

EFEK PENGGANTIAN SEBAGIAN SEMEN DENGAN SILICA FUME TERHADAP BERAT JENIS DAN KUAT TEKAN BETON RINGAN

Dwi Afif Susilo

ABSTRAK

Pada penggunaan batu apung (*pumce*) sebagai agregat pembuatan beton ringan akan sangat tepat digunakan karena akan lebih mudah untuk didapatkan karena di daerah D.I.Y sangat melimpah dan cepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis dan kuat tekan beton ringan menggunakan agregat batu apung dengan menggunakan bahan tambah *Silica Fume* sebagai penggantian sebagian semen.

Penambahan *Silica Fume* dalam penelitian menggunakan 6 (enam) variasi, yaitu: 0 %; 3%; 6%; 9%; 12% dan 15% *Silica Fume*. Adukan beton ditetapkan dengan *f.a.s* 0,45, *sikamen NN* 3,98 dan plastimen *vz* 0,7 dari berat semen. Pengujian yang dilakukan pada kuat tekan dilakukan setelah beton umur 56 hari. Data untuk setiap variasi campuran *Silica Fume* diperoleh dari 3 (tiga) benda uji silinder berukuran 15 x 30 cm.

Penambahan *Silica Fume* sebesar 0 %, 3 %, 6 %, 9 %, 12 % dan 15 % dan berturut-turut 1 846,333 kg/m³, 1825,912 kg/m³, 1852,339 kg/m³, 1863,151 kg/m³, 1868,557 kg/m³ 1834, 321 kg/m³, 0% dan 12% peningkatan berat jenis optimal sebesar 1,203%. Dari hasil berat jenis tersebut masih termasuk beton ringan karena nilainya masih dibawah angka 1900 kg/m³. Nilai uji kuat tekan rerata beton ringan agregat breksi pumice dengan penambahan *Silica Fume* sebesar 0 %, 3 %, 6 %, 9 %, 12 % dan 15 % dan berturut-turut 18,1609 MPa, 20,0015 MPa, 20,1292 MPa, 21,20 MPa, 18,8072 MPa, 20,3979 MPa. Hasil penelitian didapatkan bahwa kuat tekan silinder beton dengan penambahan *silica fume* 9% dapat menambah kuat tekan beton sebesar 16,734%.

Kata Kunci: Berat jenis, *Silica Fume*, kuat tekan.

EFFECT OF REPLACEMENT PART OF CEMENT BY SILICA FUME TO STRENGTH TO SEVERE TYPE OF LIGHTWEIGHT CONCRETE PRESS

Dwi Afif Susilo

ABSTRACT

On the use of a pumice stone (pumice) as aggregate manufacture of lightweight concrete would be very appropriate to use because it will be easier to obtain because DIY is very abundant in the area and quickly. This study aims to determine the value of specific gravity and compressive strength of lightweight concrete using pumice aggregate using *Silica Fume* addition materials as partial replacement of cement.

Addition of *Silica Fume* in research using 6 (six) variant, namely: 0%, 3%, 6%, 9%, 12% and 15% *Silica Fume*. The concrete set with *fas* 0.45, *sikamen* NN 3.98 and *plastimenvz* 0.7 of cement weight. Test were performed on the compressive strength of concrete made after the age of 56 days. Data for each variation of *Silica Fume* mixture obtained from 3 (three) cylinder specimens measuring 15x 30cm.

Addition of *Silica Fume* at 0%, 3%, 6%, 9%, 12% and 15% respectively and 1.846.333kg/m³, 1825.912kg/m³, 1852.339kg/m³, 1863.151kg/m³, 1868.557kg/m³ 1834.321kg/m³, 0% and 12% increase in the optimal density of 1.203%. from the density of the lightweight concrete was included because its value is still below the rate of 1900 kg/m³. Average compressive strength test value of lightweight aggregate concrete with the addition of pumice breccias *Silica Fume* at 0%, 3%, 6%, 9%, 12% and 15% and 18.1609 respectively MPa, MPa 20.0015, 20.1292 MPa, 21.20MPa, MPa 18.8072, 20.3979MPa. The result showed that the compressive strength of concrete cylinders with the addition of 9% *silica fume* can increase the compressive strength of concrete at 16.734%.

Key Word: Lightweight, *Silica Fume*, compressive strength.

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Kebutuhan beton ringan dalam berbagai konstruksi dari tahun ke tahun semakin berkembang. Hal ini disebabkan karena berbagai keuntungan yang dapat diperoleh dari penggunaan beton ringan di antaranya, berat jenis beton yang lebih kecil sehingga dapat mengurangi berat sendiri elemen struktur yang mengakibatkan kebutuhan dimensi tampang melintang menjadi lebih kecil. Beban mati struktural yang lebih kecil ini juga dapat memberikan keuntungan dalam pengurangan ukuran pondasi yang diperlukan. Beton ringan

dapat diproduksi dengan menggunakan agregat ringan yang secara umum dapat dibedakan menjadi dua yaitu; agregat ringan alami dan agregat ringan buatan. Kriteria agregat untuk beton ringan struktural telah dinyatakan secara jelas dalam ASTM 330 bahwa bobot isi kering gembur tidak boleh melampaui 880 kg/m³ dan berat jenis agregat tidak boleh melampaui 2000 kg/m³. Selain itu, untuk wilayah yang memiliki resiko terjadinya bencana gempa bumi juga memerlukan sistem struktur yang memiliki berat total struktur yang lebih kecil.

Mengingat semakin besar berat struktur akan mengakibatkan semakin besarnya gaya gempa yang bekerja pada bangunan tersebut. Oleh karena itu, penggunaan material beton ringan menjanjikan manfaat yang signifikan dalam menunjang pembangunan infrastruktur di daerah rawan gempa.

Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) menyimpan potensi yang sangat besar untuk pengembangan produk berbasis breksi batu apung (*natural pumice*). Cadangan *pumice* yang tersimpan di DIY tercatat lebih dari 350 juta m³, yang meliputi wilayah Kabupaten Bantul sebesar \pm 57,3 juta m³, Kabupaten Gunung Kidul \pm 122,9 juta m³, dan Kabupaten Sleman \pm 214,8 juta m³, dimana masing lokasi terletak jauh atau relatif saling berdekatan. Hasil uji awal yang telah dilakukan menunjukkan bahwa breksi batu apung yang berada pada formasi batuan Semilir di wilayah DIY memiliki bobot isi kering gembur 606,812 kg/m³ dan berat jenis 1620 kg/m³. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa breksi batu apung memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi beton ringan structural.

Potensi sumber daya alam ini belum dimanfaatkan oleh pemerintah daerah maupun industri terkait. Oleh karenanya, perlu dilakukan penelitian untuk dapat menghasilkan beton ringan structural yang memenuhi persyaratan ACI Committee 211 (2004), yang dipersyaratkan memiliki kuat tekan minimal 17,2 MPa dengan berat jenis maksimal 1900 kg/m³ (*ACI Manual of Concrete Practice*, 2006).

Kekuatan beton sangat ditentukan oleh kekuatan agregat dan kekuatan matrix pengikatnya. Dengan demikian, faktor yang dapat dioptimalkan untuk mendapatkan beton ringan struktural adalah kekuatan matrix pengikat. Dari urian diatas penelitian ini dilakukan untuk mengetahui penggantian agreragat kasar dengan batu apung terhadap kuat tekan beton menggunakan *Silica Fume* sebagai bahan substitusi sebagian semen untuk meningkatkan kekuatan tekan beton.

B. Identifikasi Masalah

1. Batu apung (*pumice*) belum dimanfaatkan secara optimal
2. *Trial-mix* untuk mendapatkan beton ringan struktural dengan agregat batu apung yang memenuhi standar perencanaan beton bertulang.

3. Kajian sifat mekanik beton ringan yang berkaitan dengan penggunaan bahan tambah *Silica Fume*.
4. Kajian Durabilitas beton ringan berkaitan dengan komposisi material yang digunakan.

C. Batasan Masalah

1. Hanya dilakukan pengujian terhadap sifat Berat jenis dan kuat tekan beton.
2. Jenis beton ringan struktural yang akan dikembangkan adalah beton dengan agregat kasar batu apung dan agregat halus pasir alami.
3. Rencana campuran adukan beton menggunakan metode volume absolut.
4. Pengadukan beton ringan menggunakan teknik *pre-wetting*.

D. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi substitusi semen dengan *Silica Fume* terhadap berat jenis beton ringan?
2. Bagaimana pengaruh variasi substitusi semen dengan *Silica Fume* terhadap kuat tekan beton ringan?

E. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian ini diharapkan dapat mengetahui komposisi optimum bahan pengikat (*binder*) yang menggunakan teknik *partial replacement* semen dengan bahan tambah *Silica Fume* untuk meningkatkan kuat tekan beton ringan.

F. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini meliputi :

1. Manfaat teoritis

Mengembangkan teknologi bahan bangunan khususnya beton ringan berbasis material lokal, tepatnya dalam penggunaan dan perancangan campuran material untuk menghasilkan beton ringan struktural dengan memanfaatkan breksi batu apung yang depositnya melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal di wilayah Indonesia, khususnya Daerah Istimewa Yogyakarta.

2. Manfaat praktis

Manfaat praktis yang diharapkan adalah merumuskan campuran adukan beton ringan dengan agregat kasar breksi batu apung sebagai langkah awal dalam pengembangan *prototype* produk beton ringan pracetak struktural.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton adalah campuran antara antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambah membentuk masa padat (Standar SK SNI T-15-1990-03), campuran tersebut apabila dituangkan kedalam cetakan kemudian didiamkan akan menjadi keras seperti batu. Bahan penyusun beton meliputi air, semen portland, agregat kasar, agregat halus, serta bahan tambah. Bahan tambah mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda. Sifat yang penting pada beton adalah kuat tekan, bila kuat tekan tinggi maka sifat-sifat yang lain pada umumnya juga baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari kualitas bahan penyusun, nilai faktor air semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemasangan dan pengawetan) serta umur beton (Kardiyono, 1996:59)

Kekuatan beton sangat ditentukan oleh kekuatan agregat dan kekuatan matrix pengikatnya. Dengan demikian, faktor yang dapat dioptimalkan untuk mendapatkan beton ringan struktural adalah kekuatan matrix pengikat. Dari urian diatas penelitian ini dilakukan untuk mengetahui penggantian agrerat kasar dengan batu apung terhadap kuat tekan beton menggunakan *Silica Fume* sebagai bahan substitusi sebagian semen untuk meningkatkan kekuatan tekan beton.

Menurut ASTM C.330, agregat ringan ini dapat dibedakan menjadi dua yaitu: Agregat ringan buatan (*artificial aggregates*) yang dihasilkan dari pembekahan (*expanding*), kalsinasi (*calcining*) atau hasil *sintering*, misalnya dapur tanur tinggi, tanah liat, diatome, abu terbang. Agregat alam (*natural*) yang dihasilkan melalui pengelolahan bahan alam, misalnya skoria, batu apung (*pumice*). Agregat kasar yang digunakan dalam campuran ini adalah agregat kasar ringan alami yaitu batu apung (*pumice*).

Batu apung adalah salah satu batuan sedimen, yaitu batuan folkanis yang bobotnya ringan karena sangat berpori, pumice biasanya warnanya terang atau kulit keputih-putihan. *Pumice* juga sudah banyak dipakai sejak jaman romawi kuno, dengan cara di gali, di cuci, lalu digunakan. Karena bobotnya ringan, maka jika digunakan sebagai agregat pembuatan beton akan diperoleh beton yang ringan (Setty, 1997). Dalam bidang ilmu teknologi beton, dikenal jenis beton ringan (*Light Weight Concrete*) ialah beton ringan yang berat jenisnya dibawah 1,8 (berat Janis beton normal antara 2,2 sampai dengan 2,6). Menurut Standar Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan agregat ringan SK SNI T-09-1993-03 (1993) berat Janis beton ringan tidak boleh lebih dari 1,85 menurut ketentuannya.

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian kuat tekan dan berat jenis beton ringan. Besarnya kekuatan tekan suatu bahan merupakan perbandingan besarnya beban maksimum yang dapat ditahan bahan dengan luas penampang bahan yang mengalami gaya tersebut. Secara matematis besarnya kekuatan tekan suatu bahan :

Dimana:

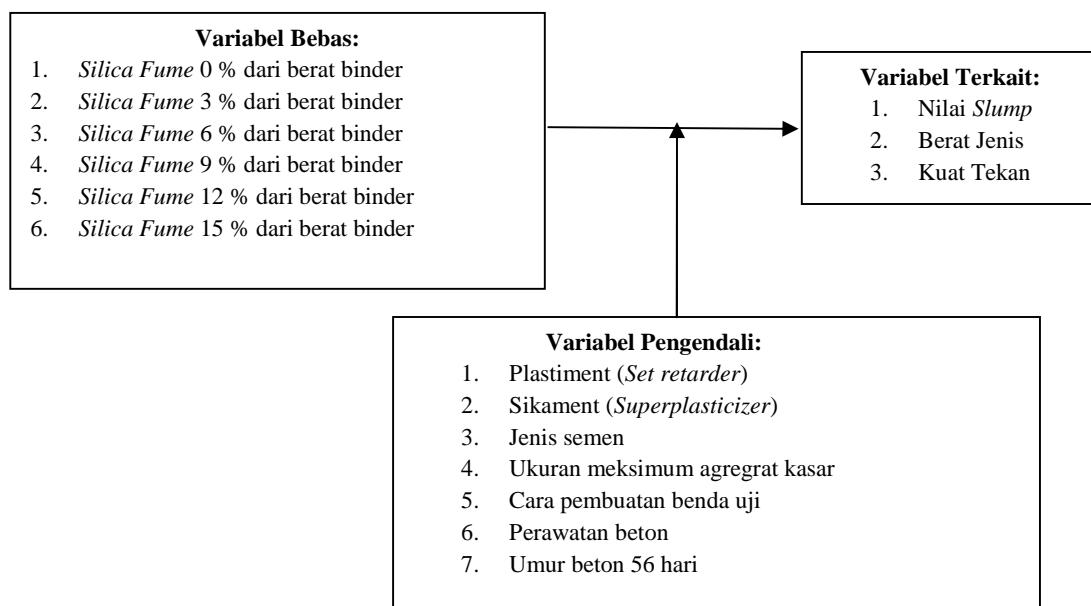
σ = Kuat tekan benda uji silinder (MPa)

P = Beban maksimum (kN)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

METODOLOGI PENELITIAN

A. Variabel Penelitian



Gambar 1. Hubungan Variabel Penelitian

B. Peralatan

1. Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan kapasitas 310 gram, 10 kg dan 50 kg.
 2. Oven yang digunakan harus dapat memanaskan sampai temperatur 110 derajat *celcius*.
 3. Kompor listrik digunakan kompor listrik untuk memanaskan belerang.
 4. Gelas ukur yang dipakai gelas ukur dengan ketelitian 1 ml dan 20 ml.

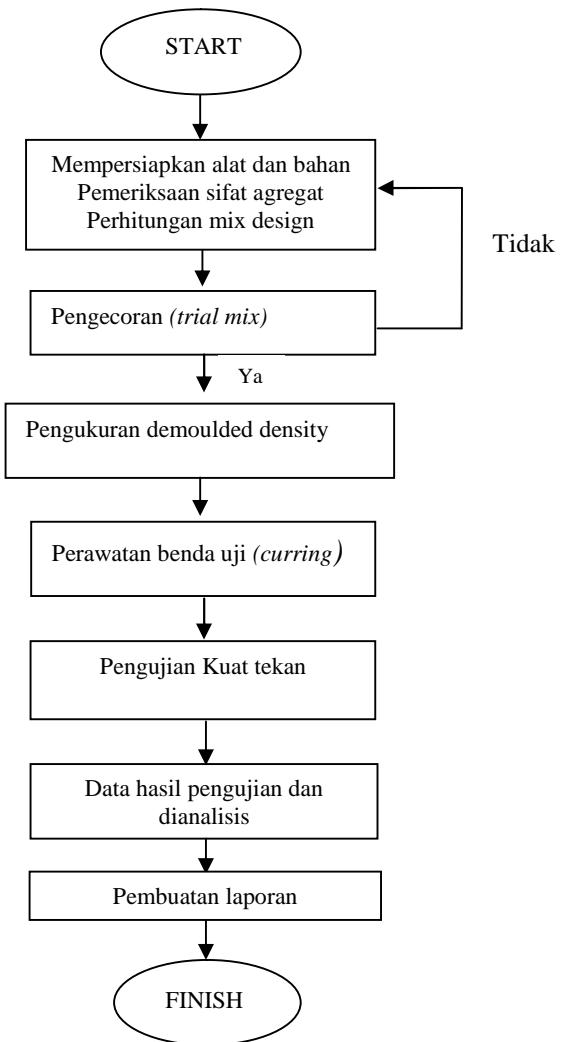
5. Jangka sorong digunakan pada saat mengukur diameter silinder dan tinggi silinder.
6. Ayakan berfungsi untuk memisahkan kerikil dan pasir.
7. Alat pelurus digunakan bersamaan dengan pelat *capping* agar benda uji silinder tegak lurus.
8. Pelat *capping* untuk mencetak belerang agar permukaan beton menjadi rata.
9. Mesin *Los Angelesi* digunakan untuk menguji ketahanan aus dan kekerasan agregat kasar.
10. Cetakan beton yang digunakan yaitu cetakan silinder berukuran 15 X 30 cm.
11. Mesin Pengujii Kuat

