

PEMANFAATAN ALUMINIUM SLAG DAN FLY ASH SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN PADA CAMPURAN PEMBUATAN BETON RINGAN SELULER

Anisa Rizki Nur Sholekah

S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: anisa.18032@mhs.unesa.ac.id

Yogie Risdianto

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: yogierisdianto@unesa.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan konstruksi sering dijumpai menggunakan beton sebagai bahan utama bangunan. Perkembangan teknologi membuat semakin banyak jenis beton hasil modifikasi, salah satunya beton ringan CLC (*Cellular Lightweight Concrete*). Penelitian ini menggunakan beton ringan CLC dengan aluminium slag dan fly ash sebagai substitusi semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh aluminium slag dan fly ash sebagai substitusi semen pada beton ringan CLC. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif, dengan menggunakan metode eksperimen terhadap beton CLC. Benda uji dicetak dalam *molding* ukuran 5x5x5 cm³. Penggunaan aluminium slag adalah 0%, 1.5%, 3%, 4.5%, 6%, dan 7.5%, sedangkan penggunaan fly ash adalah 15% dari berat semen. Pengujian yang dilakukan meliputi berat volume, kuat tekan, dan penyerapan air pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa seiring bertambahnya variasi aluminium slag dengan kadar fly ash tetap 15% pada setiap variasi sebagai substitusi semen, variasi yang paling signifikan adalah 1.5%. Hasil pengujian kuat tekan kadar optimum pada variasi 1.5% sebesar 4.1 MPa dengan berat jenis tertinggi 752 gr/cm³, dan penyerapan air sebesar 32.42%, semua benda uji pada umur 28 hari.

Kata Kunci: Beton Ringan Seluler, Aluminium Slag, Fly Ash, Kuat Tekan, Berat Volume, Penyerapan Air, Substitusi Semen.

ABSTRACT

Construction is often found using concrete as the primary building material. However, technological developments have resulted in more and more types of modified concrete, one of which is CLC (*Cellular Lightweight Concrete*) lightweight concrete. This research uses CLC lightweight concrete with aluminum slag and fly ash as cement substitution. This study aims to determine the effect of aluminum slag and fly ash as cement substitution in CLC lightweight concrete. The method used in this study is quantitative, using experimental methods on CLC concrete. The test object is printed in a molding size of 5x5x5 cm³. The use of aluminum slag is 0%, 1.5%, 3%, 4.5%, 6%, and 7.5%, while fly ash is 15% of the cement weight. The tests included volume weight, compressive strength, and water absorption at the ages of 3, 7, 14, 21, and 28 days. The results of this study can be concluded that as the variation of aluminum slag with fly ash content remains at 15% in each variation as a cement substitution, the most significant variation is 1.5%. The optimum compressive strength test results at a 1.5% variation of 4.1 MPa with the highest specific gravity of 752 g/cm³ and water absorption of 32.42%, all specimens at the age of 28 days.

Keywords: Cellular Lightweight Concrete, Aluminium Slag, Fly Ash, Compressive Strength, Density, Water Absorption, Substitution of Cement.

PENDAHULUAN

Bangunan konstruksi yang biasa ditemui seperti gedung, perkantoran, dan hampir semua bangunan lainnya menggunakan beton sebagai bahan dasar bangunannya. Dengan berkembangnya teknologi beton maka terciptanya beton hasil yang telah termodifikasi, seperti beton semprot (*shotcrete*), beton *fiber*, beton ringan, beton berkekuatan sangat tinggi, beton berkualitas tinggi, beton mampat sendiri (*self-compacted concrete*) dll, sehingga yang paling banyak dipakai untuk bahan bangunan di dunia adalah beton. Oleh karena itu, semakin diteliti lagi variasi beton itu sendiri agar bisa semakin mengembangkan beton yang lebih berkualitas, salah satunya beton ringan. (Hanamanteo, 2014)

Mortar beton yang kurang rapat dibandingkan mortar beton biasa disebut dengan beton ringan. Mortar beton ringan tidak boleh melebihi berat maksimum beton ringan 1850 kg/m³ sesuai dengan SNI 03-3449-2002. Beton ringan CLC (*Cellular Lightweight Concrete*) yang mengandung gelembung udara akibat adanya gelembung udara alami dari proses penambahan dan curing campuran mortar beton. (Ramamurthy, et al., 2009)

Substitusi *slag* aluminium merupakan komposisi bahan yang berfungsi untuk menanggulangi kelemahan beton ringan seluler, dapat berupa hasil dari peleburan aluminium yang tak terpakai sebagai bahan pengisi pori-pori pada beton ringan, sehingga meningkatkan kekuatan mekanis berupa kuat tekan. Serta pemakaian *fly ash* pada beton ringan dapat mengurangi penggunaan semen sekaligus kuat tekan beton meningkat kuat tekan beton dengan baik. (Mochamad Eky Zakariya 2018)

Beton ringan seluler memiliki komposisi berupa semen *portland*, silika semen, semen *pozollan*, pozzolan-kapur atau kapur silika pasta atau campuran pasta yang berasal dari bahan-bahan tersebut dan juga memiliki rongga udara yang terperangkap menyerupai struktur sel yang berasal dari pembentuk gelembung udara atau foam agent (ASTM C796-97).

Batas maksimum penambahan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen pada bata ringan sebesar 40%

dikarenakan penambahan *fly ash* dapat berpengaruh terhadap kekuatan bata ringan itu sendiri akibat tidak adanya ikatan antar agregat (Bella, Rosmiyati A Pah, Jusuf J S Ratu, Ariansyah G 2017).

Nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas dengan bahan tambah serat aluminium yang digunakan pada beton ringan tertinggi pada variasi 1% (Purnaman Gunawan, Wibowo, Nurmantian Suryawan 2015). Penggunaan kombinasi persentase *fly ash* sebesar 15% dan aluminium *powder* sebesar 0.25% menunjukkan nilai kuat tekan dan kuat tarik tertinggi (Reddy, Chandrasekhar 2018).

Penggunaan aluminium *slag* dan *fly ash* agar dapat dimanfaatkan secara optimal sehingga limbah yang selama ini dibuang akan memiliki nilai ekonomis, disamping mengurangi biaya pembuatan mortar, juga dapat menjaga kesehatan lingkungan. Serta sifat kimia pada material aluminium *slag* dan *fly ash* memiliki kemiripan dengan sifat semen sehingga dapat memberikan sifat padat sekaligus mengurangi penggunaan semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh aluminium *slag* dan *fly ash* sebagai substitusi semen pada beton ringan CLC.

TINJAUAN PUSTAKA

Aluminium Slag

Aluminium *slag* adalah bahan limbah hasil peleburan logam aluminium yang berbentuk butiran yang halus (abu). Limbah abu primer atau *dross* dihasilkan dari proses peleburan aluminium primer yang masih mengandung residu aluminium sebesar 20-45%. Limbah aluminium *slag* termasuk dalam kategori limbah B3 dan merupakan jenis limbah berbahaya. Limbah B3 memerlukan penanganan khusus, berbeda dengan limbah non B3, mengacu pada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 101 Tahun 2014 mengenai Pembuangan Limbah Beracun dan Berbahaya.

Fly Ash

Fly ash dinyatakan sebagai butiran halus yang lolos saringan No. 325 (45 milimikron) 5-27% oleh ACI Commission 226. *Fly ash* umumnya berbentuk

bola padat atau berongga. *Fly ash* memiliki densitas 2,23 g/cm³ dan kadar air sekitar 4%. *Fly ash* memiliki *specific gravity* sebesar 2,15 sampai 2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman. Abu terbang hasil pembakaran batu bara keras memiliki ukuran partikel kurang dari 0,075 mm dengan luas permukaan spesifik 170-1000 m²/kg. *Fly ash* subbituminous memiliki ukuran partikel rata-rata 0,01 mm hingga 0,015 mm, dengan luas permukaan 1 hingga 2 m²/g, dan partikel berbentuk hampir bulat. Namun, sebagian besar berbentuk bola sehingga dapat meningkatkan kemampuan *maneuver*. (Nugroho, P dan Antoni, 2007).

Fly ash dapat dikatakan sebagai Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) Kategori 2, Limbah Non Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 mengenai Pembuangan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Misalnya, *fly ash* digunakan dalam industri semen atau semen untuk batu bata, genteng, batu paving, dll karena sifat pozzolannya.

Perbandingan Sifat Kimia

Semen, *slag* aluminium serta *fly ash* memiliki sifat kimia yang serupa. Tabel 1. menunjukkan perbandingan komponen kimia yang terkandung di dalam material semen, *slag* aluminium serta *fly ash*.

Tabel 1. Perbandingan sifat kimia semen, *slag* aluminium serta *fly ash*

Komponen Pembanding	Aluminium Slag (%)	Fly Ash (%)	Semen Portland (%)
CaO	3.2	1.71	65.3
SiO ₂	4.9	60.48	18.3
Al ₂ O ₃	69.39	28.15	5.7
SO ₃	-	-	4.3
TiO ₂	1.9	-	0.5
Cl ⁻	-	-	0.2
Fe ₂ O ₃	1.96	4.25	-
MgO	8.33	0.47	-
K ₂ O	-	1.41	-
Na ₂ O	-	0.14	-
L.O.I	-	1.59	-

Sumber: (Setiawati 2018) & (Nursyafri, Teten, and Hafidz 2014)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian hasil penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode eksperimen di laboratorium menggunakan beton ringan CLC dengan memanfaatkan *slag* aluminium serta *fly ash* sebagai bahan substitusi semen. dan memperoleh hasil data observasi pada setiap eksperimen. Data survei berupa data kuantitatif. Kemudian diproses untuk menghasilkan hasil. (Utomo Setyo, Dwi Handayani, and Risdianto 2018).

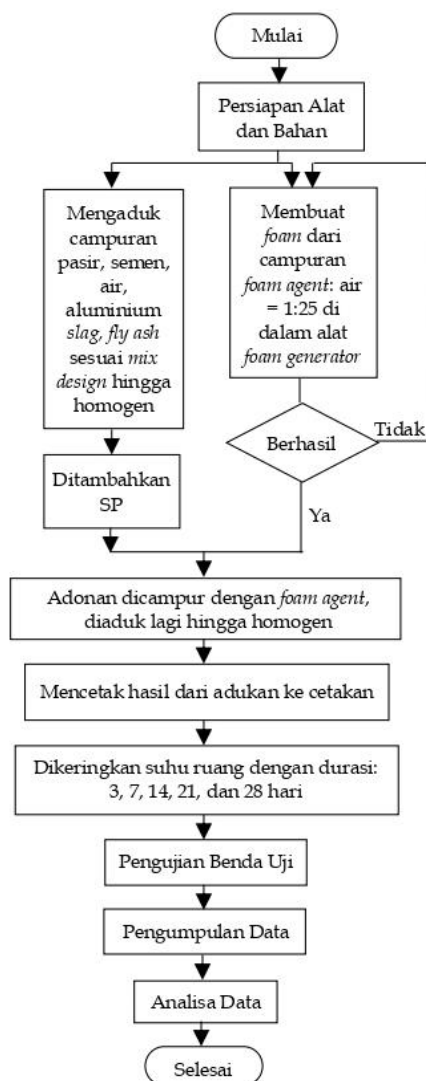
Perancangan penelitian ini adalah eksperimen penggantian semen dengan *slag* aluminium serta *fly ash* pada campuran beton aerasi dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh *slag* aluminium serta *fly ash* terhadap sifat mekanis beton ringan CLC dan untuk mengetahui persentase optimum pada beton CLC. persentase *slag* aluminium yang digunakan adalah 0%, 1.5%, 3%, 4.5%, 6%, dan 7.5% dari berat semen, dengan persentase *fly ash* ditetapkan sebesar 15%. Benda uji beton CLC dilakukan pengujian yang meliputi uji kuat tekan serta berat volume dengan menggunakan benda uji berbentuk kubus ukuran 5x5x5 cm, pengujian dilaksanakan pada saat benda uji berusia 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Dilakukan juga pengujian terhadap penyerapan air pada saat benda uji berusia 28 hari. Tabel 2. menunjukkan persyaratan penggunaan bahan yang digunakan sebagai campuran benda uji.

