

PENGARUH ALUMINIUM SLAG SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN PADA CAMPURAN BETON RINGAN SELULER

Muhamad Dwi Fahresa

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

Email: muhamad.18019@mhs.unesa.ac.id

Yogie Risdianto

Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: yogierisdianto@unesa.ac.id

ABSTRAK

Produk beton ringan seluler kurang diminati di pasar Indonesia karena jaminan kualitas, warna yang buruk dan poros bata yang tidak rata. Beton ringan memiliki berat jenis yang lebih rendah dari beton umum, dan massanya memiliki berat jenis lebih rendah, sehingga beton ringan dapat digunakan untuk struktur tahan gempa. Beton ringan aerasi merupakan beton yang mengandung agregat ringan dan berat volume seimbang, dengan berat antara 1140 kg/m³ sampai 1840 kg/m³. Beton ringan aerasi harus mencapai nilai kuat tekan sebesar 1,4 MPa. Kepadatan per satuan volume harus dalam kisaran 1100-1400 kg/m³ atau 1.1-1.4 g/cm³. Penelitian ini merupakan eksperimen pada beton ringan seluler yang dilakukan di laboratorium dengan menghasilkan data kuantitatif. Ada beberapa variasi substitusi semen dengan aluminium *slag* seperti 0%, 1,5%, 3%, 4,5%, 6% dan 7,5% dengan menggunakan benda uji kubus 5x5x5 cm³. Pengujian kuat tekan dilakukan pada tiga benda uji masing-masing varian pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Hasil dari penelitian ini yaitu semen yang digantikan dengan aluminium *slag* menunjukkan kuat tekan tertinggi pada beton ringan dengan variasi 1,5% dengan nilai kuat tekan 4,3 MPa dan berat volumetrik 669,3 kg/m³ dengan variasi 0% untuk kuat tekan 4,2 MPa dan berat volume 693,3 kg/m³ diperoleh hasil untuk sampel beton ringan umur 28 hari.

Kata Kunci: Beton Ringan Seluler, Aluminium *Slag*, Substitusi Semen, Kuat Tekan.

ABSTRACT

Nowadays, lightweight concrete products are less in demand in the Indonesian market due to quality assurance, poor color, and uneven brick shafts. Lightweight concrete has a lower specific gravity than general concrete, and its mass has a lower density, so that lightweight concrete can be used for earthquake-resistant structures. Aerated lightweight concrete is concrete containing lightweight aggregates and a balanced volume weight, with a weight between 1140 kg/m³ to 1840 kg/m³. Aerated lightweight concrete must achieve a compressive strength value of 1.4 MPa. Therefore, the density per unit volume should be 1100-1400 kg/m³ or 1.1-1.4 g/cm³. This research is an experiment on lightweight cellular concrete carried out in a laboratory by producing quantitative data. There are several variations of cement substitution with aluminum slag, such as 0%, 1.5%, 3%, 4.5%, 6%, and 7.5%, using a 5x5x5 cm³ cube specimen. Compressive strength testing was carried out on three samples with each variant at 3, 7, 14, 21, and 28 days. The results of this study that cement replaced with aluminum slag showed the highest compressive strength in lightweight concrete with a variation of 1.5%, a compressive strength value of 4.3 MPa and a unit weight of 669.3 kg/m³ with a variation of 0% for compressive strength of 4.2 MPa and volume weight of 693.3 kg/m³ was obtained for the 28-day lightweight concrete sample.

Keywords: Cellular Lightweight Concrete, Aluminum Slag, Substitution cement, Compressive Strength

PENDAHULUAN

Produk beton ringan seluler kurang diminati pada pasar di Indonesia karena alasan yang beragam dari mutu yang kurang terjamin, lalu warna yang kurang bagus, poros dari bata yang kurang merata dan lain-lain, maka diperlukan bahan penambah untuk menjadikan beton ringan seluler sebagai produk yang dapat bersaing dengan produk beton ringan aerasi. Pengembangan olahan beton ringan seluler lebih murah dalam hal biaya investasi disebabkan memerlukan alat lebih sederhana.

Beton ringan menurut Standar Nasional Indonesia atau SNI 2847-2013 didefinisikan sebagai beton yang mengandung agregat ringan dan berat volume seimbang dengan berat antara 1140 kg/m^3 dan 1840 kg/m^3 . Beton ringan memiliki berat jenis yang lebih rendah dari beton normal, dan massa mempengaruhi berat bangunan, sehingga beton ringan dapat digunakan untuk konstruksi tahan gempa.

ASTM menjelaskan untuk beton ringan seluler nilai kuat tekan yang didapat harus lebih besar dari 1.4 MPa jika kurang maka dinyatakan tidak memenuhi kriteria beton ringan. Berat volume harus memenuhi dengan range $1100\text{-}1400 \text{ kg/m}^3$ atau $1.1\text{-}1.4 \text{ g/cm}^3$, kuat tarik melebihi 0,17 MPa dan penyerapan air tidak boleh melebihi dari 25%.

Beton ringan memiliki tujuan penggunaan untuk pengurang beban beton sendiri yang dikategorikan sebagai beban mati pada perhitungan struktur, yang selanjutnya akan mengurangi dimensi elemen kolom, elemen pemikul beban gravitasi dan pondasi, tetapi pada prinsipnya beton ringan digunakan untuk memenuhi kekuatan yang sama dengan beton normal (Bayuaji dan Biyanto, 2009).

Beton ringan aerasi memiliki kelemahan dalam hal kuat tekan, workability dan waktu pembuatan beton yang relatif lama. Aluminium merupakan salah satu komponen semen yang biasanya berupa aluminium oksida. Aluminium slag yang banyak mengandung zat aluminium dapat digunakan sebagai bahan atau pengganti semen. maka dari itu dilakukan penelitian mengenai beton ringan dengan judul

“Pengaruh Aluminium *Slag* Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Campuran Beton Ringan Seluler”.

Abu limbah hasil pembakaran aluminium adalah limbah yang dihasilkan dari proses pembakaran logam yang mengandung bahan aluminium dari berbagai macam barang buangan yang dijual ke pabrik pembuatan panci. Barang-barang tersebut dibakar didalam tungku hingga cair, kemudian pada bagian atas cairan aluminium di dalam tungku, terlihat ada 2 jenis limbah yang memiliki perbedaan ukuran dan bentuknya, yaitu ada yang berbentuk butiran kasar dan yang halus (abu). menggunakan bahan limbah abu hasil pembakaran barang aluminium sebagai bahan tambahan, dengan tujuan memanfaatkan abu limbah aluminium secara optimal sehingga limbah yang selama ini dibuang akan memiliki nilai ekonomis, disamping mengurangi biaya pembuatan mortar, juga dapat menjaga kesehatan lingkungan. Nursyafril, (Teten, and Muh. Nur Hafidz. 2014)

Aluminium *Slag*

Aluminium *slag* adalah bahan limbah hasil peleburan logam aluminium yang berbentuk abu. Proses peleburan aluminium primer menghasilkan limbah abu primer atau dross yang masih mengandung residu aluminium sebesar 20-45%. Dross aluminium merupakan padatan atau serpihan bongkahan berwarna abu-abu, mengandung bahan kimia beracun yang dapat mencemari lingkungan, sehingga perlu kehati-hatian dalam pemanfaatan dross dan pembuangan limbahnya. Selama proses peleburan dross, aluminium akan bereaksi di udara membentuk oksida aluminium pada permukaan aluminium yang mencair. Peleburan dari padatan dross aluminium membutuhkan penambahan dan *flux* untuk mengikat sisa aluminium dalam abu primer, serta larutan asam sulfat dan asam amonia, serta menghasilkan limbah abu sekunder atau *slag* aluminium yang berwarna abu-abu kehitaman.

Aluminium *slag* termasuk kedalam limbah bahan berbahaya beracun (B3) dalam PP 101 tahun 2014 yaitu dengan kode B313-2 dari kegiatan industri peleburan aluminium dengan kategori bahaya 2, sehingga berpotensi mencemari lingkungan.

Aluminium merupakan salah satu unsur zat penyusun semen lebih tepatnya yaitu aluminium oksida. Aluminium *slag* sendiri memiliki kandungan aluminium didalamnya sehingga berpotensi menjadi bahan penyusun semen.

Tabel 1 kandungan aluminium *slag*

No	Unsur yang Terkandung	(%)
1	Silika Oksida	4,9
2	Aluminium Oksida	69,39
3	Besi Oksida	1,96
4	Calsium Oksida	3,2
5	Magnesium Oksida	8,33
6	Titanium Oksida	1,9

(Sumber: Nursyafril,2014)



Gambar 1. Aluminium Slag.

Kuat Tekan Beton

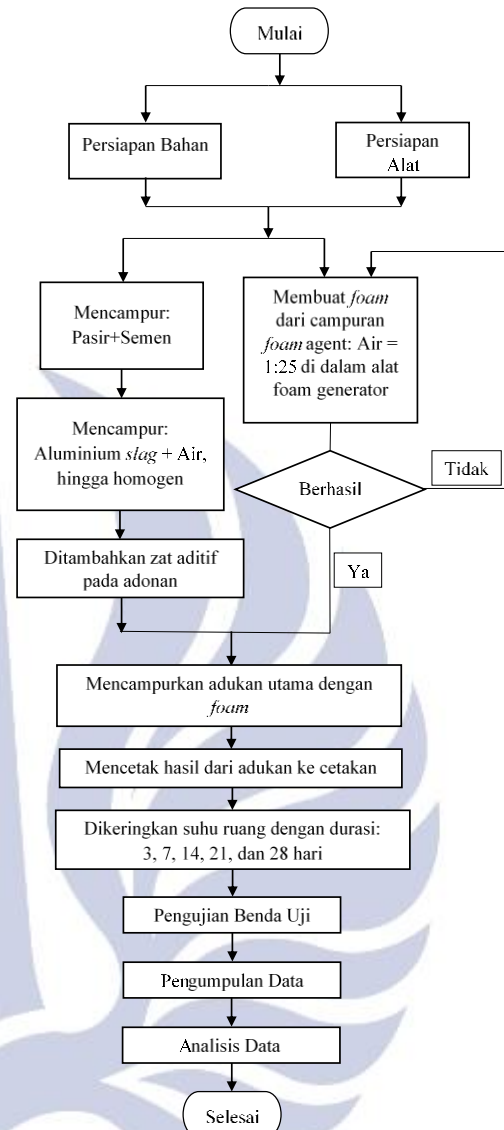
Kriteria kuat tekan diperoleh menurut ASTM C109 M-07, menggunakan kubus berukuran 5x5x5 cm³ untuk menguji kuat tekan mortar beton. Benda uji kubus berukuran 5x5x5 cm³ dibuat dengan mencampurkan adonan dalam mixer ASTM C305 dengan batas waktu pencampuran 2 menit 3 detik.

Penyerapan Air

Kelembaban diserap oleh *spesimen*. Penyerapan air ini terjadi karena adanya pori-pori pada beton ringan seluler. SNI 03-0349-1989 menyatakan, bahwa benda uji layak digunakan bila daya serap airnya memiliki nilai maksimum 25%.

METODE

Tahapan penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut:



Gambar 2. Flow chart Pembuatan Benda Uji

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil penelitian kuantitatif dengan menggunakan desain eksperimental empiris. Desain empiris adalah metode yang memanfaatkan pengamatan indera manusia agar orang lain dapat mengamati dan mengetahui cara melakukannya (Sugishirono, 2013).

Desain empiris dalam penelitian dilakukan dengan melakukan kegiatan eksperimen dan memperoleh data melalui observasi pada setiap eksperimen. Data survei berupa data kuantitatif. Kemudian diproses untuk menghasilkan hasil.

