

PENGARUH PEMAKAIAN LIMBAH BATA RINGAN DAN BAHAN TAMBAH SILICA FUME PADA CAMPURAN BETON TERHADAP KUAT TEKAN HANCUR

Adila Zaidayanti¹, Sugeng Riyanto², Akhmad Suryadi³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang², Dosen Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang³

Koresponden*, Email: adilazaida@gmail.com¹, sugeng.riyanto@polinema.ac.id², akhmad.suryadi@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Meningkatnya penggunaan beton ringan hebel atau *autoclaved aerated concrete* (AAC) menyisakan limbah konstruksi yang tidak dapat digunakan kembali. Melihat dampak yang terjadi akibat minimnya pengolahan limbah konstruksi terhadap lingkungan, dilakukan uji coba penggunaan material beton ringan hebel sebagai substitusi agregat halus pada campuran beton. Campuran akan ditambahkan bahan tambah berupa silica fume sebesar 0% dan 10% dengan tujuan untuk memperbaiki sifat beton akibat adanya kandungan kapur pada hebel yang beresiko pada penurunan nilai kuat tekan. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk menganalisis sifat karakteristik agregat halus berupa limbah hebel dan mengevaluasi dampak penggunaan limbah hebel dan silica fume terhadap kuat tekan hancur beton. Penelitian ini menggunakan metode cor *in-situ* dengan alat concrete mixer dan perencanaan campuran menggunakan SNI 03-2834-2000. Beton dicetak kubus 15x15x15cm dan dilakukan curing selama 7, 14, dan 28 hari. Untuk analisis keterkaitan penggunaan limbah bata ringan dan silica fume terhadap nilai kuat tekan dilakukan dengan menggunakan metode *Two Way ANOVA*. Berdasarkan hasil pengujian, kuat tekan beton yang diperoleh pada umur 28 hari dengan campuran 0% silica fume dan pemakaian limbah bata ringan sebesar 0%, 15%, 25%, 30% diperoleh nilai kuat tekan sebesar 30,10 Mpa, 25,15 Mpa, 20,48 Mpa, 17,48 Mpa. Untuk penggunaan 10% silica fume dan 0%, 15%, 25%, 30% limbah hebel, diperoleh kuat tekan hancur pada umur 28 hari sebesar 32,12 Mpa, 28,6 Mpa, 23,8 Mpa, 23,79 Mpa.

Kata kunci : AAC; limbah bata ringan; substitusi agregat halus; silica fume; kuat tekan

ABSTRACT

The increasing use of hebel lightweight concrete or autoclaved aerated concrete (AAC) leaves construction waste that cannot be reused. Seeing the impact that occurs due to the lack of processing of construction waste on the environment, a trial was carried out using AAC lightweight concrete material as a substitute for fine aggregate in the concrete mix. In practice, the concrete mixture was added with additives in the form of silica fume by 0% and 10% to reduce the risk of decreasing the compressive strength. The purpose of this study was to analyze the characteristic of fine aggregate AAC waste and evaluate the impact of using AAC waste and silica fume on the compressive strength of crushed concrete. This study used the cast in-situ method using a concrete mixer and refers to SNI 03-2834-2000. Use a cube mold 15x15x15cm and cured for 7, 14 and 28 days. For linkages data analysis between the use of lightweight brick waste and silica fume on the compressive strength value, it was carried out using the Two Way ANOVA method. Based on the test results, the compressive strength of concrete obtained at the age of 28 days with a mixture of 0% silica fume and the use of AAC waste of 0%, 15%, 25%, 30% obtained compressive strength values of 30.10 MPa, 25.15 MPa, 20.48 MPa, 17.48 MPa. For the use of 10% silica fume and 0%, 15%, 25%, 30% AAC waste, compressive strength at 28 days of age was 32.12 Mpa, 28.6 Mpa, 23.8 Mpa, 23.79 Mpa.

