

PENGARUH ALUMINIUM *SLAG* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN PADA CAMPURAN BETON NORMAL

Brian Yangesa Putra

Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: brian.18001@mhs.unesa.ac.id

Yogie Risdianto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: yogierisdianto@unesa.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan pembangunan konstruksi saat ini menyebabkan kebutuhan semen sebagai bahan pengikat pada campuran beton semakin meningkat. Diperlukan adanya bahan alternatif yang ekonomis serta ramah lingkungan sebagai pengganti semen salah satunya adalah aluminium *slag*. Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan aluminium *slag* sebagai substitusi semen pada campuran beton normal. Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui pengaruh aluminium *slag* sebagai substitusi semen pada campuran beton normal terhadap sifat mekanis beton. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan melakukan eksperimen pada beton mutu K-300. Benda uji beton divariasikan menggunakan aluminium *slag* sebesar 0%; 1,5%; 3%; 4,5%, 6% dan 7,5% dengan benda uji kubus ukuran 15cm x 15cm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari dengan 3 buah benda uji pada masing masing umur, sedangkan untuk pengujian penyerapan air pada umur 28 hari. Hasil dari penelitian didapat nilai kuat tekan maksimal aluminium *slag* berada pada kadar 1,5%, lebih dari itu kuat tekan serta berat volume beton akan mengalami penurunan dikarenakan kandungan udara pada beton meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya kadar aluminium *slag*. Hal ini dapat dijelaskan dengan besarnya penyerapan air pada beton yang merupakan indikasi porositas tinggi, selain itu dampak dari kandungan udara yang meningkat akibat aluminium *slag* menyebabkan terjadinya pemuaian pada permukaan beton.

Kata Kunci: Aluminium *Slag*, Beton Normal, Kuat Tekan, Substitusi Semen, Penyerapan Air.

ABSTRACT

The current construction development causes the need for cement as a binder in concrete mixtures to increase. Therefore, it is necessary to have an alternative material that is economical and environmentally friendly as a substitute for cement, one of which is aluminum slag. Thus, the research used aluminum slag as a cement substitute in normal concrete mixtures. This study aimed to determine the effect of aluminum slag as a cement substitute in normal concrete mixtures on the mechanical properties of concrete. This research is quantitative research by conducting experiments on K-300 quality concrete. Concrete test specimens were varied using aluminum slag by 0%; 1.5%; 3%; 4.5%, 6%, and 7.5% with a cube test object measuring 15cm x 15cm. The compressive strength test was carried out at the ages of 7, 14, 21, and 28 days with three specimens at each age, while the water absorption test was carried out at 28 days. The study results obtained that the maximum compressive strength of aluminum slag was at a level of 1.5%. But, more than that, the compressive strength and weight of the concrete volume would decrease because the air content in the concrete increased in direct proportion to the increase in the aluminum slag content. This can be explained by the amount of water absorption in the concrete, which indicates high porosity, besides the impact of the increased air content due to aluminum slag causing expansion of the concrete surface.

Keywords: Aluminium Slag, Normal Concrete, Compressive Strength, Cement Substitution, Water Absorption.

PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan konstruksi saat ini menyebabkan kebutuhan semen sebagai bahan pengikat pada campuran beton semakin meningkat. Meningkatnya kebutuhan semen menjadi alasan untuk mencari bahan alternatif pengganti semen sebagai bahan pengikat pada beton. Banyak bahan alternatif yang ekonomis dan ramah lingkungan dapat digunakan sebagai pengganti semen seperti limbah salah satunya aluminium *slag*.

Nursyafiril (2014) melakukan pengujian komposisi kimia dalam kandungan aluminium *slag*, hasil uji kandungan aluminium *slag* terdiri dari Aluminium Oksida sebesar 69,39%; Magnesium Oksida sebesar 8,31%; Silikat Oksida sebesar 4,9%; Kalsium Oksida sebesar 3,2%; Besi Oksida sebesar 1,96% dan Titanium Oksida sebesar 1,9%.

