik sipil UNDIP.
- Šavija, B., Zhang, H., & Schlangen, E.(2020). Micromechanical testing and modelling of blast furnace slag cement pastes. *Construction and Building Materials*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117841>
- SNI 15-2531-1991. (1991). MetodePengujian Berat Jenis Semen Portland. In *Badan Standarisasi Nasional BSN*.
- SNI 2847:2013. (2013). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. *Badan Standarisasi Nasional BSN*.
- Thomas, R.J., Ye H., Radlińska A. dan Peethamparan S. (2016). Alkali-Activated Slag Cement Concrete-A closer look at a sustainable alternative to portland cement, A contribution from ACI Committee 236. *ACI, A contribu*
- Watanabe K., Suzuki, M. dan Hamazaki K. (1992). Properties of Granulated Blast-Furnace Slag Cement Concrete, *ACI SP 132-73*, 1367-1383.



© 2020 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Studi Penggunaan Semen Slag sebagai Substitusi Semen Portland pada Beton

ORIGINALITY REPORT

13%	%	3%	12%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Universitas Pancasila Student Paper	4%
2	Submitted to Universitas Merdeka Malang Student Paper	2%
3	Submitted to Universitas Lancang Kuning Student Paper	1%
4	Submitted to Universitas Negeri Jakarta Student Paper	1%
5	Submitted to Universitas Islam Lamongan Student Paper	1%
6	Submitted to Universitas Muslim Indonesia Student Paper	<1%
7	Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper	<1%
8	Ventje Berty Slat, Steve W.M Supit, Noldie Kondojo, Chrisviano W.M Tulung. Jurnal Teknik Sipil Terapan (JTST), 2020 Publication	<1%

9

Imran Imran, Mufti Amir Sultan, Julfikra Sastra
Tuahuns. "Penggunaan Bahan Tambah Abu
Vulkanik Gunung Gamalama Terhadap
Perilaku Beton pada Daerah Lingkungan
Laut", TECHNO: JURNAL PENELITIAN, 2017

Publication

<1 %

10

Submitted to Associatie K.U.Leuven

Student Paper

<1 %

11

Submitted to School of Business and
Management ITB

Student Paper

<1 %

12

Fepy Supriani, Mukhlis Islam. "PENGARUH
METODE PERLAKUAN DALAM PERAWATAN
BETON TERHADAP KUAT TEKAN DAN
DURABILITAS BETON", Inersia, Jurnal Teknik
Sipil, 2019

Publication

<1 %

13

Rasio Hepiyanto, Mohammad Arif Firdaus.
"PENGARUH PENAMBAHAN ABU BONGGOL
JAGUNG TERHADAP KUAT TEKAN BETON K -
200", UKaRsT, 2019

Publication

<1 %

14

Arbain Tata, Irnawaty Irnawaty, Cavaruddin
Cavaruddin. "Studi Karakteristik Agregat Pasir
Pantai Mangoli, Sosowomo dan Loto dalam
Komposisi Beton", TECHNO: JURNAL
PENELITIAN, 2018

Publication

<1 %

15

Ali Syafi'urroziq, Yosef Cahyo Setianto
Purnomo, Lucia Desti Krisnawati.

"Pemanfaatan Serbuk Kaca dari Jenis Kaca
Bening dengan Ketebalan 3-4 mm Sebagai
Bahan Tambah dalam Pembuatan Batako",
Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil,
2018

Publication

<1 %

16

Hong, Geon-Ho, Hong-Gun Park, Tae-Sun
Eum, Joon-Soo Mihn, and Yong-Nam Kim.

"Evaluation of Strength and Stiffness Gain of
Concrete at Early-ages", Journal of the Korea
Concrete Institute, 2010.

Publication

<1 %

17

Maria Angela Diva. "THE ANTECEDENTS
GREEN BRAND EQUITY OF GREEN
COSMETICS", Managament Insight: Jurnal
Ilmiah Manajemen, 2020

Publication

<1 %

18

Susilo Abadi Al-hasan, Sugeng Dwi Hartantyo.
"PENGARUH LIMBAH PABRIK GULA MOLASE
SEBAGAI BAHAN TAMBAH (ADMIXTURE) KUAT
TEKAN BETON K-175 DENGAN
MENGGUNAKAN PASIR LOKAL PASIR
JOMBANG", UKaRsT, 2020

Publication

<1 %

19

Yuzuar Afrizal, Nuzhi Ramahayati, Mukhlis
Islam. "PENGARUH PEMANFAATAN ABU

<1 %

PECAHAN TERUMBU KARANG DAN ABU
SEKAM PADI SEBAGAI PENGANTI SEMEN
TERHADAP KUAT TEKAN BETON", Inersia,
Jurnal Teknik Sipil, 2019

Publication

20

Nurokhman Nurokhman. "PENGARUH KADAR
BESTMITTEL PADA ADUKAN BETON SERAT
BENDERAT 2% TERHADAP PERCEPATAN
KEKUATAN BETON NORMAL DENGAN FAS 0.4
%", CivETech, 2021

<1 %

Publication

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography On