

# PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BENDRAT DAN STYROFOAM PADA BETON RINGAN TERHADAP KAJIAN KUAT TEKAN DAN KUAT GESER

Slamet Prayitno<sup>1)</sup> Endang Rismunarsi<sup>2)</sup>, Sekti Hapsoro Romadhoni<sup>3)</sup>

<sup>1), 2)</sup> Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>3)</sup> Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524.

Email: [hapsororomadhoni13@gmail.com](mailto:hapsororomadhoni13@gmail.com)

## Abstract

*Styrofoam is a material formed from polystyrene by means of blowing air on polystyrene in hot conditions so as to produce foam with air content of 95%, so that the unit weight of styrofoam quite low ranging between 15-22 Kg/ . Concrete Styrofoam is one of the lightweight concrete formed from a mixture of cement, fine aggregate, coarse aggregate and granular styrofoam. From this research, it appears that for the weight of the concrete is not marinated with the percentage of styrofoam by 20% and 40% in the concrete mix can reduce the weight of the concrete of  $\pm 28\%$  and  $\pm 39\%$  of normal concrete that has a weight of concrete around 2200 kg/m<sup>3</sup>, while for heavy Styrofoam concrete marinated with a percentage of 20% and 40% in the concrete mix concrete can reduce the weight of  $\pm 23\%$  and  $\pm 35\%$ . Methods used is the method experiment carried out in laboratory UNS material. Objects test cylindrical in diameter 15 cm and height of 30 cm for testing strong press, 8 centimeters  $\times$  12 centimeters  $\times$  100 cm for testing strong shear. with each styrofoam addition level by 20% and wire fiber by 0,5%; 0,5%; 1%; and 2%. Testing used a CTM (Compression Test Machine) to strong press and BMT (Bending Test Machine) to strong shear. Calculation analysis using program assistance microsoft excel. From the analysis of the results, the compressive strength lightweight concrete with added material steel fiber and styrofoam in this study reached the highest value on the steel fiber content 0,00944% compressive strength of 18.443 MPa. Then, for shear testing when the first crack at bendrat fiber content of 0,95% by 1.46 MPa, when the total collapse reached the highest value at 0,86% steel fiber content of 2.029 MPa.*

**Keywords :** *Lightweight Concrete, Styrofoam, Wire Fiber, Compressive Strength, Shear Strength.*

## Abstrak

*Styrofoam adalah bahan yang dibentuk dari polystyrene dengan cara menghembuskan udara pada polystyrene dalam kondisi panas sehingga menghasilkan foam dengan kandungan udara mencapai 95%, sehingga berat satuan styrofoam cukup rendah berkisar antara 15-22 Kg/ . Beton styrofoam merupakan salah satu beton ringan yang dibentuk dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar dan butiran styrofoam. Dari penelitian ini, tampak bahwa untuk berat beton tidak direndam dengan persentase styrofoam sebesar 20% dan 40% pada campuran beton dapat mengurangi berat beton sebesar  $\pm 28\%$  dan  $\pm 39\%$  dari beton normal yang mempunyai berat beton sekitar 2200 kg/m<sup>3</sup> sedangkan untuk berat beton direndam dengan persentase Styrofoam sebesar 20% dan 40% pada campuran beton dapat mengurangi berat beton sebesar  $\pm 23\%$  dan  $\pm 35\%$ . Metode yang digunakan adalah metode eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium Bahan UNS. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan, 8 cm  $\times$  12 cm  $\times$  100 cm untuk pengujian kuat geser dengan masing-masing kadar penambahan styrofoam sebesar 20% dan serat bendrat sebesar 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2%. Pengujian menggunakan alat CTM (Compression Test Machine) untuk kuat tekan dan BMT (Bending Test Machine) untuk kuat geser. Perhitungan analisis menggunakan bantuan program Microsoft Excel. Dari analisis hasil penelitian didapatkan nilai kuat tekan beton ringan dengan bahan tambah serat bendrat dan styrofoam pada penelitian ini mencapai nilai tertinggi pada kadar serat bendrat 0,00944% dengan kuat tekan sebesar 18,443 MPa. Kemudian untuk pengujian geser saat retak pertama pada kadar serat bendrat 0,95% sebesar 1,46 MPa, saat runtuh total mencapai nilai tertinggi pada kadar serat bendrat 0,86% sebesar 2,029 MPa.*

**Kata kunci :** *Beton Ringan, Styrofoam, Serat Bendrat, Kuat Tekan, Kuat Geser.*

## PENDAHULUAN

Di era modern saat ini kemajuan pembangunan semakin berkembang, pembangunan publik oleh pemerintah dan swasta semakin pesat. Berbagai macam teknologi struktur bahan yang digunakan timbul sebuah pemikiran untuk membuat material konstruksi dengan memanfaatkan limbah atau sampah sebagai bahan tambahan dalam struktur konstruksi beton. Salah satu jenis sampah yang banyak dijumpai adalah *Styrofoam* atau yang lebih dikenal dengan gabus putih sebagai bahan pembungkus barang-barang elektronik. *Styrofoam* merupakan turunan plastik dengan karakteristik ringan dan mudah rapuh namun jika telah menjadi sampah tidak mudah teruraikan. Butiran *styrofoam* yang dipergunakan sebagai bahan pengisi beton dapat mengurangi berat dan volume beton, serta mengurangi pencemaran lingkungan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Beton

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang terdiri dari campuran semen, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat sampai bahan buangan non kimia pada perbandingan tertentu (Tjokrodiluljo, 1996).

### Beton Serat

Beton serat didefinisikan sebagai beton yang dibuat dari campuran semen, agregat, air dan sejumlah serat yang disebar secara random. Prinsip penambahan serat adalah memberi tulangan pada beton yang disebar merata kedalam adukan beton dengan orientasi random untuk mencegah terjadinya retakan-retakan beton yang terlalu dini di daerah tarik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan (*ACI committee 544, 1993 dalam Vian Dhalik Pratama, 2007*).

### Bahan Tambah

Bahan tambah adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera atau selama pengadukan beton. Tujuannya ialah mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kuat tekan, menambah daktilitas mengurangi sifat getas, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya (Tjokrodiluljo, 1996).

### Bendrat

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan diperoleh bahwa penambahan fiber kedalam adukan akan menurunkan kelecakan (*workability*) secara cepat sejalan dengan pertambahan konsentrasi fiber dan aspek rasio fiber. Sehingga untuk mendapatkan hasil yang optimal ada dua hal yang harus diperhatikan dengan seksama yaitu (1) *Fiber aspect ratio*, yaitu rasio antara panjang fiber ( $l$ ) dan diameter fiber ( $d$ ), dan (2) *Fiber volume fraction (V<sub>f</sub>)*, yaitu persentase volume fiber yang ditambahkan pada setiap satuan volume beton. Jika serat yang dipakai memiliki kuat tekan lebih tinggi dari pada beton misalnya serat bendrat, maka beton serat akan mempunyai kuat tekan, maupun kuat geser yang sedikit lebih tinggi dari beton biasa.

### Styrofoam

*Styrofoam* atau *expanded polystyrene* dikenal sebagai gabus putih yang biasanya digunakan untuk membungkus barang elektronik. *Polystyrene* sendiri dihasilkan dari *styrene* ( $C_6H_5CH=CH_2$ ), yang mempunyai Gugus *phenyl* (enam Cincin karbon) yang tersusun secara tidak teratur sepanjang garis karbon dari molekul. Penggabungan acak dari bensena mencegah molekul membentuk garis yang sangat lurus sehingga hasilnya merupakan *polyester* mempunyai bentuk yang tidak tetap, transparan dan dalam berbagai bentuk plastik. *Polystyrene* merupakan bahan yang baik ditinjau dari segi mekanis maupun suhu, namun bersifat agak rapuh dan lunak pada suhu dibawah  $100^{\circ}C$ . *Polystyrene* memiliki berat jenis sampai  $1050 \text{ kg/m}^3$ , kuat tarik sampai  $40 \text{ MN/m}$ , modulus lentur sampai  $3 \text{ GN/m}^2$ , modulus geser sampai  $0,99 \text{ GN/m}^2$ , angka poisson  $0,33$ . Dalam bentuknya yang granular, *Styrofoam* atau *expended polystyrene* memiliki berat satuan yang sangat kecil yaitu berkisar antara  $13 - 22 \text{ kg/m}^3$

### Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban maksimum persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban/tekanan hingga benda uji runtuh. Untuk mengetahui tegangan hancur dari benda uji tersebut dilakukan dengan perhitungan :

$$f_c = \frac{P}{A} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

$f_c$  = Kuat tekan beton pada umur 28 hari yang didapat dari benda uji (MPa).

P = beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

### Kuat Geser

Kuat geser balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas (SNI 0-4431-2011). Pembebanan dilakukan pada 1/3 bentang untuk mendapatkan gaya geser. Analisis perhitungan kuat geser nominal (Vn) dilakukan dengan 2 analisis yaitu analisis pengujian dan analisis kuat geser (SNI 03-2847-2002), untuk menghitung kuat geser nominal (Vn) masing-masing analisis dapat dilihat pada persamaan berikut:

1. Analisis Pengujian:

$$V_n = 0,5 \cdot P(\text{geser}) \dots\dots\dots (2)$$

2. Analisis SNI 03-2847-2002:

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$\dots\dots\dots (3)$$

dengan :

Vn = Kuat geser nominal (N)

Vc = Kekuatan geser nominal yang diberikan oleh beton.

Vs = Kekuatan geser nominal yang diberikan oleh tulangan badan.

fc' = Kuat tekan beton (MPa).

b = Lebar balok.

d = Tinggi efektif balok

fy = Tegangan leleh tulangan.

Av = Luas tulangan geser.

s = Spasi tulangan geser.

## METODELOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret. Tahap awal, dilakukan pengujian terhadap bahan-bahan yang akan digunakan untuk membuat benda uji beton ringan dengan metode SNI. Setelah pengujian bahan yang dilakukan memenuhi standar persyaratan, maka dilanjutkan dengan membuat benda uji. Benda uji akan diuji dengan uji kuat tekan dan kuat geser. Pengujian kuat tekan menggunakan silinder 15 cm x 30 cm dan kuat geser menggunakan balok 10 cm x 10 cm x 50 cm dengan variasi persentase serat 0 %; 0,5 %; 1 %; 1,5 %, dan 2 %. Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari, Setelah benda uji siap maka balok benda uji ditempatkan pada loading frame yang kuat dan ditumpu sendi-rol pada kedua ujungnya. Pembebanan dilakukan dengan bantuan hidrolik jack yang mempunyai kapasitas 60 ton dan *load Cell* yang mempunyai kapasitas 60 ton. Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan interval kenaikan sebesar 50 kg. Pembebanan akan dihentikan apabila defleksi yang terjadi sudah cukup besar.

Tabel 1. Jumlah dan kode benda uji kuat tekan

No.	Kadar Serat Bendorat (%)	Kode Benda Uji	Kadar Styrofoam (%)	Jumlah Benda Uji
1	0 %	BS - 0	0 %	3
2	0,5 %	BS - 0,5	20 %	3
3	1 %	BS - 1,5	20 %	3
4	1,5 %	BS - 1,5	20 %	3
5	2 %	BS - 2	20 %	3

Tabel 2. Jumlah dan kode benda uji kuat geser

No.	Kadar Serat Bendorat (%)	Kode Benda Uji	Kadar Styrofoam (%)	Jumlah Benda Uji
1	0 %	BL - 0	0 %	3
2	0,5 %	BL - 0,5	20 %	3
3	1 %	BL - 1	20 %	3
4	1,5 %	BL - 1,5	20 %	3
5	2 %	BL - 2	20 %	3

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Agregat

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
----	-----------------	-----------------	---------	------------

