

LAPORAN PENELITIAN



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

Oleh:

JOHANES JANUAR SUDJATI, ST, MT

TRI YULIYANTI

RIKARDUS

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
2013**

LEMBARAN PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN

1	Judul Penelitian	Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton	
2	Kategori Penelitian	Laboratorium	
3	Nama Ketua Peneliti	Johanes Januar Sudjati, ST, MT	
	Tempat, tanggal lahir	Tangerang, 23 Januari 1971	
	NPP/NIDN	02.95.532 / 0523017101	
	Pangkat/Golongan	Penata/IIIC	
	Jabatan Akademik	Lektor	
	Jabatan Struktural	Ketua Program Studi	
	Fakultas/Program Studi	Teknik, Teknik Sipil	
	Alamat Rumah	Griya Taman Bougenville 3, Turen, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman, Yogyakarta 55581	
	No. Telp	08175450460	
	Email	januar@mail.uajy.ac.id januarsujati@yahoo.com	
4	Nama Anggota Peneliti	Tri Yuliyanti (NPM: 090213226) Rikardus (NPM: 060212572)	
5	Lokasi Penelitian	Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UAJY	
6	Jangka Waktu Penelitian	6 bulan	
7	Biaya Yang Diperlukan	Rp 3,530,000.00	-

Yogyakarta, 1 Oktober 2013

Ketua Peneliti

Mengetahui

Sekretaris Program Studi Teknik Sipil

Johanes Januar Sudjati, ST, MT

NPP: 02.95.532

Angelina Eva Lianasari, ST, MT

NPP: 11.96.600

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik

Menyetujui

Ketua LPPM

Dr. Ir. A.M. Ade Lisantono, M.Eng

NPP: 01.88.265

Dr. Ir. Djarot Purbadi, MT

NPP: 07.87.217

ABSTRAK

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. Salah satu limbah adalah serbuk kaca *bevel* yang biasanya dibuang langsung di tanah maupun di sungai dalam jumlah yang cukup 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 *bevel* yang dibuang adalah dengan memanfaatkannya sebagai salah satu bahan penyusun 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 faktor air semen 0,57 dan faktor air semen 0,46. Adukan beton dengan fas 0,46 diberi bahan tambah Sikament LN untuk menjaga tingkat *workability* adukan beton. 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 bahwa kuat tekan beton dengan fas 0,46 meningkat rata-rata 21,13% dibanding kuat tekan beton dengan fas 0,57. Modulus elastisitas beton dengan fas 0,46 meningkat rata-rata 9,09% dibanding modulus elastisitas beton dengan fas 0,57. Kuat tarik belah beton dengan fas 0,46 mengalami peningkatan sebesar rata-rata 14,02% dibanding kuat tarik belah beton dengan fas 0,57. Kuat lentur beton dengan fas 0,46 meningkat rata-rata 19,35% dibanding kuat lentur beton dengan fas 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 HANTAR

Segala ucapan syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan kasih karunia-Nya sehingga laporan penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangsih atas upaya-upaya untuk memanfaatkan limbah yang ada sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih atas bantuan semua pihak selama pelaksanaan penelitian ini. Secara khusus penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Sipil yang telah menyediakan dana penelitian ini, Dekan Fakultas Teknik dan Ketua LPPM yang mensahkan proposal dan laporan penelitian, Kepala dan Staf Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan atas penggunaan fasilitas laboratorium.

Penelitian ini dikerjakan bersama dengan dua orang mahasiswa Tugas Akhir dan menghasilkan dua judul Tugas Akhir yaitu: Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton atas nama Sdr. Tri Yulianti dan Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Dengan Bahan Tambah *Superplastisizer* Terhadap Sifat Mekanik Beton atas nama Sdr. Rikardus.

Penulis menyadari bahwa hasil penelitian ini masih jauh dari sempurna, karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Kiranya berkat Tuhan menyertai selalu.

Yogyakarta, Oktober 2013

Johanes Januar Sudjati, ST, MT

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Proposal	ii
Abstrak	iii
Kata Hantar	iv
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	vii
Daftar Gambar	viii
Daftar Lampiran	ix
Bab I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat penelitian	2
1.6 Lokasi Penelitian	2
Bab II Tinjauan Pustaka	3
2.1 Beton	3
2.2 Bahan Penyusun Beton	3
2.3 Nilai <i>Slump</i>	6
2.4 Penelitian dengan Kaca	6
Bab III Landasan Teori	8
3.1 Kuat Tekan Beton	8
3.2 Modulus Elastisitas Beton	8
3.3 Kuat Tarik Belah Beton	9
3.4 Kuat Lentur Beton	9
Bab IV Metode Penelitian	11
4.1 Bagan Alir Penelitian	11
4.2 Bahan dan Alat	12

4.3 Pengujian Bahan	13
4.4 Perhitungan Rencana Campuran Beton	13
4.5 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji	13
Bab V Hasil dan Pembahasan	15
5.1 Hasil Pengujian Bahan	15
5.2 Hasil Pemeriksaan <i>Slump</i>	15
5.3 Berat Jenis Beton	17
5.4 Kuat Tekan Beton	18
5.5 Modulus Elastisitas Beton	20
5.6 Kuat Tarik Belah Beton	22
5.7 Kuat Lentur Beton	23
Bab VI Kesimpulan dan Saran	26
Daftar Pustaka	28
Lampiran	29

DAFTAR TABEL

Nomor Tabel	Judul Tabel	Halaman
2.1	Penetapan nilai slump adukan beton	6
4.1	Variasi benda uji	14
5.1	Nilai <i>slump</i> adukan beton dengan fas 0,57	16
5.2	Nilai <i>slump</i> adukan beton dengan fas 0,46	16
5.3	Berat jenis beton	17
5.4	Kuat tekan beton	18
5.5	Modulus elastisitas beton	20
5.6	Kuat tarik belah beton	22
5.7	Kuat lentur beton	24

DAFTAR GAMBAR

Nomor Gambar	Judul Gambar	Halaman
4.1	Bagan alir penelitian	11
5.1	Berat jenis beton dengan fas 0,57	17
5.2	Berat jenis beton dengan fas 0,46	17
5.3	Kuat tekan beton dengan fas 0,57	18
5.4	Berat jenis beton dengan fas 0,46	19
5.5	Perbandingan kuat tekan beton	20
5.6	Modulus elastisitas beton dengan fas 0,57	20
5.7	Modulus elastisitas beton dengan fas 0,46	21
5.8	Perbandingan modulus elastisitas	21
5.9	Kuat tarik belah beton dengan fas 0,57	22
5.10	Kuat tarik belah beton dengan fas 0,46	22
5.11	Perbandingan kuat tarik belah	23
5.12	Kuat lentur beton dengan fas 0,57	24
5.13	Kuat lentur beton dengan fas 0,46	24
5.14	Perbandingan kuat lentur beton	25