Tabel 2. Hasil *mix design* pada benda uji kubus 5x5x5 cm

Kode	Pasir (kg)	Semen (kg)	Air (liter)	Foam (liter)	AS (gr)	FA (gr)	SP (ml)	BU buah
A	2.604	1.107	651	2.083	0	195	5	18
B	2.604	1.087	651	2.083	20	195	5	18
C	2.604	1.068	651	2.083	39	195	5	18
D	2.604	1.048	651	2.083	59	195	5	18
E	2.604	1.029	651	2.083	78	195	5	18
F	2.604	1.009	651	2.083	98	195	5	18
Total	15.63	6.348	3906	12.50	292	1171	30	108

Pembuatan Benda Uji

Tahapan penelitian ditampilkan berupa *flow chart* sebagai berikut:



Gambar 1. Flowchart pembuatan benda uji

Pengujian Berat Volume

Tujuan dilakukan uji berat volume adalah mengetahui keseragaman pada berat benda uji dengan volume benda uji beton. Berat volume beton dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Berat Volume } (B_v) = \frac{w}{v} \quad \dots (1)$$

keterangan:

B_v = Berat volume benda uji (gram/cm³)

w = Berat benda uji (gram)

v = Volume benda uji (cm³)

Pengujian Kuat Tekan

Uji kuat tekan beton mengacu pada standar ASTM C109 M-07 mengenai uji kuat tekan beton

mortar menggunakan kubus berukuran 5x5x5 cm.

Rumus untuk menentukan kuat tekan adalah:

$$f_m = \frac{P}{A} \quad \dots (2)$$

keterangan:

f_m = Kuat tekan (MPa)

P = Beban maksimal (N)

A = Luas permukaan benda uji (mm²)

Pengujian Penyerapan Air

Uji penyerapan air beton yang diperoleh menurut ASTM C869-91 dan menunjukkan penyerapan air maksimum 25% setelah usia 28 hari pada benda uji kubus berukuran 5x5x5 cm. Untuk mencari penyerapan air gunakan rumus:

$$K_{(air)} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad \dots (3)$$

keterangan:

$K_{(air)}$ = Kadar air (%)

A = Berat basah benda uji (gram)

B = Berat kering benda uji (gram)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Bahan

Semen

Penelitian ini menggunakan semen PPC (pozzolan portland semen) dengan merek Semen Gersik yang memiliki berat jenis 3,15 gr/cm³.

Agregat Halus

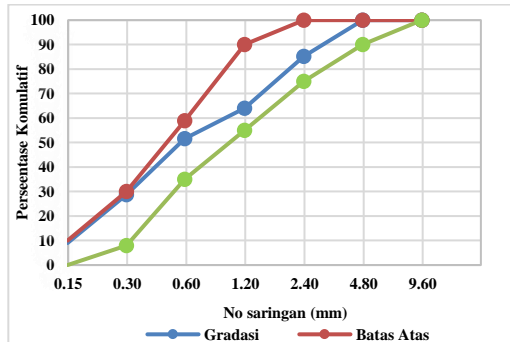
Agregat halus yang digunakan merupakan jenis pasir Pasuruan. Hasil uji material agregat halus dicantumkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji material agregat halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Berat Jenis	2.231 gr/cm ³
2	Berat Pervolume	1,54 gram/cm ³
3	Kadar Lumpur	2,61 %
4	Analisa Ayakan	Zona 2
5	Kadar Kelembaban	3,64 %

