

Pengaruh Substitusi Sebagian Agregat Halus Dengan Serbuk Kaca Dan *Silica Fume* Terhadap Sifat Mekanik Beton

Johanes Januar Sudjati, Aphrodita Emawati Atmaja, Gabriella Agnes Luvena Suwignyo
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari 44, Yogyakarta 55281
email: januar@mail.uajy.ac.id

Abstract: Glass powder and glass shards waste are usually dumped directly on the ground or in the river in large amounts so it cause environment pollution. Glass waste will be used as substitute material for fine aggregate in the concrete mix to reduce the volume of glass waste. This research use cylindrical specimen with height of 300 mm and diameter of 150 mm for test of compressive strength, modulus of elasticity and tensile strength, and cylindrical specimen with height of 200 mm and diameter of 100 mm for water absorption test. Concrete mix is made with two conditions, without silica fume additive and with silica fume additive as much as 5% of the weight of cement. Glass powder is used to substitute the sand partially in the concrete mix with a variation of 0%, 10%, 20%, 30% and 40% of sand volume. Tests include concrete compressive strength test, modulus of elasticity test, tensile strength test and water absorption test, the tests are performed at 28 days old specimen. Specimen with silica fume additive shows the compressive strength increased by an average of 21.16%, modulus of elasticity increased by an average of 23,79%, tensile strength increased by an average of 18,91% and water absorption reduced by an average of 9,90% compared to specimen without silica fume additive

Keywords : glass powder and glass shard waste, substitute material, compressive strength, modulus of elasticity, tensile strength, water absorption

Abstrak: Limbah serbuk kaca dan pecahan kaca banyak yang dibuang langsung di tanah maupun di sungai dalam jumlah yang relatif banyak sehingga mencemari lingkungan. Salah satu upaya untuk mengurangi volume limbah kaca adalah dengan memanfaatkannya sebagai bahan substitusi sebagian agregat halus dalam campuran beton. Dalam penelitian ini digunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran tinggi 300 mm dan diameter 150 mm untuk uji kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah, dan silinder dengan ukuran tinggi 200 mm dan 100 mm untuk uji serapan air. Campuran beton dibuat tanpa menggunakan bahan tambah dan dengan bahan tambah *silica fume* sebanyak 5% dari berat semen. Serbuk kaca digunakan untuk menggantikan sebagian pasir dalam campuran beton dengan variasi 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% terhadap volume pasir. Pengujian yang dilakukan meliputi: uji kuat tekan beton dan modulus elastisitas, uji kuat tarik belah dan uji serapan air yang dilakukan saat benda uji berumur 28 hari. Dari hasil pengujian diperoleh kuat tekat beton dengan *silica fume* meningkat rata-rata 21,16% dibanding kuat tekan beton tanpa *silica fume*. Benda uji yang diberi *silica fume* mengalami kenaikan modulus elastisitas sebesar rata-rata 23,79%. Kuat tarik belah pada benda uji yang diberi *silica fume* meningkat sebesar rata-rata 18,91%. Benda uji yang diberi *silica fume* memiliki penurunan serapan air sebesar rata-rata 9,90%.

Kata kunci: limbah serbuk kaca dan pecahan kaca, substitusi agregat halus, kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah, serapan air

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Limbah dari suatu proses produksi baik yang berupa limbah cair atau limbah padat banyak yang dibuang secara sembarangan sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan. Salah

satu limbah adalah serbuk kaca dan pecahan kaca yang berasal dari pabrik mebel. Limbah serbuk kaca dan pecahan kaca ini biasanya dibuang langsung di tanah maupun di sungai dalam jumlah yang relatif banyak sehingga berpotensi mencemari lingkungan.

Salah satu upaya untuk mengurangi volume limbah kaca adalah dengan memanfaatkannya sebagai bahan substitusi sebagian agregat halus dalam campuran beton. Limbah yang berupa serbuk kaca telah digunakan dalam penelitian terdahulu untuk menggantikan sebagian pasir. Namun butiran serbuk kaca yang digunakan terlalu halus sehingga kuat tekan beton yang dihasilkan mengalami penurunan. Serbuk kaca yang halus ini lebih tepat digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam campuran beton. Dalam penelitian ini digunakan limbah potongan kaca yang dihancurkan sehingga menyerupai butiran agregat halus.

Rumusan dan Batasan Masalah

Limbah serbuk kaca digunakan sebagai bahan substitusi sebagian agregat halus dalam campuran beton dan diberikan bahan tambah *silica fume* kemudian ditinjau sifat mekanik dari beton dengan melakukan pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan uji serapan air. Sebagai pembandingan dibuat campuran beton dengan bahan penyusun yang sama tapi tidak menggunakan *silica fume*. Kuat tekan beton rencana $f_c' = 20$ MPa, serbuk kaca yang digunakan dengan ukuran gradasi menerus, variabel bebas berupa substitusi agregat halus oleh serbuk kaca sebesar 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%, perencanaan adukan beton menggunakan metode SNI T-15-1990-03 dan pengujian terhadap benda uji dilakukan pada umur 28 hari.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan serapan air dari benda uji beton yang menggunakan serbuk kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus serta meninjau pengaruh bahan tambah *silica fume* terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan serapan air.

LANDASAN TEORI

Penelitian Dengan Serbuk Kaca

Wibowo (2013) melakukan penelitian dengan serbuk kaca sebagai bahan pengisi (*filler*) campuran beton dengan persentase serbuk kaca 0%, 3%, 5% dan 7% terhadap berat semen. Dari hasil penelitian diperoleh kuat tekan beton dengan serbuk kaca 3%, 5% dan 7% sebesar 33,76 MPa, 31,31 MPa dan 30,49 MPa. Nilai kuat tekan ini lebih tinggi dibanding dengan beton normal yaitu 28,84 MPa. Dengan mengurangi jumlah air yang digunakan dan memberikan bahan tambah Sikament LN diperoleh kuat tekan beton yang lebih tinggi lagi yaitu 42,95 MPa, 40,13 MPa dan 38,66 MPa untuk benda uji dengan serbuk kaca 3%, 5% dan 7%.

Sudjati, dkk. (2014) menggunakan serbuk kaca sebagai substitusi sebagian pasir dengan variasi persentase 0%, 10%, 20% dan 30% terhadap volume pasir. Campuran beton dibuat dengan dua nilai faktor air semen yaitu 0,57 dan 0,46. Kuat tekan beton dengan serbuk kaca 10% menurun sebesar 27,26% untuk fas 0,57 dan 15,88% untuk fas 0,46. Beton dengan serbuk kaca 20% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 32,50% untuk fas 0,57 dan 33,04% untuk fas 0,46. Kuat tekan beton dengan serbuk kaca 30% mengalami penurunan sebesar 41,66% untuk fas 0,57 dan 42,20% untuk fas 0,46. Penurunan kuat tekan ini disebabkan oleh butiran serbuk kaca yang digunakan terlalu halus sehingga lebih tepat untuk digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran beton.

Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan beton diperoleh dengan memberikan beban tekan secara bertahap terhadap benda uji silinder yang berukuran tinggi 300 mm dan diameter 150 mm sampai hancur. Kuat tekan beton dihitung dengan persamaan berikut:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

f'_c = kuat tekan beton (MPa),

P = beban tekan maksimum (N),

A = luas penampang benda uji silinder (mm^2)

Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton adalah kemiringan kurva tegangan regangan beton pada kondisi linier atau mendekati linier. Berbeda dengan baja, modulus elastisitas beton adalah berubah – ubah menurut kekuatan. Biasanya nilai modulus elastisitas diambil pada saat tegangan tekan mencapai 25% - 50% dari kuat tekan maksimum f'_c (Wang & Salmon, 1986). Nilai modulus elastisitas dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$E = \frac{0,40 f'_c}{\epsilon_{0,40}} \quad (2)$$

keterangan:

E = modulus elastisitas beton (MPa),

$\epsilon_{0,40}$ = regangan pada saat tegangan tekan mencapai 0,40 f'_c

Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah benda uji silinder ialah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan (SK SNI S-60-1990-03). Kuat tarik belah beton dihitung sebagai berikut:

$$f'_{ct} = \frac{2 P}{\pi L D} \quad (3)$$

keterangan:

f'_{ct} = kuat tarik belah (MPa),

P = beban tekan maksimum (N),

L = panjang benda uji (mm),

D = diameter benda uji (mm)

Serapan Air

Serapan air adalah untuk mengetahui tingkat daya serap air pada benda uji beton. Semakin kecil serapan air berarti beton bersifat semakin kedap air. Nilai serapan air pada sampel beton dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Serapan air} = \frac{m_j - m_k}{m_k} \times 100\% \quad (4)$$

keterangan :

m_j : massa sampel jenuh (gram)

m_k : massa sampel kering (gram)

METODE PENELITIAN

Agregat kasar dan agregat halus yaitu *split* dan pasir diperiksa dulu sebelum digunakan sebagai bahan penyusun campuran beton. Pengujian bahan untuk agregat halus meliputi pemeriksaan gradasi agregat, kadar lumpur, zat organik, berat jenis dan penyerapan. Pengujian bahan untuk agregat kasar meliputi pemeriksaan gradasi, berat jenis dan penyerapan, dan abrasi/keausan. Pengujian berat jenis juga dilakukan pada serbuk kaca.

Rencana campuran beton normal (*mix design*) dibuat dengan menggunakan perancangan beton menurut SNI T-15-1990-03. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran tinggi 300 mm, diameter 150 mm untuk uji kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah, serta silinder berukuran tinggi 200 mm dan diameter 100 mm untuk uji serapan air.

Campuran beton dibuat tanpa menggunakan bahan tambah *silica fume* dan dengan bahan tambah *silica fume* sebanyak 5% dari berat semen. Serbuk kaca digunakan untuk menggantikan sebagian pasir dalam campuran beton dengan variasi 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% terhadap volume pasir. Pengujian yang dilakukan meliputi: uji kuat tekan beton dan modulus elastisitas, uji kuat tarik belah dan uji serapan air yang dilakukan saat benda uji berumur 28 hari. Jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi benda uji

| Pengujian Kadar Serbuk Kaca (%) | Uji Kuat Tekan | | | | | Kuat Tarik Belah | | | | | Serapan Air | | | | |
|---------------------------------------|----------------|----|----|----|----|------------------|----|----|----|----|-------------|----|----|----|----|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| Tanpa <i>Silica Fume</i> | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Dengan <i>Silica Fume</i> | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

Benda uji beton normal diberi kode BN, benda uji dengan serbuk kaca 10% diberi kode BS 10%, benda uji dengan serbuk kaca 20% diberi kode BS 20%, benda uji dengan serbuk kaca 30% diberi kode BS 30% dan benda uji dengan serbuk kaca 40% diberi kode BS 40%.

HASIL PENELITIAN

Berat Jenis Beton

Berat jenis beton dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2. Benda uji yang menggunakan serbuk kaca memiliki berat jenis yang hampir sama dengan beton normal. Serbuk kaca yang digunakan pada penelitian ini memiliki berat jenis yang lebih kecil dibanding berat jenis pasir sehingga secara teoritis berat jenis beton dengan serbuk kaca seharusnya lebih kecil dibanding beton normal. Hal ini terlihat pada benda uji dengan *silica fume* dimana berat jenis beton dengan serbuk kaca sedikit mengalami penurunan. Berat jenis benda uji dengan serbuk kaca hanya berselisih maksimum 3,5% dibanding berat jenis beton normal.

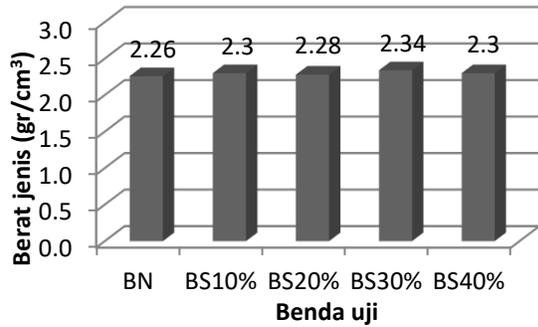
Kuat Tekan Beton

Hasil kuat tekan beton pada umur benda uji 28 hari dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4. Kuat tekan beton dengan serbuk kaca tanpa

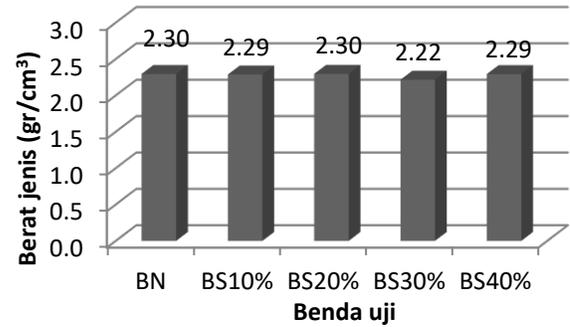
silica fume meningkat sebesar 8,21% dibanding beton normal pada persentase serbuk kaca 10%, sedangkan pada persentase serbuk kaca 20%, 30% dan 40% nilai kuat tekan sedikit lebih rendah dari beton normal dengan selisih 14,57%, 7,83% dan 6,49%.

Beton dengan serbuk kaca dan diberi bahan tambah *silica fume* memperlihatkan penurunan kuat tekan dibanding beton normal sebesar 22,47% pada persentase serbuk kaca 10%. Hal ini disebabkan pencampuran *silica fume* yang kurang merata pada adukan beton. Kuat tekan beton dengan *silica fume* dibanding beton normal menurun sebesar 5,51%, 9,20% dan 11,99% pada persentase serbuk kaca 20%, 30% dan 40%.

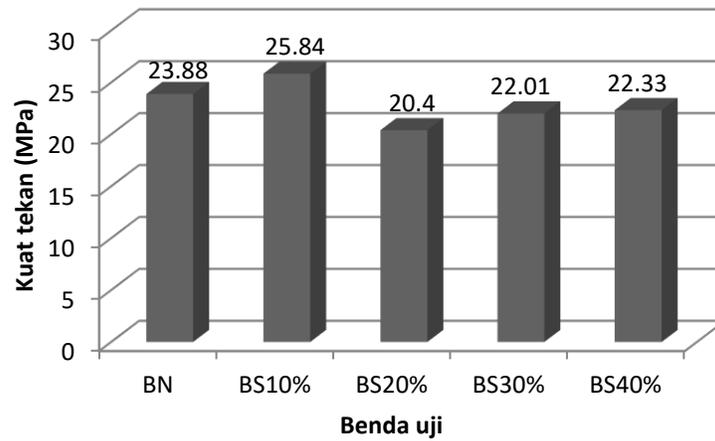
Kuat tekan beton dengan serbuk kaca terlihat meningkat pada adukan yang diberi bahan tambah *silica fume* seperti terlihat pada Gambar 5. Kecuali pada persentase 10% kuat tekan beton dengan *silica fume* terlihat lebih rendah, hal ini disebabkan tidak meratanya pencampuran *silica fume*. Peningkatan kuat tekan terbesar terjadi pada persentase serbuk kaca 20%. Kuat tekan beton dengan *silica fume* meningkat rata-rata 21,16% dibanding kuat tekan beton tanpa *silica fume*.



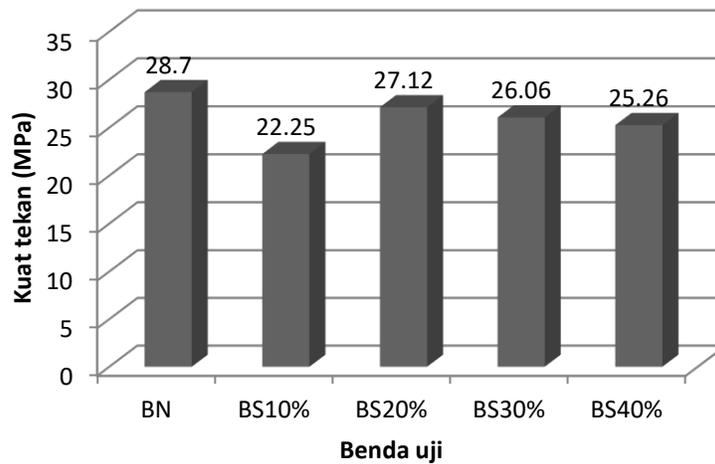
Gambar 1. Berat jenis beton tanpa silica fume



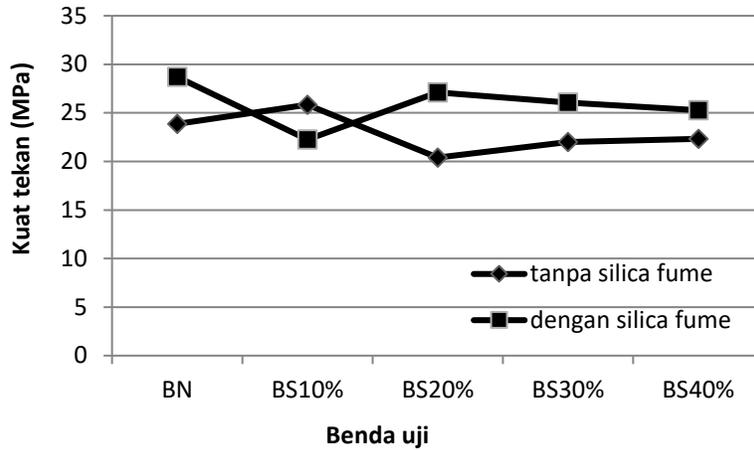
Gambar 2. Berat Jenis beton dengan silica fume



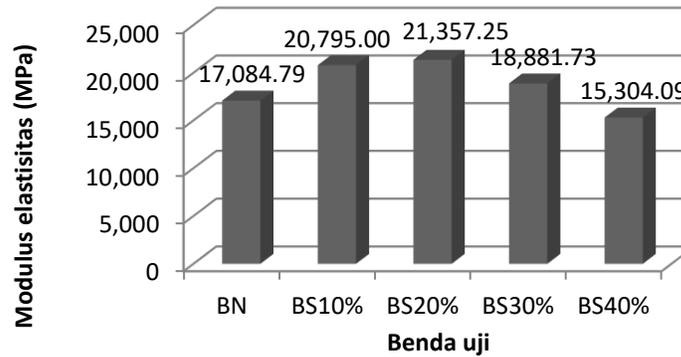
Gambar 3. Kuat tekan beton tanpa *silica fume*



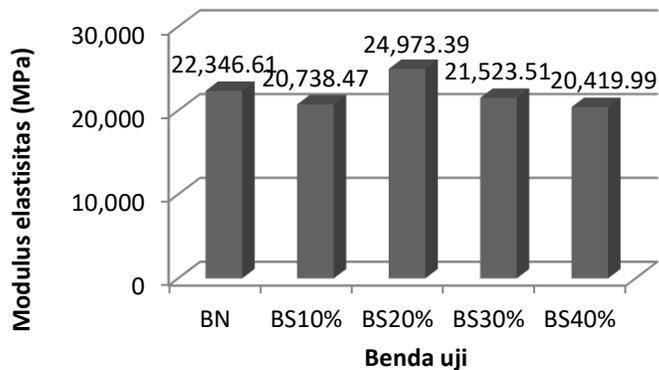
Gambar 4. Kuat tekan beton dengan *silica fume*



Gambar 5. Perbandingan kuat tekan beton



Gambar 6. Modulus elastisitas beton tanpa *silica fume*



Gambar 7. Modulus elastisitas beton dengan *silica fume*

Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton pada umur benda uji 28 hari dapat dilihat pada gambar 6 dan gambar 7. Modulus elastisitas beton dengan serbuk kaca tanpa *silica fume* terlihat

mengalami kenaikan sebesar 21,72%, 25,01% dan 10,52% dibanding beton normal pada persentase serbuk kaca 10%, 20% dan 30%. Sedangkan pada persentase serbuk kaca 40% modulus elastisitas menurun sebesar 10,42%. Hasil ini memang tidak sama dengan hasil uji

