

PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK KACA SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON

Johanes Januar Sudjati, Tri Yuliyanti, Rikardus

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari 44, Yogyakarta 55281
email: januar@mail.uajy.ac.id

Abstract: Glass powder waste is usually dumped directly on the ground or in the river in large amounts. It cause environment pollution, both land and water pollution. Glass powder will be used as substitute material for fine aggregate in the concrete mix to reduce the volume of waste glass powder. 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 beam with width of 100 mm, height of 100 mm and length of 500 mm for the flexural strength test. Concrete mix is made with two values of water-cement ratio, there are 0.57 and 0.46. Tests include concrete compressive strength test and modulus of elasticity, tensile strength test and flexural strength test and performed at 28 days old specimen. Specimen with water-cement ratio of 0.46 shows the compressive strength increase by an average of 21.13%, modulus of elasticity increase by an average of 9.09%, tensile strength increase by an average of 14.02% and flexural strength increase by an average of 19.35% compared to specimen with water-cement ratio of 0.57. Specimen with 10% and 20% glass powder and a water-cement ratio of 0.46 has compressive strength above 20 MPa so the concrete can be used for building structures.

Key words : glass powder, fine aggregate substitution, compressive strength, modulus of elasticity, tensile strength, flexural strength

Abstrak: Limbah serbuk kaca biasanya dibuang langsung di tanah maupun di sungai dalam jumlah yang cukup banyak. Hal ini tentu saja menyebabkan pencemaran lingkungan, baik pada tanah maupun air. Salah satu upaya untuk mengurangi volume limbah serbuk kaca adalah dengan memanfaatkannya sebagai substitusi 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 balok dengan ukuran lebar 100 mm, tinggi 100 mm dan panjang 500 mm untuk uji kuat lentur. Campuran beton dibuat dengan dua nilai faktor air semen yaitu 0,57 dan 0,46. Pengujian yang dilakukan meliputi: uji kuat tekan beton dan modulus elastisitas, uji kuat tarik belah dan uji kuat lentur yang dilakukan saat benda uji berumur 28 hari. Dari hasil pengujian diperoleh hasil beton dengan faktor air semen 0,46 memperlihatkan kenaikan kuat tekan sebesar rata-rata 21,13%, kenaikan modulus elastisitas sebesar rata-rata 9,09%, kenaikan kuat tarik belah sebesar rata-rata 14,02% dan kenaikan kuat lentur sebesar rata-rata 19,35% dibanding beton dengan faktor air semen 0,57. Beton dengan serbuk kaca 10% dan 20% dan faktor air semen 0,46 masih memiliki kuat tekan di atas 20 MPa sehingga masih dapat digunakan untuk struktur bangunan.

Kata kunci: serbuk kaca, substitusi agregat halus, kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah, kuat lentur

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Limbah yang dihasilkan dari suatu proses produksi dapat berupa limbah padat maupun cair. Limbah tersebut ada yang dapat diolah kembali menjadi sesuatu yang berguna, tetapi ada pula limbah yang dibuang secara

sembarangan ke tempat-tempat pembuangan sehingga menimbulkan potensi pencemaran lingkungan. Tempat pembuangan tersebut dapat berupa lahan kosong, sungai maupun tempat pembuangan limbah sisa. Salah satu limbah yang banyak ditemukan di berbagai kota besar adalah serbuk kaca. Limbah serbuk kaca tersebut biasanya dibuang langsung di tanah maupun di sungai dalam jumlah yang relatif

banyak. Hal ini tentu saja menyebabkan pencemaran lingkungan, baik pencemaran pada tanah maupun air secara tidak langsung serta mengganggu ekosistem yang ada. Salah satu upaya untuk mengurangi volume limbah serbuk kaca yang dibuang adalah dengan memanfaatkannya sebagai substitusi agregat halus dalam campuran beton.

Rumusan dan Batasan Masalah

Dalam penelitian ini limbah serbuk kaca digunakan sebagai bahan substitusi sebagian agregat halus dalam campuran beton dan kemudian ditinjau sifat mekanik dari beton dengan melakukan pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan kuat lentur beton. Campuran beton akan dibuat dengan dua nilai faktor air semen (tanpa menggunakan bahan tambah *superplastisizer* dan dengan menggunakan bahan tambah *superplastisizer* guna meningkatkan kuat tekan beton).

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: kuat tekan beton rencana $f'_c = 25$ MPa, serbuk kaca yang digunakan dengan ukuran gradasi menerus, variabel bebas berupa substitusi agregat halus oleh serbuk kaca sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%, 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 kuat lentur dari benda uji beton yang menggunakan serbuk kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus serta meninjau kenaikan kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan kuat lentur pada benda uji yang memiliki faktor air semen yang lebih kecil.

LANDASAN TEORI

Penelitian Terdahulu

Setiawan (2006) melakukan penelitian dengan menggunakan pecahan kaca sebagai agregat dalam campuran beton. Persentase kaca terhadap agregat kasar divariasi sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 50% dan 100%. Dari hasil

penelitian diperoleh kuat tekan beton tertinggi pada umur 28 hari diperoleh pada variasi 20% sebesar 208,62 kg/cm². 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%.

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 (mm²)

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:

$$E = \frac{0,25 f'_c}{\epsilon_{0,25}} \quad (2)$$

keterangan: E = modulus elastisitas beton (MPa), $\epsilon_{0,25}$ = regangan pada saat tegangan tekan mencapai 0,25 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)

Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam satuan MPa (SK SNI 03-4154-1996). Kuat lentur dihitung dengan persamaan:

$$f'_{lt} = \frac{3 P L}{2 b d^2} \quad (4)$$

keterangan: f'_{lt} = kuat lentur (MPa), P = beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok uji (N), L = panjang bentang di antara kedua blok tumpuan (mm), b = lebar balok rata-rata pada penampang runtuh (mm), d = tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)

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, kadar air, berat jenis dan penyerapan. Pengujian bahan untuk agregat kasar meliputi pemeriksaan kadar lumpur, kadar air, berat jenis dan penyerapan, dan abrasi/keausan. 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,

dan balok dengan ukuran lebar 100 mm, tinggi 100 mm dan panjang 500 mm untuk uji kuat lentur. Campuran beton dibuat dengan dua nilai faktor air semen yaitu faktor air semen 0,57 seperti yang dihitung dari hasil *mix design* (adukan beton tidak menggunakan Sikament LN) dan faktor air semen 0,46 dimana air dalam campuran beton yang diperoleh dari hasil *mix design* dikurangi 20% dan diberikan bahan tambah Sikament LN untuk menjaga tingkat *workability* adukan beton. Jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 1. Pengujian yang dilakukan meliputi: uji kuat tekan beton dan modulus elastisitas, uji kuat tarik belah dan uji kuat lentur yang dilakukan saat benda uji berumur 28 hari.

Selanjutnya beton normal diberi kode BN, beton dengan serbuk kaca 10% diberi kode BS 10%, beton dengan serbuk kaca 20% diberi kode BS 20% dan beton dengan serbuk kaca 30% diberi kode BS 30%.

HASIL PENELITIAN

Hasil Pemeriksaan *Slump*

Hasil pemeriksaan *slump* dari adukan beton dengan faktor air semen 0,57 (tidak menggunakan Sikament LN) dapat dilihat pada Tabel 2. Sedangkan nilai *slump* dari adukan beton dengan faktor air semen 0,46 (menggunakan Sikament LN) dapat dilihat pada Tabel 3. Dari nilai *slump* yang diperoleh dari hasil pengujian tampak bahwa semakin banyak serbuk kaca yang digunakan maka nilai *slump* cenderung semakin kecil. Hal ini memperlihatkan bahwa adukan beton akan semakin kental dengan meningkatnya persentase serbuk kaca. Hal ini karena serbuk kaca memiliki butiran yang lebih halus dibanding pasir sehingga memerlukan air yang lebih banyak pada tingkat *workability* yang sama. Bila menggunakan jumlah air yang sama maka adukan beton dengan serbuk kaca akan memiliki tingkat *workability* yang lebih rendah (nilai *slump* yang lebih kecil) dibanding dengan adukan beton normal. Namun nilai *slump* yang diperoleh secara umum masih memenuhi batas nilai *slump* yang disyaratkan untuk struktur pelat dan balok yaitu antara 7,5 cm – 15 cm.