Gambar 2. menunjukkan hasil pengujian analisa ayakan agregat halus yang dilakukan dalam penelitian ini berada pada zona 2, apabila batas atas dan batas bawah menggunakan batasan yang terdapat dalam *British*

Standart. Adapun pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dengan menggunakan ayakan.



Gambar 2. Grafik gradasi pasir zona 2

Slag Aluminium

Slag aluminium yang digunakan diproduksi oleh industri peleburan logam aluminium dalam negeri di Desa Bacaran, Kecamatan Sumobito, Provinsi Jombang, dan telah lolos saringan 200 dengan berat jenis 2,941 g/cm³. Slag aluminium digunakan sebagai alternatif pengganti semen.

Fly Ash

Fly ash yang digunakan lolos ayakan 200 dengan berat jenis 2,941 gr/cm³. Fly ash digunakan sebagai substitusi penggunaan semen.

Foam Agent

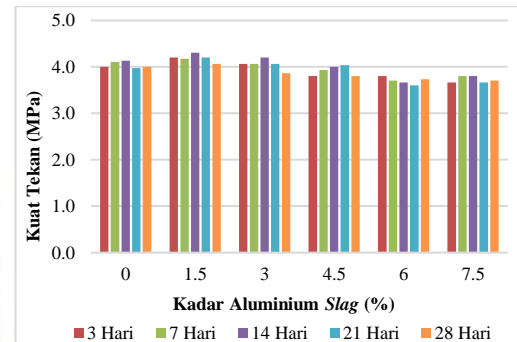
Foam agent dalam penelitian ini menggunakan merek GF 1420 dengan berat jenis 0,04 g/cm³. Perbandingan penggunaan air dengan foam adalah 1:25 (1 liter foam : 25 liter air).

Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan digunakan pada benda uji yang berusia ke 3, 7, 14, 21, dan 28 hari dengan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*). Gambar 3. menunjukkan hasil kuat tekan variasi substitusi aluminium slag 0%, 1.5%, 3 %, 4.5%, 6 %, dan 7.5% dengan fly ash 15%.

Kuat tekan semakin turun dengan bertambahnya variasi aluminium slag. Penurunan tersebut dikarenakan peningkatan dari gelembung-gelembung kecil pada adonan yang terbentuk dari slag

aluminium. Sehingga, mengakibatkan lebih banyak udara yang terperangkap dan menyebabkan menyebabkan munculnya rongga-rongga pada beton ringan. Ketika aluminium slag digunakan dalam batas kisaran tertentu bersama dengan campuran mineral seperti fly ash, maka akan terjadi peningkatan kemampuan kerja dan sifat mekanik beton ringan.

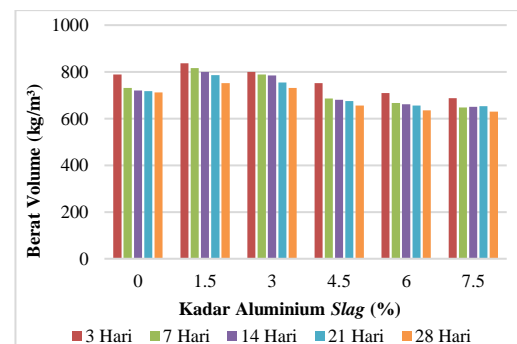


Gambar 3. Grafik kuat tekan rata-rata

Gambar 3. menunjukkan hasil dari uji kuat tekan disetiap variasi mulai dari 0% sebagai kontrol sampai 1.5% adalah meningkat kemudian mengalami penurunan sampai variasi 7.5%. Sehingga, dapat disimpulkan jika kuat tekan optimum pada beton ringan terdapat pada variasi 1.5% sebesar 4.1 MPa dengan usia 28 hari.