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Lampiran	Judul Lampiran	Halaman
1	Rencana Campuran Adukan Beton	29
2	Hasil Uji Kuat Tekan Beton	30
3	Hasil Uji Kuat Tarik Belah Beton	31
4	Hasil Uji Kuat Lentur Beton	32

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 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 *bevel*. Limbah serbuk kaca *bevel* berupa butiran-butiran halus menyerupai semen namun berwarna putih seperti kapur. Limbah serbuk kaca *bevel* 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 *bevel* yang dibuang adalah dengan memanfaatkannya sebagai salah satu bahan penyusun campuran beton.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diambil adalah pembuatan campuran beton dengan menggunakan limbah serbuk kaca sebagai bahan substitusi sebagian agregat halus, 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).

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat dilakukan lebih terarah maka ditetapkan batasan masalah seperti tercantum di bawah ini.

1. Campuran beton dibuat dengan kuat tekan beton rencana $f_c' = 25$ MPa.
2. Ukuran serbuk kaca yang digunakan dengan ukuran gradasi menerus. Serbuk kaca yang digunakan berasal dari limbah kaca *bevel*.
3. Variabel bebas berupa substitusi agregat halus oleh serbuk kaca sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%.
4. Pengujian kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah beton menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, sedangkan untuk pengujian kuat lentur menggunakan benda uji berbentuk balok dengan ukuran lebar 100 mm, tinggi 100 mm dan panjang 500 mm.
5. Perencanaan adukan beton menggunakan Metode SNI T-15-1990-03.
6. Pengujian terhadap benda uji hanya dilakukan pada umur 28 hari.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Memperoleh nilai kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan kuat lentur dari benda uji beton yang menggunakan serbuk kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus.
2. Meninjau kenaikan kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan kuat lentur beton dengan mengurangi air dalam campuran beton dan memberikan bahan tambah *superplastisizer*.

1.5 Manfaat Penelitian

Memberikan pengetahuan kepada masyarakat tentang pemanfaatan limbah serbuk kaca sebagai alternatif bahan substitusi agregat halus dalam campuran beton.

1.6 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton adalah campuran yang terdiri dari agregat halus, agregat kasar, air dan semen portland dengan atau tanpa bahan tambah. Beberapa material pembentuk beton tersebut dicampur merata dengan perbandingan tertentu menghasilkan campuran yang bersifat plastis sehingga dapat dituang ke dalam cetakan untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Bila campuran itu dibiarkan, akan semakin mengeras seiring dengan berjalannya waktu karena reaksi kimia yang terjadi antara air dan semen (Tjokrodimuljo, 2007).

Kekuatan, keawetan dan sifat beton yang lain tergantung dari sifat bahan dasar pembentuk beton, nilai perbandingan bahan dasar beton, cara pengadukan, pengerjaan, penuangan, pemadatan, dan perawatan selama proses pengerasan. Beton segar merupakan gabungan antara semen portland, agregat halus, agregat kasar dan air yang belum mengeras, masih bersifat lunak dan dapat terbentuk dengan mudah. Beton segar yang baik adalah beton segar yang dapat diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan, tidak ada kecenderungan terjadi pemisahan agregat dari adukan (*segregation*) maupun pemisahan air dan semen dari adukan (*bleeding*). Hal ini karena segregasi ataupun *bleeding* mengakibatkan beton keras yang diperoleh akan berkualitas buruk.

2.2 Bahan Penyusun Beton

2.2.1 Semen portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lainnya (Tjokrodimuljo, 2007).

Semen portland diperoleh dengan melalui beberapa langkah pembuatan. Suatu campuran dari *calcareous* (bahan yang mengandung kalsium karbonat

(CaCO_3) atau batu gamping) dan *argillareous* (bahan yang mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu kemudian dibakar secara bersamaan. Adapun kandungan bahan kimia dari semen antara lain adalah kapur, silica dan alumina. Ketiga bahan tersebut kemudian dibakar pada suhu 1550°C dan menjadi *klinker*. Kemudian dikeluarkan, didinginkan dan dihaluskan sampai menyerupai bubuk. Biasanya ditambahkan gips atau kalsium sulfat (CaSO_4) kira-kira 2-4% sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan (Tjokrodimuljo, 2007).

Menurut Tjokrodimuljo (2007) semen dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan penggunaannya. Jenis semen berdasarkan kegunaannya adalah seperti tercantum di bawah ini.

1. Jenis I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis IV, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

2.2.2 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang diperlukan kurang lebih 25% dari berat semen untuk bereaksi dengan semen. Namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang kurang dari 0,35 sulit dilaksanakan. Kelebihan air yang ada digunakan sebagai pelumas. Penambahan air untuk pelumas tidak boleh terlalu banyak, karena akan menyebabkan kekuatan beton menjadi berkurang, selain itu akan menimbulkan *bleeding*. Hasil *bleeding* ini

berupa lapisan air tipis yang mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton. Fungsi air di dalam campuran beton adalah sebagai berikut:

1. sebagai pelicin bagi agregat halus dan agregat kasar,
2. bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta semen,
3. mencairkan bahan/material semen ke seluruh permukaan agregat,
4. memungkinkan campuran beton mengalir ke dalam cetakan.

Menurut Tjokrodinuljo (2007) air yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr/liter,
2. tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/liter,
3. tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter,
4. tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter.

2.2.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Walau hanya bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton (Tjokrodinuljo, 2007).

Cara membedakan jenis agregat yang sering dilakukan dengan didasarkan pada ukuran butirnya. Agregat yang mempunyai ukuran butir besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang berbutir halus disebut agregat halus. Dalam pelaksanaan di lapangan, umumnya agregat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. batu untuk ukuran butir lebih dari 40 mm,
2. kerikil untuk ukuran butir antar 5 mm–40 mm,
3. pasir untuk ukuran butir antar 0,15 mm–5 mm.

Untuk mendapatkan beton yang baik diperlukan agregat berkualitas baik pula. Menurut Tjokrodinuljo (2007) agregat yang baik harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. butirnya tajam dan keras,
2. kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca,
3. tidak mengandung lumpur lebih dari 5% untuk agregat halus dan 1% untuk agregat kasar,
4. tidak mengandung zat organik dan zat reaktif terhadap alkali.