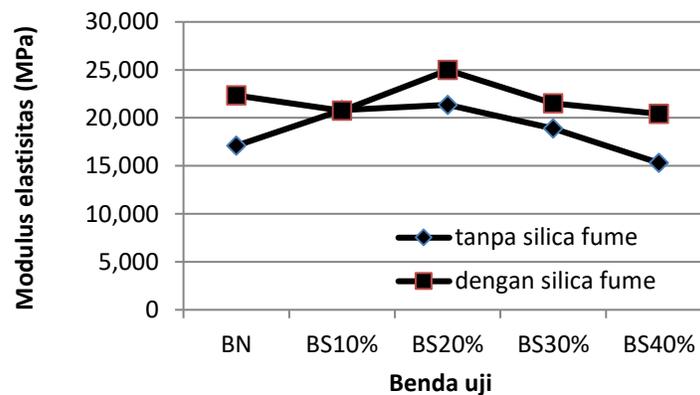
kuat tekan dimana kuat tekan hanya meningkat pada persentase serbuk kaca 10%. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh akurasi pembacaan regangan pada saat pengujian modulus elastisitas. Beton dengan serbuk kaca tanpa *silica fume* mengalami peningkatan modulus elastisitas berarti juga peningkatan kekakuan tertinggi pada persentase serbuk kaca 20%.

Beton dengan serbuk kaca yang diberi *silica fume* mengalami kenaikan modulus elastisitas dibanding beton normal sebesar 11,75% pada persentase serbuk kaca 20%. Sedangkan modulus elastisitas benda uji menurun sebesar 7,20%, 3,68% dan 8,62% pada persentase serbuk kaca 10%, 30% dan 40%. Hasil ini memperlihatkan beton dengan persentase 20% serbuk kaca dengan *silica fume* menunjukkan

kenaikan modulus elastisitas berarti juga peningkatan kekakuan.

Perbandingan modulus elastisitas beton tanpa *silica fume* dan beton dengan *silica fume* dapat dilihat pada gambar 8. Benda uji yang diberi *silica fume* terlihat memiliki modulus elastisitas yang lebih besar kecuali pada persentase serbuk kaca 10%, akibat kurang meratanya pencampuran *silica fume* dalam adukan beton.

Peningkatan modulus elastisitas terbesar yaitu 33,43% terlihat pada beton dengan persentase serbuk kaca 40%. Beton yang diberi *silica fume* mengalami kenaikan modulus elastisitas sebesar rata-rata 23,79% dibanding beton tanpa *silica fume*.



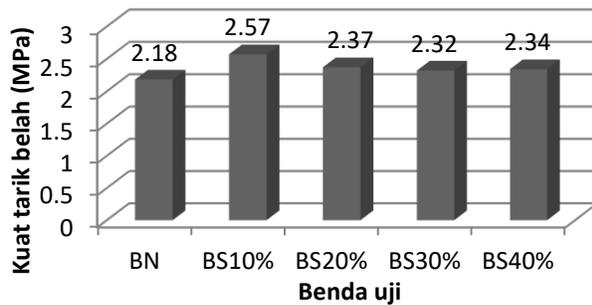
Gambar 8. Perbandingan modulus elastisitas

Kuat Tarik Belah Beton

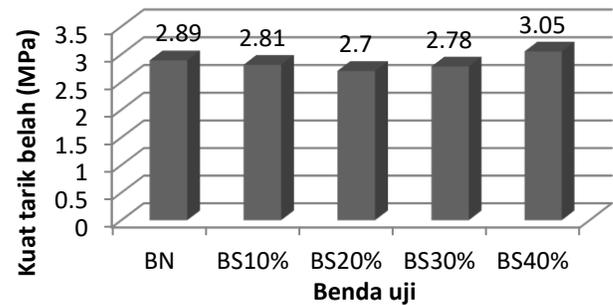
Gambar 9 dan gambar 10 memperlihatkan nilai kuat tarik belah yang diperoleh dari hasil pengujian. Kuat tarik belah beton dengan serbuk kaca tanpa *silica fume* terlihat mengalami peningkatan dibanding beton normal sebesar 17,89%, 8,72%, 6,42% dan 7,34% pada persentase serbuk kaca 10%, 20%, 30% dan 40%. Hasil ini menunjukkan beton dengan serbuk kaca mengalami peningkatan kemampuan, karena jika diterapkan sebagai komponen struktur bangunan maka deformasi akan lebih kecil saat memikul beban layan.

Bila dibandingkan dengan beton normal, beton dengan serbuk kaca yang diberi *silica fume* mengalami penurunan kuat tarik belah sebesar 2,77%, 6,57%, 3,81% pada persentase serbuk kaca 10%, 20% dan 30%. Sedangkan benda uji dengan persentase serbuk kaca 40% memperlihatkan kenaikan kuat tarik belah sebesar 5,54%.