Pengujian Berat Volume

Hasil uji berat volume diperoleh dengan menggunakan benda uji yang berusia 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Gambar 4. menyajikan data perubahan berat volume untuk substitusi aluminium slag 0%, 1.5%, 3%, 4.5%, 6%, dengan fly ash 15%.

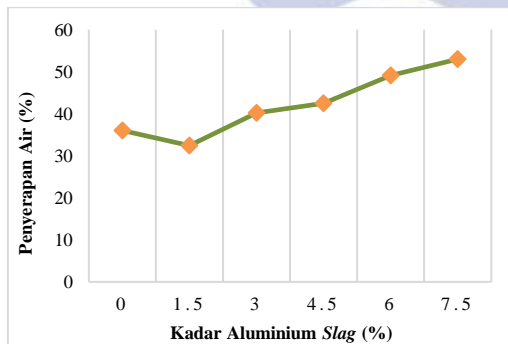


Gambar 4. Grafik berat volume rata-rata

Gambar 4. menampilkan hasil uji berat volume untuk setiap variasi mulai dari 0% kontrol hingga 1.5% adalah meningkat kemudian mengalami penurunan sampai variasi 7.5%. Dapat disimpulkan bahwa berat volume benda uji mengalami kenaikan sampai variasi 1.5% dan mengalami penurunan jika bahan aluminium *slag* komposisinya bertambah dengan bahan *fly ash* tetap 15%, namun secara keseluruhan benda uji termasuk memenuhi syarat. Jadi, dapat disimpulkan bahwa berat volume optimum adalah variasi 1.5% sebesar 752 kg/cm³ dengan usia 28 hari.

Pengujian Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air menggunakan benda uji yang berusia 28 hari. Sebelumnya, selama 24 jam dilakukan perendaman benda uji ke dalam air, kemudian dilap kering atau SSD dan dimasukkan ke dalam oven bersuhu 110°C dengan durasi 24 jam. Benda uji selalu ditimbang pada saat sebelum perendaman, sesudah perendaman, dan setelah di oven. Gambar 5. menunjukkan hasil penyerapan air variasi substitusi *slag* aluminium 0%, 1.5%, 3%, 4.5%, 6%, dan 7.5% dengan *fly ash* 15%.

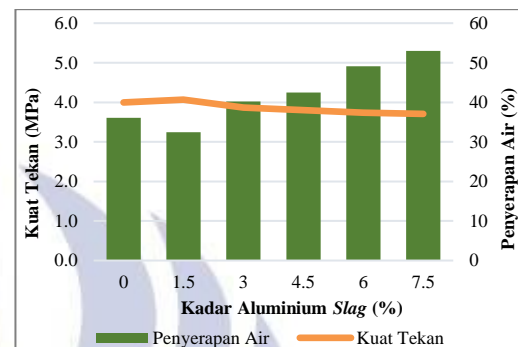


Gambar 5. Rekapitulasi hasil uji penyerapan air

Gambar 5. ditunjukkan hasil dari uji penyerapan air disetiap variasi mengalami penurunan pada variasi 1.5% sebesar 32.42%, kemudian terus mengalami naik hingga variasi 7.5% sebesar 52.92%.

Hubungan Kuat Tekan Beton terhadap Penyerapan Air

Tujuan dari penelitian ini untuk meningkatkan kualitas pada campuran beton ringan seluler. Sehingga, kadar optimum dari penggunaan bahan substitusi tersebut dapat diketahui. Gambar 6. menunjukkan hasil kuat tekan terhadap penyerapan air benda uji dengan substitusi aluminium *slag* dan *fly ash* umur 28 hari.



