

Pengaruh Penambahan Serat Seng Pada Beton Ringan dengan Teknologi Gas Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas

¹⁾ Purnawan Gunawan, ²⁾ Wibowo, ³⁾ Wachidatun Nikmah

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret,

Mahasiswa Sarjana, Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret,

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

Email : wachidatun.nikmah@gmail.com

Abstract

Lightweight gas concrete made by adding aluminium paste into concrete mixture. The fiber addition is expected to be strong composite to withstand compressive strength, tensile strength, and modulus elasticity. The method used in this study is an experimental method. Compressive strength, tensile strength, and modulus elasticity testing used cylinder size 10 cm x 20 cm with variable fiber percentage is 0%; 0.25%; 0.5%; 0.75%; and 1% of six per sample. The specimen will tested after the age of 28 days. From the research results obtained density of lightweight gas zinc fiber concrete average is 1895,37 Kg/m³. Maximum of compressive strength is in 0,5 % added fiber with optimum value is 13,374 MPa. Maximum of tensile strength is in 0,5 % added fiber with optimum value is 2,023 MPa. Maximum of modulus elasticity is in 0,5 % added fiber with optimum value is 16773 MPa.

Keywords: lightweight concrete, aluminium paste, zinc fibers, compressive strength, tensile strength, and modulus elasticity.

Abstrak

Beton ringan gas dibuat dengan cara menambah aluminium pasta ke-dalam campuran beton, berat berkisar antara 400-1800 kg/m³ Untuk meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas ditambahkan serat seng ke-dalam campuran beton. Penambahan serat diharapkan akan menjadi komposit yang kuat dalam menahan kuat tekan dan kuat tarik beton. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas menggunakan silinder 10 cm x 20 cm dengan variasi prosentase serat 0%; 0,25%; 0,5%; 0,75; dan 1% dari berat beton, berjumlah 6 buah per sampel. Benda uji akan diuji setelah berumur 28 hari. Dari hasil penelitian didapat berat jenis beton ringan gas berserat seng rata – rata adalah sebesar 1895,37 kg/m³. Kuat tekan maksimum adalah pada beton ringan gas dengan kadar serat sebesar 0,5% dengan nilai optimum adalah sebesar 13,374 MPa. Kuat tarik belah maksimum adalah pada beton ringan gas dengan kadar serat sebesar 0,5 % dengan nilai optimum adalah sebesar 2,023 MPa. Modulus elastisitas maksimum adalah pada penambahan serat sebesar 0,5% dengan nilai optimum adalah sebesar 16773 MPa.

Kata kunci : beton ringan, aluminium pasta, serat seng, kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas.

PENDAHULUAN

Dalam bidang teknik sipil banyak menggunakan beton sebagai alternatif utama pembangunan struktur karena beton mempunyai beberapa kelebihan diantaranya adalah bahan pembuatan yang mudah didapatkan di pasaran, bentuk yang bisa disesuaikan dengan kebutuhan, mempunyai kuat desak yang tinggi, dan mempunyai tingkat keawetan yang sangat bagus. Namun beton juga mempunyai beberapa kekurangan seperti kuat tarik yang kecil, dan berat sendiri yang berat.

Beton konvensional mempunyai berat jenis relatif besar yang sangat mempengaruhi beban pada struktur yaitu sebesar 2400 Kg/m³. Salah satu alternatif untuk mengurangi beban tersebut maka dibuatlah beton ringan dengan berat berkisar antara 400-1800 kg/m³. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengurangi berat jenis beton atau membuat beton lebih ringan. Pertama dengan membuat gelembung-gelembung dalam adukan semen, sehingga terjadi banyak pori-pori udara dalam betonnya. Kedua dengan membuat beton tanpa menggunakan butir-butir agregat halus atau pasir yang disebut sebagai beton non pasir. Ketiga dengan menggunakan agregat ringan, misal tanah liat bakar, batu apung atau agregat buatan sehingga beton yang dihasilkan akan lebih ringan dari beton biasa (Tjokrodimuljo, 2007).

Dalam pembuatan gelembung – gelembung dalam beton dapat di hasilkan dengan dua cara. Pertama *foamed concrete* yaitu dengan menambahkan *foam agent* (cairan busa) kedalam campuran beton. Bahan pembentuk *foam agent* dapat berupa bahan alami ataupun bahan buatan (Neville and Brooks,1993). Kedua *gas concrete* yaitu dengan memasukkan suatu reaksi kimia dalam bentuk gas/udara ke-dalam campuran beton, sehingga ketika bercampur

menghasilkan gelembung-gelembung gas udara. Peneliti menggunakan aluminium pasta sebagai campuran pembentuk gas sebagai bahan untuk membuat beton ringan.

Beton ringan gas mempunyai kelebihan yaitu mempunyai variasi dalam *density* sesuai dengan kebutuhan (400-1800 kg/m³). Beton ringan gas umumnya mempunyai kuat tekan dan kuat tarik yang relatif rendah dibandingkan dengan beton konvensional. Hal ini menjadi masalah yang menarik untuk memperbaiki atau menambah kuat tekan dan kuat tarik beton, sehingga dapat mencapai kekuatan yang lebih tinggi. Untuk itu ada beberapa solusi untuk meningkatkan atau memperkuat beton pada bagian elemen yang mengalami tekan dan tarikan dengan menambah serat pada beton (Tjokrodinuljo, 2007).

Penelitian ini akan membuat beton ringan gas, yaitu campuran beton seperti agregat halus, semen, dan air yang ditambah dengan aluminium pasta kemudian ditambah sejumlah serat. Serat sebagai bahan tambahan pada beton berjenis metal dan non metal. Penambahan serat diharapkan akan menjadi komposit yang kuat dalam menahan kuat tekan dan kuat tarik beton.

Penelitian ini akan mengkaji berat jenis, kuat tarik belah, modulus elastisitas, dan kuat tekan beton ringan setelah diberi bahan tambah aluminium pasta dan serat kawat seng, sehingga dari penelitian ini diharapkan diperoleh struktur beton ringan yang daktail, durabilitas tinggi, dan mampu menahan gaya tarik dan tekan yang lebih tinggi.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI 03-2847-2002).

Beton ringan didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kepadatan kering tidak lebih dari 2000 Kg/m³, tetapi bisa juga serendah – rendahnya 400 Kg/m³ tergantung bahan yang digunakan. Ada tiga metode utama untuk memproduksi beton ringan yaitu menggunakan agregat ringan, penggabungan gelembung udara dengan aerasi, dan penambahan sedikit agregat atau tanpa agregat (Clarke, J.L., 2002).

Beton serat adalah campuran beton yang dibuat dari campuran agregat halus, agregat kasar, air, dan sejumlah serat yang tersebar secara acak dalam matriks campuran beton segar (Hannant, 1978)

Beton gas berserat seng adalah beton ringan dengan teknologi gas yang terdiri dari campuran semen, air, agregat halus, fly ash, aluminium pasta, dan ditambahkan serat seng.

Material Pembentuk Beton

Menentukan bahan-bahan untuk pembuatan beton yang memiliki kualitas baik, perhitungan secara tepat, cara pengerjaan dan perawatan yang baik dan penambahan bahan tambah yang tepat dengan kadar yang optimum yang diperlukan akan menentukan kualitas beton yang dihasilkan. Bahan pembuatan beton diantaranya adalah semen, agregat, air dan bahan tambah.

Perawatan Beton (*curing*)

Perlu dilakukan perawatan untuk mempertahankan kelembaban beton, sejak adukan dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras. Hal ini agar beton berada dalam suhu yang dikehendaki pada waktu yang ditentukan dan diperhatikan agar terhindar dari perbedaan suhu yang besar baik dalam betonnya sendiri maupun dalam hubungannya dengan keadaan sekelilingnya. Perawatan yang baik akan memperbaiki kualitas beton. Beton akan lebih kuat dan lebih awet terhadap agresi kimia, beton yang dirawat dengan baik akan lebih tahan terhadap aus dan lebih kedap air (Mulyono, 2013).