Tabel 1. Variasi benda uji

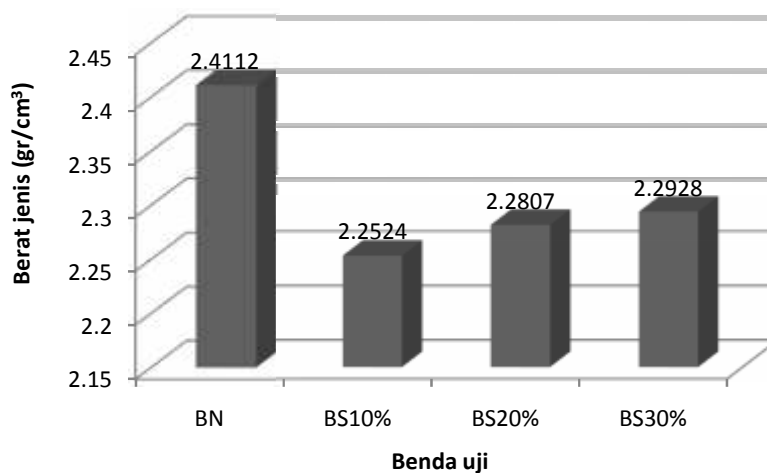
Faktor Air Semen (fas)	Kuat Tekan (Silinder)				Kuat Tarik Belah (Silinder)				Kuat Lentur (Balok)			
	Kadar Serbuk Kaca (%)				Kadar Serbuk Kaca (%)				Kadar Serbuk Kaca (%)			
	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
0,57	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
0,46	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tabel 2. Nilai *slump* adukan beton dengan fas 0,57

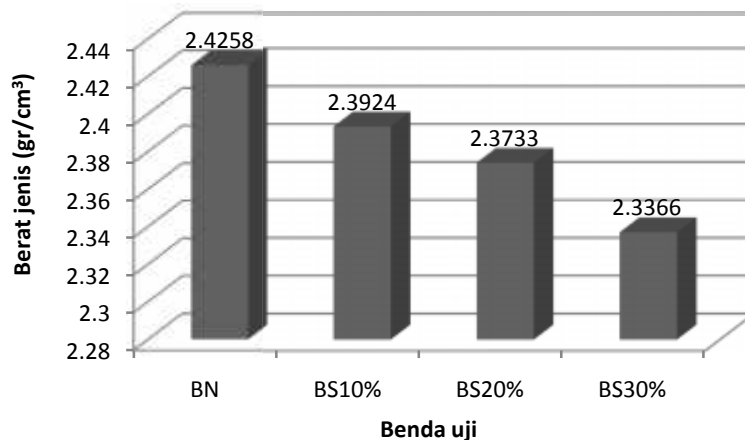
Kode Benda Uji	Nilai <i>Slump</i> Benda Uji Kuat Kentur (cm)	Nilai <i>Slump</i> Benda Uji Kuat Tekan (cm)	Nilai <i>Slump</i> Benda Uji Kuat Tarik Belah (cm)
BN	10,8	8,0	10,5
BS 10%	9,7	8,3	8,7
BS 20%	8,5	7,8	8,3
BS 30%	8,0	7,8	8,5

Tabel 3. Nilai *slump* adukan beton dengan fas 0,46

Kode Benda Uji	Nilai <i>Slump</i> Benda Uji Kuat Kentur (cm)	Nilai <i>Slump</i> Benda Uji Kuat Tekan (cm)	Nilai <i>Slump</i> Benda Uji Kuat Tarik Belah (cm)
BN	10,5	10,9	10,3
BS 10%	9,2	9,1	9,0
BS 20%	8,8	8,7	8,3
BS 30%	8,3	8,2	7,5



Gambar 1. Berat jenis beton dengan fas 0,57.



Gambar 2. Berat jenis beton dengan fas 0,46.

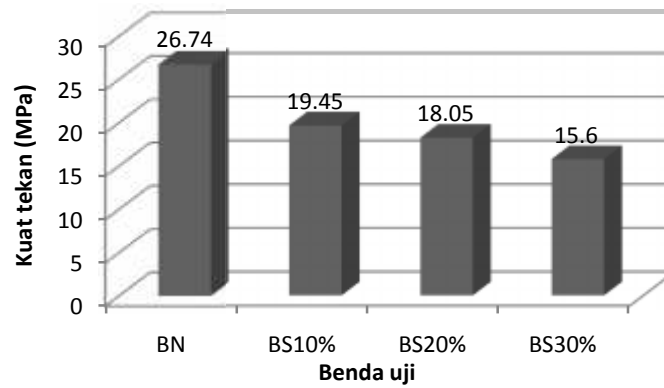
Berat Jenis Beton

Berat jenis beton dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa beton yang menggunakan serbuk kaca memiliki berat jenis yang lebih kecil dibanding beton normal. Semakin tinggi persentase serbuk kaca yang digunakan maka berat jenis beton cenderung semakin berkurang, hal ini terlihat jelas untuk benda uji beton dengan faktor air semen 0,46. Untuk benda uji beton dengan faktor air semen 0,57, benda uji BS 10% dan BS 20% memiliki berat jenis yang sedikit lebih kecil dibanding benda uji BS 30%. Hal ini dapat disebabkan oleh proses pengadukan beton yang kurang sempurna karena pembuatan adukan beton dilakukan secara manual akibat rusaknya *concrete mixer* pada saat itu.

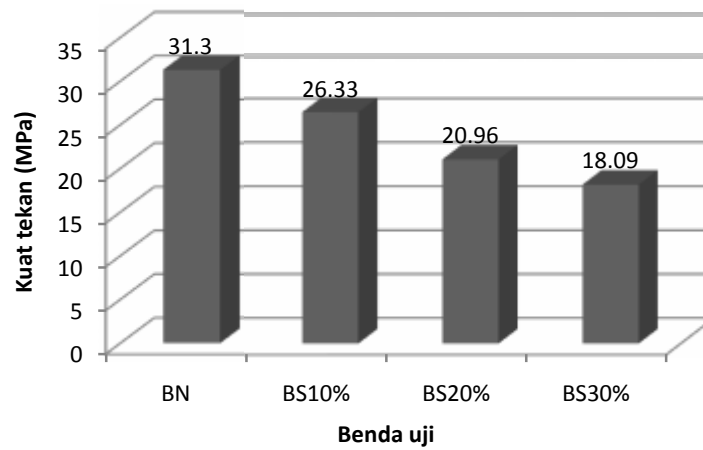
Kuat Tekan Beton

Hasil kuat tekan beton pada umur benda uji 28 hari dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Kuat tekan beton dengan serbuk kaca cenderung menurun dengan semakin tingginya

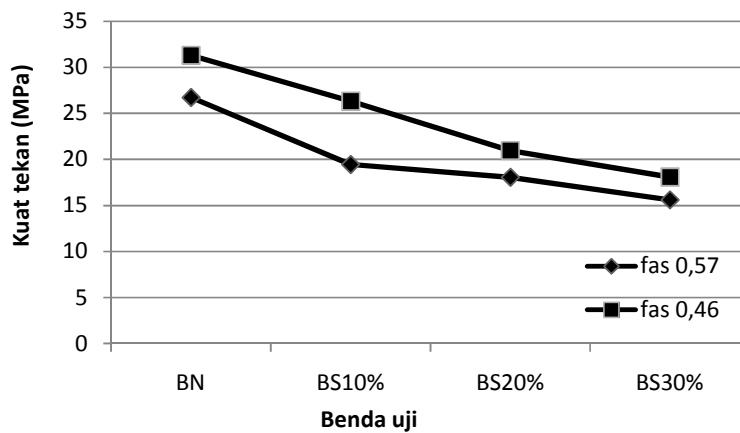
persentase serbuk kaca yang digunakan. Kuat tekan beton dengan serbuk kaca 10% menurun sebesar 27,26% untuk fas 0,57 dan 15,88% untuk fas 0,46. Beton dengan serbuk kaca 20% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 32,50% untuk fas 0,57 dan 33,04% untuk fas 0,46. Kuat tekan beton dengan serbuk kaca 30% mengalami penurunan sebesar 41,66% untuk fas 0,57 dan 42,20% untuk fas 0,46. Hal ini disebabkan oleh butiran serbuk kaca yang digunakan lebih halus dibandingkan pasir sehingga mengurangi kekuatan beton. Namun dengan menggunakan faktor air semen 0,46 dan memberikan bahan tambah Sikament LN agar adukan beton tetap memiliki tingkat *workability* yang baik, dapat dilihat beton dengan serbuk kaca 10% dan 20% masih memiliki kuat tekan di atas 20 MPa. Batas kuat tekan 20 MPa merupakan nilai kuat tekan minimum yang dapat digunakan untuk struktur bangunan tahan gempa. Pengurangan air sebesar 20% dapat meningkatkan kuat tekan pada benda uji sebesar rata-rata 21,13% seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5. Kenaikan kuat tekan dengan cara mengurangi penggunaan air, terlihat lebih besar pada beton dengan serbuk kaca 10%



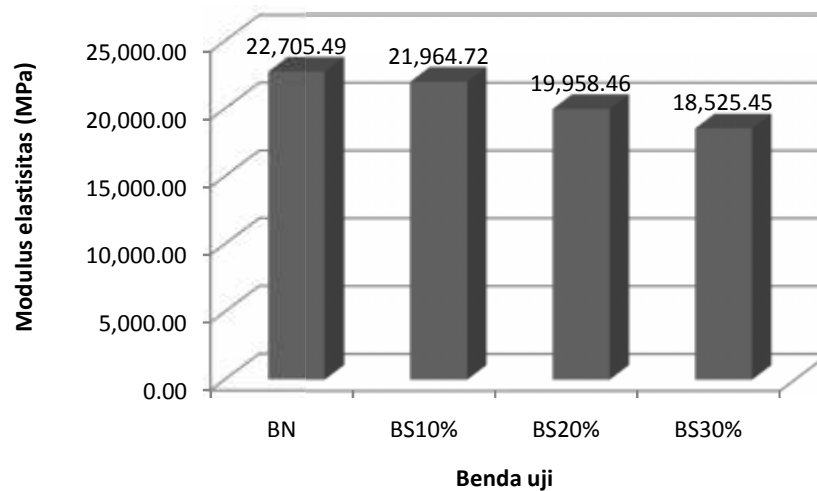
Gambar 3. Kuat tekan beton dengan fas 0,57.



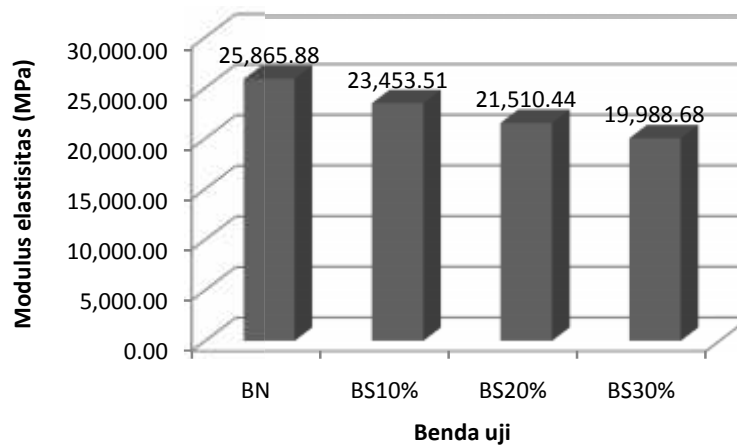
Gambar 4. Kuat tekan beton dengan fas 0,46.



Gambar 5. Perbandingan kuat tekan beton.



Gambar 6. Modulus elastisitas beton dengan fas 0,57.



Gambar 7. Modulus elastisitas beton dengan fas 0,46.

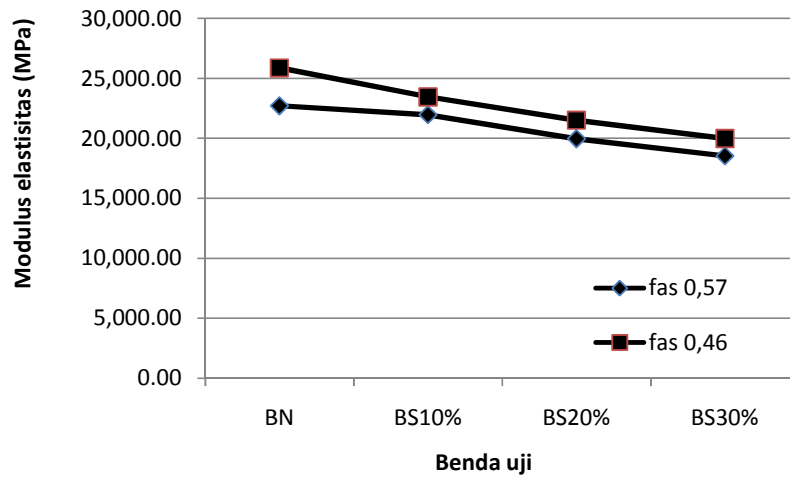
Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton pada umur benda uji 28 hari dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Karena nilai kuat tekan beton yang cenderung menurun dengan penambahan serbuk kaca maka nilai modulus elastisitas beton juga akan menurun. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian baik untuk benda uji dengan faktor air semen 0,57 maupun dengan faktor air semen 0,46.

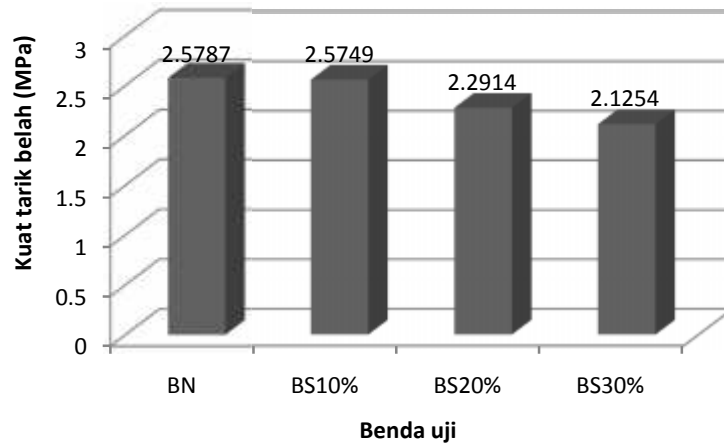
Modulus elastisitas dengan serbuk kaca 10% menurun sebesar 3,26% untuk fas 0,57 dan 9,33% untuk fas 0,46. Beton dengan serbuk

kaca 20% mengalami penurunan modulus elastisitas sebesar 12,10% untuk fas 0,57 dan 16,84% untuk fas 0,46.

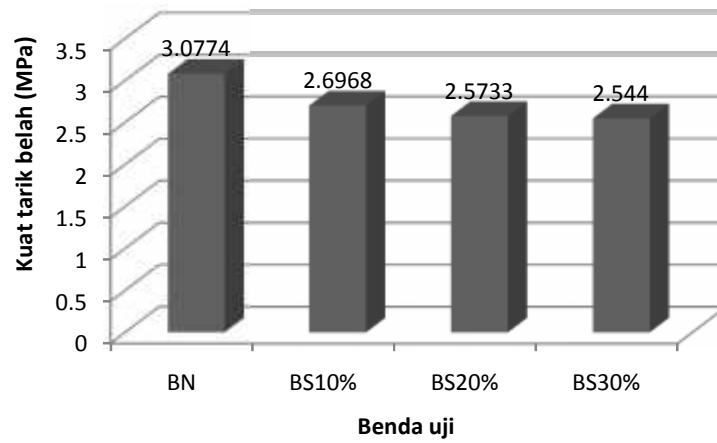
Modulus elastisitas dengan serbuk kaca 30% mengalami penurunan sebesar 18,41% untuk fas 0,57 dan 22,72% untuk fas 0,46. Bila dibandingkan maka modulus elastisitas pada benda uji dengan fas 0,46 meningkat rata-rata 9,09% dibanding modulus elastisitas benda uji dengan fas 0,57 seperti yang terlihat pada Gambar 8. Dengan mengurangi penggunaan air kenaikan nilai modulus elastisitas pada beton dengan serbuk kaca terlihat lebih kecil dibanding beton normal.



Gambar 8. Perbandingan modulus elastisitas.



Gambar 9. Kuat tarik belah beton dengan fas 0,57.



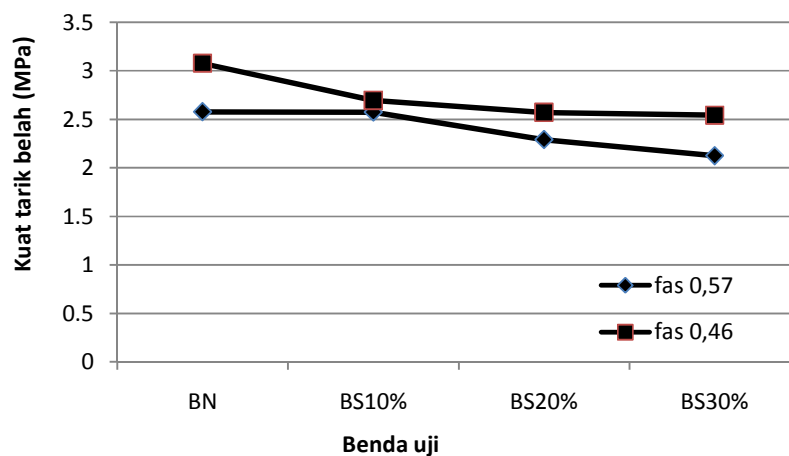
Gambar 10. Kuat tarik belah beton dengan fas 0,46.

Kuat Tarik Belah Beton

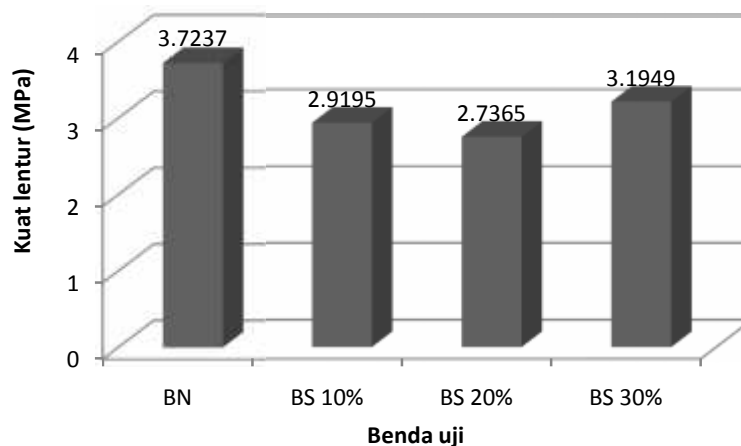
Gambar 9 dan Gambar 10 memperlihatkan nilai kuat tarik belah yang diperoleh dari hasil pengujian.

Seperti halnya hasil uji kuat tekan maka kuat tarik belah beton dengan serbuk kaca juga cenderung menurun dengan semakin tingginya persentase serbuk kaca yang digunakan. Kuat tarik belah dengan serbuk kaca 10% menurun sebesar 0,15% untuk fas 0,57 dan 12,37% untuk fas 0,46. Beton dengan serbuk kaca 20% mengala-

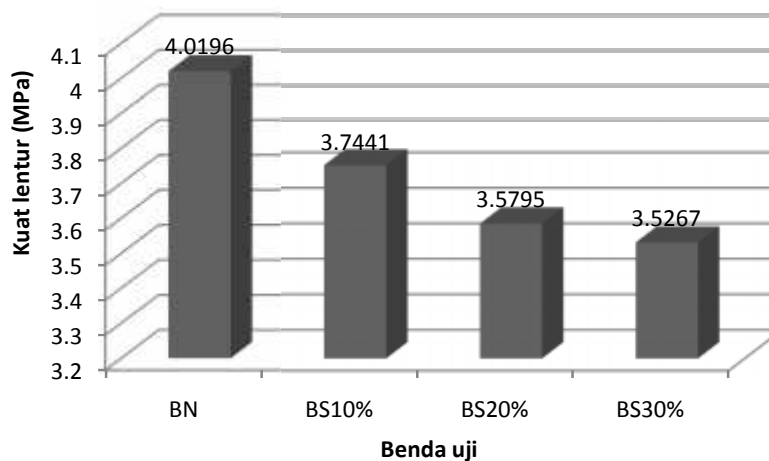
mi penurunan kuat tarik belah sebesar 11,14% untuk fas 0,57 dan 16,38% untuk fas 0,46. Kuat tarik belah dengan serbuk kaca 30% mengalami penurunan sebesar 17,58% untuk fas 0,57 dan 17,33% untuk fas 0,46. Perbandingan kuat tarik belah adukan beton dengan fas 0,57 dan fas 0,46 dapat dilihat pada Gambar 11. Dengan menggunakan faktor air semen 0,46 dan memberikan bahan tambah Sikament LN agar adukan beton tetap memiliki tingkat *workability* yang baik, kuat tarik belah beton meningkat rata-rata 14,02% dibanding kuat tarik belah beton yang menggunakan fas 0,57.



Gambar 11. Perbandingan kuat tarik belah.



Gambar 12. Kuat lentur beton dengan fas 0,57.



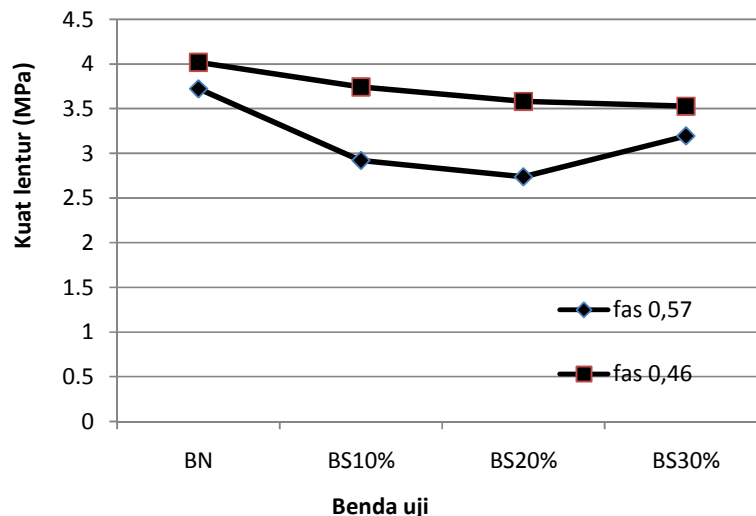
Gambar 13. Kuat lentur beton dengan fas 0,46.