C. Material

1. Agregat yang digunakan berupa breksi batu apung dengan diameter maksimum 19 mm berasal dari Desa Bawuran, Kecamatan Pleret, Kabupaten Bantul.
2. Agregat halus atau pasir yang digunakan adalah pasir alami yang berasal dari aliran sungai Kabupaten Sleman.
3. Air bersih dari Laboratorium bahan bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
4. Jenis semen yang digunakan adalah semen Portland pozolan.
5. Bahan tambah *Silica Fume*
6. *Superplasticizer* diperoleh dari produk komersial berbasis *naphthalene sulphonate*.

D. Prosedur Penelitian

- Tahap I : Pemeriksaan sifat bahan agregat kasar dan agregat halus.
- Tahap II : Perhitungan rencana campuran(mix design).
- Tahap III : *Demoulded density*
- Tahap IV : Pengujian kuat tekan beton.
- Tahap V : Analisis dan interpretasi data hasil penelitian dengan metode deskriptif kuantitatif



Gambar 2. Diagram alur penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proporsi Campuran

Tabel 1. Kebutuhan material tiap meter kubik

No	Nama material	Kebutuhan material tiap meter kubik (kg)
1	Semen	455
2	Pasir	538,524
3	<i>Pumice</i>	606,812
4	Air	225
5	<i>Sikament NN</i>	4,7 kg (3,983 lt)
6	<i>Plastiment N</i>	0,699 kg (0,699 lt)

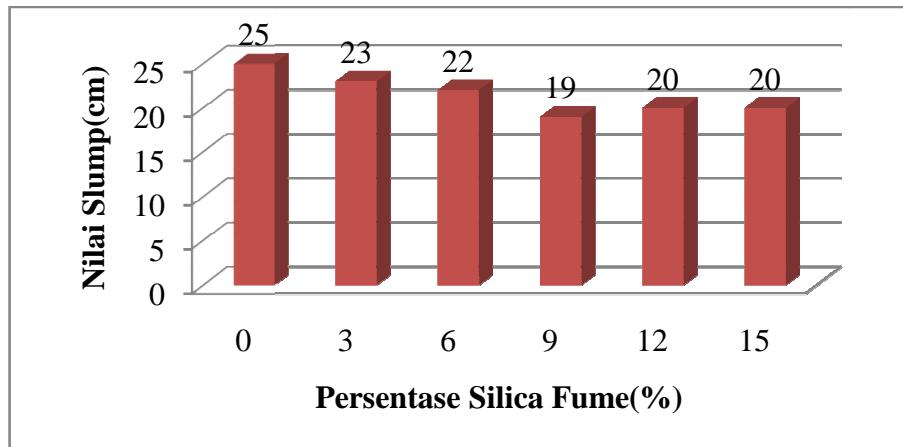
Tabel 2. Kebutuhan material dalam sekali adukan

No	Nama material	Kebutuhan material untuk sekali adukan (kg)
1	Semen	9,1
2	Air	4,5
3	<i>Pumice</i>	12,136
4	Pasir	10,77
5	<i>Plastiment N</i>	0,014 kg (12 ml)
6	<i>Sikament NN</i>	0,094 kg (80 ml)