1	Kandungan zat organik	Kuning Muda	0 – 10 %	Memenuhi Syarat
2	Kandungan lumpur	3 %	Maks 5 %	Memenuhi syarat
3	<i>Bulk specific gravity</i>	2,40 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
4	<i>Bulk specific SSD</i>	2,55 gr/cm <sup>3</sup>	2,5 - 2,7	Memenuhi syarat
5	<i>Apparent specific gravity</i>	2,57 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
6	<i>Absorbtion</i>	0,4 %	-	-
7	Modulus Halus	2,42	2,3 - 3,1	Memenuhi syarat

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	Modulus Halus Butir	5,67	5 - 8	Memenuhi syarat
2	<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,57	-	-
3	<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,61	-	-
4	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,68	-	-
5	<i>Absorbtion</i>	1,63 %	-	-
6	Abrasi	38,67 %	50 %	Memenuhi syarat

### Hasil Perhitungan Rancang Campur Adukan Beton Metode SNI

Perhitungan rancang campuran adukan beton dilakukan dengan metode SNI. Dari perhitungan didapat kebutuhan bahan per 1 m<sup>3</sup> yaitu :

- a. Pasir = 904,48 kg
- b. Agregat Kasar = 834,90 kg
- c. Semen = 515,63 kg
- d. Air = 247,50 kg

Kebutuhan bahan untuk tiap benda uji silinder yaitu :

- a. Pasir = 4,359 kg
- b. Agregat Kasar = 4,023 kg
- c. Semen = 2,485 kg
- d. Air = 1,193 kg
- e. Serat Bendrat 1% = 0,12 kg

Kebutuhan bahan untuk tiap benda uji balok yaitu :

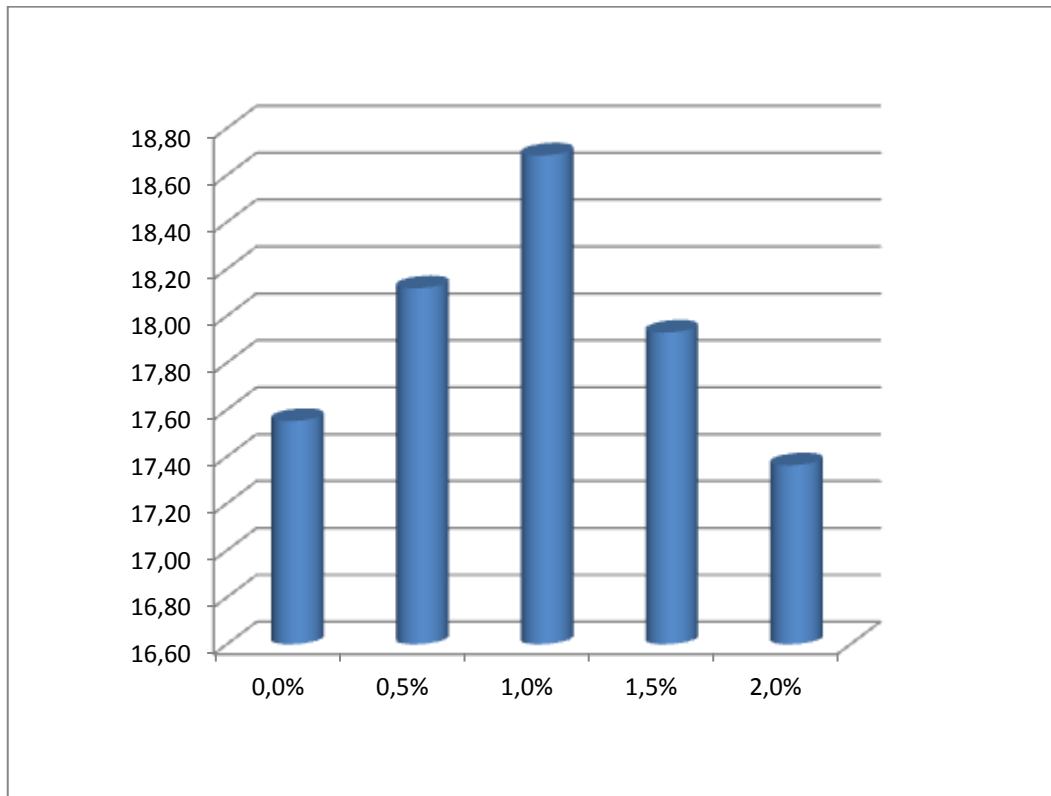
- a. Pasir = 7,894 kg
- b. Agregat Kasar = 7,286 kg
- c. Semen = 4,500 kg
- d. Air = 2,160 kg
- e. Serat Bendrat 1% = 0,218 kg

### Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan

No	Kadar Serat (%)	Kode Benda Uji	No Benda Uji	A (mm <sup>2</sup> )	Pmaks (N)	f'c (MPa)
1	0	SB 0 %	1	17662,50	310000	17,55
			2	17662,50	320000	18,12
			3	17662,50	300000	16,99
			Rerata		310000	<b>17,55</b>
2	0,50	SB 0,5 %	1	17662,50	330000	18,68
			2	17662,50	320000	18,12
			3	17662,50	310000	17,55
			Rerata		320000	<b>18,12</b>
3	1,00	SB 1 %	1	17662,50	350000	19,82
			2	17662,50	320000	18,12
			3	17662,50	320000	18,12
			Rerata		330000	<b>18,68</b>
4	1,50	SB 1,5 %	1	17662,50	310000	17,55

			2	17662,50	320000	18,12
			3	17662,50	320000	18,12
			Rerata		316667	<b>17,93</b>
			1	17662,50	290000	16,42
5	2	SA 0 %	2	17662,50	310000	17,55
			3	17662,50	320000	18,12
			Rerata		306667	<b>17,36</b>



Gambar 1. Diagram Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Persentase Serat Bendrat.

Berdasarkan hasil penelitian didapat kuat tekan dengan kadar serat bendrat sebesar 0 %; 0,5 %; 1 %; 1,5 %; dan 2% yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 17,55 MPa; 18,12 MPa; 18,68 MPa; 17,93 MPa; dan 17,36 MPa. Berdasarkan grafik fungsi polynomial, kadar serat optimum dan kuat tekan maksimum terjadi pada kadar serat 0,1% dengan nilai kuat tekan sebesar 18,68 MPa.

### Hasil Pengujian Kuat Geser

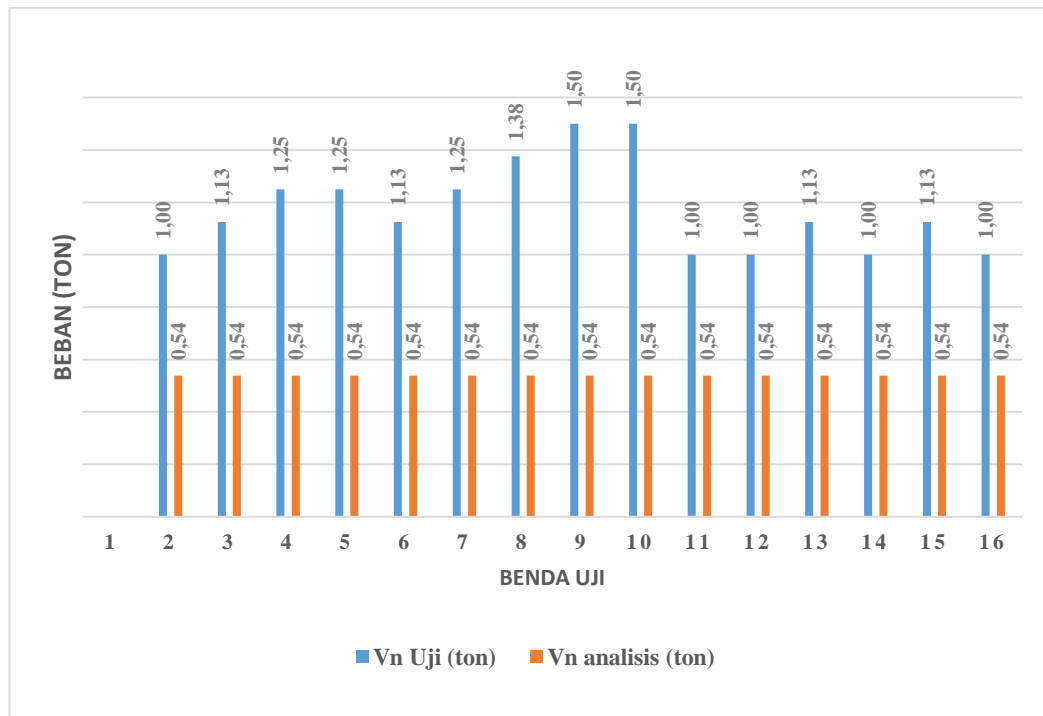
Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Geser