2.3 Nilai Slump

Nilai *slump* digunakan untuk mengukur tingkat kelecakan suatu adukan beton, yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*). Semakin besar nilai *slump* menunjukkan adukan beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan, sebaliknya semakin kecil nilai *slump*, berarti adukan beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan. Penetapan nilai *slump* untuk berbagai pengerjaan beton dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penetapan nilai *slump* adukan beton
(Sumber: Tjokrodinuljo, 2007)

Jenis Struktur	Nilai <i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan stuktur dibawah tanah	9	2,5
Plat, balok, kolom, dinding	15	7,5
Perkerasan jalan	7,5	5
Pembetonan massal (beton massa)	7,5	2,5

2.4 Penelitian dengan Kaca

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%.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 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. Uji tekan dilakukan ketika benda uji silinder telah berumur 28 hari. Kuat tekan beton dihitung dengan persamaan berikut:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3-1)$$

keterangan:

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan maksimum (N)

A = luas penampang benda uji silinder (mm²)

3.2. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton adalah kemiringan kurva tegangan regangan beton pada kondisi linier atau mendekati linier. Secara umum, peningkatan kuat tekan beton seiring dengan peningkatan modulus elastisitasnya. Berbeda dengan baja, modulus elastisitas beton adalah berubah – ubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran benda uji. 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:

$$E = \frac{0,25 f'_c}{\epsilon_{0,25}} \quad (3-2)$$

keterangan:

E = modulus elastisitas beton (MPa)

$\epsilon_{0,25}$ = regangan pada saat tegangan tekan mencapai 0,25 f'_c

3.3. Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik beton bervariasi antara 8% sampai 15% dari kuat tekannya. Kuat tarik beton tidak berbanding lurus dengan kuat tekan ultimitnya f'_c , meskipun demikian, kuat tarik ini diperkirakan berbanding lurus terhadap akar kuadrat dari f'_c (Wang & Salmon, 1986). Kuat tarik beton juga dapat diukur dengan melakukan uji pembelahan silinder. Sebuah silinder ditempatkan di posisinya pada mesin penguji dan kemudian suatu beban tekan diterapkan secara merata di seluruh bagian panjang dari silinder sampai silinder akan terbelah menjadi dua dari ujung ke ujung (Wang & Salmon, 1986).

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:

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

keterangan:

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

P = beban tekan maksimum (N)

L = panjang benda uji (mm)

D = diameter benda uji (mm)

3.4. Kuat Lentur Beton

Kuat lentur adalah nilai tegangan tarik yang dihasilkan dari momen lentur dibagi dengan modulus penampang benda uji. 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:

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

keterangan:

f_{lt} = kuat lentur (MPa)

P = beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok uji (N)

L = panjang bentang diantara kedua blok tumpuan (mm)

b = lebar balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)

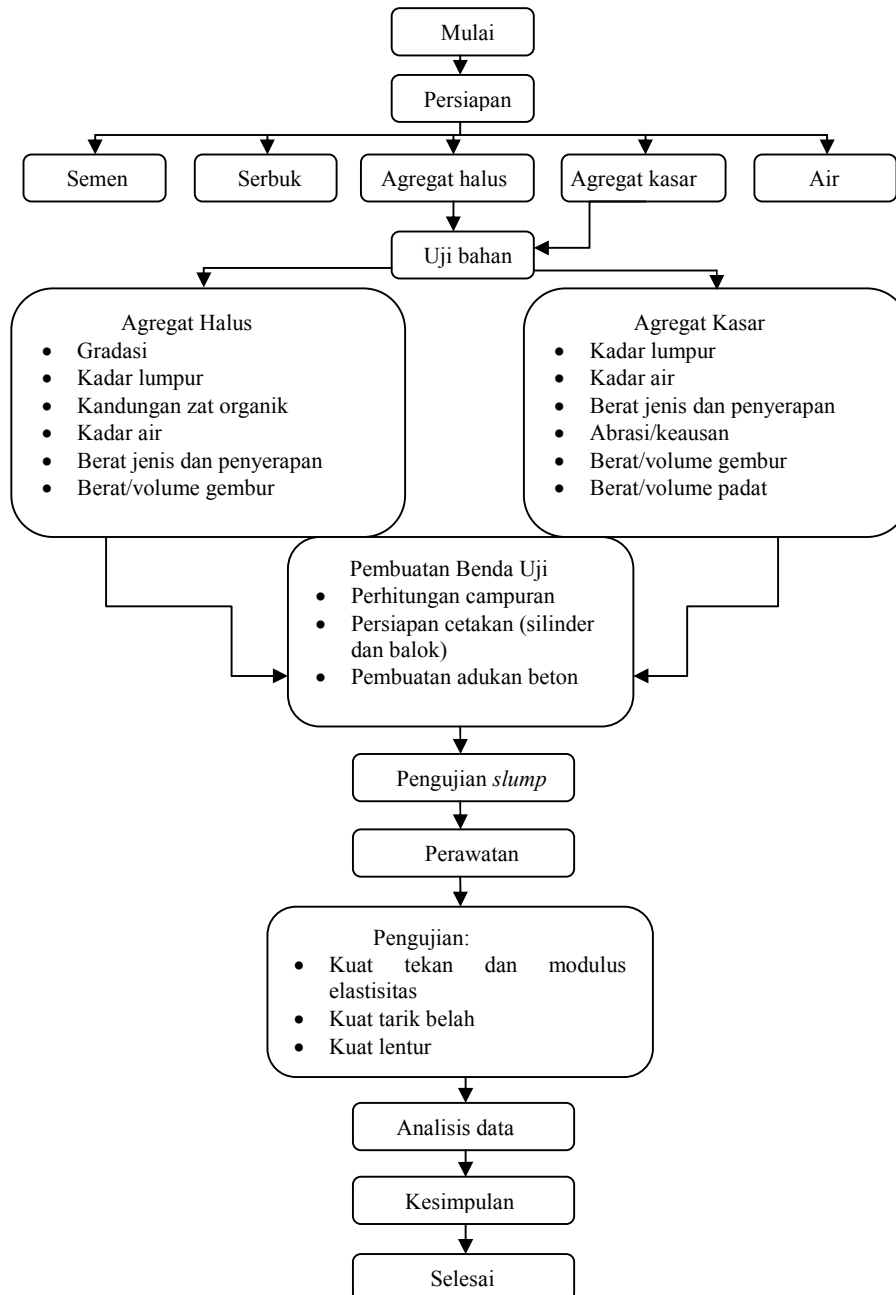
d = tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Bagan Alir Penelitian

Penelitian dilakukan dengan bagan alir seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bagan alir penelitian

4.2 Bahan dan Alat

4.2.1 Bahan

Material yang digunakan terdiri dari agregat halus dan agregat kasar berupa *split* yang berasal dari Kali Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Air yang digunakan untuk campuran adukan beton berasal dari Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Bahan ikat untuk adukan beton digunakan semen dengan merek dagang Semen Holcim. Bahan substitusi yang digunakan adalah serbuk kaca dengan susunan gradasi menerus lolos saringan no 16 yang berasal dari limbah kaca *bevel* Toko Menara Kaca, *Ring Road* Selatan, Wojo No. 8, Imogiri Barat, Bantul, Yogyakarta.

4.2.2 Alat

Alat-alat utama yang dilakukan untuk melakukan penelitian ini dapat dilihat di bagian berikut ini.

1. Gelas ukur 250 mL, 500 mL, yang digunakan untuk pengujian kandungan lumpur dan kandungan zat organik dalam agregat halus.
2. Tintometer untuk mengukur seberapa besar kandungan zat organik dalam agregat halus.
3. Oven listrik dengan kapasitas panas mencapai 300°C, untuk mengeringkan bahan uji sehingga mencapai berat kering.
4. *Picnometer* kapasitas 500 mL, untuk pengujian berat jenis dan penyerapan untuk agregat halus.
5. Kerucut SSD dan penumbuk untuk mengetahui agregat halus yang berupa pasir sudah mencapai keadaan SSD sebelum dilakukan pengujian.
6. *Los Angeles Abrasion Machine* untuk uji abrasi/keausan agregat kasar.
7. Kerucut *Abrams* untuk menentukan nilai *slump* sebelum benda uji dicetak
8. *Compressometer* dengan ketelitian 0,01 mm untuk mengukur perpindahan silinder beton saat dilakukan uji tekan beton.
9. *Compression Testing Machine* (CTM) untuk uji kuat tekan dan kuat tarik belah beton.
10. *Universal Testing Machine* (UTM) untuk uji kuat tekan beton.

4.3 Pengujian Bahan

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.

4.4 Perhitungan Rencana Campuran Beton

Rencana campuran beton normal (*mix design*) menggunakan perancangan beton menurut SNI T-15-1990-03. Tujuan dari perancangan ini adalah untuk menentukan proporsi semen, agregat halus, agregat kasar, serta air. Dari hasil perhitungan rencana campuran beton diperoleh kebutuhan bahan per m³ untuk kuat tekan beton 25 MPa adalah: 324,3860 kg semen portland, 184,9 liter air, 1288,5931 kg agregat kasar dan 693,8579 kg agregat halus.

4.5 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

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. Untuk beton normal diberikan Sikament LN sebesar 0,5% dan untuk beton dengan serbuk kaca diberikan Sikament LN sebesar 1,25%. Jumlah benda uji dapat dilihat pada tabel 4.1.

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.

Tabel 4.1 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

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%.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan

5.1.1 Hasil pemeriksaan agregat halus (pasir)

Kandungan zat organik dalam pasir masih memenuhi persyaratan karena setelah direndam dalam larutan NaOH 3% warna larutan di atas pasir masuk dalam kategori nomor 3 menurut indeks *Gardner Standard Colour*. Kandungan lumpur pasir sebesar 1,9%, masih lebih kecil dari batas maksimum kandungan lumpur yaitu 5%. Dari pemeriksaan modulus halus butir pasir diperoleh nilai 3,065, hasil ini memenuhi nilai mhb agregat halus umumnya yaitu antara 2,3 sampai dengan 3,3. Pasir memiliki berat jenis dalam kondisi jenuh kering muka sebesar 2,8079 gr/cm³ dan kadar air sebesar 0,219%.

5.1.2 Hasil pemeriksaan agregat kasar (*split*)

Split yang digunakan memiliki berat jenis 2,694 gr/cm³ dalam kondisi jenuh kering muka dan kadar air sebesar 0,915%. Dari pemeriksaan serapan air diperoleh nilai 1,232%, hasil ini lebih kecil dari batas yang disyaratkan yaitu 5%. Dari pemeriksaan keausan agregat kasar dengan mesin Los Angeles diperoleh keausan sebesar 20,58%, nilai ini masih lebih kecil dari syarat keausan maksimum yaitu 40%.

5.1.3 Hasil pemeriksaan serbuk kaca

Serbuk kaca yang digunakan dalam penelitian ini memiliki berat jenis 2,2828 gr/cm³ dan kadar air sebesar 0,5944% (Wibowo, 2013).

5.2 Hasil Pemeriksaan *Slump*

Hasil pemeriksaan *slump* dari adukan beton dengan faktor air semen 0,57 (tidak menggunakan Sikament LN) dapat dilihat pada tabel 5.1. Sedangkan nilai *slump* dari adukan beton dengan faktor air semen 0,46 (menggunakan Sikament LN) dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.1 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 5.2 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

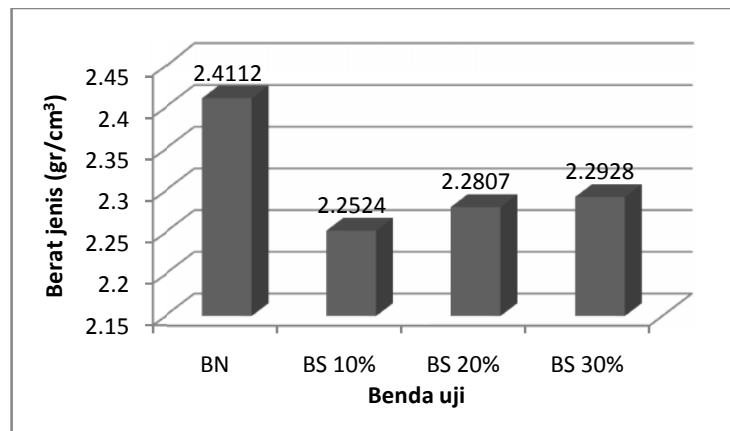
Dari nilai *slump* yang diperoleh dari hasil pengujian tampak bahwa semakin banyak serbuk kaca yang digunakan maka nilai *slump* cenderung semakin kecil. Hal ini memperlihatkan bahwa adukan beton akan semakin kental dengan meningkatnya persentase serbuk kaca. Hal ini karena serbuk kaca memiliki butiran 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.

5.3 Berat Jenis Beton

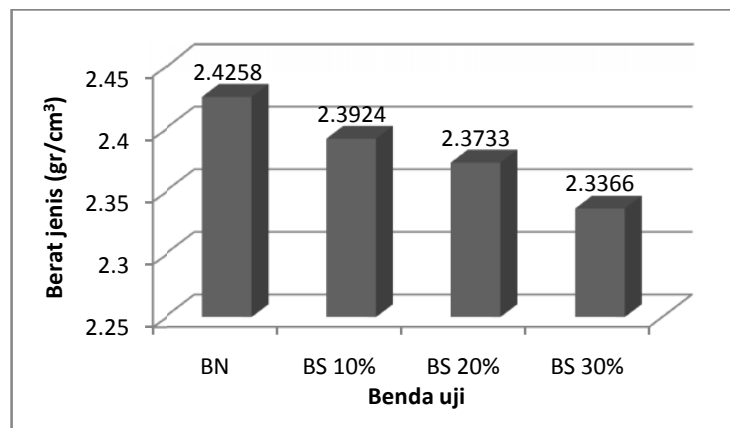
Berat jenis beton dapat dilihat pada tabel 5.3, gambar 5.1, dan gambar 5.2.

Tabel 5.3 Berat jenis beton

Kode Benda Uji	Berat Jenis Beton Dengan fas 0,57 (gr/cm ³)	Berat Jenis Beton Dengan fas 0,46 (gr/cm ³)
BN	2,4112	2,4258
BS 10%	2,2524	2,3924
BS 20%	2,2807	2,3733
BS 30%	2,2928	2,3366



Gambar 5.1 Berat jenis beton dengan fas 0,57



Gambar 5.2 Berat jenis beton dengan fas 0,46

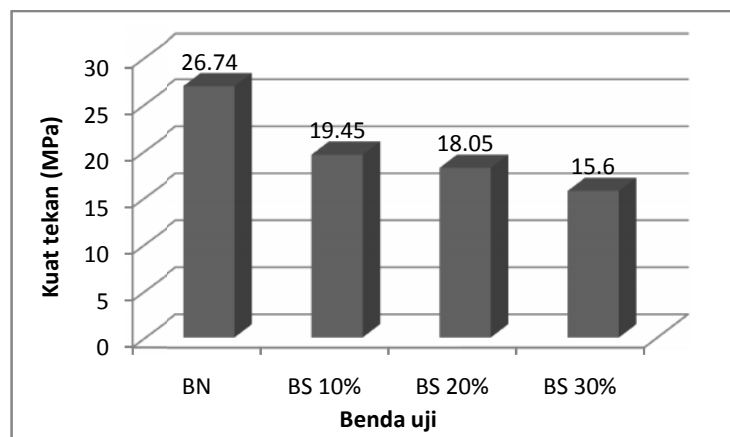
Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa beton yang menggunakan serbuk kaca memiliki berat jenis yang lebih kecil dibanding beton normal. Semakin tinggi persentase serbuk kaca yang digunakan maka berat jenis beton cenderung semakin berkurang, hal ini terlihat jelas untuk benda uji beton dengan faktor 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.

5.4 Kuat Tekan Beton

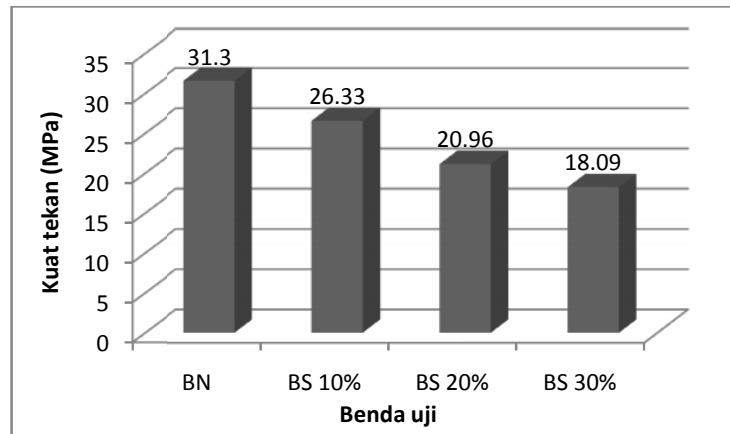
Hasil kuat tekan beton pada umur benda uji 28 hari dapat dilihat pada tabel 5.4, gambar 5.3 dan gambar 5.4.

Tabel 5.4 Kuat tekan beton

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Beton Dengan fas 0,57 (MPa)	Kuat Tekan Beton Dengan fas 0,46 (MPa)
BN	26,74	31,30
BS 10%	19,45	26,33
BS 20%	18,05	20,96
BS 30%	15,60	18,09

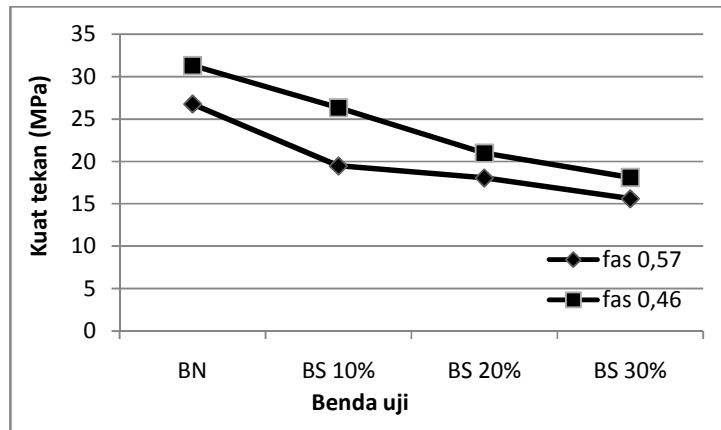


Gambar 5.3 Kuat tekan beton dengan fas 0,57



Gambar 5.4 Kuat tekan beton dengan fas 0,46

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 5.5. Kenaikan kuat tekan dengan cara mengurangi penggunaan air, terlihat lebih besar pada beton dengan serbuk kaca 10%



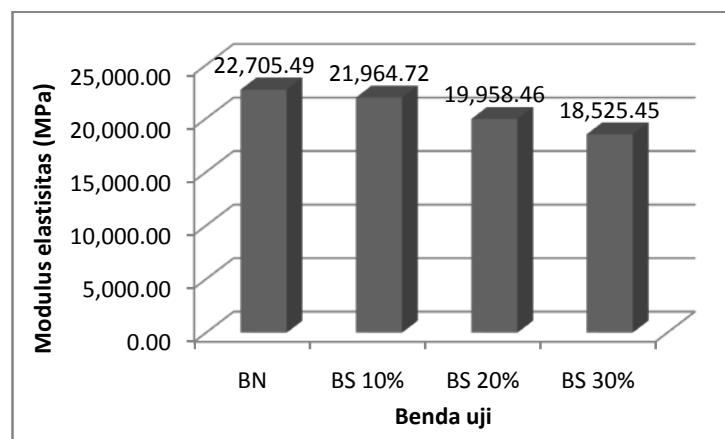
Gambar 5.5 Perbandingan kuat tekan beton

5.5 Modulus Elastisitas Beton

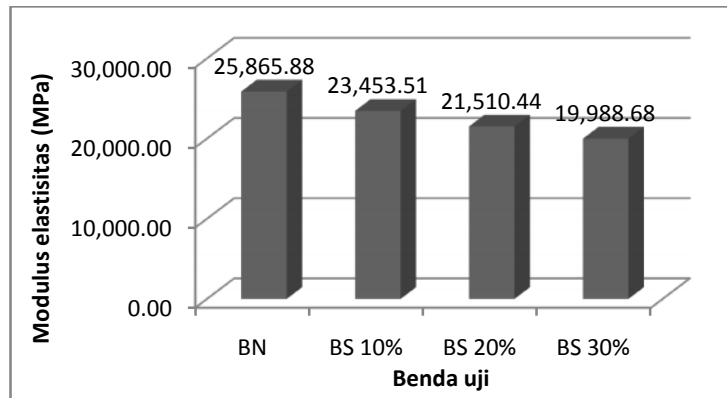
Modulus elastisitas beton pada umur benda uji 28 hari dapat dilihat pada tabel 5.5, gambar 5.6 dan gambar 5.7.

Tabel 5.5 Modulus elastisitas beton

Kode Benda Uji	Modulus Elastisitas Beton Dengan fas 0,57 (MPa)	Modulus Elastisitas Beton Dengan fas 0,46 (MPa)
BN	22,705.49	25,865.88
BS 10%	21,964.72	23,453.51
BS 20%	19,958.46	21,510.44
BS 30%	18,525.45	19,988.68

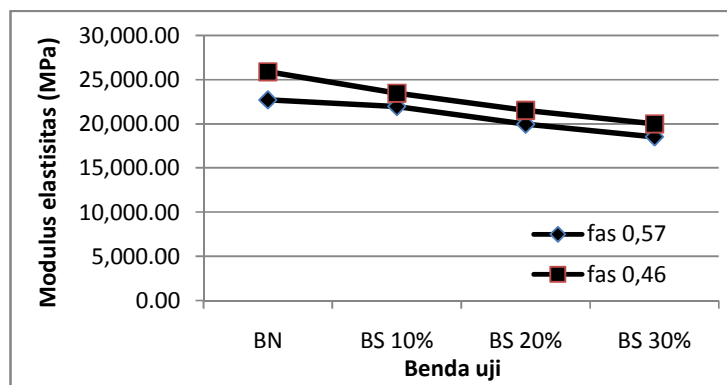


Gambar 5.6 Modulus elastisitas beton dengan fas 0,57



Gambar 5.7 Modulus elastisitas beton dengan fas 0,46

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 5.8. Dengan mengurangi penggunaan air kenaikan nilai modulus elastisitas pada beton dengan serbuk kaca terlihat lebih kecil dibanding beton normal.



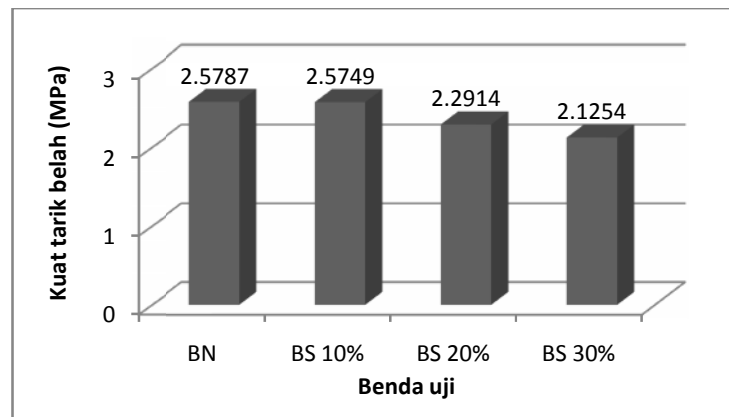
Gambar 5.8 Perbandingan modulus elastisitas

5.6 Kuat Tarik Belah Beton

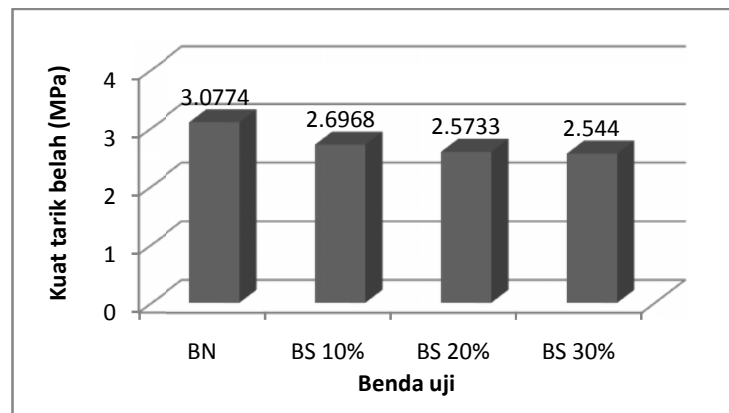
Tabel 5.6, gambar 5.9 dan gambar 5.10 memperlihatkan nilai kuat tarik belah yang diperoleh dari hasil pengujian.

Tabel 5.6 Kuat tarik belah beton

Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah Beton Dengan fas 0,57 (MPa)	Kuat Tarik Belah Beton Dengan fas 0,46 (MPa)
BN	2.5787	3.0774
BS 10%	2.5749	2.6968
BS 20%	2.2914	2.5733
BS 30%	2.1254	2.544

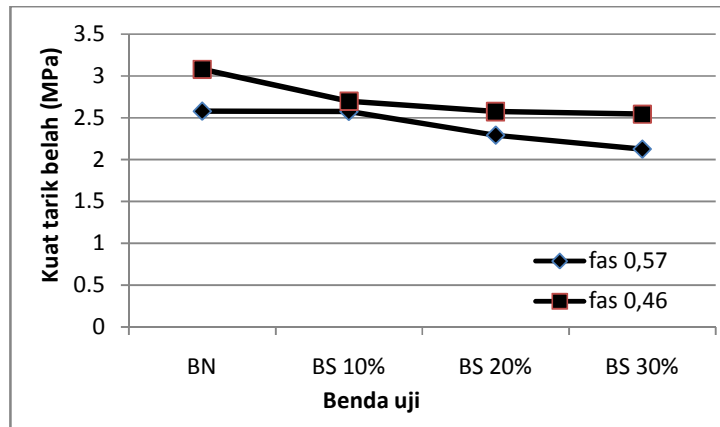


Gambar 5.9 Kuat tarik belah beton dengan fas 0,57



Gambar 5.10 Kuat tarik belah beton dengan fas 0,46

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% mengalami 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 5.11. 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 5.11 Perbandingan kuat tarik belah

