

PENGARUH LIMBAH ABU ALUMINIUM SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS DENGAN FAKTOR AIR SEMEN YANG BERBEDA PADA BETON RINGAN TERHADAP KUAT TEKAN DAN ABSORPSI

Thoriq Amrulloh¹, Sugeng Riyanto², Taufiq Rochman³

¹Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang, ³Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

¹thoriqamrulloh06@gmail.com, ²gusriyan74@yahoo.com, ³taufiqrochman@gmail.com

ABSTRAK

Beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat jenis tidak lebih dari 1900 kg/m³ (SNI-03-2847-2002). Tujuan dari skripsi ini adalah meneliti pengaruh pemanfaatan limbah abu aluminium untuk substitusi agregat halus dengan variasi faktor air semen 0,40, 0,50 dan 0,60 ditinjau dari kuat tekan beton, daya absorpsi dan biaya produksi pembuatan beton ringan dengan substitusi agregat halus menggunakan limbah abu aluminium dibanding dengan beton ringan tanpa campuran. Pencampuran butiran abu limbah sebagai material substitusi pasir dalam beton sebesar 10% dan variasi faktor air semen 0,40, 0,50 dan 0,60, mengidentifikasi sifat fisik abu limbah aluminium, sifat fisik agregat, performa beton keras meliputi kuat tekan beton dan absorpsi. Pengujian performa beton keras dilakukan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari. Benda uji untuk FAS 0,4 berjumlah 15 buah, untuk FAS 0,5 berjumlah 15 buah dan untuk FAS 0,6 berjumlah 15 buah dengan total benda uji 45 buah. Hasil penelitian sebagai berikut : performa beton dengan campuran abu aluminium sebesar 10% pada faktor air semen 0,4 menghasilkan nilai tekan beton 3,83 MPa dengan berat 1553 kg/m³. Kuat tekan yang didapat tidak memenuhi kuat tekan target 17,24 MPa dan biaya yang digunakan untuk membuat 1 m³ beton dengan campuran lebih murah Rp. 22.930,05 dari beton tanpa limbah. Berdasarkan analisa yang digunakan, maka pemakaian abu limbah aluminium diperlukan metode yang lain pada saat pembuatan mix desain dan pemakaian agregat ringan perlu dilakukan kajian terlebih dahulu supaya target kuat tekan beton sesuai yang direncanakan dan campuran abu limbah aluminium lebih disarankan untuk beton nonstruktural atau bahan campuran beton ringan.

Kata kunci : beton ringan, abu limbah aluminium, kuat tekan, absorpsi, biaya

ABSTRACT

Lightweight concrete is concrete containing light aggregate and has a density less than 1900 kg / m³ (SNI-03-2847-2002). The purpose of this thesis is to examine the effect of the utilization of aluminum ash waste for fine aggregate substitution with variations in the water cement ratio of 0.40, 0.50 and 0.60 in terms of concrete compressive strength, absorption power and production cost of making lightweight concrete with fine aggregate substitution using aluminum ash waste compared to lightweight concrete without a mixture. Using the ash as a substitution material of sand in concrete by 10% and the variation of water cement ratio of 0.40, 0.50 and 0.60, identifying the physical properties of aluminum ash, aggregate physical properties, hard concrete performance including concrete compressive strength and absorption. Hard concrete performance testing is carried out at the age of 7, 14, 21 and 28 days. Test objects for W/C ratio 0.4 as many as 15 pieces, for FAS 0.5 as many as 15 pieces and for FAS 0.6 as many as 15 pieces with a total of 45 test specimens. The results of the study are as follows: performance of concrete with 10% aluminum ash mixed concrete with a water cement ratio of 0.4 produces a concrete compressive value of 3.83 MPa with a weight of 1553 kg / m³. The compressive strength does not meet the target compressive strength of 17.24 MPa and the cost used to make 1 m³ of concrete mixture is cheaper Rp. 22,930.05 of concrete without aluminum ash mixed. Based on the analysis used, the use of aluminum waste ash requires another method when making the mix design and the use of light aggregate needs to be studied beforehand so that the target concrete compressive strength is as planned and aluminum waste ash mixture is preferred for non-structural concrete or lightweight concrete mixtures.

Keywords: lightweight concrete, aluminum waste ash, compressive strength, absorption, cost

1. PENDAHULUAN

Latar belakang

Beton memiliki salah satu kelemahan yaitu berat jenisnya cukup tinggi berkisar 2,4 atau berat 2400 kg/m³. Sehingga beban mati pada suatu struktur menjadi besar. Beberapa cara dapat dipakai untuk mengurangi berat jenis beton, seperti tidak menggunakan agregat halus, penggunaan agregat ringan, dan membuat pori-pori udara pada beton. Cara tersebut akan menghasilkan beton dengan berat jenis yang lebih kecil dari pada beton normal, sehingga disebut beton ringan. Menurut SNI-03-2847-2002, beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat jenis tidak lebih dari 1900 kg/m³.

Pada pembuatan cor alumunium terdapat limbah yaitu abu alumunium. Di Jombang produksi cor alumunium tersebar di 14 desa di Kecamatan Sumobito dan lima desa di Kecamatan Kesamben. Limbah tersebut oleh para pengusaha diolah dengan cara dibakar. Alumunium batangan yang dihasilkan mencapai 10-50% dari limbah yang diolah. Sedangkan residunya berupa abu alumunium yang biasanya ada dipakai menguruk lahannya sendiri dan lahan warga sekitar yang kebetulan butuh diuruk. Limbah B3 alumunium untuk uruk lahan, berpotensi besar mencemari lingkungan. Abu alumunium itu justru akan menjadi netral ketika terkena air. Sifat limbah berwarna abu-abu mengeluarkan uap panas berbau menyengat saat terkena air. (Enggran Eko Budianto – detik News).

Dengan pertimbangan di atas, maka dilakukan penelitian tentang pengaruh abu alumunium sebagai bahan pengganti agregat halus pada beton. Penelitian ini diharapkan dapat mengurangi permasalahan yang ditimbulkan oleh abu alumunium dan juga dapat menekan biaya pembuatan beton sehingga menjadi lebih ekonomis.

Tujuan

Berdasarkan latar belakang masalah di atas maka rumusan masalah yang dapat diambil, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh pemanfaatan limbah abu alumunium mensubstitusi agregat halus dengan variasi faktor air semen 0,40; 0,50 dan 0,60 terhadap kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh pemanfaatan limbah abu alumunium mensubstitusi agregat halus dengan variasi faktor air semen 0,40; 0,50 dan 0,60 terhadap absorpsi beton?
3. Berapa biaya produksi pembuatan beton ringan dengan limbah abu alumunium mensubstitusi agregat halus dibandingkan dengan beton ringan tanpa campuran?

Studi terdahulu

Menurut **Gusti, G.K. (2018)** dari hasil hasil pengujian menunjukkan bahwa abu limbah alumunium tidak memenuhi sebagai substitusi pasir dikarenakan menurunkan kuat tekan beton dan lebih dianjurkan sebagai zat aditif pengembang beton dan sebagai komponen campuran beton ringan.

Abu alumunium

Limbah alumunium merupakan limbah atau residu dari proses pembakaran logam yang mengandung alumunium dari berbagai macam barang buangan untuk dicor sebagai alumunium batangan yang dijual ke pabrik pembuatan panci, terlihat ada 2 jenis limbah yang memiliki perbedaan ukuran dan bentuknya, yaitu ada yang berbentuk butiran kasar dan yang halus (abu) (Nursyafril dkk, 2012). Limbah abu alumunium pada penelitian ini berasal dari industri alumunium di Kabupaten Jombang.

2. METODE

Lokasi Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang. Untuk bahan substitusi berupa limbah abu alumunium berasal dari industri alumunium di Desa Kendalsari, Kecamatan Sumobito, Kabupaten Jombang dan penelitian selama ± 2 bulan.

Rancangan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Mutu beton yang didesain kuat tekan rencana $f_c' = 17,24$ MPa. Beton dengan faktor air semen sebesar 0,40; 0,50 dan 0,60. Umur pengujian kuat tekan dilakukan pada beton umur 7, 14, 21 dan 28 hari untuk pengujian absorpsi dilakukan pada beton umur 28 hari. Total benda uji berjumlah 45 buah.

2.3 PROSEDUR PENELITIAN

Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis

1. Analisa Agregat Ksar
 - a) Kadar air.
 - b) Berat jenis dan penyerapan.
 - c) Gradasi butiran.
 - d) Berat isi agregat.
 - e) Kekerasan agregat.
 - f) Keausan agregat
2. Analisa Abu Alumunium dan Agregat Halus
 - a) Kadar air.
 - b) Berat jenis dan penyerapan.
 - c) Gradasi butiran.
 - d) Berat isi.

e) Kadar Organik

Triall Mix Prosentase Kadar Limbah

Untuk menentukan prosentase substitusi yang akan digunakan, maka dilakukan trial dengan substitusi abu limbah alumunium 10%, 20% dan 30%. Hasil dari kuat tekan terbesar dari masing-masing substitusi yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji.

Rancangan Campuran

Rancangan campuran beton ini dibuat sesuai dengan SNI 03-3449-2002, Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan. Target kuat tekan beton adalah sebesar 17,24 MPa. Pada penelitian ini terdapat 3 jenis faktor air semen sebesar 0,40, 0,50 dan 0,60.

Benda Uji

Untuk mengetahui kuat tekan dari masing-masing campuran beton, maka dibuatlah sejumlah benda uji berupa silinder beton berukuran 150 × 300 mm.

Perawatan Benda Uji

Perawatan dilakukan dengan cara membungkus beda uji dengan plastik dengan fungsi agar kelembaban dalam beton dapat terjaga selama proses hidrasi antara semen dan air.

Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang telah berumur 7, 14, 21 dan 28 hari dengan memberikan tekanaan hingga benda uji tersebut runtuh.

Uji Daya Absorpsi

Pengujian absorpsi beton ringan dilakukan dengan cara benda uji seutuhnya direndam dalam air selama 24 (dua puluh empat) jam.

Hipotesa dan ANOVA

Dari data kuat tekan dari penelitian ini, maka dilakukan pengujian hipotesis untuk mengetahui pengaruh dari variable bebas (varisai faktor air semen) terhadap hasil pengujian kuat tekan beton.

Dimana :

H₀: Hipotesis awal yang menyatakan tidak terdapat pengaruh akibat penambahan faktor air semen pada campuran beton ringan dengan limbah abu alumunium terhadap kuat tekan beton

H₁ : Hipotesis alternatif yang menyatakan terdapat pengaruh akibat penambahan faktor air semen pada campuran beton ringan dengan limbah abu alumunium terhadap kuat tekan beton.

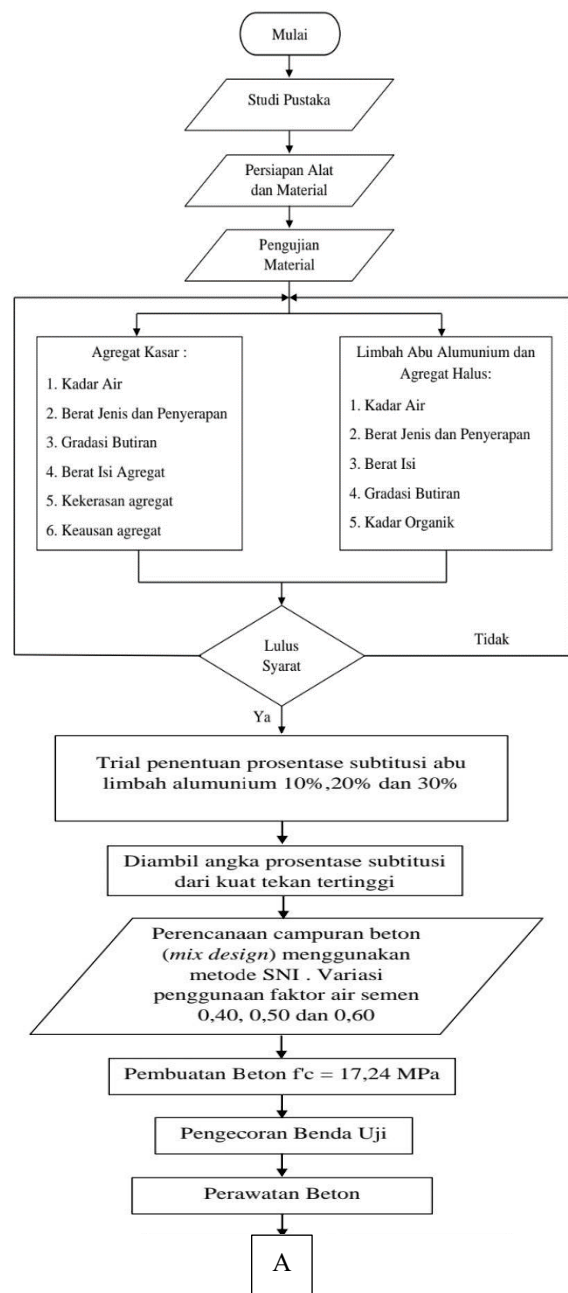
Analisa Anggaran Biaya

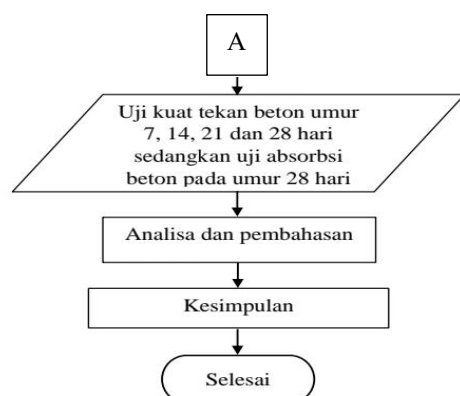
Analisa anggaran biaya pada beton mutu f'c 17,24 MPa dengan campuran limbah abu alumunium ini diperoleh

dengan membandingkan antara biaya pembuatan beton dengan campuran limbah abu alumunium terhadap beton ringan tanpa campuran abu alumunium dalam m³. Sehingga akan didapat perbedaan biaya kebutuhan material beton yang efisien. Perhitungan biaya kebutuhan material beton per m³ menggunakan Analisa Harga Satuan Pekerjaan Kota Malang tahun 2019.

BAGAN ALIR

Prosedur pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini:





Gambar 1. Bagan Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Bahan

Hasil dari penelitian ini adalah kuat tekan dan absorpsi beton. Sebelum membuat mix design untuk sebagai acuan dalam membuat benda uji beton silinder, melakukan pengujian sifat-sifat fisik dan mekanis terhadap material yang akan digunakan.

Hasil Pengujian Abu Limbah Alumunium

Pengujian sifat fisik abu limbah alumunium yang dilakukan yaitu pengujian kadar air, berat jenis, penyerapan, gradasi, berat isi. Ringkasan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Abu Limbah Alumunium

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spec	Standar
Kadar Air (%)	1,32	1-5	SNI 1971:2011
Berat Jenis (gr/cm ³)	2,76	≥ 2,3	ASTM C 136- 06
Penyerapan (%)	2,02	≤ 5	ASTM C 136- 06
Angka Kehalusan (%)	1,11	2-4	ASTM C-136-01
Berat isi			
- Padat (gr/lit)	1,08	≤ 1,6	ASTM C-29M-03
- Lepas (gr/lit)	0,94	≤ 1,2	ASTM C-29M-03

Hasil Pengujian Agregat Halus

Penelitian ini dipergunakan untuk menjelaskan karakteristik agregat halus yang digunakan. Ringkasan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spec.	Standar
Kadar Air (%)	3,37	1-5	SNI 1971:2011
Berat Jenis (gr/cm ³)	2,69	≥ 2,3	ASTM C 136-06
Penyerapan (%)	0,64	≤ 5	ASTM C 136-06
Angka Kehalusan (%)	2,63	2-4	ASTM C-136-01
Berat isi			
- Padat (gr/lit)	1,40	≤ 1,6	ASTM C-29M-03
- Lepas (gr/lit)	1,20	≤ 1,2	ASTM C-29M-03
Kadar Organik			
-Warna Larutan	Grade 1	Grade1-3	ASTM C-49-99

Hasil Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah batu pecah berpori dengan ukuran 1-2 cm. Ringkasan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spec	Standar
Kadar Air (%)	5,74	1-5	SNI 1971:2011
Berat Jenis (gr/cm ³)	1,82	1,0-1,8	SNI 03-2461-2002
Penyerapan (%)	15,81	≤ 20	SNI 03-2461-2002
Angka Kehalusan (%)	2,15	2-4	ASTM C-136-01
Berat isi			
- Padat (gr/lit)	0,84	≤ 1,6	ASTM C-29M-03
- Lepas (gr/lit)	0,78	≤ 1,2	ASTM C-29M-03
Keausan (%)	86,5	≤ 40%	ASTM C-131-55
Kekerasan (%)	66	≤ 45%	BS : 882

Analisis Mix Design

Standar yang digunakan dalam menentukan proporsi campuran beton adalah SNI 03-3449-2002 tentang Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan. Kebutuhan material setiap variasi campuran dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 4. Kebutuhan Material Benda Uji Silinder Per 1m³ Beton Ringan.

No	Variasi FAS	Semen (Kg)	Pasir (Kg)	Kerikil (Kg)	Air (Kg)
----	-------------	------------	------------	--------------	----------

1	0,4	191,28	765,12	815,88	71,62
2	0,5	161,51	794,60	833,01	72,57
3	0,6	132,35	794,10	882,33	74,51

Tabel 5. Kebutuhan Material Per 15 Benda Uji Silinder Beton Ringan

No	Variasi FAS	Semen (Kg)	Pasir (Kg)	Kerikil (Kg)	Air (liter)
1	0,4	17,49	69,99	74,54	6,61
2	0,5	14,77	72,68	76,10	6,70
3	0,6	12,10	72,64	80,61	6,88

Tabel 6. Kebutuhan Material Benda Uji Silinder Per 1m³ Beton dengan Substitusi Limbah Abu Alumunium 10%

No	Variasi FAS	Semen (Kg)	Pasir (Kg)	Kerikil (Kg)	Air (Kg)	Abu (Kg)
1	0,4	191,28	688,61	815,88	71,62	76,51
2	0,5	161,51	715,14	833,01	72,57	79,46
3	0,6	132,35	714,69	882,33	74,51	79,41

Tabel 7. Kebutuhan Material Per 15 Benda Uji Silinder Beton dengan Substitusi Limbah Abu Alumunium 10%

No	Variasi FAS	Semen (Kg)	Pasir (Kg)	Kerikil (Kg)	Air (liter)	Abu (Kg)
1	0,4	17,49	63,45	74,54	6,61	6,54
2	0,5	14,77	65,41	76,10	6,70	7,27
3	0,6	12,10	65,38	80,61	6,88	7,26

Berat Isi Beton

Pengujian berat beton dilakukan dengan cara ditimbang sebelum dilakukan kuat tekan. Hasil dari penelitian nilai berat beton rata-rata dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 8. Data Berat Beton Rata-Rata

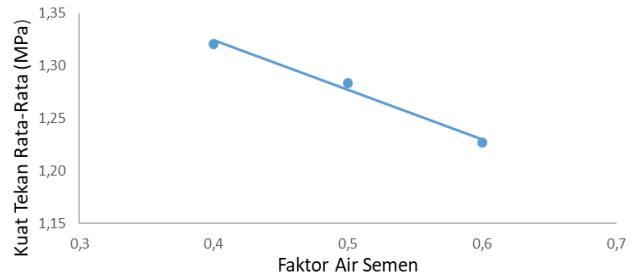
Variasi FAS	Berat beton rata-rata (kg/m ³)
FAS 0,4	1553
FAS 0,5	1560
FAS 0,6	1623

Pembahasan

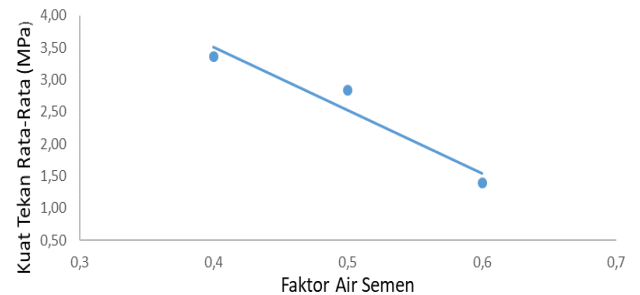
Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari, dengan memberikan tekanan hingga benda uji tersebut runtuh sedangkan pengujian absorpsi beton dilakukan pada umur 28 hari. Dengan cara benda uji seutuhnya direndam dalam air bersih yang bersuhu ruangan, selama 24 (dua puluh empat) jam.

Hubungan antara nilai Faktor Air Semen dengan Kuat Tekan Beton

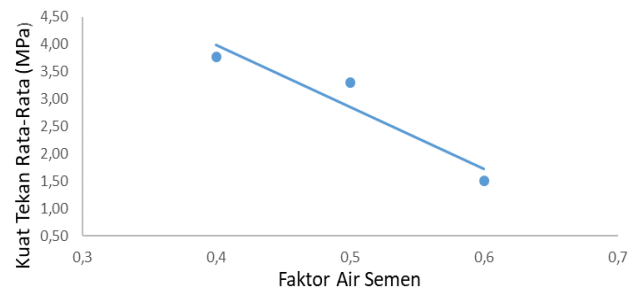
Hubungan antara nilai factor air semen dengan kuat tekan beton pada berbagai variasi umur uji disampaikan pada gambar berikut ini:



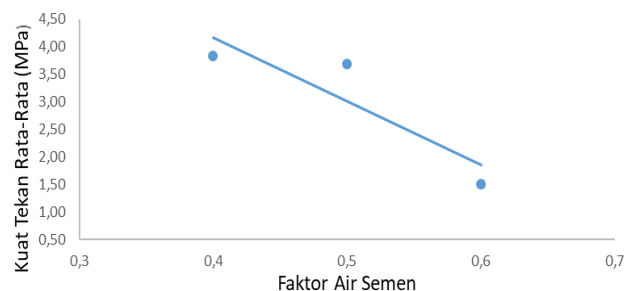
Gambar 2. Hubungan Antara FAS dengan Kuat Tekan Beton untuk Limbah Alumunium 10% pada Umur 7 Hari



Gambar 3. Hubungan Antara FAS dengan Kuat Tekan Beton untuk Limbah Alumunium 10% pada Umur 14 Hari



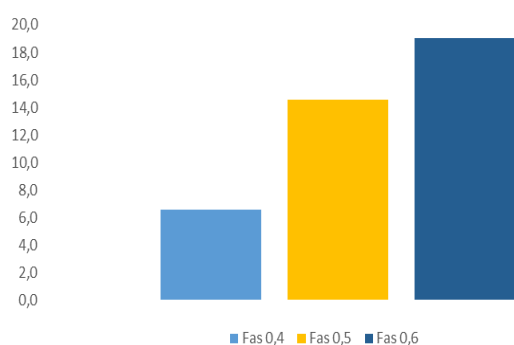
Gambar 4. Hubungan Antara FAS dengan Kuat Tekan Beton untuk Limbah Alumunium 10% pada Umur 21 Hari



Gambar 5. Hubungan Antara FAS dengan Kuat Tekan Beton untuk Limbah Alumunium 10% pada Umur 28 Hari

Berdasarkan **Gambar 2-5** dapat dianalisa pengaruh kuat tekan beton paling optimum pada umur 28 hari dengan penggunaan abu limbah alumunium 10% dan penggunaan faktor air semen yang berbeda. Kuat tekan rata-rata beton dengan dengan penggunaan faktor air semen 0,4 sebesar 3,83 MPa, kuat tekan rata-rata beton dengan penggunaan faktor air semen 0,5 sebesar 3,68 MPa, dan kuat tekan rata-rata beton dengan penggunaan faktor air semen 0,6 sebesar 1,51 MPa. Kuat tekan beton mengalami penurunan seiring dengan faktor air semen yang lebih besar.