B. Workability (slump)

Tabel 3. Kebutuhan material dalam sekali adukan

No	Takaran <i>Silica fume</i> %	Nili Slump (cm)	Tanggal Pengujian
11	0	25	23-May-12
22	3	23	23-May-12
33	6	22	24-May-12
44	9	19	29-May-12
55	12	20	29-May-12
66	15	20	31-May-12



Gambar 3. Hasil pengujian nilai *slump* terhadap variasi *silica fume* %

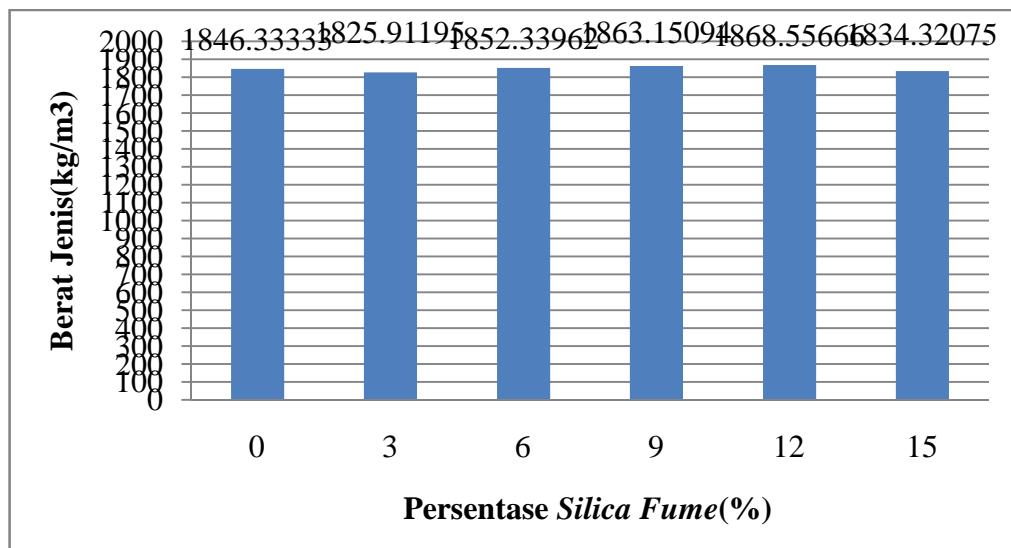
Berdasarkan Gambar 35 yang menunjukkan hasil pengujian sifat beton segar terlihat bahwa penambahan *Silica fume* 9% menunjukkan *slump* rendah yaitu 19 cm dibandingkan dengan penambahan *Silica fume* 0% dengan *slump* 25 cm .

Nilai *slump* maksimal yang diperoleh yaitu sebesar 25 cm pada penggunaan *Silica fume* dengan takaran 0% dari berat binder yang digunakan, sedangkan nilai *slump* minimal yang diperoleh sebesar 19 cm pada penggunaan *Silica fume* dengan takaran 9 % dari berat binder. Secara umum semakin besar kadar silica fume pada adukan beton maka kelecekan beton semakin berkurang hal ini terjadi karena butiran silica fume sangat halus sehingga memerlukan air yang lebih banyak untuk membasahi permukaan butiran silica fume.

1. Hasil pengujian Bearat Jenis

Tabel 2. Hasil Pengujian Berat jenis

No	Takaran <i>Silica fume</i> (%)	Berat Jenis Rata-Rata (kg/m ³)
1	0	1846.33333
2	3	1825.91195
3	6	1852.33962
4	9	1863.15094
5	12	1868.55666
6	15	1834.32075



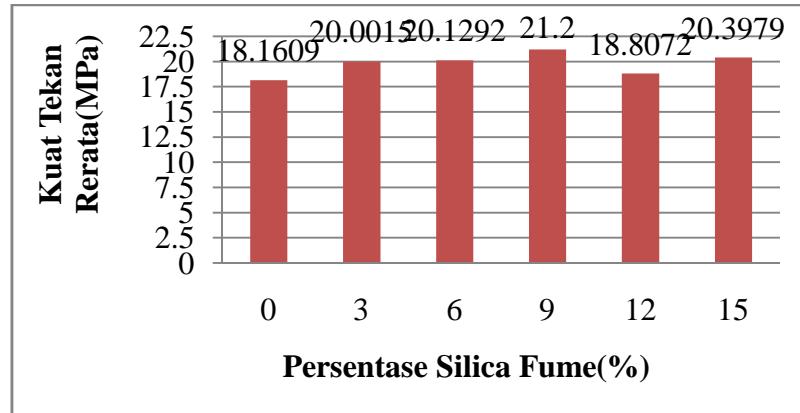
Gambar 4.Berat Jenis Rerata Beton Ringan (kg/m)