HASIL PENGUJIAN

Uji Material

1. Semen

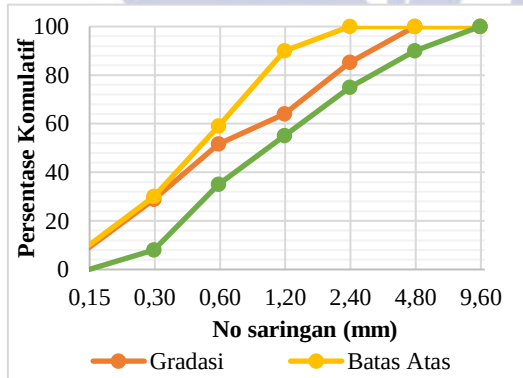
Semen Gresik type 1 yang digunakan merupakan semen tipe PPC (*Pozzolan Portland Cement*) dengan berat jenis 3,13 gr/cm³.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan merupakan jenis pasir pasuruan dengan lolos ayakan no. 4. Hasil pengujian agregat halus dapat diketahui melalui Tabel 2. Hasil uji material agregat halus berikut ini:

Tabel 2. Hasil uji material agregat halus.

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
Analisa gradasi butiran	Zona 2
Berat jenis	2,23 gram/cc
Berat pervolume	1,54 gram/cm ³
Kadar Lumpur pada pasir	2,61 %
Kadar kelembaban pasir	3,64 %



Gambar 3. Grafik Zona Ayakan Agregat Halus

3. 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

Sampai saat ini perhitungan komposisi campuran beton ringan seluler tidak ada peraturan *mix design* yang baku. Untuk acuan campuran digunakan acuan SNI 03-6825-2002 serta jurnal dan penelitian-

penelitian yang relevan. *Mix design* didasarkan dengan volume 1 m³ adonan beton ringan seluler, dengan perbandingan semen dan pasir 1:2 dengan faktor air semen (*FAS*) sebesar 0,55. Pembuatan *foam agent* harus dicampurkan dengan air dengan ketentuan pada surat edaran menteri pekerjaan umum dan perumahan rakyat Nomor: 44/se/m/2015 yaitu dengan perbandingan *foam agent* dan air sebesar 1:25 serta penambahan *Superplasticizer* sebesar 0,5% dari berat semen keseluruhan. Standar kuat tekan pada bata ringan harus lebih besar dari 1,4 MPa dengan penyerapan air maksimal 25%. Berikut komposisi campuran *mix design* berbentuk kubus 5x5x5cm³ dengan kebutuhan benda uji 18 buah. Tabel 2 Hasil komposisi campuran beton pada benda uji kubus ukuran 5x5x5cm³.

Tabel 3. *Mix Design* Benda Uji Kubus 5x5x5cm³

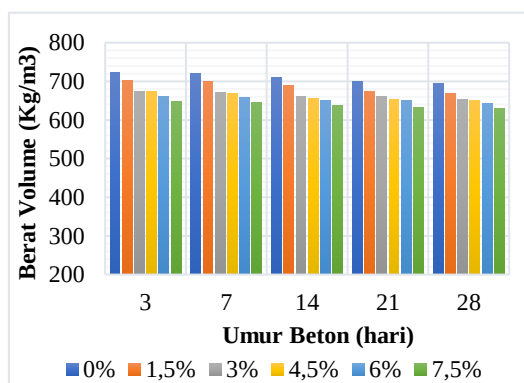
Kode	Pasir (Kg)	Semen (Kg)	Air (Liter)	Foam (Liter)	AS (gr)	SP ml
0%	2,6	1,3	651,0	3,9	0	5
1,5%	2,6	1,3	651,0	3,9	20	5
3%	2,6	1,3	651,0	3,9	39	5
4,5%	2,6	1,2	651,0	3,9	59	5
6%	2,6	1,2	651,0	3,9	78	5
7,5%	2,6	1,2	651,0	3,9	98	5
Total	15,6	7,5	3906,3	23,4	293	30

(Sumber: Hasil perhitungan).

