

Pengaruh Kuat Tekan Beton Menggunakan Agregat Kasar Batu Apung dan Bahan Tambah *Silica Fume*

The Effect of On the Compressive Strenght of Concrete Coarse Aggregate Pumice Stone and Additives of Silica Fume

Ervin Hidayat, As'at Pujiyanto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis (*density*) lebih ringan dari pada beton pada umumnya. Oleh sebab itu beton ringan memiliki beberapa kelebihan dibandingkan beton normal yaitu, beton ringan memiliki berat jenis lebih kecil sehingga mengurangi berat sendiri elemen struktur yang mengakibatkan kebutuhan dimensi tampang melintang menjadi lebih kecil sehingga beban yang diterima oleh pondasi lebih ringan dan dimensi pondasi dapat lebih kecil serta dari segi ekonomi lebih hemat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kuat tekan beton yang dapat dihasilkan dari beton ringan tersebut. Penelitian ini menggunakan agregat kasar berupa batu apung dengan ukuran 9,5-19 mm yang berasal dari Sumbawa, NTB dan menggunakan bahan tambah *silica fume* dengan variasi 7%, 14%, dan 28% dari total berat semen. Benda uji beton ringan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan pada umur beton 7, 28, dan 56 hari. Dari pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 28, dan 56 hari didapatkan rata-rata nilai kuat tekan beton ringan dengan variasi *silica fume* 7 % masing-masing sebesar 7,99 MPa, 9,62 MPa dan 11,05 MPa. Untuk variasi *silica fume* 14% didapatkan rata-rata nilai kuat tekan beton masing-masing sebesar 6,67 MPa, 8,77 MPa dan 9,91 MPa. Sedangkan untuk variasi *silica fume* 21% didapatkan rata-rata nilai kuat tekan beton masing-masing sebesar 6,21 MPa, 8,57 MPa dan 9,60 MPa.

Kata kunci : beton ringan, kuat tekan, batu apung, *silica fume*.

Abstract. Lightweight concrete is concrete that has a lighter (*density*) than concrete in general. Therefore, lightweight concrete has several advantages over normal concrete, namely, lightweight concrete has a smaller specific gravity, thereby reducing the weight of its own structural elements, which results in the need for smaller cross-sectional dimensions so that the load received by the foundation is lighter and the dimensions of the foundation can be smaller. and economically more economical. The purpose of this study is to analyze the compressive strength of concrete that can be produced from the lightweight concrete. This study uses coarse aggregate in the form of pumice stones with a size of 9.5-19 mm from Sumbawa, NTB and uses silica fume additives with variations of 7%, 14%, and 28% of the total weight of cement. Lightweight concrete cylindrical specimens with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm. Tests were carried out at 7 days, 28 days and 56 days of concrete. From testing the compressive strength of concrete at the age of 7, 28, and 56 days, the average value of compressive strength of lightweight concrete with a variation of 7% silica fume is 7.99 MPa, 9.62 MPa and 11.05 MPa, respectively. For silica fume variations of 14%, the average concrete compressive strength values were 6.67 MPa, 8.77 MPa and 9.91 MPa respectively. Whereas for the 21% silica fume variation, the average concrete compressive strength values were 6.21 MPa, 8.57 MPa and 9.60 MPa.

Keywords: lightweight concrete, compressive strength, pumice, silica fume.

1. Pendahuluan

Beton merupakan material konstruksi yang sudah digunakan dan dikenal sejak ribuan tahun lalu. Perkembangan beton terus

mengalami peningkatan seiring dengan perkembangan jaman. Fungsi dari bahan penyusun beton yang terdiri dari bahan semen (*Portland cement*), agregat kasar, agregat

halus, air dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*).Beton memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan struktur selain beton, diantaranya karena harganya yang relatif murah, kemampuan menahan gaya tekan yang tinggi, tahan terhadap perubahan cuaca dan lingkungan sekitar serta mudah dibentuk, namun dalam penggunaan struktur beton itu sendiri memiliki beberapa kelemahan, diantaranya berat struktur beton itu sendiri yang besar selain dari beban-beban yang lain. Untuk mengatasi kelemahan tersebut maka perlu dipikirkan adanya beton ringan.