Hubungan antara nilai Faktor Air Semen dengan Absorpsi Beton pada Umur 28 hari



Gambar 6. Hubungan Antara FAS dengan Absorpsi Beton dengan Limbah Abu Alumunium 10% pada Umur 28 Hari

Berdasarkan **Gambar 6** dapat dianalisa pengaruh Absorpsi beton pada umur 28 hari dengan penggunaan abu limbah alumunium 10% dan faktor air semen yang berbeda. Absorpsi rata-rata beton dengan penggunaan faktor air semen 0,4 sebesar 6,5 %, Absorpsi rata-rata beton dengan penggunaan faktor air semen 0,5 sebesar 14,5 %, dan Absorpsi rata-rata beton dengan penggunaan faktor air semen 0,6 sebesar 19,0 %. Absorpsi beton semakin bertambah seiring dengan seiring dengan faktor air semen yang lebih besar.

Hipotesis Statistik Kuat Tekan

Hasil analisis varian dengan menggunakan program excel diperoleh hasil seperti pada table berikut ini:

Tabel 9. Hasil ANOVA kuat tekan beton

Source of Variation	SS	df	MS	F Hit	P-value	F Tabel
Between Groups	18.772	2	9.386	11.507	0.000	3.285

Within Groups	26.916	33	0.816
Total	45.688	35	

Berdasarkan **Tabel 9** dapat disimpulkan bahwa nilai F hitung 11,507 lebih besar dari F table 3,285 ($F_{hit} > F_{tab}$) maka (H_0) ditolak, H_1 diterima. Sehingga, terdapat perbedaan secara signifikan antara kuat tekan beton akibat penambahan faktor air semen pada campuran beton ringan.

Rencana Anggaran Biaya

Hasil kuat tekan tertinggi yang akan digunakan dalam membandingkan antara biaya pembuatan beton dengan campuran limbah abu alumunium terhadap beton ringan tanpa campuran abu alumunium dalam m^3 . Perhitungan biaya kebutuhan material beton per m^3 menggunakan dasar Analisa Harga Satuan Pekerjaan Kota Malang tahun 2019.

Tabel 10. Biaya Material untuk Pembuatan 1 m^3 Beton Ringan Tanpa Limbah Abu Alumunium pada Faktor Air Semen 0,4

Material	Satuan	Volume	Harga satuan	Total Harga
Semen	Kg	191,28	Rp 1.800	Rp 344.304,00
Air	Lt	71,62	Rp 200	Rp 14.324,00
Pasir cor	m^3	765,12	Rp 299.700	Rp 229.306,46
Batu pecah 1/2	m^3	815,88	Rp 334.900	Rp 273.238,21
Total				Rp 502.903,30

Tabel 11. Biaya Material untuk Pembuatan 1 m^3 Beton dengan Limbah Abu Alumunium 10% dengan Faktor Air Semen 0,4

Material	Satuan	Volume	Harga satuan	Total Harga
Semen	Kg	191,28	Rp 1.800	Rp 344.304,00
Air	Lt	71,62	Rp 200	Rp 14.324,00
Abu Alumunium	kg	76,51	-	-
Pasir cor	m^3	688,61	Rp 299.700	Rp 206.376,42
Batu pecah 1/2	m^3	815,88	Rp 334.900	Rp 273.238,22
Total				Rp 479.973,26

Berdasarkan hasil perhitungan biaya kebutuhan material beton diatas, biaya kebutuhan material beton ringan tanpa limbah pada faktor air semen 0,4 biaya yang dibutuhkan untuk volume $1m^3$ adalah Rp. 502.903,30-. Biaya kebutuhan material beton untuk volume 1 m^3 dengan campuran kuat tekan yang paling tinggi (abu limbah alumunium 10% dan faktor air semen 0,4) adalah Rp. 479.973,25- hal ini menunjukkan penurunan 4,6% lebih murah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapat dari penelitian ini dapat diuraikan kesimpulannya sebagai berikut:

1. Penggunaan prosentase campuran dengan kuat tekan rata-rata sebesar 3,83 MPa diumur beton 28 hari pada faktor air semen 0,4. Sedangkan untuk faktor air semen 0,5 dengan kuat tekan rata-rata sebesar 3,68 MPa dan untuk faktor air semen 0,6 dengan kuat tekan rata-rata sebesar 1,51 MPa. Dari data tersebut kuat tekan beton mengalami penurunan seiring dengan faktor air semen yang lebih besar. Nilai kuat tekan beton tidak ada yang mencapai target kuat tekan 17,24 MPa.
2. Pengujian absorpsi beton didapat rata-rata sebesar 6,5% pada faktor air semen 0,4. Sedangkan untuk faktor air semen 0,5 dengan absorpsi rata-rata sebesar 14,5% dan untuk faktor air semen 0,6 dengan absorpsi rata-rata sebesar 19,0%. Dari data tersebut nilai absorpsi beton semakin bertambah seiring dengan dengan faktor air semen yang lebih besar. nilai absorpsi beton terkecil dengan nilai 6,5 %.
3. Biaya yang diperlukan untuk 1m³ beton dengan penggunaan 10% abu limbah alumunium yang disubstitusikan dengan pasir/bahan pengganti terhadap pasir pada faktor air semen 0,4 sebesar Rp. 479.973,26 Harga beton ringan tanpa campuran abu limbah alumunium untuk 1m³ sebesar Rp. 502.903,30-. Perhitungan diatas berdasarkan Harga Satuan Pekerjaan tahun 2019. Berdasarkan perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan abu limbah alumunium sebagai substitusi pasir mengurangi biaya (lebih murah) Rp. 22.930,05-. Sehingga dapat diaplikasikan untuk konstruksi non struktural.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM International, 2018. *Standard test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM C39/C39M-18 West Conshohocken: ASTM.
- [2] ASTM C.136 - 06, 2002, *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, West Conshohocken: ASTM.
- [3] ASTM C 29/C 29M-97(2003), *Test method for Bulk density ("unit weight") and voids in aggregate*. West Conshohocken: ASTM.
- [4] British Standard. 1992. *Spesification for Agregate from Natural Sources for Concrete*. BS 882:1992. Chiswick High Road London, London.
- [5] Bachtiar. Ibrahim. 2008. *Cara Cepat Menghitung Biaya Membangun Rumah Gatut Susanta*. Bumi Aksara. Griya Kreas.
- [6] Dinas Lingkungan Hidup Jombang, 2019. Laporan Hasil Pengujian. Pt Sky Pacific Indonesia, Bogor.
- [7] Gusti, G. K. 2018. Pengaruh abu limbah sisa industri cor alumunium sebagai substitusi pasir pada beton normal ditinjau dari peforma beton segar dan beton keras. Politeknik Negeri Malang.
- [8] Mulyono, Tri. 2003. *Teknologi Beton*. ANDI. Yogyakarta.
- [9] Mulyono, Tri. 2005. *Teknologi Beton*. ANDI. Yogyakarta.
- [10] Neville, A., & Brooks, J.(2003). *Concrete Technology*. New York: Jhon willey & Sons.
- [11] Nursyafril dkk, 2012. Jurnal. Pemanfaatan Abu Limbah Pembakaran Barang Mengandung Alumunium Untuk Bahan Campuran Mortar. Politeknik Negeri Bandung.
- [12] Sugiyanto, dkk. 2000. *Bahan Bangunan I (Buku Ajar)*. Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Bandar Lampung
- [13] SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional. Bandung.
- [14] SNI 2816:2014-2014. *Metode Uji Bahan Organik Dalam Agregat Halus Untuk Beton*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- [15] SNI 03-2834-2000. *Tata cara pencampuran beton normal*. Penerbit Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- [16] SNI 1970-2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standardisasi Nasional. Bandung.
- [17] SNI 03-3449-2002, *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan*. Badan Standardisasi Nasional. Bandung.
- [18] SNI 1974:2011, *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder*. Badan Standardisasi Nasional. Bandung.
- [19] SNI 03-2461-2002, *Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural*. Badan Standardisasi Nasional. Bandung.
- [20] SNI 03-6433-2000, *Tata Cara Perhitungan Pengujian Penyerapan Air (Absorpsi)*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- [21] Tjokrodimaljo, K. 2012. *Teknologi Beton*. KMTS FT UGM. Yogyakarta.
- [22] Tjokrodimaljo, K. 1996, *Teknologi Beton, Bahan Ajar*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.
- [23] Tjokrodimaljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Biro penerbit: Yogyakarta