Beton Serat

Beton serat didefinisikan sebagai beton yang dibuat dari campuran semen, agregat, air dan sejumlah serat yang disebar secara random (Soroushian dan Bayasi, 1987)

Aluminium Pasta

Aluminium pasta adalah campuran serbuk aluminium yang dilarutkan dengan air. Aluminium yang dicampurkan pada campuran beton akan bereaksi dengan silika dari pasir yang akan menghasilkan gas hidrogen. Dalam proses pengeringan gas hidrogen akan menguap ke udara kemudian digantikan dengan udara yang menghasilkan rongga udara pada beton.

Serat Dalam Beton

Standar mengenai penentuan ukuran serat diatur dalam *American Civil Institute* (ACI). Penentuan panjang serat sesuai dengan ACI 544.4R-88. Dalam penelitian ini digunakan serat baja lapis seng (Bj LS) ukuran 2 x 19 mm.

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian menggunakan silinder 10 cm x 20 cm. pengujian dilakukan dengan memberikan beban/tekanan hingga benda uji runtuh dengan menggunakan alat pompa hidrolik 50 T, loadcel 50 T, dan strain gauge indicator. Menurut Paul Nugraha dan Antoni (2007) Kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan :

$$f_c = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots [1]$$

keterangan:

f'_c = Kuat Tekan benda uji (N/mm)

P = beban yang diberikan (ton)

A = luas tampang melintang (mm²)

Faktor pengali untuk ukuran silinder disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor Pengali untuk berbagai Ukuran Silinder (Nevile, 1977)

Ukuran silinder		Kuat tekan (%)	Faktor Pengali
D (mm)	L (mm)		
50	100	108	0,917
75	150	106	0,943
100	200	104	0,962
150	300	100	1,000

Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian menggunakan silinder 10 cm x 20 cm. Pengujian kuat tarik belah silinder beton ini menggunakan mesin desak (*Universal Testing Machine*). Gaya P bekerja pada kedua sisi silinder beton sepanjang L dan gaya ini disebarkan seluas selimut silinder ($\pi \cdot D \cdot L$) hingga silinder terbelah oleh gaya tarik horizontal.

Menurut Dipohusodo (1994) Kuat tarik belah dapat dihitung dengan persamaan :

$$f_t = \frac{2P}{\pi L_s D} \dots\dots\dots [2]$$

keterangan:

f_t = kuat belah beton (N/mm²)

P = beban maksimum yang diberikan (N)

D = diameter silinder (mm)

L_s = tinggi silinder (mm)

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang. Semakin besar modulus elastisitas semakin kecil lendutan yang terjadi. Pengujian modulus elastisitas dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan.

Menurut Murdock dan Brook (1999) Nilai modulus elastisitas dapat dihitung dengan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots [3]$$

Dimana :

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{P}{A} \dots\dots\dots [4]$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots [5]$$

Keterangan:

P = beban yang diberikan (ton)

A = luas tampang melintang (mm²)

ΔL = perubahan panjang akibat beban P (mm)

L = panjang semula (mm)

Modulus elastisitas juga dihitung menggunakan rumus *simple mixture rule* (Soroushian, Lee, dan Bayasi, 1987) yang mempunyai persamaan:

$$E_c = (\eta_1 \times \eta_0 \times E_f \times V_f) + (\gamma \times E_m \times (1 - V_f)) \dots\dots\dots [6]$$

Keterangan:

E_c = Modulus elastis komposit

E_f = Modulus elastis serat

η_0 = Factor panjang serat

η_1 = Faktor orientasi serat

γ = Faktor efisiensi matrik beton

V_f = Volume fraksi serat

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen membuat beton ringan gas yang ditambahkan dengan serat seng. Pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas menggunakan silinder 10 cm x 20 cm dengan variasi prosentase serat 0%; 0,25%; 0,5%; 0,75 dan 1% berjumlah 6 buah per sampel yang dilaksanakan di laboratorium Bahan Bangunan Fakultas Teknik UNS.