Keywords : AAC; lightweight bricks waste; fine aggregate substitution; silica fume; compressive strength

1. PENDAHULUAN

Upaya penerapan konsep 3R (*reuse, reduce, recycle*) dan inovasi alternatif dalam pemanfaatan limbah bata ringan hebel sebagai agregat daur ulang pada campuran beton sangat beresiko pada penurunan kekuatan sifat mekanis beton. Menurut El-Reedy, M. A. (2015) nilai kuat tekan pada beton dengan agregat daur ulang akan menurun 10% - 30%, sehingga penggunaan agregat ini perlu diimbangi dengan material pembantu lainnya. Pada penelitian ini bahan tambah berupa silica fume sebesar 10% digunakan dengan tujuan untuk memperbaiki sifat mekanis beton akibat kandungan kapur pada limbah hebel. Menurut penelitian Faris, M. (2018), penggunaan 50% agregat daur ulang dengan bahan tambah 10% silica fume terhadap campuran beton 0% silica fume, mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 42,5%, sehingga penggunaan silica fume dapat mengurangi resiko penurunan nilai kuat tekan yang terlalu besar.

Pada pelaksanaannya, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan sifat karakteristik agregat halus abu limbah bata ringan hebel sesuai standart yang berlaku, sebelum dilaksanakannya perencanaan campuran beton berdasarkan SNI 03-2834-2000. Pengujian utama yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian kuat tekan pada beton dengan pengaruh pemakaian limbah bata ringan dan bahan tambah silica fume dengan mutu rencana rancangan campuran sebesar K175 atau setara dengan 17,16 Mpa. Dengan demikian, tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan dari 0%, 15%, 25%, 30% limbah hebel dengan tambahan silica fume sebesar 0% dan 10% terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan dan menganalisis biaya produksi terkait efisiensi biaya dalam penggunaan limbah dan bahan tambah pada beton.

2. METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada Laboratorium Bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang. Pecahan bata ringan hebel yang digunakan untuk bahan substitusi berasal dari proyek pembangunan rumah tinggal perumahan. Pecahan hebel dihancurkan menjadi butiran kecil dengan mesin crusher ukuran butiran 5-0mm.

Rancangan Benda Uji

Rancangan penelitian dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-2834-2000. Rencana campuran beton yang dibuat memiliki mutu rencana kuat tekan $f_c' = 17,16$ Mpa. Dalam penelitian ini, benda uji dibuat dalam bentuk kubus 15x15x15cm, dengan umur pengujian kuat tekan dilakukan pada beton umur 7, 14, 28 hari. Untuk jumlah benda uji dan

variasi penggunaan limbah hebel dan silica fume tercantum pada tabel berikut.

Tabel 1. Jumlah Sampel Penelitian

Variasi		Umur Uji Tekan (Hari)			
Silica fume (% per kg semen)	Limbah Bata Ringan	7	14	28	
0%	+	0%	5 Bu	5 Bu	5 Bu
0%	+	15%	5 Bu	5 Bu	5 Bu
0%	+	25%	5 Bu	5 Bu	5 Bu
0%	+	30%	5 Bu	5 Bu	5 Bu
0%	+	0%	5 Bu	5 Bu	5 Bu
0%	+	15%	5 Bu	5 Bu	5 Bu
0%	+	25%	5 Bu	5 Bu	5 Bu
0%	+	30%	5 Bu	5 Bu	5 Bu

Sumber: Hasil Perencanaan

Pengujian Sifat Fisik Material

1. Analisis Agregat Halus Pasir lumajang dan Limbah Hebel
 - a) Kadar air,
 - b) Berat jenis dan penyerapan,
 - c) Gradasi butiran,
 - d) Berat isi agregat,
 - e) Kadar Organik.
2. Analisis Agregat Kasar Batu pecah ukuran maksimum 20mm
 - a) Kadar air,
 - b) Berat jenis dan penyerapan,
 - c) Gradasi butiran,
 - d) Berat isi agregat,
 - e) Kekerasan Agregat

Pengujian Slump

Metode pengujian slump dilakukan dengan mengacu pada standar SNI 1972:2008. Setelah data proporsi campuran tervalidasi, proses pengecoran dan pengujian slump akan dilakukan pada beton segar. Untuk perhitungan uji slump menggunakan persamaan berikut.

$$Slump = \frac{n}{\sum n} \tag{1}$$

Keterangan: n = jumlah uji slump

Faktor Air Semen Lapangan

Umumnya nilai FAS berkisar minimum 0.4 dan maksimum 0,6. Pada penelitian ini, penggunaan jumlah air dalam satuan kg perlu dicatat untuk dibandingkan dengan jumlah semen yang digunakan untuk koreksi FAS pada lapangan.

$$FAS = \frac{Berat Air}{Berat Semen} \tag{2}$$

Pencetakan Benda Uji dan Curing

Setelah pengujian nilai slump telah sesuai dengan perencanaan dan pengujian FAS telah dilakukan, beton segar akan dimasukkan kedalam cetakan kubus 15x15x15 cm. Beton segar dimasukkan ke dalam cetakan secara berlapis dan diketuk atau dipadatkan ditiap lapisnya untuk mencegah segregasi dan krops pada beton. Setelah 1 hari umur beton, cetakan dilepas dan dilakukan curing dengan cara perendaman beton pada bak air selama 7, 14, 28 hari.