Menurut Rahamudin dkk. (2016), Beton ringan merupakan beton yang berbobot ringan, dimana penggunaan beton ringan dapat mengurangi berat dari struktur itu sendiri sehingga kebutuhan melintang menjadi lebih kecil, hal ini disebabkan oleh kuat tekan beton ringan yang cukup tinggi namun mempunyai berat isi yang rendah. Disebut beton ringan jika beton mempunyai berat jenis 800 kg/m³ s/d 2000 kg/m³ (Ardan, 2016). Unsur pokok dari beton ringan adalah agregat yang berupa agregat ringan, salah satunya penggunaan batu apung. Dalam penelitian Alfansuri dan Wardhono (2017), secara tradisional batu apung sering dipakai sebagai agregat kasar pada campuran beton untuk pembuatan elemen struktur ringan seperti panel dinding dan *paving block*. Rochani dkk. (2016) menjelaskan selain sebagai agregat kasar, batu apung juga dapat dijadikan sebagai agregat halus (*pozzolan*) sebagai bahan campuran terhadap kemampuan menutup retak beton.

Dalam penelitian yang dilakukan Darwis dkk. (2016), penggunaan batu apung sebagai pengganti agregat kasar didapatkan pengaruh-pengaruh perbedaan kandungan semen dalam campuran beton ringan terhadap kuat tekan beton ringan berbanding lurus dengan banyaknya semen yang digunakan dalam campuran. Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan Suparjo dkk. (2014), pemakaian

batu apung sebagai pengganti agregat kasar sangat mempengaruhi kuat tekan beton ringan karena terdapat banyak sekali pori-pori pada batu apung. Penambahan air pada setiap variasi campuran beton dapat mempengaruhi kuat tekan beton ringan semakin menurun (Lomboan dkk., 2016). Sehingga dalam penelitiannya ini untuk mengantisipasi rendahnya nilai kuat tekan beton ringan yang disebabkan penggunaan batu apung maka campuran beton ditambah dengan bahan *aditive* berupa *silica fume*. Sehingga penentuan nilai FAS sangat berpengaruh pada kuat tekan beton dan nilai slump.

Bahan tambah mineral berupa *silica fume* merupakan bahan *spherical* yang sangat lembut serta sisa hasil dari pembuatan produksi *silicon* dan *ferro silicon* yang terdiri dari *amorphous silico*. *Silica fume* merupakan hasil pembuatan sampingan dari reduksi quarsa murni (SiO₂) dengan batu bara di tanur listrik pada saat proses pembuatan campuran *silicon* dan *ferro silicon*.

Dalam penelitian yang dilakukan Prasad dkk. (2013), Malau (2014), Arifin (2016) dan Prathap dkk. (2017) mengenai penggunaan *silica fume* sebagai bahan tambah pada campuran beton bahwa penggunaan *silica fume* pada campuran beton dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh nilai kuat tekan beton menggunakan agregat kasar batu apung dan menggunakan bahan tambah *silica fume* terhadap berat total semen dengan variasi 7%, 14% dan 21%.

2. Bahan Penyusun Beton

a. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini ialah semen jenis *portland pozzolan* tipe 1 dengan merk Gresik. Semen portland yaitu semen hidrolik yang dihasilkan dengan proses menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat serta bahan tambahan yang berbentuk

kalsium sulfat. Semen merupakan suatu bahan perekat apabila dicampurkan dengan air akan mengikat bahan-bahan yang padat, misalkan pasir dan batu/kerikil menjadi satu kesatuan. Fungsi dari semen itu sendiri adalah untuk mengikat butir-butiran agregat sehingga berbentuk suatu massa padat dan mengisi rongga udara diantara agregat.

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari 4,75 mm (ASTM C 125 –06). Menurut peraturan BSN (2000) tentang tata cara pencampuran beton kekerasan pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, pasir agak halus, pasir agak kasar, dan pasir kasar. Dalam penelitian ini menggunakan agregat halus pasir progo yang berasal dari sungai Progo, Kabupaten Kulon Progo.

c. Agregat Kasar

Agregat kasar batu apung merupakan batuan sedimen, yaitu batuan vulkanis yang mempunyai berat jenis yang ringan karena sangat berpori. Batu apung terbentuk dari letusan gunung berapi ketika lava cair yang kaya SiO₂ mendingin. Batu apung biasanya memiliki warna kecoklatan atau keputih-putihan. Batu apung mempunyai sifat fisik seperti pada Tabel 1.