Dari hasil yang ditunjukan pada Tabel29 dan Gambar 36 terlihat bahwa dengan penambahan *Silica fume*pada beton ringan umumnya memberi perubahan nilai dari berat jenis dari penambahan *Silica fume* 3% - 12% memberi kenaikan berat jenis yang tidak signifikan karena tidak lebih dari 2% dan dengan penambahan *Silica fume*15% berat jenisnya turun karena dalam *trial mix*-nya kurang optimal tetapi nilainya penurunannya juga tidak signifikan, jadi penambahan *Silica fume*dengan takaran tertentu pada beton ringan dapat mempengaruhi berat jenis.

2. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel 2.Hasil Pengujian Kuat Teka

No	Takaran Silica Fume (%)	Kuat Tekan Rata-Rata(kg/m ³)
1	0	18.1609
2	3	20.0015
3	6	20.1292
4	9	21.2
5	12	18.8072
6	15	20.3979



Gambar 5.Kuat Tekan Rerata beton ringan

Dari hasil yang ditunjukkan Gambar 37 terlihat bahwa dengan penambahan *Silica fume* beton umumnya mengalami peningkatan kekuatan tekan beton jika dibandingkan dengan kuat tekan beton tanpa penambahan *Silica fume*. Kuat tekan beton ringan maksimum diperoleh sebesar 21,19 MPa pada pengujian *Silica fume* dengan takaran 9% dari berat binder yang digunakan, sedangkan kuat tekan beton ringan minimum diperoleh 18,80 MPa pada penggunaan *Silica fume* dengan takaran 12% dari berat binder yang digunakan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Surya (2011) penggunaan beton dengan bahan tambahsilica fumesebesar 0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15%. Berdasarkan penambahan *silica fume* berturut-turut didapatkan kuat tekan beton sebesar 38,67 MPa, 43,83MPa, 48,71MPa, 51,35MPa, 47,45MPa, 47,41MPa.Nilai optimum penggunaan *silica fume* berada pada nilai sebesar 9% dengan kuat tekan 51,35MPa.

Pada penelitian ini penggantian sebagian semen dengan *silica fume* dengan agregat kasar batu apung (*pemice*) dengan bahan tambah *silica fume* sebesar 0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15%.Berdasarkan penambahan *silica fume* secara bertueut-turut dengan pengujian 56 hari didapatkan kuat tekan beton ringan 18,16 MPa, 20,00MPa,20,12MPa, 21,20MPa, 18,80MPa, 20,39MPa. Dengan penambahan *silica fume* 9% memberikan kuat tekan maksimum yaitu 21,20MPa.

Penambahansilica fume 12% akan menurunkan kuat tekannya,akan tetapi penelitian Surya (2011) dengan penambahan *silica fume* 9% memberikan kuat tekan optimum. Kuat tekan pada penambahan *silica fume* 12% sebesar 18,80 MPa atau menurun sebesar 12,76% hal ini akibat dari *trialmix*-nya kurang optimal karena dilihat dari nilai penurunannya tidak signifikan, jadi penambahan *Silica fume* dengan takaran tertentu dan dengan *trial mix* yang baik dapat mempengaruhi kuat tekan pada beton ringan.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan penbahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

1. Nilai berat jenis rerata beton ringan agregat breksi *pumicedengan* penambahan *Silica Fume* sebesar 0 %, 3 %, 6 %, 9 %, 12 % dan 15 % memberikan perubahan nilai berat jenis berturut-turut sebesar 1846,33 kg/m³, 1825,91 kg/m³, 1852,33 kg/m³, 1863,15 kg/m³, 1868,55 kg/m³ 1834,32 kg/m³. Berat jenis dari penambahan *silica fume* 12% memberi peningkatan berat jenis optimum sebesar 1,203 %. Dari hasil berat jenis tersebut masih termasuk beton ringan karena nilainya masih dibawah angka 1900 kg/m³.
2. Kuat tekan maksimal didapat dari penambahan silica fume 9% dengan nilai 21,20 MPa. Penambahan kadar *silica fume* 12% memberi penurunan kuat tekan akan tetapi penambahan *silica fume* 15% memberi peningkatan kuat tekan dari 12% sebesar 8,45%.