Kuat Lentur Beton

Hasil uji kuat lentur beton dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13. Semakin tinggi persentase serbuk kaca yang digunakan memperlihatkan nilai kuat lentur beton yang juga semakin menurun. Untuk benda uji dengan fas 0,57 terlihat hasil yang agak menyimpang karena kuat lentur beton meningkat kembali pada benda uji dengan serbuk kaca 30%. Namun hal ini disebabkan oleh pembuatan benda uji yang kurang sempurna untuk variasi serbuk kaca 10% dan 20% sehingga kuat lenturnya menjadi lebih rendah dibanding kuat lentur beton dengan serbuk kaca 30%. Kuat lentur dengan ser-

buk kaca 10% menurun sebesar 21,60% untuk fas 0,57 dan 6,85% untuk fas 0,46. Beton dengan serbuk kaca 20% mengalami penurunan kuat lentur sebesar 26,51% untuk fas 0,57 dan 10,95% untuk fas 0,46.

Kuat lentur dengan serbuk kaca 30% mengalami penurunan sebesar 14,20% untuk fas 0,57 dan 12,26% untuk fas 0,46. Perbandingan kuat lentur beton dengan fas 0,57 dan fas 0,46 dapat dilihat pada Gambar 14. Pengurangan air sebesar 20% (faktor air semen 0,46) dapat meningkatkan kuat lentur beton rata-rata 19,35% dibanding kuat lentur beton yang menggunakan fas 0,57.



Gambar 14. Perbandingan kuat lentur beton.

KESIMPULAN

Beton dengan serbuk kaca 10% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 27,26% untuk fas 0,57 dan 15,88% untuk fas 0,46, penurunan modulus elastisitas sebesar 3,26% untuk fas 0,57 dan 9,33% untuk fas 0,46, penurunan kuat tarik belah sebesar 0,15% untuk fas 0,57 dan 12,37% untuk fas 0,46, penurunan kuat lentur sebesar 21,60% untuk fas 0,57 dan 6,85% 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, penurunan modulus elastisitas sebesar 12,10% untuk fas 0,57 dan 16,84% untuk fas 0,46, penurunan kuat tarik belah sebesar 11,14% untuk fas 0,57 dan 16,38% untuk fas 0,46, penurunan kuat lentur sebesar 26,51% untuk fas 0,57 dan 10,95% untuk fas 0,46. Beton dengan serbuk kaca 30% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 41,66% untuk fas 0,57 dan 42,20% untuk fas 0,46, penurunan modulus elastisitas sebesar 18,41% untuk fas 0,57 dan 22,72% untuk fas 0,46, penurunan kuat tarik belah sebesar 17,58% untuk fas 0,57 dan 17,33% untuk fas 0,46, penurunan kuat lentur sebesar 14,20% untuk fas 0,57 dan 12,26% untuk fas 0,46. Beton dengan serbuk kaca 10% dan 20% dan faktor air semen 0,46 masih memiliki kuat tekan di atas 20 MPa sehingga masih dapat digunakan untuk struktur bangunan. Beton dengan faktor air semen 0,46 memperlihatkan kenaikan kuat tekan sebesar rata-rata 21,13%, kenaikan mod-

ulus elastisitas sebesar rata-rata 9,09%, kenaikan kuat tarik belah sebesar rata-rata 14,02% dan kenaikan kuat lentur sebesar rata-rata 19,35% dibanding beton dengan faktor air semen 0,57.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- SK SNI 03-4154-1996, 1996, *Metode Pengujian Kuat Lentur Beton Dengan Balok Uji Sederhana yang Dibebani Terpusat Langsung*, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Setiawan, B., 2006, Pengaruh Penggunaan Agregat Kaca pada Beton Ditinjau dari Segi Kekuatan dan Shrinkage, Surabaya, *Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Petra*.
- 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*.