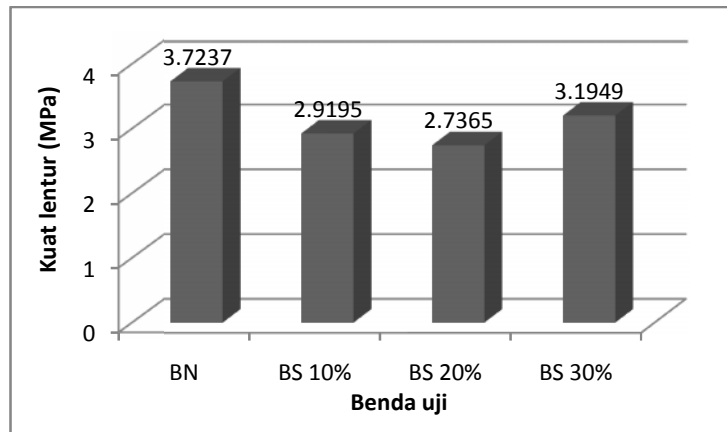
5.7 Kuat Lentur Beton

Hasil uji kuat lentur beton dapat dilihat pada tabel 5.7, gambar 5.12 dan gambar 5.13. 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

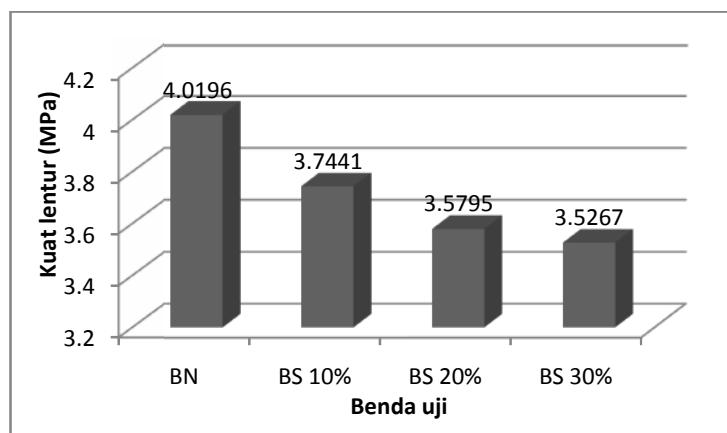
kaca 10% dan 20% sehingga kuat lenturnya menjadi lebih rendah dibanding kuat lentur beton dengan serbuk kaca 30%.

Tabel 5.7 Kuat lentur beton

Kode Benda Uji	Kuat Lentur Beton Dengan fas 0,57 (MPa)	Kuat Lentur Beton Dengan fas 0,46 (MPa)
BN	3.7237	4.0196
BS 10%	2.9195	3.7441
BS 20%	2.7365	3.5795
BS 30%	3.1949	3.5267

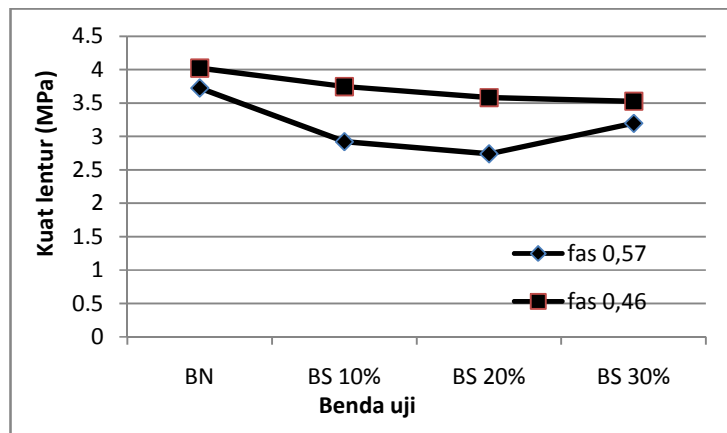


Gambar 5.12 Kuat lentur beton dengan fas 0,57



Gambar 5.13 Kuat lentur beton dengan fas 0,46

Kuat lentur dengan serbuk 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 5.14. 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 5.14 Perbandingan kuat lentur beton

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. 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.
2. 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.
3. Kuat tekan beton dengan fas 0,46 meningkat rata-rata 21,13% dibanding kuat tekan beton dengan fas 0,57.
4. Modulus elastisitas beton 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 beton dengan serbuk kaca 30% mengalami penurunan sebesar 18,41% untuk fas 0,57 dan 22,72% untuk fas 0,46.
5. Modulus elastisitas pada benda uji dengan fas 0,46 meningkat rata-rata 9,09% dibanding modulus elastisitas benda uji dengan fas 0,57
6. 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% mengalami 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.
7. Kuat tarik belah beton dengan fas 0,46 meningkat rata-rata 14,02% dibanding kuat tarik belah beton dengan fas 0,57.
8. Kuat lentur dengan serbuk 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.

9. Kuat lentur beton dengan fas 0,46 meningkat rata-rata 19,35% dibanding kuat lentur beton dengan fas 0,57.

6.2 Saran

1. Dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan beberapa nilai faktor air semen yang rendah agar diperoleh kuat tekan beton yang lebih tinggi dan ditambahkan bahan tambah agar adukan beton tetap memiliki tingkat *workability* yang baik.
2. Dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan alternatif bahan tambah yang lain untuk meningkatkan kuat tekan beton.

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.
- Tjokrodinuljo, K., 2007, *Teknologi Beton*, KMTS FT UGM, Yogyakarta.
- 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.