Unsur	Kapasitas
Bobot isi ruang	480 – 960 kg/cm ³
Peresapan air	16,67%
Berat jenis	0,8 gram/cm ³
Hantaran suara	Rendah
Ratio kuat tekan terhadap beban	Tinggi
Koduktivitas terhadap api	Rendah
Ketahanan terhadap api	s/d 6 jam

d. Silica Fume

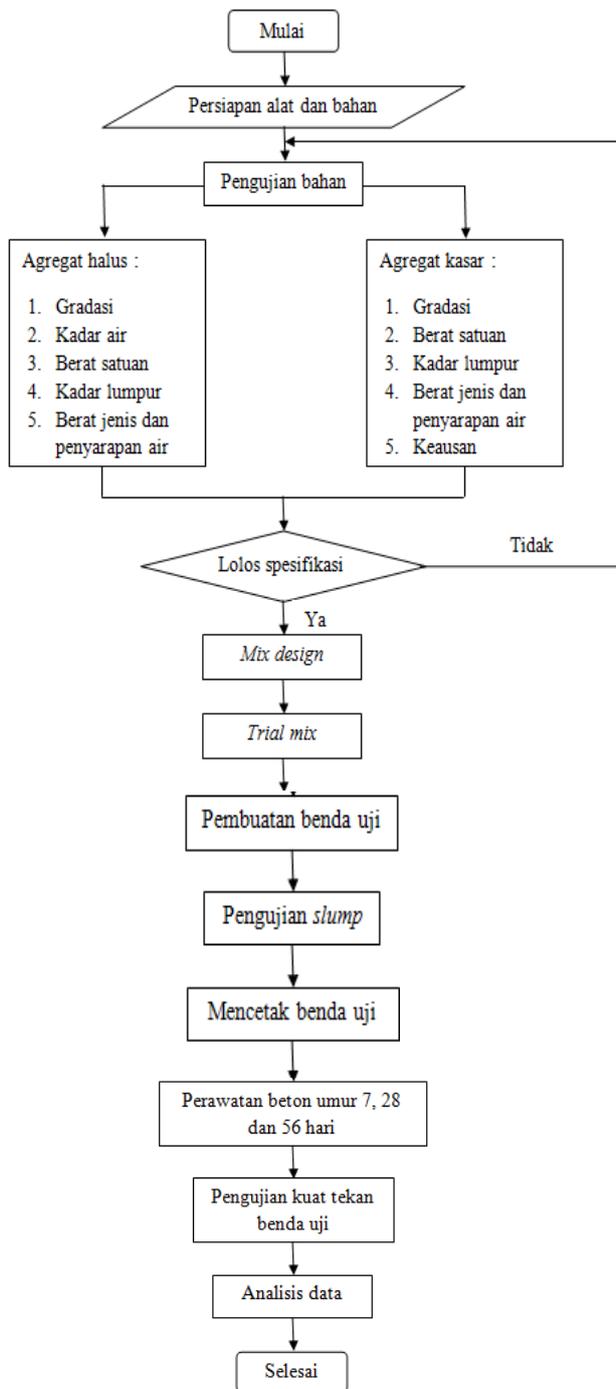
Bahan tambah mineral berupa *silica fume* merupakan bahan *spherical* yang sangat lembut serta sisa hasil dari pembuatan produksi *silicon* dan *ferro silicon* yang terdiri dari *amorphous silico*. *Silica fume* merupakan hasil pembuatan sampingan dari reduksi

kuarsa murni (SiO₂) dengan batu bara di tanur listrik pada saat proses pembuatan campuran *silicon* dan *ferro silicon*. Kandungan kuarsa murni (SiO₂) sebesar 90% akan bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses pembentukan senyawa *kalsium silikat hidrat (CSH)* yang berpengaruh pada proses pengerasan beton.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu metode yang dilakukan untuk mendapatkan hasil hubungan dari beberapa variabel yang digunakan. Untuk penelitian ini dilakukan di dalam laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Metode eksperimental ini menggunakan teknik pengumpulan data, dimana setiap benda uji dari berbagai kondisi berbeda akan di uji di laboratorium.