Gambar 6. Grafik kuat tekan dengan penyerapan air pada usia 28 hari

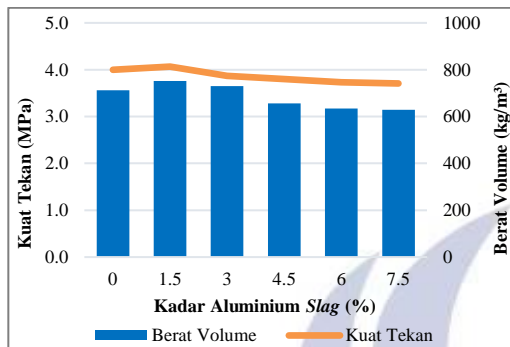
Gambar 6. ditunjukkan hasil kuat tekan yang memiliki nilai tertinggi, dengan hasil penyerapan air terendah pada variasi *slag* aluminium 1.5%. Dapat disimpulkan bahwa kadar optimum kuat tekan terhadap penyerapan air terdapat pada variasi *slag* aluminium 1.5% dengan nilai kuat tekan 4.1 MPa serta penyerapan air 32.42%.

Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Berat Volume

Pengujian beton ringan (CLC) menunjukkan adanya keterhubungan antara kuat tekan dan berat volume yang ditunjukkan dari berat volume masing-masing benda uji berpengaruh pada hasil uji kuat tekan. Beton yang masih belum mengering mengakibatkan berat volume yang dihasilkan lebih rendah, akan tetapi menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi.

Penelitian ini menunjukkan bahwa ada beberapa benda uji dengan berat volume rendah tetapi menghasilkan kuat tekan tinggi. Hal ini dikarenakan benda uji masih muda dan banyak mengandung air, sehingga memiliki berat volume yang tinggi, namun

menunjukkan nilai kuat tekan yang kecil. Hal ini terjadi karena campuran reaksi belum sempurna. Benda uji yang berusia lama memiliki kadar air yang lebih rendah dan oleh karena itu berat volume lebih rendah, tetapi menunjukkan kekuatan tekan yang lebih tinggi.



Gambar 7. Grafik kuat tekan dengan berat volume pada usia 28 hari

Gambar 7. ditunjukkan hasil pada variasi 0% dengan berat volume dan kuat tekan meningkat pada variasi 1.5% dan kemudian menurun pada variasi 7.5%. Sehingga, dapat disimpulkan jika perbandingan kuat tekan terhadap berat volume yang optimal terdapat pada variasi aluminium *slag* 1.5% dengan nilai berat volume 752 kg/m³ dan kuat tekan 4,1 MPa.

PENUTUP

Kesimpulan

Berlandaskan pada hasil penelitian, didapat kesimpulan yaitu:

1. Presentase penggunaan *slag* aluminium dan *fly ash* yang optimal pada campuran beton ringan CLC sebagai pengganti semen terdapat pada variasi 1.5% *slag* aluminium dengan 15% *fly ash* terhadap berat total benda uji untuk setiap variasi. Berat volume yang lebih rendah disebabkan oleh penambahan variasi lebih dari 1.5% *slag* aluminium, sehingga kuat tekan yang dihasilkan juga rendah.
2. Hubungan antara *slag* aluminium beserta *fly ash* sebagai pengganti semen mempengaruhi kuat tekan pada beton ringan seluler sesuai variasi

aluminium *slag* 0%, 1.5%, 3%, 4.5%, 6%, dan 7.5% dengan *fly ash* 15% terhadap kuat tekan mengalami kenaikan dari variasi 0% sebesar 4 MPa hingga nilai optimum 1.5% sebesar 4.1 MPa dan kemudian turun stabil secara bertahap menjadi 3.9 MPa; 3.8 MPa; 3.7 MPa; dan 3.7 MPa. Sedangkan, terhadap penyerapan air mengalami turun pada komposisi 1.5% sebesar 32.42%, kemudian terus mengalami naik hingga komposisi 7.5% sebesar 52.98% pada umur 28 hari.