LAMPIRAN 1 RENCANA CAMPURAN ADUKAN BETON

1. $f_c' = 25 \text{ MPa}$
2. Kuat tekan rencana: $f_{cr}' = 25 \text{ MPa}$
3. Tipe semen: semen tipe I
4. Agregat halus: pasir alam
Agregat kasar: batu pecah
5. f_{as} (diperoleh dari grafik): 0,57
6. $f_{as \text{ max}}$: 0,6
Maka f_{as} ditetapkan sebesar $= 0,57$
7. Nilai slump minimum: 7,5 cm dan maksimum: 15 cm
8. Besar butir maksimum agregat yang diambil: 10 mm
9. Jumlah air yang digunakan untuk per- m^3 beton:
$$\begin{aligned} \text{Air} &= (0,67 \times A_h) + (0,33 \times A_k) \\ &= (0,67 \times 175) + (0,33 \times 205) \\ &= 184,9 \text{ L/m}^3 \end{aligned}$$
10. Berat semen yang dibutuhkan:
$$= A / f_{as} = 184,9 / 0,57 = 324,39 \text{ kg/m}^3$$
11. Keperluan semen minimum (dari tabel) $= 275 \text{ kg/m}^3$ beton
12. Perbandingan agregat halus dan kasar (jenis gradasi pasir = golongan 2)
diperoleh proporsi agregat halus 35% dan agregat kasar 65%
13. Berat jenis agregat campuran:
$$\begin{aligned} &= (P/100) \times \text{BJ agregat halus} + (K/100) \times \text{BJ agregat kasar} \\ &= (35/100) \times 2,8079 + (65/100) \times 2,6940 \\ &= 2,7339 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$
14. Berat jenis beton: 2345 kg/m^3
15. Keperluan agregat campuran $= 2345 - (184,9 + 324,39) = 1835,71 \text{ kg/m}^3$
16. Berat agregat halus $= 35\% \times 1835,71 = 642,50 \text{ kg/m}^3$
17. Berat agregat kasar $= 1835,71 - 642,50 = 1193,21 \text{ kg/m}^3$
18. Perbandingan bahan susun: 1 : 1,98 : 3,68

LAMPIRAN 2 HASIL UJI KUAT TEKAN BETON

A. Faktor Air Semen 0,57

Benda Uji	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (gr/cm ³)	Berat Jenis Rerata (gr/cm ³)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
BN	15,13	30,38	13,12	2,4000	2,4112	490	27,23	26,74
	15,09	30,54	13,24	2,4233		470	26,26	
BS 10%	15,18	30,04	12,00	2,2066	2,2524	420	23,20	19,45
	15,33	30,29	12,86	2,2983		290	15,70	
BS 20%	15,15	29,94	12,38	2,2916	2,2807	345	19,12	18,05
	15,14	30,22	12,48	2,2938		300	16,66	
	15,13	30,27	12,28	2,2567		330	18,36	
BS 30%	15,16	30,34	12,34	2,2516	2,2928	235	13,01	15,60
	15,07	30,32	12,52	2,3149		290	16,26	
	15,13	30,31	12,60	2,3120		315	17,52	

B. Faktor Air Semen 0,46

Benda Uji	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (gr/cm ³)	Berat Jenis Rerata (gr/cm ³)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
BN	15,34	30,06	13,20	2,3753	2,4258	575	31,10	31,30
	15,15	30,07	13,12	2,4191		570	31,61	
	14,98	30,07	13,16	2,4830		550	31,21	
BS 10%	14,98	30,07	12,80	2,4143	2,4210	460	26,09	26,33
	14,90	30,02	12,70	2,4239		475	27,22	
	15,02	29,93	12,86	2,4248		455	25,68	
BS 20%	15,07	30,02	12,96	2,4204	2,3733	390	21,87	20,96
	14,95	30,23	12,36	2,3280		340	19,36	
	14,94	30,23	12,58	2,3716		380	21,66	
BS 30%	14,97	30,33	12,56	2,3526	2,3366	310	17,61	18,09
	15,09	30,13	12,54	2,3250		335	18,72	
	15,07	30,10	12,52	2,3321		320	17,94	

LAMPIRAN 3 HASIL UJI KUAT TARIK BELAH BETON

A. Faktor Air Semen 0,57

Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rerata (MPa)
BN	155,33	301,17	170	2,3125	2,5787
	156,33	303,00	190	2,5525	
	155,50	299,33	210	2,8710	
BS 10%	152,97	302,00	120	1,6530	2,0786
	151,37	300,53	170	2,3781	
	151,60	304,63	160	2,2047	
BS 20%	151,63	303,17	190	2,6302	2,5749
	153,00	303,57	200	2,7402	
	151,17	303,97	170	2,3544	
BS 30%	151,73	301,20	140	1,9494	2,1254
	150,50	302,97	165	2,3028	
	151,70	306,13	155	2,1239	

B. Faktor Air Semen 0,46

Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rerata (MPa)
BN	150,27	301,30	220	3,0922	3,0774
	150,53	300,27	225	3,1677	
	151,50	296,77	210	2,9723	
BS 10%	148,90	301,97	195	2,7599	2,6968
	148,87	304,37	180	2,5280	
	149,30	304,17	200	2,8026	
BS 20%	152,33	303,00	190	2,6195	2,5733
	151,33	300,83	180	2,5160	
	151,00	301,67	185	2,5845	
BS 30%	149,67	303,33	185	2,5932	2,5440
	150,63	301,33	190	2,6637	
	150,17	303,33	170	2,3750	

LAMPIRAN 4 HASIL UJI KUAT LENTUR BETON

A. Faktor Air Semen 0,57

Benda Uji	Panjang Bentang (mm)	Lebar Penampang (mm)	Tinggi Penampang (mm)	Beban Maksimum (kgf)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rerata (MPa)
BN	500,33	100,00	103,13	610	3,8822	3,7237
	500,00	100,00	103,40	530	3,5652	
BS 10%	500,00	105,00	104,27	400	2,5482	2,9195
	499,00	102,00	103,67	465	2,7965	
	500,00	102,00	101,13	485	3,4137	
BS 20%	500,00	105,00	107,10	420	2,5667	2,7365
	502,00	103,00	106,13	475	2,8302	
	502,33	100,00	105,07	450	2,8125	
BS 30%	500,33	105,00	106,20	530	3,1349	3,1949
	500,67	100,00	105,87	535	3,3339	
	502,67	108,00	107,67	530	3,1159	

B. Faktor Air Semen 0,46

Benda Uji	Panjang Bentang (mm)	Lebar Penampang (mm)	Tinggi Penampang (mm)	Beban Maksimum (kgf)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rerata (MPa)
BN	502,00	99,33	103,00	600	4,2044	4,0196
	502,33	106,67	99,67	585	4,0798	
	500,67	106,67	103,00	580	3,7748	
BS 10%	502,33	100,33	100,07	520	3,8246	3,7441
	502,00	101,50	102,53	510	3,5293	
	502,33	102,00	99,97	535	3,8784	
BS 20%	502,67	101,50	100,83	500	3,5825	3,5795
	502,00	101,60	101,00	480	3,4200	
	500,67	100,00	100,27	510	3,7361	
BS 30%	501,00	103,67	103,00	490	3,2835	3,5267
	500,33	100,83	101,67	525	3,7074	
	502,33	100,27	102,33	510	3,5891	