Dalam campuran beton ringan ini menggunakan bahan material yaitu semen dengan merk gresik, air dari laboratorium Teknik Sipil UMY, agregat halus berupa pasir progo, agregat kasar berupa batu apung dengan ukuran 1,9 mm sampai 19 mm serta bahan tambah *silica fume* dengan variasi 7%, 14% dan 28%. Benda uji pada penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 27 buah dengan masing-masing variasi *silica fume* sebesar 7%, 14% dan 21%. Pengujian kuat tekan beton ringan dilakukan pada umur beton 7 hari, 28 hari dan 56 hari untuk mencapai kuat tekan yang maksimal. Adapun bagan alir pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Bagan alir penelitian

Dari perhitungan mix design yang sudah dilakukan, didapatkan bahan campuran beton per 1 m³ dengan nilai FAS sebesar 0,46 seperti pada Tabel 2 berikut in

Tabel 2 Hasil perhitungan mix design untuk 3 benda uji

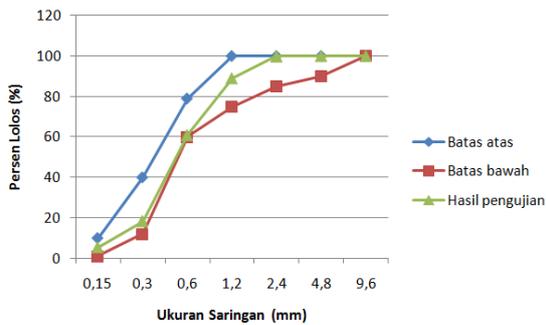
Bahan	Satuan	Variasi <i>Silica Fume</i>		
		7%	14%	21%
Air	l	3,80	3,80	3,80
Semen	kg	7,68	7,11	6,53
Pasir	kg	7,65	7,65	7,65
Batu apung	Kg	8,25	8,25	8,25
<i>Silica fume</i>	Kg	0,58	1,16	1,73

4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan secara teliti dan hati-hati di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Hasil penelitian yang sudah diperoleh dapat dianalisis agar dapat diketahui nilai kuat tekan beton dengan agregat kasar batu apung dan penambahan variasi *silica fume* terhadap berat total semen sebanyak 7%, 14%, dan 21%. Pada pemeriksaan gradasi agregat halus didapatkan hasil seperti pada Tabel 3 yaitu.

Tabel 3 Pemeriksaan gradasi agregat halus

No. Ayakan	Berat Tertahan (gram)	Berat Tertahan (%)	Berat Tertahan Komatif (%)	Berat Lolos Komatif (%)
3/8	0	0	0	100
4	0	0	0	100
8	1,67	0,17	0,17	99,83
16	108,33	10,83	11	89
30	280	28	39	61
50	425	42,5	81,5	18,5
100	130	13	94,5	5,5
Pan	55	5,5	100	0
Total	1000	100	326,17	473,83



Gambar 2 Grafik gradasi agregat halus

Dari Tabel dan Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa pasir yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam daerah gradasi no. 3, yaitu pasir progo tersebut memiliki ukuran butir yang halus. Hasil pemeriksaan agregat halus selengkapnya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil pemeriksaan agregat halus

Jenis Pengujian	Satuan	Nilai
Modulus halus butir	-	3,26
Kadar air	%	1,5
Berat satuan	gram/cm ³	1,66
Kadar lumpur	%	2
Berat jenis	-	2,39
Penyerapan air	%	11,11

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan, maka didapatkan hasil agregat kasar berupa batu apung, seperti pada Tabel 5. Dari hasil pengujian tersebut maka agregat kasar berupa batu apung termasuk dalam agregat ringan dengan nilai berat jenis 1,1. Menurut Tjokrodinuljo (2010), dikatakan agregat ringan jika agregat tersebut memiliki nilai berat jenis jenuh kering muka <2,00.