Berat Volume Beton

Proses pengujian berat volume beton ringan seluler dilakukan sebelum pengujian kuat tekan pada beton ringan seluler. Pengujian berat volume dilakukan untuk mengetahui kesatuan antara berat benda uji dengan volume benda uji beton ringan seluler. Pengujian ini dilakukan dengan cara menimbang benda uji untuk mencari berat benda uji, kemudian dari data berat benda uji yang didapat kemudian akan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai rata-rata dari berat volume benda uji beton ringan seluler. Pengujian berat volume ini dengan menggunakan benda uji kubus dengan ukuran

5 x 5 x 5 cm³. Pada gambar 4. menyajikan rekapitulasi pengujian berat volume umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari.



Gambar 4. Grafik Rekapitulasi Berat Volume
(Sumber: Hasil penelitian di Laboratorium)

Nilai berat volume tertinggi terdapat pada variasi 0% dengan berat volume rata-rata 693kg/m³ dan variasi 1,5% dengan berat volume rata-rata 669kg/m³ pada umur 28 hari pada benda uji kubus 5 x 5 x 5 cm³. Berat volume yang dihasilkan tidak memenuhi persyaratan dari ketentuan berat volume penelitian yaitu antara range 1100-1400 kg/m³ atau 1.1-1.4 g/cm³, akan tetapi berat volume tersebut sudah memenuhi beton sangat ringan sebagai isolasi dengan range >800 kg/m³ atau 0.8 g/cm³ (SNI-03-3449-2002).



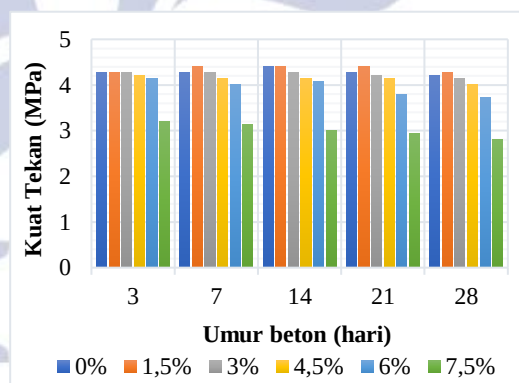
Gambar 5. Volume Beton Mengembang.
(Sumber: Hasil penelitian di Laboratorium)

Menambahnya volume beton ringan akibat reaksi kimia aluminium *slag*, menambahnya volume terjadi pada variasi 7,5% dapat dilihat pada gambar 5. Meskipun terjadi menambahnya volume pada permukaan beton berat volumenya sangat rendah dibandingkan dengan variasi 0%.

Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan ini dilakukan pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari dengan menggunakan alat *Hydraulic*. Pengujian ini mengacu pada ASTM C869 (*Standard Specification for Foaming Agent Used in Making Prefoam Foam for Celuler Concrete*) menjelaskan untuk beton ringan seluler nilai kuat tekan yang didapat harus lebih besar dari 1.4 MPa. Setiap pengujian menggunakan 3 sampel pada semua variasi, dengan ukuran kubus 5x5x5 cm³.

Kuat tekan pada umur 28 hari beton ringan, dengan nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi 0% dengan kuat tekan rata-rata 4,20 MPa, setelahnya pada variasi 1,5% dengan nilai 4,13 MPa. Menunjukkan semakin besar kadar aluminium *slag* yang diberikan, semakin kecil kuat tekan yang mampu diterima, hal ini menunjukkan bahwa penurunan pada nilai kuat tekan berbanding terbalik dengan banyaknya persentase aluminium *slag*. Kuat tekan dari beton CLC tidak bisa stabil seperti umur sebelumnya karena semakin lama maka kadar airnya akan berkurang, karena kadar air yang berkurang membuat kuat tekan dari beton CLC menurun.