3. Hubungan antara *slag* aluminium beserta *fly ash* sebagai pengganti semen mempengaruhi berat volume pada beton ringan CLC sesuai variasi aluminium *slag* 0%, 1.5%, 3%, 4.5%, 6%, dan 7.5% dengan *fly ash* 15% terhadap berat volume mengalami kenaikan dari dari variasi 0% sebesar 712 kg/m³ hingga nilai optimum 1.5% sebesar 752 kg/m³ dan kemudian menurun secara bertahap menjadi 730.7 kg/m³, 656 kg/m³, 634.7 kg/m³, dan 629.3 kg/m³ pada umur 28 hari.

Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Dilakukan penelitian lain terhadap *substitusi* semen menggunakan persentase optimum aluminium *slag* sebesar 1.5% dan *fly ash* sebesar 15% dengan tambahan bahan lainnya untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.
2. Dilakukan perawatan pada benda uji aluminium *slag* dan *fly ash* dengan tambahan bahan lainnya sebagai bahan substitusi semen dengan cara *curing*, agar benda uji tidak kehilangan kandungan air.
3. Perlu diperhatikan kembali metode pelaksanaan pada tahap pembuatan dan pencampuran adonan mortar dan *foam*, karena jika proses pencampuran tidak merata dapat mempengaruhi hasil dari benda uji tersebut.
4. Selanjutnya, perlu diperhatikan kembali saat menentukan perbandingan dalam penggunaan faktor air semen (FAS), karena dapat mempengaruhi hasil dari benda uji tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C796-97. 1967. "Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete." *ASTM International* 3: 1–5.
- ASTM C869-91. 1992. "Standard Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete 1." 80(1986).
- ASTM C109-07.2008. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars." *Annual Book of ASTM Standards* 14: 9.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002." *Bandung: Badan Standardisasi Nasional*: 251.
- Bella, Rosmiyati A, Pah, Jusuf J S., Ratu, Ariansyah G. 2017. 2017. "Perbandingan Presentase Penambahan Fly Ash terhadap Kuat Tekan Bata Ringan Jenis CLC." *Jurnal Teknik Sipil* VI(2): 199-204.
- Hanamanteo, dkk, 2014. Beton. <http://id.m.wikipedia.org/wiki/beton/URL>. diakses pada 12 Agustus 2022.
- Mochamad Eky Zakariya, Yogie Risdianto. 2018. "Pengaruh Penambahan Serat Sabut Kelapa Dengan Catalyst, Monomoer, Dan Fly Ash Sebagai Material Penyusun Beton Ringan Seluler." *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil* 1(1): 186–94.
- Nursyafril, Teten, and Muh. Nur Hafidz. 2014. "Pemanfaatan Abu Limbah Pembakaran Barang Mengandung Aluminium Untuk Bahan Campuran Mortar." *TEDC Polban* 8: 41–49.
- Purnaman Gunawan, Wibowo, Nurmantian Suryawan. 2015. "Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene pada Beton Ringan dengan Teknologi Foam terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Modulus Elastisitas." *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil* 2(2): ISSN 2354-8630. 213-220.
- Reddy, Chandrasekhar. 2018. "Effect of Fly Ash and Aluminum Dust on Strength Properties of Concrete." *Novateur Publications* 3(7): 8343-8350.
- Setiawati, Mira. 2018. "Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton." *Seminar Nasional Sains dan Teknologi* 17: 1–8.
- Utomo Setyo, Gatot, Krisna Dwi Handayani, and Yogie Risdianto. 2018. "Studi Penggunaan Catalyst, Monomer, Dan Fly Ash Sebagai Material Penyusun Beton Ringan Selular." *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil* 1(1): 186–94.