Tabel 5 Hasil pemeriksaan agregat kasar

Jenis Pengujian	Satuan	Nilai
Kadar air	%	37,17
Berat satuan	gram/cm ³	0,34
Kadar lumpur	%	2
Berat jenis	-	1,1
Penyerapan air	%	47,5
Keausan	%	49,3

Pengujian *slump* adalah suatu uji metode yang digunakan untuk menentukan konsistensi atau kekakuan dari campuran beton segar (*fresh concrete*) untuk menentukan *workability*-nya sehingga proses pengerjaannya akan lebih mudah. Pada Tabel 6 didapatkan nilai *slump* rata-rata masing-masing variasi *silica fume* 7%, 14% dan 21% secara berurutan sebesar 14,20 cm ; 14,00 cm dan 13,43 cm. Dari hasil tersebut semakin banyak penambahan *silica fume* maka nilai *slump* akan semakin berkurang. Berikut data nilai *slump* disajikan pada Tabel 6. Dari hasil tersebut semakin banyak penambahan *silica fume* maka nilai *slump* akan semakin berkurang.

Tabel 6 Pengujian *slump* beton

No.	Variasi <i>Silica Fume</i> (%)	Nilai <i>Slump</i> (cm)	Rata-rata Nilai <i>Slump</i> (cm)
1	7%	14,30	14,20
		14,10	
		14,20	
2	14%	14,00	14,00
		14,10	
		13,90	
3	21%	13,30	13,43
		13,50	
		13,50	

Berdasarkan Tabel 7 samapi Tabel 9 dapat diketahui pada umur 7, 28, dan 56 hari didapatkan rata-rata nilai kuat tekan beton dengan variasi *silica fume* 7 % masing-masing sebesar 7,99 MPa, 9,62 MPa dan 11,05 MPa. Untuk variasi *silica fume* 14% didapatkan rata-rata nilai kuat tekan beton masing-masing sebesar 6,67 MPa, 8,77 MPa dan 9,91 MPa. Sedangkan untuk variasi *silica fume* 21% didapatkan rata-rata nilai kuat tekan beton masing-masing sebesar 6,21 MPa, 8,57 MPa dan 9,60 MPa. Berikut adalah hasil kuat tekan beton ringan dapat dilihat pada Tabel 7 sampai Tabel 9.

Tabel 7 Hasil kuat tekan beton ringan umur 7 hari

Kode	Variasi Silica Fume (%)	Hasil Kuat Tekan (MPa)	Hasil Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
E1-7SF.7%		8,1	
E2-7SF.7%	7%	8,21	7,99
E3-7SF.7%		7,65	
E1-7SF.14%		5,97	
E2-7SF.14%	14%	7,12	6,67
E3-7SF.14%		6,92	
E1-7SF.21%		6	
E2-7SF.21%	21%	6,79	6,21
E3-7SF.21%		5,85	

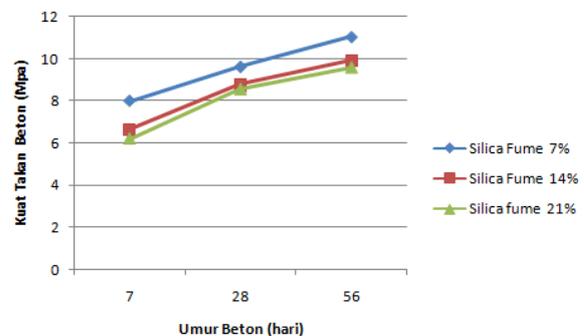
Tabel 8 Hasil kuat tekan beton ringan umur 28 hari

Kode	Variasi Silica Fume (%)	Hasil Kuat Tekan (MPa)	Hasil Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
E1-28SF.7%		9,18	
E2-28SF.7%	7%	10,23	9,62
E3-28SF.7%		9,45	
E1-28SF.14%		8,31	
E2-28SF.14%	14%	10,21	8,77
E3-28SF.14%		7,80	
E1-28SF.21%		7,17	
E2-28SF.21%	21%	9,00	8,57
E3-28SF.21%		9,55	