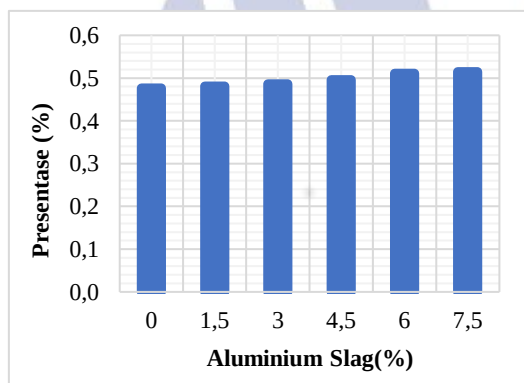


Gambar 6. Grafik Rekapitulasi Kuat Tekan
(Sumber: Hasil penelitian di Laboratorium)

Rekapitulasi kuat tekan disajikan pada gambar 6. Rekapitulasi kuat tekan menunjukkan hasil turunnya kuat tekan akibat penambahan aluminium *slag*, semakin besar penambahan aluminium *slag* maka semakin turun kuat tekannya. Penambahan yang paling optimal terdapat pada variasi 1,5% dan kuat tekannya hampir sama dengan variasi 0%.

Uji Penyerapan Air Pada Beton

Uji penyerapan air dilakukan bertujuan untuk mengetahui persentase rongga pori-pori pada benda uji sehingga mengetahui persentase penyerapan yang terjadi pada benda uji yang diteliti. Pengujian ini mengacu pada SNI-2914-1992. Pengujian dilakukan pada tiap variasi, dengan jumlah tiap variasi adalah 3 benda uji. Pengujian dilakukan pada benda uji beton CLC diumur 28 hari. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Beton Universitas Negeri Surabaya. Hasil dari uji penyerapan air mengacu pada ASTM C869 dengan syarat ketentuan sebesar 25%. Berikut gambar 7 menyajikan presentase penyerapan air:



Gambar 7. Uji Penyerapan Air Umur 28 Hari
(Sumber: Hasil penelitian di Laboratorium)

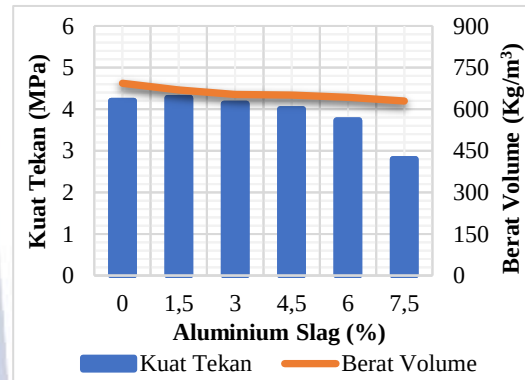
Terjadinya peningkatan pada uji penyerapan beton CLC, akibat penambahan aluminium slag sehingga menimbulkan banyak rongga pada beton CLC. Hasil yang didapat melebihi ketentuan syarat yaitu 25% resapan air dari ASTM C869, sehingga dinyatakan tidak memenuhi syarat dari ASTM C869. Penambahan aluminium slag yang paling optimal terdapat pada variasi 1,5%, karena memiliki nilai presentase penyerapan air yang kecil.

PEMBAHASAN

Analisa Hubungan Kuat Tekan dengan Berat Volume

Analisa hubungan ini diperoleh setelah menyelesaikan pengujian kuat tekan dan pengujian berat volume pada benda uji di setiap variasi, analisa

hubungan akan dilakukan untuk mengetahui perbandingan guna mengetahui hasil dan perbandingan pada setiap variasi yang digunakan. Berikut beberapa hasil perbandingan uji kuat tekan dan berat volume yang dilakukan:



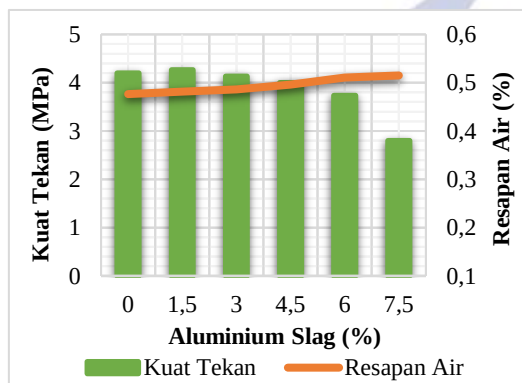
Gambar 8. Analisa Kuat Tekan dan Berat Volume
Umur 28 Hari