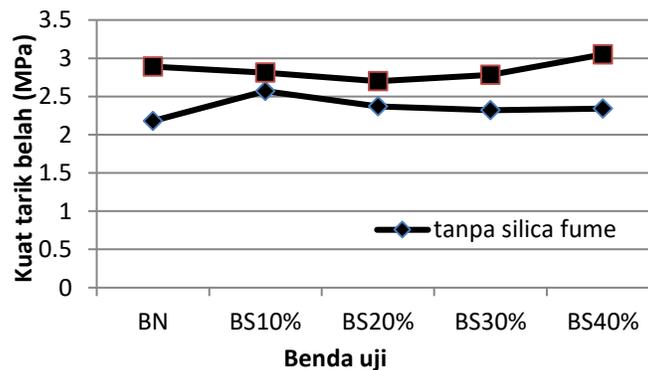
Kuat tarik belah benda uji yang diberi *silica fume* terlihat mengalami peningkatan seperti terlihat pada gambar 11. Kenaikan kuat tarik belah pada beton dengan persentase serbuk kaca 40% mencapai 30,34%. Kuat tarik belah beton yang diberi bahan tambah *silica fume* meningkat sebesar rata-rata 18,91% dibanding beton tanpa *silica fume*.



Gambar 9 Kuat tarik belah beton tanpa *silica fume*



Gambar 10. Kuat tarik belah beton dengan *silica fume*



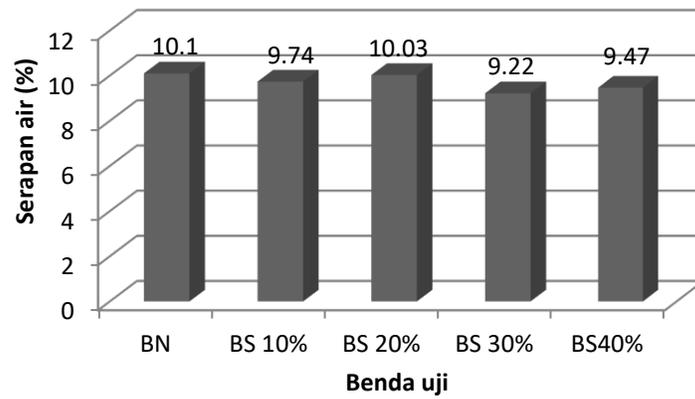
Gambar 11. Perbandingan kuat tarik belah

Serapan Air

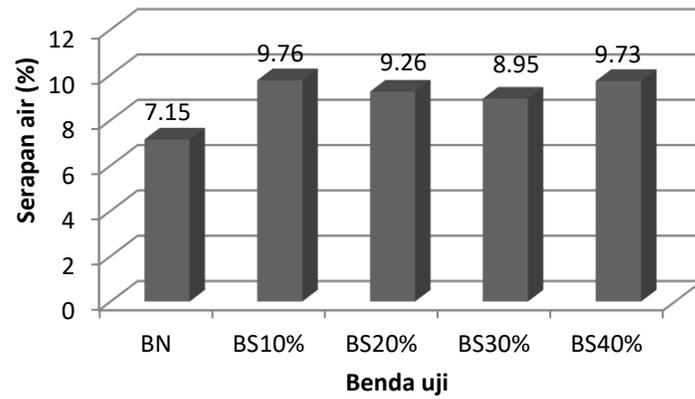
Hasil uji serapan air dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13. Serapan air pada beton dengan serbuk kaca tanpa *silica fume* terlihat mengalami penurunan sebesar 3,56%, 0,69%, 8,71% dan 6,24% dibanding beton normal pada persentase serbuk kaca 10%, 20%, 30% dan 40%. Hal ini menunjukkan benda uji dengan serbuk kaca memiliki kepadatan yang lebih baik dibanding beton normal. Hasil yang berbeda dijumpai pada beton dengan serbuk kaca dan *silica fume* dimana serapan air meningkat sebesar 36,50%, 29,51%, 25,17% dan 36,08% dibanding beton normal. Hal ini dapat disebabkan oleh kurang sempurnanya pembuatan benda uji sehingga benda uji dengan

serbuk kaca memiliki kepadatan yang kurang dibanding beton normal.