Tabel 9 Hasil kuat tekan beton ringan umur 56 hari

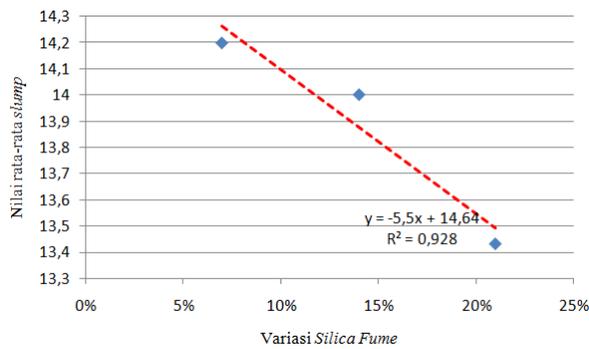
Kode	Variasi Silica Fume (%)	Hasil Kuat Tekan (MPa)	Hasil Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
E1-56SF.7%		10,70	
E2-56SF.7%	7%	10,85	11,05
E3-56SF.7%		11,61	
E1-56SF.14%		10,67	
E2-56SF.14%	14%	10,09	9,91
E3-56SF.14%		8,96	
E1-56SF.21%		10,65	
E2-56SF.21%	21%	8,94	9,60
E3-56SF.21%		9,21	

Dari hasil pengujian kuat tekan beton ringan diatas didapatkan grafik hubungan antara umur beton dengan kuat tekan beton ringan dengan variasi *silica fume* seperti Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 bahwa kuat tekan beton ringan menalami kenaikan dengan seiring bertambahnya umur beton. Pada penambahan *silica fume* 7% kuat tekan beton mengalami kenaikan yang stabil dari umur 7 hari sampai 56 hari. Sedangkan pada penambahan *silica fume* sebesar 14% dan 21% laju kenaikan kuat tekan beton tidak stabil atau mengalamikenaikan sedikit dari umur 28 hari sampai 56 hari. Hal tersebut kemungkinan disebabkan dari pemadatan beton dan proses pencampuran bahan yang kurang sempurna.



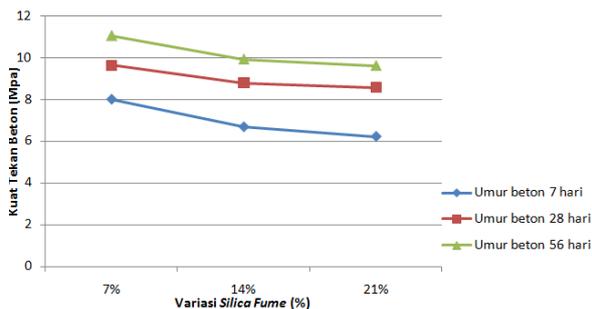
Gambar 3 Hubungan umur beton dan kuat tekan beton ringan tiap variasi

Pada dasarnya semakin banyak air yang digunakan dalam campuran beton maka nilai *slump* adonan beton akan semakin tinggi sehingga dapat memudahkan dalam pengerjaan sedangkan jika semakin rendah nilai *slump*-nya maka proses pengerjaannya akan semakin sulit. Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan penurunan nilai *slump* pada variasi *silica fume* 14% dan 21% bila dibandingkan dengan nilai *slump* pada variasi *silica fume* 7%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kadar *silica fume* terhadap campuran beton maka kelecakan beton akan semakin berkurang karena butiran *silica fume* yang sangat halus sehingga memerlukan air yang lebih banyak untuk membasahi butiran *silica fume*.



Gambar 4 Hubungan nilai *slump* dengan penambahan variasi *silica fume*

Pada umumnya penambahan *silica fume* terhadap campuran beton mengalami peningkatan. Berdasarkan Gambar 5 kuat tekan beton ringan maksimum pada penambahan *silica fume* 7% di setiap umur beton. sedangkan untuk penambahan *silica fume* 14% dan 21% mengalami penurunan di setiap umur beton. Hal ini dipengaruhi oleh penentuan nilai FAS yang kurang tepat sehingga berpengaruh terhadap kelecekan nilai *slump*. Jika presentase penambahan *silica fume* semakin banyak maka nilai FAS harus semakin tinggi. Hal tersebut dikarenakan butiran *silica fume* yang halus membutuhkan jumlah air yang banyak.