Reddy & Neeraja (2016) melakukan penelitian dengan judul “*Mechanical and durability aspects of concrete incorporating secondary aluminium slag*”. Penelitian tersebut membahas tentang aluminium *slag* yang dimanfaatkan sebagai bahan substitusi semen dalam campuran beton dengan melakukan pengujian sifat mekanis beton menggunakan sampel berbentuk kubus 15 cm x 15 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aluminium *slag* mampu menggantikan peran semen dalam kadar yang ditentukan tidak lebih 10% dari berat semen.

Komposisi kimia pada kandungan aluminium *slag* seperti Aluminium, Kalsium, Silikat dan Besi adalah beberapa unsur yang juga terdapat pada unsur semen *portland*, sehingga aluminium *slag* berpotensi menjadi material pengganti semen. Hal ini terbukti pada penelitian Reddy & Neerja, beton dengan campuran aluminium *slag* sebanyak 10% memiliki kemampuan yang sama dengan semen. Berdasarkan hal tersebut kemudian diputuskan dalam penelitian ini untuk menggunakan aluminium *slag* dengan kadar maksimum 7,5% untuk mengetahui kuat tekan optimum pada jarak persentase *slag* yang lebih kecil.

Penelitian yang dilakukan ini menggunakan material aluminium *slag* sebagai substitusi semen pada campuran beton normal. Pemilihan aluminium *slag*

dalam penelitian ini adalah sebagai upaya percobaan untuk menggantikan peran semen dengan menggunakan bahan alternatif ramah lingkungan seperti limbah dari bahan sisa produksi berupa aluminium *slag*. Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui pengaruh aluminium *slag* sebagai substitusi semen pada pembuatan beton normal terhadap sifat mekanis beton.

Aluminium Slag

Aluminium *slag* adalah abu yang berasal dari bahan limbah proses peleburan logam aluminium bekas yang tak terpakai. Aluminium *slag* berbentuk debu halus berwarna abu-abu kehitaman, dapat dilihat pada gambar 1. Aluminium *slag* termasuk golongan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), sehingga dapat mencemari lingkungan jika dibuang secara sembarang (Nursyafiril 2014).



Gambar 1. Aluminium Slag.

Kuat Tekan Beton

Tujuan pengujian kuat tekan beton adalah untuk mengetahui nilai kuat tekan yang mampu diterima pada beton dengan memberikan gaya tekan menggunakan mesin uji tekan. Kuat tekan tiap benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi yang dicapai selama percobaan sampai benda uji tersebut retak/hancur (Mahendra 2019). Beton yang baik adalah beton yang memiliki nilai kuat tekan sesuai dengan kuat tekan rencana (Rusmansah, 2020). Kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus sesuai dengan SNI 03-1974-1990 sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (kg/cm²)

P = Beban tekan (kg)

A = Luas penampang beton (cm²)

Penyerapan Air

Uji penyerapan air pada beton bertujuan untuk mengetahui kekedapan beton terhadap air, beton yang baik umumnya memiliki penyerapan air yang minim. Menurut peraturan SNI 03-2914-1992 beton kedap air bila diuji dengan cara perendaman dalam air harus memenuhi syarat resapan air maksimum 6,5% terhadap berat beton kering oven bila direndam selama 24 jam. Penyerapan air pada beton dapat dihitung dengan rumus sesuai dengan SNI 03-2914-1992 sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{bj - bk}{bk} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

bj = Berat jenuh (kg)

bk = Berat kering oven (kg)