NO	Kode Benda Uji	No Benda Uji	Beban (kg)		Gaya Geser (ton)	
			Retak Awal	Retak Runtuh	Vn uji	Vn analisis
1	BNS	1	1000	2000	1.00	0.54
		2	1000	2250	1.13	0.54
		3	1250	2500	1.25	0.54
2	BS-0,5%	1	1750	2500	1.25	0.54
		2	1000	2250	1.13	0.54
		3	2000	2500	1.25	0.54
3	BS-1%	1	1750	2750	1.38	0.54
		2	2250	3000	1.50	0.54
		3	2500	2000	1.50	0.54
4	BS-1,5%	1	1250	2000	1.00	0.54
		2	1250	2000	1.00	0.54
		3	1750	2250	1.13	0.54
5	BS-2%	1	1250	2000	1.00	0.54

2	1500	2500	1.13	0.54
3	1250	2000	1.00	0.54

Tabel 7. Hasil Lendutan Maksimum Kuat Geser

No	Kode Benda Uji	Lendutan maksimum (mm)	Lendutan maksimum rata-rata (mm)
1	BNS-1	12.700	
2	BNS-2	15.240	15.240
3	BNS-3	17.780	
4	BS-0,5%-1	18.500	
5	BS-0,5%-2	16.500	17.500
6	BS-0,5%-3	17.500	
7	BS-1%-1	36.830	
8	BS-1%-2	37.000	37.943
9	BS-1%-3	40.000	
10	BS-1,5%-1	20.500	
11	BS-1,5%-2	23.000	21.697
12	BS-1,5%-3	21.590	
13	BS-2%-1	24.000	
14	BS-2%-2	26.000	25.000
15	BS-2%-3	25.000	



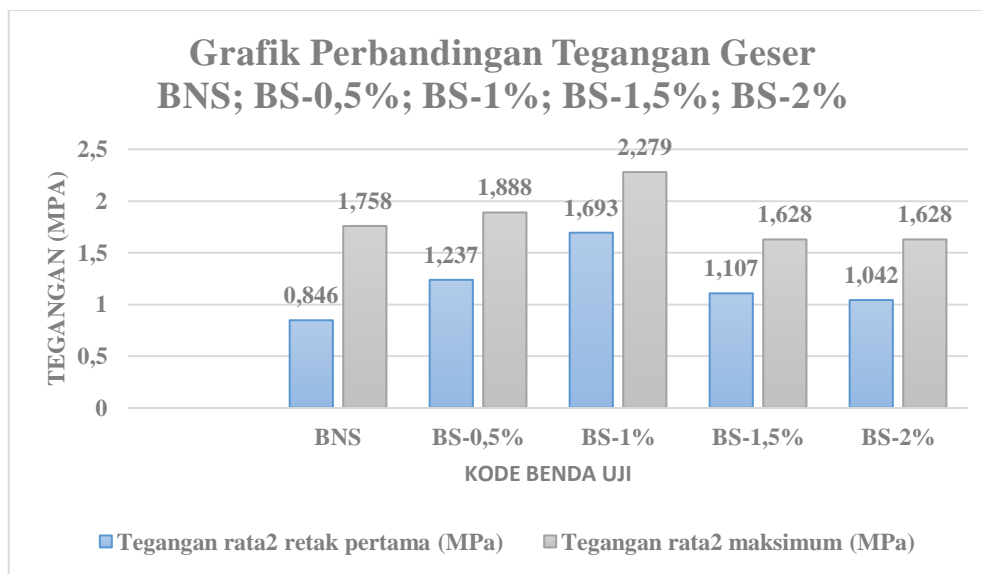
Gambar 2. Diagram Perbandingan Kuat Geser Hasil Pengujian, Analisis, dan Desain