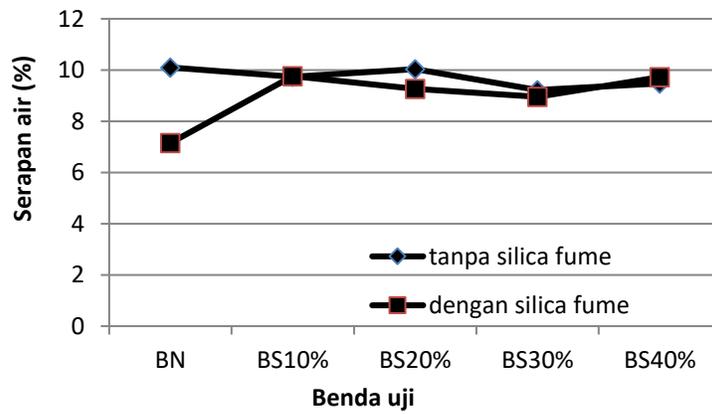
Jika dibandingkan beton dengan serbuk kaca yang diberi *silica fume* masih memiliki serapan yang sedikit lebih rendah seperti terlihat pada gambar 14. Penurunan terbesar serapan air sebesar 29,21% terlihat pada beton normal, sedangkan beton dengan persentase serbuk kaca 20% memiliki penurunan serapan air terbesar yaitu 7,68%. Benda uji yang diberi *silica fume* memiliki penurunan serapan air sebesar rata-rata 9,90% dibanding benda uji tanpa *silica fume*. Ini menunjukkan benda uji yang diberi *silica fume* memiliki kepadatan yang lebih baik dibanding benda uji tanpa *silica fume*.



Gambar 12. Serapan air tanpa *silica fume*



Gambar 13. Serapan air dengan *silica fume*



Gambar 14. Perbandingan serapan air

KESIMPULAN

Kuat tekan beton dengan serbuk kaca tanpa *silica fume* meningkat sebesar 8,21% dibanding beton normal pada persentase serbuk kaca 10%, sedangkan beton dengan serbuk kaca dan *silica fume* mengalami penurunan kuat tekan tapi tidak melebihi 12%. Kuat tekan beton dengan *silica fume* meningkat rata-rata 21,16% dibanding kuat tekan beton tanpa *silica fume*.

Modulus elastisitas beton tanpa *silica fume* meningkat sebesar 25,01% dibanding beton normal pada persentase serbuk kaca 20%. Sedangkan beton dengan *silica fume* menunjukkan kenaikan modulus elastisitas sebesar 11,75% dibanding beton normal pada persentase serbuk kaca 20%. Beton yang diberi *silica fume* mengalami kenaikan modulus elastisitas sebesar rata-rata 23,79% dibanding beton tanpa *silica fume*.

Kuat tarik belah beton tanpa *silica fume* meningkat sebesar 17,89% dibanding beton normal pada persentase serbuk kaca 10%. Sedangkan kuat tarik belah beton dengan *silica fume* meningkat sebesar 5,54% dibanding beton normal pada persentase serbuk kaca 40%. Beton yang diberi *silica fume* mengalami kenaikan kuat tarik belah sebesar rata-rata 18,91% dibanding beton tanpa *silica fume*.

Beton tanpa *silica fume* menunjukkan penurunan serapan air terbesar yaitu 8,71% dibanding beton normal pada persentase serbuk kaca 30% sedangkan beton dengan *silica fume* mengalami peningkatan serapan air dibanding beton normal. Benda uji yang diberi *silica fume* memiliki penurunan serapan air sebesar rata-rata 9,90% dibanding beton tanpa *silica fume*.

DAFTAR PUSTAKA

- Sudjati, J.J.; Yuliyanti, T.; Rikardus, 2014, Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton, *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 13, no.1, hal. 1 – 11.
- SK SNI S-60-1990-03, 1990, *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- SK SNI T-15-1990-03, 1990, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Adukan Beton Normal*, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Wang, C. K., dan Salmon, C. G., 1986, *Disain Beton Bertulang*, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Wibowo, Levin, 2013, *Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca dan Water Reducing High Range Admixtures Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Pada Beton*, Yogyakarta: Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.