METODE

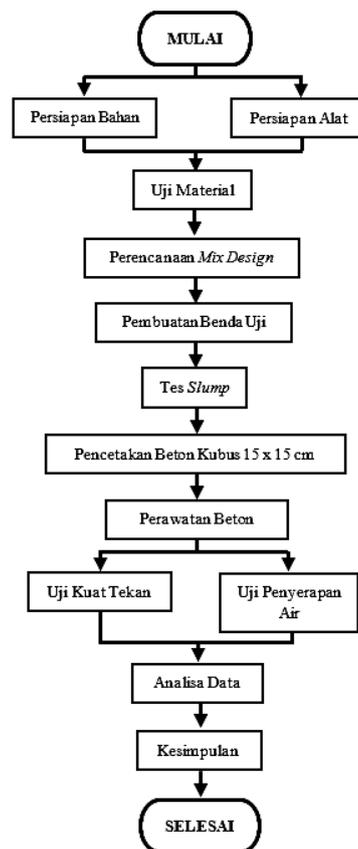
Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif, dengan melakukan eksperimen di laboratorium menggunakan beton normal yang dibuat dengan aluminium *slag* sebagai substitusi semen. Persentase aluminium *slag* yang digunakan adalah 0%; 1,5%; 3%; 4,5%; 6% dan 7,5%. Pengumpulan data dilakukan dengan membuat benda uji bentuk kubus ukuran 15 x 15 cm yang mengacu pada peraturan SNI 03-1974-1990. Pengujian terhadap benda uji meliputi pengujian kuat tekan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari, serta pengujian penyerapan air pada umur 28 hari dengan masing-masing 3 benda uji pada setiap pengujian.

Tabel 1. Rencana jumlah benda uji.

Variasi	Uji Kuat Tekan				Uji	Total
	7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 Hari	Penyerapan Air	
0%	3	3	3	3	3	15
1,5%	3	3	3	3	3	15
3%	3	3	3	3	3	15
4,5%	3	3	3	3	3	15
6%	3	3	3	3	3	15
7,5%	3	3	3	3	3	15
						90

Pemuaian pada permukaan beton terjadi pada saat trial menggunakan benda uji silinder, kemudian diputuskan untuk menggunakan benda uji kubus 15cm x 15cm. Penggunaan benda uji kubus 15cm x 15cm dikarenakan kubus memiliki sisi yang lebih banyak sehingga saat pengujian kuat tekan bisa dilakukan peletakkan pada sisi yang tidak memuai. Hasil trial menunjukkan kuat tekan kubus jauh lebih baik dari pada silinder dengan persentase aluminium *slag* yang sama, hal ini juga sesuai pada penelitian Reigita & Setiawan (2018) melakukan penelitian beton dengan campuran aluminium *slag* dengan kadar 5% menggunakan benda uji silinder mengalami penurunan kuat tekan yang cukup drastis dengan rata-rata persentase penurunan mencapai 77,2% dari kuat tekan rencana.

Prosedur diagram alir akan menunjukkan secara garis besar prosedur penelitian dari awal hingga akhir. Adapun diagram alirnya dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Uji Material

1. Semen

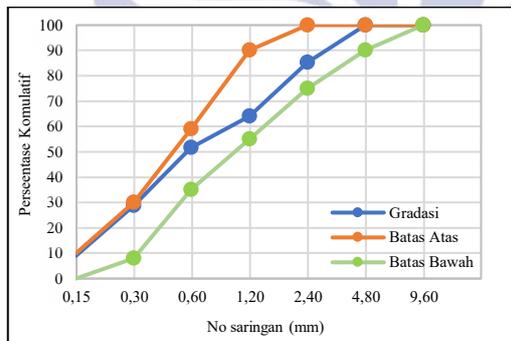
Semen yang digunakan merupakan semen tipe PPC (*Pozzolan Portland Cement*) dengan berat jenis 3,13 gr/cm³.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan merupakan jenis pasir Pasuruan dengan lolos ayakan no.4. Untuk hasil pengujian agregat halus dapat dilihat melalui tabel 1.

Tabel 2. Hasil uji material agregat halus.