B. Saran

Saran yang dapat di berikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penambahan *Silica Fume* dalam beton ringan sebaiknya sebesar 9% dari berat binder (semen) yang digunakan.
2. Komposisi substitusi bahan tambah yang lebih murah, untuk memperoleh campuran yang lebih ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim.(1989). *Pedoman Beton. SKBI.1.4.53 1989.* Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim.(1982). *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982).* Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Semen Portland, SNI 15-2049-2004.* Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Tata Cara Pembuatan Kaping Untuk Benda Uji Silinder Beton SNI 6369:2008.* Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional.(1992). *Metode Pengujian Kotoran Organik Dalam Pasir Untuk Campuran Mortar Atau Beton.* SNI 03-2816-1992. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional.(2008). *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton.* SNI 1973:2008. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional.(2008). *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.* SNI 1970:2008. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional.(2008). *Cara Uji Slump Beton.* SNI 1972:2008. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional.(1991). *Metoda Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di laboratorium.* SNI 03-2493-1991. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). *Metode Pengambilan Contoh Untuk Campuran Beton Segar SNI 03-2458-1991.* Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Pencampuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan*. SNI 03-3449-2002. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Mulyono, Tri. (2005). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Nugraha, Paul. dan Antoni. (2007). *Teknologi Beton dan Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: Andi Offset..
- Badan Standarisasi Nasional.(2004). *Semen Portland* SNI 15-2049. Jakarta: DepartemenPekerjaanUmum.
- Badan Standarisasi Nasional.(2004). *Semen Portland Pozolan* SNI 15-0302. Jakarta: DepartemenPekerjaanUmum.
- Badan Standarisasi Nasional.(2004). *Semen Portland Komposit* SNI 15-7064. Jakarta: DepartemenPekerjaanUmum.
- Slamet Widodo. (2008). *Struktur Beton 1 (Berdasarkan SNI-03-2847-2002)*. Universitas Negeri yogyakarta.
- Tjokrodimulyo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: KMTS FT UGM.
- Departemen Pekerjaan Umum 1971 Peraturan Beton Bertulang Indonesia (N.I.-2). Bandung : Yayasan LPMB
- Tjokrodimuljo, K, 1996, “*Teknologi Beton*”, Nafitri, Yogyakarta
- Samekto, Wuryati. Dan Rahmadiyanto, Candra.(2001). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: kanisius.
- ACI Manual of Concrete Practice, 2006 Materials and General Properties of Concrete*. American Concrete Institute: Farmington Hills, Michigan. p. 38.
- Mulyono, 2003, “*Teknologi Beton*”, AndiOffset, Yogyakarta
- ASTM C 330.Specification for lightweight Aggregate for Structural Concrete.America Standard Testing and Material.Vis, W. C. Kusuma, Gideon. 1993.
- ACI Committee 211. (2004).”Standard Practice for SelectionProportion for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, ACI211.1-91” *ACI Manual of Concrete Practice*, Michigan, 38 pp.

- ASTM C 39 (Standard Specifications For Compressive Testing)
- PBI 1971. "Peraturan Beton Bertulang Indonesia". Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Gambhir, M.,L. (1986). *Concret Technology*. McGraw-Hill Copanies, Inc., New York.
- PBI 1971. "Peraturan Beton Bertulang Indonesia". Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Samekto,W., dan Rahmadiyanto, C. (2011). Teknologi Beton. Yogyakarta : Kanisius
- Standar Metode Tes untuk Menentukan Kuat Tekan Beton Umur Muda dan Memperkirakan Kekuatan di Umur Selanjutnya*. Anual Book of ASTM Standards.180
- ASTM C 494-92- Standard Specifications for Chemical Admixtures for Concrete.