Gambar 5 Hubungan kuat tekan beton dengan variasi *silica fume*

5. Kesimpulan

Dari hasil dan penjelasan tentang pengaruh penggunaan agregat kasar batu apung dan dengan bahan tamba *silica fume*

terhadap kuat tekan beton dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan batu apung sebagai pengganti agregat kasar dan penggunaan silica fume sebagai bahan tambah dari berat total semen sangat mempengaruhi nilai kuat tekan beton. Dari hasil pengujian kuat tekan beton ringan didapatkan nilai tertinggi sebesar 11,05 Mpa dan nilai terendah sebesar 6,21 Mpa. Menurut BSN (2002),beton yang termasuk ke dalam kategori konstruksi bangunan struktur ringan yaitu dengan nilai kuat tekan maksimum 17,24 MPa dan minimum 6,89 MPa. sehingga niali rata-rata kuat tekan beton ringan sebagian besar termasuk ke dalam kategori konstruksi bangunan struktur ringan. Akan tetapi ada dua nilai rata-rata kuat tekan beton yang tidak termasuk ke dalam kategori tersebut. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi varisasi/kadar *silica fume* dalam campuran beton akan mengakibatkan nilai slump menurun sehingga mempengaruhi *workability* dan berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton.
2. Semakin tinggi variasi *silica fume* yang digunakan dalam campuran beton maka nilai kuat tekan beton akan semakin kecil.
3. Semakin panjang umur beton maka akan semakin kuat nilai kuat tekan beton ringan yang didapatkan.

6. Daftar Pustaka

- Alfansuri, A.R., dan Wardhono, A., 2017. Pemanfaatan Batu Apung Dalam Pembuatan Beton Ringan Dengan Penambahan Lumpur Sidoarjo (LUSI) Sebagai Subtitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Porositas, *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 2(2), 1-11.
- Ardan, M., 2016. Kajian Penggunaan Batu Apung dan Styrofoam Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Pada

- Perencanaan Beton Ringan, *Arbitek*, 2(2), 1-4.
- Arifin, M.Z., 2016. Komposisi Campuran Beton Dengan Perbandingan Penambahan Mineral Admixture dan Silica Fume Pada Beton Mutu Tinggi Dengan Metode Steam Curing, *Jurnal @Trisula*, 3(2), 251-262.
- BSN, 2000, SNI 03-2834-2000 *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Permukaan, Jakarta.
- BSN, 2002, SNI 03-3449-2002 *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Darwis, F., Sultan, M.A., dan Anwar, C., 2016. Pengaruh Variasi Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Beragregat Batu Apung, *Jurnal Sipil Sains*, 6(11), 31-38.
- Lomboan, F.O., Kummat E.J., dan Windah R.S., 2016. Pengujian Kuat Tekan Mortar dan Beton Ringan Dengan Menggunakan Agregat Ringan Batu Apung dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen, *Jurnal Sipil Statik*, 4(4), 271-278.
- Malau, F.B., 2014. Penelitian Kuat Tekan Dan Berat Jenis Mortar Untuk Dinding Panel Dengan Membandingkan Penggunaan Pasir Bangka Dan Pasir Baturaja Dengan Tambahan Foaming Agent Dan Silica Fume. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(2), 287-296.
- Prasad, M., Rajeev, C., dan Rakesh, G., 2013. A Comparative Study of Polypropylene Fibre Reinforce Silica Fume Concrete With Plain Cement Concrete, *International Journal of Engineering Research and Science & Technology*, 2(4), 127-136.
- Prathap, P., Kumar, T.N., dan Narayan, S.M.V., 2017. Evaluation of Mechanical Properties of Concrete Using Silica Fume and Steel Fibers, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(5), 332-338.
- Rahamudin, R.H., Manalip, H., dan Mondoringin, M., 2016. Pengujian Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Beton Ringan Beragregat Kasar (Batu Apung) dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen, *Jurnal Sipil Statik*, 4(3), 225-231.
- Rochani, I., Prasetyo, A., dan Kurniawan, A., 2016. Pemanfaatan Batu Apung (Pumice) Lombok Dan Bakteri (*Baccillus Subtilis*) Sebagai Agent Perbaikan Kerusakan Beton, *Majalah Geografi Indonesia*, 30(1), 49-57.
- Suparjo, Akmaluddin, Gazalba, Z., dan Handayani, T., 2014. Pengembangan Metode Peningkatan Kualitas Limbah Agregat Batu Apung Sebagai Material Beton Struktural, *Spektrum Sipil*, 1(2), 169-178.
- Tjokrodinuljo, K., 2007. *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.