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
Analisa gradasi butiran	Zona 2
Modulus kehalusan	3,61
Berat jenis	2,23 gram/cc
Berat pervolume	1,54 gram/cm ³
Kadar lumpur pada pasir	2,61 %
Kadar air bebas (kelembaban) pasir	3,64 %



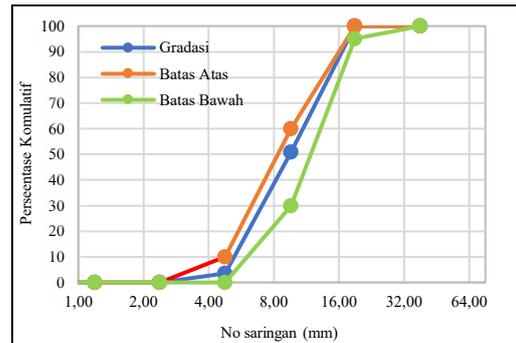
Gambar 3. Gradasi butiran agregat halus zona 2.

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan merupakan jenis batu pecah. Untuk hasil pengujian agregat kasar dapat diketahui melalui tabel 2.

Tabel 3. Hasil uji material agregat kasar.

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
Analisa gradasi butiran	Ukr. < 20 mm
Modulus kehalusan	7,46
Berat jenis	2,78 gram/cc
Berat pervolume	1,56 gram/cm ³
Kadar air bebas (kelembaban) kerikil	1,21 %



Gambar 4. Gradasi butiran agregat kasar < 20 mm.

4. Aluminium Slag

Aluminium slag yang digunakan merupakan limbah hasil peleburan logam aluminium yang berada di kabupaten Jombang dengan berat jenis aluminium slag yaitu 2,94 gr/cm³.

Mix Design

Berdasarkan hasil uji material yang telah diperoleh, maka dapat dilakukan perhitungan *mix design* beton. Perhitungan komposisi campuran beton mengacu pada peraturan SNI 2834-2000. Mutu beton yang direncanakan adalah mutu beton K-300. Pada penelitian ini persentase aluminium slag sebagai substitusi semen yang digunakan adalah 0%; 1,5%; 3%; 4,5%; 6% dan 7,5%. Untuk hasil komposisi campuran beton pada benda uji kubus ukuran 15cm x 15 cm dilihat pada tabel 3

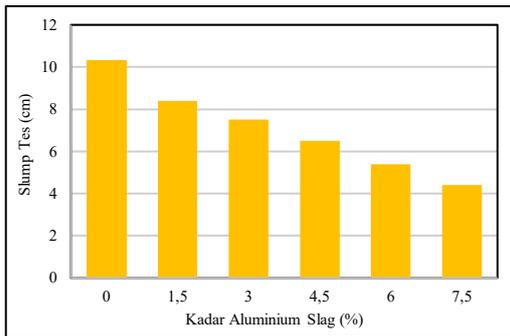
Tabel 4. Hasil komposisi campuran beton pada benda uji kubus ukuran 15cm x 15 cm.

Variasi	Kerikil (kg)	Pasir (kg)	Semen (kg)	Al. Slag (kg)	Air (kg)	SP (kg)
0%	4,594	3,063	1,688	0	0,675	0,008
1,5%	4,594	3,063	1,663	0,025	0,675	0,008
3%	4,594	3,063	1,637	0,051	0,675	0,008
4,5%	4,594	3,063	1,612	0,076	0,675	0,008
6%	4,594	3,063	1,587	0,101	0,675	0,008
7,5%	4,594	3,063	1,561	0,127	0,675	0,008

Uji Slump

Menurut SNI 1972-2008, tujuan dari pengujian *slump* adalah untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan beton (*workability*) yang

dinyatakan dalam nilai tertentu. Untuk hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil nilai pengujian *slump*.

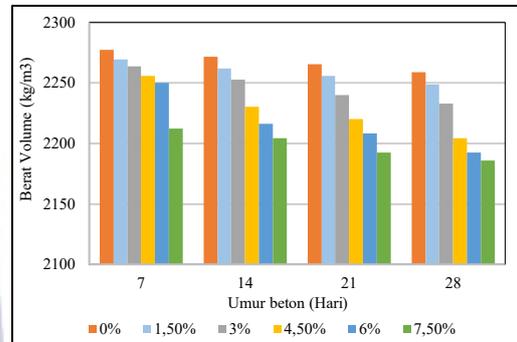
Hasil pengujian *slump* pada gambar 5 menunjukkan bahwa semakin banyak kandungan aluminium *slag* dalam campuran beton mengakibatkan nilai *slump* menjadi semakin menurun sehingga tidak mencapai nilai *slump* rencana yaitu sebesar 10 cm. Penurunan yang terjadi pada nilai *slump* diakibatkan oleh aluminium *slag* yang memiliki penyerapan air yang cukup besar. Penyerapan air yang besar dikarenakan ukuran butiran yang seragam sehingga rongga antar butiran masih bisa dimasuki air. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan aluminium *slag* sebagai substitusi semen dalam campuran beton dapat menurunkan *workability* beton segar.