Pengujian Kuat tekan dan analisis ANOVA

Setelah beton mencapai umur yang direncanakan yakni 7, 14, 28 hari maka dilakukan pengujian kuat tekan dengan bantuan mesin uji kuat tekan. Pengujian kuat tekan dilakukan berdasarkan SNI 1974-2011 dengan persamaan sebagai berikut.

$$f'c = \frac{P}{A} \tag{3}$$

Keterangan: F’c = Kuat Tekan Beton, dinyatakan dengan Mpa atau N/mm²; P = Gaya Tekan Aksial, dinyatakan dalam Newton; A = Luas Penampang benda uji, dinyatakan dalam mm²

Untuk mengetahui keterkaitan 2 faktor terhadap kuat tekan yang dihasilkan, maka perlu dilakukan analisis ANOVA dua arah dengan taraf signifikasi 5%. Dimana hipotesis interaksi sebagai berikut.

1. Faktor pertama (Silica Fume)
 - H₀: Tidak terdapat perbedaan hasil kuat tekan berdasarkan penggunaan Silica fume.
 - H₁ : Terdapat perbedaan hasil kuat tekan berdasarkan penggunaan Silica fume.
2. Faktor kedua (Limbah Bata Ringan)
 - H₀: Tidak terdapat perbedaan hasil kuat tekan berdasarkan penggunaan Limbah Bata Ringan.
 - H₁: Terdapat perbedaan hasil kuat tekan berdasarkan penggunaan Limbah Bata Ringan.
3. Interaksi antara faktor pertama dengan faktor kedua
 - H₀: Interaksi antara faktor 1 dan 2 yang berbeda berpengaruh terhadap kuat tekan.
 - H₁: Interaksi antara faktor 1 dan 2 yang berbeda tidak berpengaruh terhadap kuat tekan.

Analisis Biaya

Pada tahap analisis biaya, proses analisis mengacu pada Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) bidang Cipta Karya tahun 2022. Analisis biaya produksi dilakukan pada seluruh campuran beton dan akan dibandingkan dengan biaya produksi pada beton normal dengan campuran 0% limbah hebel dan 0% silica fume. Perbandingan biaya produksi dilakukan dalam satuan Rupiah per m³.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pasir Lumajang. Berikut tabel ringkasan hasil pengujian sifat fisik Pasir Lumajang.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sifat Fisik Pasir lumajang

Item Pengujian	Hasil Uji	Standar	Referensi
Kadar Air (%)	1,72	1-5	SNI 1971 2001
Berat Jenis Bulk (gr/cm ³)	2,56	2,5-2,7	SNI 1970 2008
Berat Jenis SSD (gr/cm ³)	2,60	2,5-2,7	SNI 1970 2008
Penyerapan (%)	1,76	1-10	SNI 1970 2008
Kadar Organik	Jernih	Jernih/ Kuning	SNI 03-2816-2014
Modulus Kekeluhan (%)	3,25	2-4	ASTM C-136-01
Zona Gradasi	zona gradasi 1		SNI 03-2834-2000

Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan data analisis pasir lumajang diatas dapat disimpulkan bahwa pasir lumajang telah memenuhi standar sebagai agregat halus normal.

Hasil Pengujian Sifat Fisik Limbah Bata Ringan

Limbah bata ringan yang digunakan merupakan sisa material bata ringan yang berasal dari pekerjaan arsitektur rumah tinggal dan dihancurkan menjadi butiran kecil. Berikut tercantum ringkasan hasil pengujian sifat fisik Limbah Bata Ringan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sifat Fisik Limbah Bata Ringan

Item Pengujian	Hasil Uji	Standar	Referensi
Kadar Air (%)	4,52	1-5	SNI 1971 2001
Berat Jenis Bulk (gr/cm ³)	1,117	1,0- 1,8	SNI 03-2461-2002
Berat Jenis SSD (gr/cm ³)	1,619	1,0- 1,8	SNI 03-2461-2002
Penyerapan (%)	45,03	≤20	SNI 03-2461-2002
Berat Isi Lepas (gr/cm ³)	0,49	≤1,120	SNI 03-2461-2002
Berat Isi Padat (gr/cm ³)	0,55	≤1,120	SNI 03-2461-2002
Modulus Kekeluhan (%)	3,43	2-4	ASTM C-136-01
Zona Gradasi	zona gradasi 1		SNI 03-2834-2000

Sumber: Hasil Pengujian

Mengacu pada hasil analisis dari pengujian sifat fisik limbah bata ringan, dapat disimpulkan bahwa material limbah bata ringan memiliki daya penyerapan yang tinggi.

Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berupa batu pecah dengan ukuran maksimum 2 cm atau 20mm. Ringkasan hasil pengujian sifat fisik batu pecah agregat kasar tercantum pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Fisik Batu Pecah 20mm

Item Pengujian	Hasil Uji	Standar	Referensi
Kadar Air (%)	1,21	0,5-2,0	SNI 03-1971-1990
Berat Jenis Bulk (gr/cm ³)	2,71	2,58-2,83	SNI-1969-2008
Berat Jenis SSD (gr/cm ³)	2,76	2,58-2,83	SNI-1969-2008
Penyerapan (%)	1,64	1-4	SNI 1969 2008
Kekerasan (%)	4,58	≤40	SNI 2417-2008
Modulus			
Kehalusan (%)	5,87	5-8	SNI 03-2834 2000

Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik batu pecah, dapat disimpulkan bahwa material batu pecah yang digunakan memenuhi standar pada masing-masing referensi yang digunakan.

Analisis Mix Desain

Standar perhitungan proporsi campuran material penyusun beton mengacu pada SNI 03-2834-2000. Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik material, dilakukan analisis rencana campuran dengan target kuat tekan yang diisyaratkan sebesar K175 atau setara dengan 17,16 Mpa. Berikut tabel ringkasan kebutuhan material per 15 benda uji.

Tabel 5. Kebutuhan Material per 15 Kubus Benda Uji

Variasi (%)		Kebutuhan Material (Kg)						
Silica Fume	Limbah Bata Ringan	Silica fume	Semen	Pasir	Limbah Bata Ringan	Kerikil	Air	
0%	+	0%	0,00	17,30	37,78	0,00	56,44	10,64
0%	+	15%	0,00	17,30	32,11	5,67	56,44	10,64
0%	+	25%	0,00	17,30	28,33	9,44	56,44	10,64
0%	+	30%	0,00	17,30	26,44	11,33	56,44	10,64
10%	+	0%	1,73	17,30	37,78	0,00	56,44	10,64
10%	+	15%	1,73	17,30	32,11	5,67	56,44	10,64
10%	+	25%	1,73	17,30	28,33	9,44	56,44	10,64
10%	+	30%	1,73	17,30	26,44	11,33	56,44	10,64

Sumber: Hasil Analisis

Hasil Pengujian Slump dan FAS Lapangan

Nilai slump yang direncanakan berkisar 7,5-15 cm sesuai dengan PBI 1971 untuk pekerjaan balok, kolom dinding. Dalam pemenuhan nilai slump, besar nilai FAS (Faktor Air Semen) akibat penggunaan air terhadap semen, harus sesuai dengan perencanaan Mix Desain. Nilai hasil pengujian slump di lapangan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6. Hasil Uji Slump dan Nilai Fas Lapangan

Variasi (%)			Nilai Slump Rata - Rata	Pemakaian (Kg)		FAS
Silica Fume	Limbah Bata Ringan			Air	Semen	
0%	+	0%	8,38 cm	10,24	17,30	0,6
0%	+	15%	8,18 cm	10,30	17,30	0,6
0%	+	25%	7,63 cm	10,37	17,30	0,6
0%	+	30%	7,63 cm	10,64	17,30	0,6
10%	+	0%	8,08 cm	10,43	17,30	0,6
10%	+	15%	8,75 cm	10,64	17,30	0,6
10%	+	25%	7,58 cm	10,64	17,30	0,6
10%	+	30%	7,68 cm	10,64	17,30	0,6

Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel hasil uji slump dan nilai fas, nilai slump lapangan yang diperoleh telah memenuhi nilai yang direncanakan. Untuk pemakaian air dalam pemenuhan slump tidak melebihi jumlah air yang direncanakan di tiap campurannya, dan nilai FAS memenuhi SNI 03-2834-2000.

Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Analisis ANOVA

Setelah benda uji melalui masa curing 7, 14, dan 28 hari, dilakukan uji tekan dengan memberikan tekanan hingga benda uji runtuh. Kuat tekan rata-rata yang di targetkan (fcr') adalah 29,16 Mpa pada beton normal dengan nilai margin 12.

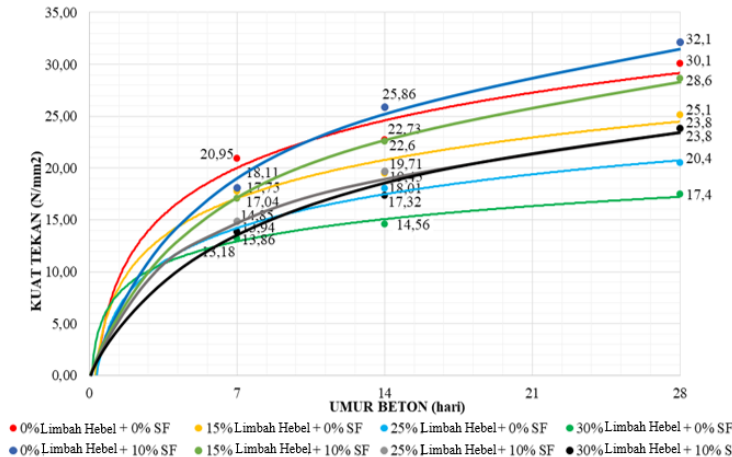
Tabel 7. Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Variasi (%)			Kuat Tekan Rata-Rata (N/mm ²)		
Silica Fume	Limbah Bata Ringan		7 hari	14 hari	28 hari
0%	+	0%	20,95	22,73	30,10
0%	+	15%	17,75	19,45	25,15
0%	+	25%	13,94	18,01	20,48
0%	+	30%	13,18	14,56	17,48
10%	+	0%	18,11	25,86	32,12
10%	+	15%	17,04	22,60	28,60
10%	+	25%	14,85	19,71	23,80
10%	+	30%	13,86	17,32	23,79

Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel 7 diatas, dapat diketahui bahwa campuran dengan variasi 0% silica fume dan 0% limbah bata ringan memiliki nilai kuat tekan hancur pada umur 28 hari melebihi kuat tekan rata-rata yang ditargetkan. Pada variasi

10% silica fume dan 0% limbah bata ringan memperoleh kuat tekan hancur umur 28 hari tertinggi, dan nilai kuat tekan akan terus menurun seiring meningkatnya penggunaan limbah bata ringan.



Gambar 1. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Umur Beton

Berdasarkan grafik hubungan kuat tekan dengan umur beton diatas, dapat disimpulkan bahwa kuat tekan rata-rata yang diperoleh akan semakin meningkat dengan adanya penambahan umur beton. Nilai kuat tekan paling rendah yang diperoleh merupakan campuran beton dengan penggunaan limbah bata ringan terbesar yakni 30% dengan nilai kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari sebesar 17,48 Mpa. Beberapa potongan garis kuat tekan yang terjadi antara kuat tekan campuran beton 0% silica fume dan beton dengan tambahan 10% silica fume menandakan adanya peningkatan kuat tekan yang cukup tinggi pada beton dengan tambahan silica fume. Namun, berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton, penambahan silica fume dan substitusi limbah bata ringan tidak mampu untuk mendapatkan kuat tekan yang setara dengan kuat tekan beton normal.

Setelah pengujian kuat tekan dilakukan analisis uji anova dua arah menggunakan Software SPSS terkait pengaruh kuat tekan yang dihasilkan pada campuran beton dengan substitusi limbah bata ringan dan bahan tambah silica fume.

Tabel 8. Hasil ANOVA Kuat Tekan Beton

Source	SS	df	MS	F
Silica_Fume	142.620	1	142.620	19.840
Limbah_Bata_Ringan	679.629	3	226.543	31.515
Silica_Fume*	24.398	3	8.133	1.131
Limbah_Bata_Ringan				
R Squared = ,786 (Adjusted R Squared = ,740)				
F table = 3,25				

Sumber: Hasil Analisis SPSS

Berdasarkan tabel 8 diketahui keterkaitan 2 faktor terhadap kuat tekan yang dihasilkan sebagai berikut.