Tahapan dan Prosedur Penelitian

Tahapan – tahapan dalam penelitian ini meliputi :

Tahap Penelitian Awal

Pada tahapan ini dilakukan penelitian terhadap berat jenis benda uji beton gas, beton gas harus mencapai 1800-1900 kg/m³ sebagai syarat berat jenis untuk beton ringan.

Tahap I

Mempersiapkan bahan dan peralatan untuk penelitian.

Tahapan II

Menguji karakteristik agregat halus.

Tahapan III

Pembuatan benda uji.

Tahapan IV

Perawatan terhadap benda uji. Merendam benda uji selama 21 hari kemudian dianginkan selama 7 hari

Tahapan V

Pengujian berat jenis, kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas.

Tahapan VI

Analisa data. Menganalisis hasil pengujian yang telah dilakukan.

Tahapan VII

Pengambilan keputusan. Membuat kesimpulan dari hasil pengujian dan analisa data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat halus

Setelah dilakukan pengujian agregat didapatkan hasil pengujian yang disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Kandungan	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Kandungan zat organik	5%	0-10%	Memenuhi syarat
Kandungan lumpur	2%	Maks 5%	Memenuhi syarat
<i>Bulk specific gravity</i>	2,606 gr/cm ³	-	-
<i>Bulk spesific SSD</i>	2,660 gr/cm ³	2,5 - 2,7	Memenuhi syarat
<i>Apparent spesific gravity</i>	2,750 gr/cm ³	-	-
<i>Absorbition</i>	2,040%	-	-

Hasil Perhitungan Rancang Campuran

Perhitungan rancang campuran adukan beton dilakukan dengan metode *trial error*, dari perhitungan tersebut didapat kebutuhan beton per 1 m³ yaitu :

- Agregat Halus = 1068 kg
- Semen = 534 kg
- Fly Ash = 107 kg
- Aluminium = 3,18 kg
- Air Semen = 187 kg

f. Air Aluminium = 9,55 kg

Hasil Pengujian Berat Jenis

Hasil Pengujian berat jenis disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Jenis

No	Kadar serat (%)	Kode benda uji	Berat jenis (Kg/m ³)
1	0%	KTS-0	1880,150
		KBS-0	1888,426
2	0,25%	KTS-0.25	1883,546
		KBS-0.25	1898,612
3	0,50%	KTS-0.5	1867,630
		KBS-0.5	1913,042
4	0,75%	KTS-0.75	1860,203
		KBS-0.75	1885,668
5	1%	KTS-1	1954,847
		KBS-1	1921,531
		Rata-rata	1895,366

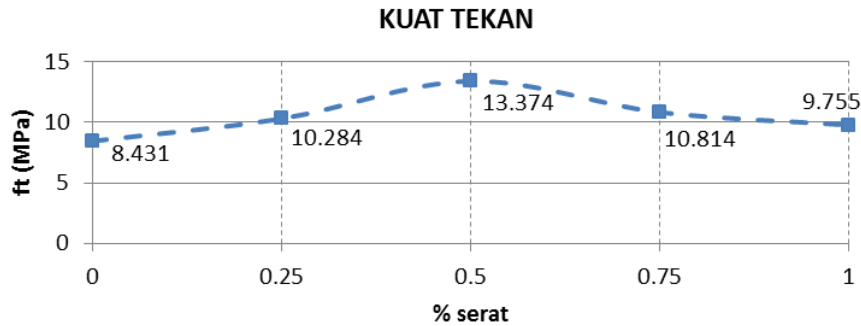
Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa berat jenis rata – rata yang diperoleh adalah 1895,37 kg/m³. Sehingga beton tersebut merupakan kategori beton ringan sesuai SNI bahwa beton ringan mempunyai berat tidak lebih dari 1900 Kg/m³.