Berat Volume Beton

Pengujian berat volume dilakukan untuk mengetahui satuan antara berat benda uji terhadap volume benda uji beton. Pengujian berat volume beton mengacu pada peraturan SNI 1973-2008, dilakukan pengujian pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Setiap pengujian berat volume pada masing-masing umur per variasi terdapat 3 benda uji yang digunakan dengan benda uji berbentuk kubus 15 cm x 15 cm.

Berat volume menurun sesuai dengan proporsi penggunaan aluminium *slag* yang digunakan sebagai substitusi semen, hal ini dapat dilihat pada Gambar 6. Pengaruh dari adanya aluminium *slag* berakibat pada mengembangnya permukaan beton. Beton yang mengembang ini juga ditemukan dalam penelitian (Reddy and Neeraja 2016) dalam penelitian tersebut

mengatakan beton mengalami pemuaian akibat munculnya gelembung udara yang cukup banyak akibat reaksi kimia yang disebabkan oleh aluminium *slag*. Pemuaian pada beton karena gelembung udara akan menjadi rongga dalam beton, rongga tersebut menjadikan beton menurun kepadatannya sehingga berat beton lebih ringan.



Gambar 6. Grafik rekapitulasi hasil berat volume beton.



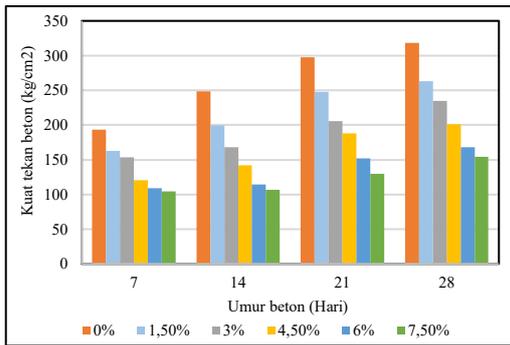
Gambar 7. Permukaan benda uji beton mengalami pemuaian akibat dari pengaruh aluminium *slag*.

SNI 2834-2000 menyatakan berat volume pada beton normal berkisar antara 2200 kg/m³ hingga 2500 kg/m³, pada gambar 6 pengujian berat volume beton diumur 28 hari didapat berat volume yang tidak memenuhi persyaratan yaitu pada variasi 6% dan 7,5% dengan berat volume berurut-turut hanya mencapai 2192,59 kg/m³ dan 2185,68 kg/m³.

Uji Kuat Tekan Beton

Uji kuat tekan beton dilakukan mengacu pada SNI 1974-1990 menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan satuan kuat tekan yaitu kg/cm². Mutu beton yang direncanakan yaitu K-300. Pengujian kuat tekan menggunakan alat uji kuat tekan beton hidrolis di Laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil

Universitas Negeri Surabaya. Untuk hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada gambar 8.

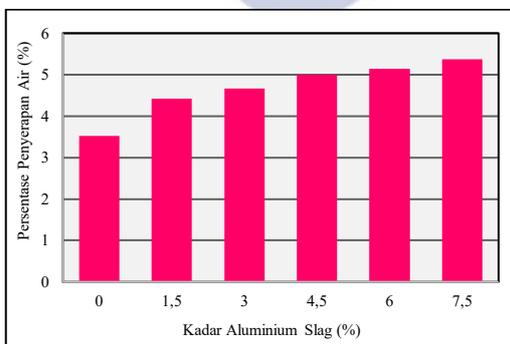


Gambar 8. Grafik rekapitulasi hasil kuat tekan beton.