1. Faktor pertama (Silica Fume)
 Nilai F hitung 19,840 > F table 3,25; H0 ditolak. Sehingga keputusan yang diambil adalah H1 diterima, yang mana hasil kuat tekan yang dihasilkan antara penggunaan 0% silica fume dengan 10% silica fume memiliki hasil yang tidak sama (terdapat perbedaan).
2. Faktor kedua (Limbah Bata Ringan)
 Nilai F hitung 31.515 > F table 3,25; H0 ditolak. Sehingga keputusan yang diambil adalah H1 diterima, yang mana hasil kuat tekan yang dihasilkan antara penggunaan 0%, 15%, 25% dan 30% limbah bata ringan memiliki hasil yang tidak sama (terdapat perbedaan).
3. Interaksi antara faktor pertama dengan faktor kedua
 Nilai nilai F hitung 1.131 < F table 3,25; H0 diterima. Jika disimpulkan maka Interaksi antara faktor 1 dan 2 yang berbeda memiliki pengaruh terhadap kuat tekan beton.

Hasil Analisis Biaya

Perhitungan biaya kebutuhan material dan pekerja dalam pembuatan beton dengan mutu K175 menggunakan data harga yang ada di lapangan.

Variasi (%)			Total
Silica Fume	Limbah Bata Ringan		Harga
0%	+	0%	Rp 1.689.118
0%	+	15%	Rp 1.766.848
0%	+	25%	Rp 1.818.668
0%	+	30%	Rp 1.844.578
10%	+	0%	Rp 2.714.118
10%	+	15%	Rp 2.791.848
10%	+	25%	Rp 2.843.668
10%	+	30%	Rp 2.869.578

Tabel 9. Rekapitulasi Harga Per m³ Beton

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan tabel 9 diatas, biaya per m³ yang didapat dari hasil perhitungan mengalami peningkatan berturut-turut seiring dengan peningkatan prosentase penggunaan limbah bata ringan. Selain itu, dengan adanya penambahan bahan tambah silica fume, biaya produksi semakin meningkat 60,68% dari harga beton normal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapat, penelitian ini dapat diuraikan kesimpulannya sebagai berikut.

1. Mengacu pada hasil uji sifat fisik, limbah bata ringan digolongkan sebagai agregat halus ringan dengan nilai penyerapan yang terlalu tinggi, yakni sebesar 45,03%.
2. Nilai kuat tekan hancur pada variasi 10% silica fume dan 0% limbah bata ringan memiliki hasil kuat tekan tertinggi yakni 32,12 Mpa dengan selisih nilai sebesar 2,02 Mpa terhadap nilai kuat tekan beton normal pada umur 28 hari. Variasi campuran 0% dan 10% silica fume dengan 15%, 25%, 30% limbah bata ringan memiliki nilai kuat tekan hancur pada umur 28 hari dibawah nilai kuat tekan beton normal, dan dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton terus menurun seiring dengan meningkatnya penggunaan limbah bata ringan.
3. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa penggunaan silica fume sebesar 0% dan 10% memiliki pengaruh yang berbeda terhadap kuat tekan beton, begitu pula dengan penggunaan limbah bata ringan sebesar 0%, 15%, 25% dan 30%. Untuk interaksi yang berbeda antara faktor limbah bata ringan dan silica fume tersebut juga berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton.
4. Berdasarkan hasil analisis biaya per m³ pada tiap variasi campuran, penggunaan biaya yang paling tinggi terdapat pada campuran dengan 10% silica fume dan 30% limbah bata ringan yakni sebesar Rp 2.869.578 dan biaya termurah terdapat pada campuran beton normal. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan silica fume dan limbah bata ringan menimbulkan peningkatan biaya secara statis seiring dengan meningkatnya jumlah penggunaannya.

Nasional, 2008

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Mohammed, S. Tobeia, F. Mohammed and S. Hasan, "Building Materials Engineering and Construction Management," *MATEC Web of Conferences*, vol. 162, no. 02018, p. 4, 07 May 2018.
- [2] M. A. El-Reedy, *Advanced Materials and Techniques for Reinforced Concrete Structures*, London, New york: CRC Press Taylor and Francis Group, 2015.
- [3] SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2000.
- [4] PBI 1971 Peraturan Beton Bertulang Indonesia, Bandung : Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 1971
- [5] SNI 1970: 2008 Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2008.
- [6] SNI 1969- 2008 : Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, Jakarta: Badan Standardisasi