(Sumber: Hasil penelitian di Laboratorium)

Analisa hubungan kuat tekan dan berat volume dapat dilihat pada gambar 8. Diketahui pada usia beton CLC 28 hari, diketahui bahwa tiap variasi menghasilkan nilai yang berbeda. Pada variasi 0% tanpa penambahan aluminium slag mendapat nilai kuat tekan sebesar 4,2 MPa dan 693,3 kg/m³ pada uji berat volume dan pada penambahan aluminium slag yang mendapat nilai kuat tekan dan berat volume yang paling optimum pada benda uji variasi 1,5% sebesar 4,3 MPa dan 669,3 kg/m³ di uji berat volume. Maka dapat disimpulkan bahwa uji kuat tekan dan uji berat volume di variasi 1,5% memiliki hasil lebih optimum, dibandingkan dengan variasi lainnya. Pada ASTM menjelaskan untuk beton ringan seluler nilai kuat tekan yang didapat harus lebih besar dari 1.4 MPa. Berat volume harus memenuhi dengan range 1100-1400 kg/m³ atau 1.1-1.4 g/cm³. Sehingga dapat dinyatakan memenuhi syarat Kuat tekan pada variasi 1,5% dengan nilai 4,3 MPa, sedangkan berat volume pada variasi 1,5% ini tidak memenuhi sasaran berat volume, akan tetapi berat volume tersebut sudah memenuhi beton sangat ringan sebagai isolasi dengan range >800 kg/m³ atau 0.8 g/cm³ (SNI-03-3449-2002).

Analisa Hubungan Kuat Tekan dan Resapan Air

Analisa hubungan kuat tekan dan resapan air, Analisa ini diperoleh setelah menyelesaikan pengujian kuat tekan dan pengujian resapan air pada benda uji di setiap variasi, analisa hubungan akan dilakukan untuk mengetahui perbandingan kuat tekan dan resapan air guna mengetahui perbandingan pada setiap variasi. Berikut beberapa hasil perbandingan uji kuat tekan dan resapan air yang dilakukan:



Gambar 9. Analisa Kuat Tekan dan Resapan Air Umur 28 Hari
(Sumber: Hasil penelitian di Laboratorium)

Diketahui analisa hubungan kuat tekan dan resapan air pada usia beton CLC 28 hari, diketahui bahwa tiap variasi menghasilkan nilai yang berbeda. Pada variasi 0% tanpa penambahan aluminium slag mendapat nilai kuat tekan sebesar 4,2 MPa dan 47,6% pada uji resapan. Dari penambahan aluminium slag yang mendapat nilai kuat tekan dan resapan air yang optimum pada benda uji variasi 1,5% sebesar 4,3 Mpa dan 48,1% diuji resapan air. Maka dapat disimpulkan bahwa uji kuat tekan memenuhi syarat karena lebih besar dari 1,4 Mpa (ASTM C869), sedangkan esapan airnya telah melebihi ketentuan maksimal 25% pada peraturan (ASTM C869).

SIMPULAN

Hasil penelitian mendapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Persentase optimal penggunaan aluminium slag pada campuran beton ringan CLC didapatkan pada substitusi 1,5% aluminium slag terhadap berat total semen tiap variasi, ketika lebih besar

dari 1,5% maka akan terjadi penurunan kuat tekan dan berat jenisnya dikarenakan ketika substitusi lebih dari 1,5% maka terjadi segregasi material beton ringan sehingga komposisi yang terdapat pada beton ringan tidak seimbang menyebabkan lama pengeringan beton dan pengembangan. Penambahan lebih dari 1,5% aluminium slag menyebabkan berat volume yang lebih rendah, ketika berat jenis rendah maka kuat tekan yang dihasilkan rendah. Pengaruh substitusi bahan tambah berupa aluminium slag pada campuran beton ringan CLC, berpengaruh terhadap sifat mekaniknya berupa kuat tekan yang menurun untuk substitusi 6% dan 7,5% aluminium slag dibandingkan dengan substitusi 1,5% berikut ini nilai untuk substitusi 1,5% aluminium slag didapat 4.3 MPa pada umur 28 hari.