Hasil uji kuat tekan beton pada gambar 8 menunjukkan bahwa dengan adanya aluminium slag sebagai substitusi semen menyebabkan pada menurunnya kuat tekan beton. Kuat tekan menurun akibat kepadatan pada beton berkurang karena banyaknya rongga yang muncul pada beton akibat pengaruh aluminium slag. Didapat kuat tekan optimum dengan campuran aluminium slag divariasi 1,5% dengan kuat tekan mencapai 263,3 kg/cm².

Uji Penyerapan Air Pada Beton

Pengujian penyerapan air pada beton mengacu pada peraturan SNI 2914-1992. Untuk hasil uji penyerapan air dapat dilihat pada gambar 9.



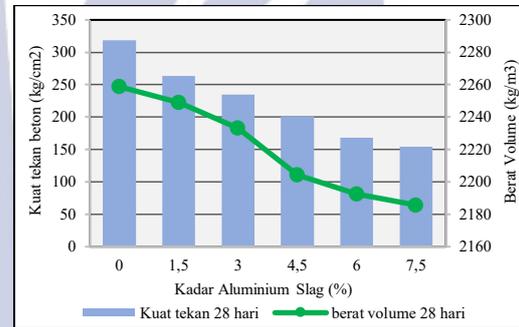
Gambar 9. Grafik hasil penyerapan air pada beton.

Rekapitulasi hasil penyerapan air beton pada gambar 9 menunjukkan terjadinya peningkatan pada penyerapan air beton akibat adanya pemberian aluminium slag, hal ini menunjukkan bahwa

peningkatan pada penyerapan air berbanding lurus dengan banyaknya persentase aluminium slag. Peningkatan pada penyerapan air terjadi karena adanya rongga yang tercipta karena beton memuai akibat pengaruh aluminium slag. Rongga tersebut akan memberikan ruang kosong dalam beton, hal inilah yang menjadikan penyerapan air pada beton menjadi meningkat.

Peraturan SNI 2914-1992 menyebutkan persyaratan beton kedap air dengan persentase maksimum adalah sebesar 6,5%, dari hal tersebut setiap variasi dari 0% hingga 7,5% telah memenuhi persyaratan yang ada pada peraturan.

Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Berat Volume Beton



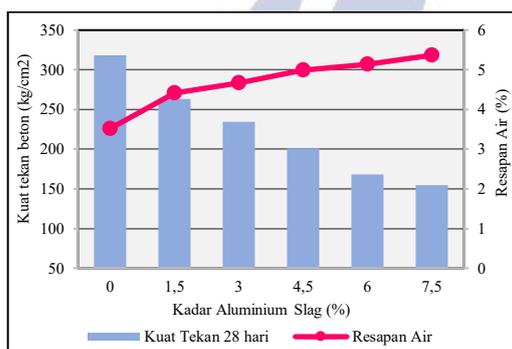
Gambar 10. Grafik hubungan kuat tekan dengan berat volume beton.

Berdasarkan gambar 10 menunjukkan terjadi penurunan pada kuat tekan beton pada hari ke-28 yang mana nilai tersebut berbanding lurus dengan berat volume beton hari ke-28. Semakin kecil berat volume maka semakin kecil pula nilai kuat tekan benda uji beton. Pengaruh aluminium slag menyebabkan beton memuai sehingga volume pada beton bertambah berakibat pada terciptanya rongga yang dapat mengurangi kepadatan beton, hal inilah yang mempengaruhi penurunan pada kuat tekan dan berat volume beton.

Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Penyerapan Air

Grafik hubungan kuat tekan dengan penyerapan air pada gambar 11 menunjukkan terjadi

penurunan kuat tekan beton pada hari ke-28 yang mana berbanding terbalik dengan meningkatnya penyerapan air pada hari ke-28 ditiap variasi. Semakin kecil kuat tekan beton maka akan semakin besar penyerapan airnya. Peningkatan pada penyerapan air dikarenakan terciptanya rongga pada beton karena beton yang memuai akibat pengaruh aluminium *slag*. Rongga yang tercipta akan menyebabkan semakin besar penyerapan air pada beton, namun juga dapat mengurangi kepadatan beton sehingga akan berpengaruh pada menurunnya kuat tekan beton.