Tabel 7. Hasil Perhitungan Tegangan Geser Saat Retak Pertama

NO	KADAR SERAT BENDRAT	KODE BENDA UJI	Vn (kN)
1	0 %	BNS	0,846
2	0,5 %	BS-0,5%	1,237
3	1 %	BS-1%	1,693
4	1,5 %	BS-1,5%	1,107
5	2 %	BS-2%	1,042

Tabel 7. Hasil Perhitungan Tegangan Geser Saat Beban Maksimum

NO	KADAR SERAT BENDRAT	KODE BENDA UJI	V <sub>n</sub> (kN)
1	0%	BNS	1,758
2	0,5%	BS-0,5%	1,888
3	1%	BS-1%	2,279
4	1,5%	BS-1,5%	1,628
5	2%	BS-2%	1,628



Gambar 3. Grafik perbandingan tegangan geser.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan diperoleh kesimpulan bahwa pemakaian *styrofoam*, dan serat bendrat sebagai bahan tambah beton menghasilkan nilai kuat tekan optimum sebesar 18,443 MPa pada kadar serat bendrat 0,0094%.
2. Berdasarkan hasil pengujian kuat geser diperoleh kesimpulan bahwa pemakaian *styrofoam*, dan serat bendrat sebagai bahan tambah beton menghasilkan nilai optimum tegangan geser saat retak pertama sebesar 1,46 MPa pada kadar serat bendrat 0,95 % sedangkan tegangan geser saat beban maksimum sebesar 2,029 MPa pada kadar serat bendrat 0,86 %.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada Ir. Slamet Prayitno, M.T. dan Ir. Endang Rismunarsi, M.T. yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

## REFERENSI

- ACI Committee 544. 1993. *Fiber Reinforced Concrete*. ACI International, Michigan.
- Anonim. 1918. *Concrete and Material Agregates (including Manual of Agregates and Consrete Testing) ASTM C 33-74a*, ASTM, Philadelphia.
- Anonim. 2002. *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Aggregat Ringan SNI 03-3449-2002*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Billmeyer, F.W. 1984. *Textbook of Polymer Science*. Third Edition, New York: John Wiley and Sons.
- Dipohusodo, I. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia. Jakarta.
- Mehta, P.K. 1986. *Structure, Properties, and Material*. Prentice Hall, New Jersey
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Andi, Yogyakarta.
- Murdock, L.J., Brook dan Hindarko.1999. *Bahan dan Praktek Beton, edisi ke-4*, Erlangga, Jakarta.
- Nugraha Paul, dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta.
- Panitia Pembaharuan Peraturan Beton Bertulang Indonesia. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia PBI NI-2. Dept. PU dan Tenaga Listrik*, Dirjen Cipta Karya, Bandung.
- Prof. Dr. Ir. Roosseno. 1954. *Beton Bertulang*. PT Pembangunan, Jakarta
- Rina Astuti. 2009. *Uji Kuat Geser Balok Beton Ringan (Alwa) dengan Bahan Tambah Metakaolin dan Serat Alumunium Pascabakar*. Universitas Sebelas Maret : Surakarta.
- Satyarno, I. 2004. *Penggunaan Semen Putih Beton Styrofoam Ringan (Batafoam)*, Laboratorium Bahan Kontruksi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- SNI 03-2847-2002., 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung.
- SNI 1974:2001, *Cara Uji Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*, BSN, Yayasan Lembaga Pendidikan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Suhendro, B. 1991. *"Pengaruh fiber kawat pada sifat sifat beton dan beton bertulang"*.laporan Penelitian, Lembaga penelitian Universitas Gadjah Mada,Yogyakarta.
- Tjokrodimulyo, K. 1982. *Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PBUI)*, Jakarta.
- Tjokrodimulyo, K. 1996. *Teknologi Beton*, Nafitri. Yogyakarta.
- Wang, C.K. dan Charles G. Salmon. 1986, *Desain Beton Bertulang*. Erlangga, Jakarta.