2. Pengaruh berat volume pada substitusi bahan tambah berupa aluminium slag pada campuran beton ringan CLC, berpengaruh pada permukaan beton CLC terjadi berupa menambahnya volume beton CLC pada substitusi variasi 7,5% aluminium slag dibandingkan dengan variasi 1,5% aluminium slag yang mendapat nilai berat yang optimum pada benda uji sebesar $693,3 \text{ kg/cm}^3$
3. Hubungan kuat tekan dengan waktu curing beton ringan CLC saling berhubungan khususnya pada substitusi 1,5% aluminium slag, ketika umur beton ringan CLC bertambah maka semakin sedikit air yang berada di beton dan pada umur 28 hari terjadi kuat tekan terbesar pada substitusi 1,5% aluminium slag yaitu 4.3 MPa dan resapan air sebesar 48,1%.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh penggunaan aluminium slag sebagai substitusi semen pada campuran beton ringan, saran dari penguji bagi penelitian selanjutnya yaitu:

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal terhadap substitusi semen dengan aluminium slag sebesar 1,5%, sehingga untuk pembuatan benda

- uji dengan substitusi aluminium slag tidak melebihi dari 1,5% agar mendapatkan hasil kuat tekan optimum.
2. Perlu diperhatikan dalam pelaksanaan ketika pembuatan foam, saat pencampuran adonan mortar dan foam harus homogen karena saat proses pencampuran tidak merata dapat mempengaruhi hasil dari benda uji tersebut.
 3. Perlu dilakukan curing saat perawatan beton CLC agar kadar air pada benda uji tidak kehilangan air. Apabila kadar air pada beton CLC hilang maka kuat tekannya menurun.
- DAFTAR PUSTAKA**
- ASTM. 1967. *C 796 – 97: Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete*. Vol. 3.
- ASTM. 2016. *C109/109M-16a, ASTM: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or Cube Specimens)*. Vol. 04.
- ASTM International. 2016. *ASTM C869: Standard Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete*. Vol. 91.
- Badan Standar Nasional Indonesia. 1990. *SNI 03-1974-1990 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*.
- Badan Standar Nasional Indonesia. 2000. *SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- Badan Standar Nasional Indonesia. 2002. *SNI 03-3449: Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan*.
- Badan Standar Nasional Indonesia. 2016. *SNI 1773: Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran Dan Kadar*.
- Fakhrudin, Muhammad and Yogie Risdianto. 2022. “Pemanfaatan Carbon Nanotube Dan Flyash Terhadap Kuat Tekan Pada Pembuatan Beton Ringan Seluler.” *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil* 04(02):1–7.
- Nursyafri, Teten, and Muh. Nur Hafidz. 2014. “Pemanfaatan Abu Limbah Pembakaran Barang Mengandung Aluminium Untuk Bahan Campuran Mortar.” *TEDC Polban* 8:41–49.
- Sabir, Saryas Qadir. 1978. *Light Weight Concrete*. Vol. 9.
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.CV.
- Utomo Setyo, Gatot, Krisna Dwi Handayani, and Yogie Risdianto. 2018. “Studi Penggunaan Catalyst, Monomer, Dan Fly Ash Sebagai Material Penyusun Beton Ringan Seluler.” *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil* 1(1):186–94.
- Zainudin, Ahmad. 2014. “Pengaruh Variasi Campuran Serbuk Aluminium Dalam Pembuatan Bata Beton Ringan Dengan Bahan Tambah Serbuk Gypsum.” Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Zakariya, Mochamad Eky and Yogie Risdianto. 2018. “Pengaruh Penambahan Serat Sabut Kelapa Dengan Penggunaan Catalyst, Monomer, Dan Fly Ash Sebagai Material Penyusun Beton Ringan Seluler.” *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil* 1(1):209–15.