Gambar 11. Grafik hubungan kuat tekan dengan penyerapan air pada beton.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penambahan volume pada beton meningkat seiring dengan bertambahnya persentase aluminium *slag*, hal ini dikarenakan adanya reaksi kimia yang bereaksi terhadap aluminium *slag*, air dan semen yang menciptakan gelembung udara yang banyak sehingga menyebabkan volume pada beton bertambah atau memuai.
2. Persentase optimal yang disarankan dengan penggunaan aluminium *slag* sebagai substitusi semen adalah sebesar 1,5%, penggunaan aluminium *slag* yang terlalu banyak pada campuran beton dapat menurunkan sifat mekanis pada beton.
3. Penggunaan aluminium *slag* sebagai substitusi semen yang semakin banyak dapat menurunkan

nilai *slump* sehingga *workability* pada beton juga ikut menurun.

4. Penyerapan air beton yang semakin bertambah dengan seiring meningkatnya persentase aluminium *slag*. Penggunaan aluminium *slag* mengakibatkan beton memuai sehingga menciptakan rongga pada beton, dengan banyaknya rongga yang tercipta menyebabkan penyerapan air pada beton menjadi lebih besar.

SARAN

Saran dari penguji bagi penelitian selanjutnya yaitu:

1. Pengecekan kondisi material harus dilaksanakan agar beton dapat memenuhi hasil yang maksimal.
2. Perlu dilakukan pengujian bahan terhadap aluminium *slag*, untuk mengetahui sifatnya secara detail.
3. Pemberian aluminium *slag* dalam proses pembuatan beton normal menghasilkan kuat tekan yang kecil maka diperlukan juga penambahan bahan lainnya sehingga kuat tekan yang dihasilkan dapat memenuhi persyaratan standar mutu kuat tekan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1972-1990: Metode Pengujian Slump Beton*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1974-1990: Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (1992). *SNI 2914-1992: Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1973-2008: Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran Dan Kadar*. Jakarta: BSN.
- Mahendra, P., & Risdianto, Y. (2019). Pemanfaatan Limbah Karbit Sebagai Material Pengganti

- Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Rekayasa Teknik Sipil* 1(2):88–94.
- Nursyafril, Teten, & Hafidz. (2014). Pemanfaatan Abu Limbah Pembakaran Barang Mengandung Aluminium Untuk Bahan Campuran Mortar. *TEDC Polban* 8(1):41–49.
- Rahman, M. D. W., & Risdianto, Y. (2019). Pemanfaatan Serat Karung Goni (Rami) Sebagai Bahan Tambahan Beton dan *Electric Arc Furnace Slag* 30% Sebagai Subtituen Pasir Pada Pembuatan Beton Normal. *Rekayasa Teknik Sipil* 2(1):1–7.
- Reddy, M. S., & Neeraja, D. (2016). *Mechanical and Durability Aspects of Concrete Incorporating Secondary Aluminium Slag. Resource-Efficient Technologies* 2(4):225–232.
- Reigita, M., & Setiawan, A. (2018). Pengaruh Penambahan Serpihan Aluminium Sebagai Bahan Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton. *Widyakala Journal* 5(1):38.
- Risdianto, Y., & Tobing, G. R. L. (2019). Pengaruh Penambahan Serat Sabut Kelapa (*Coconut Fiber*) Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur Pada Beton. *Rekayasa Teknik Sipil* 2(2):1–8.
- Rusmansah, Y. M., & Risdianto, Y. (2020). Pada Pembuatan Panel Beton Ringan Dengan Menggunakan *Electric Arc Furnace Slag* (EAFS) Sebagai Substitusi Pasir. *Rekayasa Teknik Sipil* 2(1):100–105.