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Setelah dilakukan pengujian, hasil pengujian kuat tekan disajikan dalam Tabel 4. dan Gambar 1.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat tekan

no	kadar serat (%)	kode benda uji	No. benda uji	Luas (mm ²)	Tekanan (N)	f _c (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	0	KTS-0	A	7854	62000	8,210	8,431
			B	7854	64000	8,475	
			C	7854	65000	8,607	
2	0,25	KTS-0.25	A	7854	80000	10,593	10,284
			B	7854	76000	10,064	
			C	7854	77000	10,196	
3	0,5	KTS-0.5	A	7854	100000	13,242	13,374
			B	7854	102000	13,507	
			C	7854	101000	13,374	
4	0,75	KTS-0.75	A	7854	86000	10,726	10,814
			B	7854	83000	10,991	
			C	7854	81000	10,726	
5	1	KTS-1	A	7854	75000	9,931	9,755
			B	7854	74000	9,799	
			C	7854	72000	9,534	



Gambar 1. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan

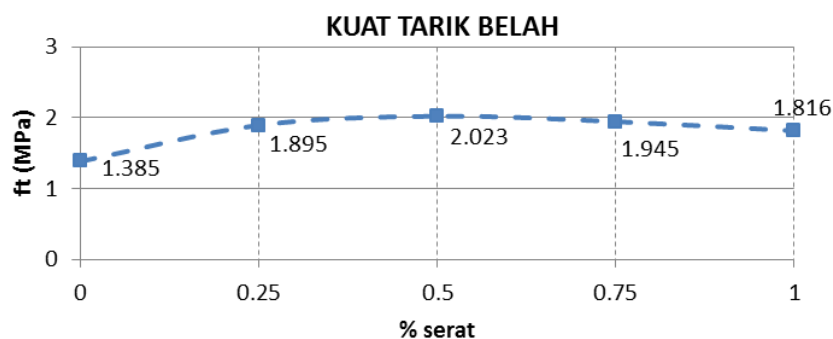
Berdasarkan hasil penelitian didapat kuat tekan dengan kadar serat sebesar 0%; 0,25%; 0,5%; 0,75%; dan 1% berturut – turut adalah 8,431 MPa; 10,284 MPa; 13,374 MPa; 10,814 MPa; dan 9,755 MPa. Kuat tekan maksimum adalah pada beton ringan gas dengan kadar serat sebesar 0,5% yang menghasilkan kuat tekan sebesar 13,374 MPa atau terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 58,639% dibandingkan beton ringan gas tanpa serat, kenaikan nilai kuat tekan diakibatkan karena penambahan serat yang menambah kekuatan beton. Pada penambahan serat seng sebesar 0,75% terjadi penurunan kuat tekan dikarenakan banyak penambahan serat yang ditambahkan kedalam beton sehingga mengurangi kekuatan beton.

Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Setelah dilakukan pengujian, hasil pengujian kuat tekan disajikan dalam Tabel 5. dan Gambar 2.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

No	Kadar serat (%)	Kode benda uji	No. benda uji	$\pi \times Ls \times D$ (mm ²)	Tekanan (N)	ft (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	0	KTS-0	A	62832	44000	1,457	1,469
			B	62832	45300	1,500	
			C	62832	43800	1,450	
2	0,25	KTS-0.25	A	62832	57200	1,894	1,895
			B	62832	57600	1,907	
			C	62832	56900	1,884	
3	0,5	KTS-0.5	A	62832	61000	2,019	2,023
			B	62832	60300	1,996	
			C	62832	62000	2,052	
4	0,75	KTS-0.75	A	62832	58600	1,940	1,945
			B	62832	59800	1,980	
			C	62832	57900	1,917	
5	1	KTS-1	A	62832	55200	1,827	1,816
			B	62832	55000	1,821	
			C	62832	54400	1,801	



Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

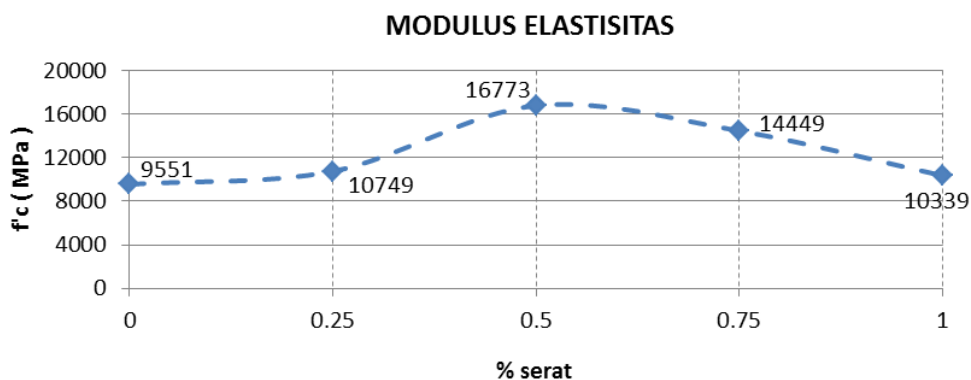
Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai kuat tarik belah dengan kadar serat sebesar 0%; 0,25%; 0,5%; 0,75%; dan 1% berturut – turut adalah 1,385 MPa; 1,895 MPa; 2,023 MPa; 1,945 MPa; dan 1,816 MPa. Kuat tarik belah maksimum adalah pada beton ringan gas dengan kadar serat sebesar 0,5% yang menghasilkan kuat tarik sebesar 2,023 MPa atau terjadi kenaikan kuat tarik sebesar 46,056 % dibandingkan beton ringan gas tanpa serat, kenaikan nilai kuat tarik belah diakibatkan karena penambahan serat yang menambah kekuatan beton. Pada penambahan serat seng sebesar 0,75% terjadi penurunan kuat tekan dikarenakan terlalu banyak serat yang ditambahkan kedalam beton sehingga mengurangi kekuatan beton.

Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Setelah dilakukan pengujian, hasil pengujian kuat tekan disajikan dalam Tabel 6. dan Gambar 3.

Tabel 6. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas.

SAMPEL	P max N	A mm ²	f _c MPa	E _c MPa	E _c Rata - rata MPa
KTS 0-A	65000	7854	7,958	9660	9551
KTS 0-B	65000	7854	7,958	9826	
KTS 0-C	65000	7854	8,621	9166	
KTS 0,25-A	80000	7854	10,610	10699	10749
KTS 0,25-B	75000	7854	9,947	10791	
KTS 0,25-C	75000	7854	9,947	10756	
KTS 0,5-A	100000	7854	13,263	16773	16773
KTS 0,5-B	100000	7854	13,263	16857	
KTS 0,5-C	100000	7854	13,263	16688	
KTS 0,75-A	85000	7854	11,273	13659	13833
KTS 0,75-B	80000	7854	10,610	14025	
KTS 0,75-C	80000	7854	10,610	13816	
KTS 1-A	75000	7854	9,947	10071	10339
KTS 1-B	70000	7854	9,284	10461	
KTS 1-C	70000	7854	9,284	10486	



Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai modulus elastisitas dengan kadar serat kawat seng sebesar 0%; 0,25%; 0,5%; 0,75%; dan 1% adalah 9551 MPa; 10749MPa; 16773 MPa; 14449 MPa; dan 10339 MPa. Modulus elastisitas maksimum adalah pada penambahan serat sebesar 0,5% yang menghasilkan kenaikan nilai modulus elastisitas sebesar 75,615% dibandingkan dengan beton ringan gas tanpa serat, kenaikan nilai modulus elastisitas

diakibatkan karena penambahan serat yang mampu mengurangi regangan sehingga nilai modulus elastisitasnya meningkat. Pada penambahan serat 0,75% terjadi penurunan nilai modulus elastisitas dikarenakan penambahan serat yang semakin besar mengurangi volume beton. Besarnya nilai modulus elastisitas akan sebanding dengan kuat tekan yang dihasilkan.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Dari hasil penelitian didapat berat jenis beton ringan gas berserat seng rata – rata adalah sebesar 1895,37 kg/m³. Sehingga dapat disimpulkan bahwa beton tersebut merupakan beton ringan karena dibawah 1900 kg/m³ sesuai SNI.
- b. Berdasarkan hasil penelitian didapat kuat tekan dengan kadar serat sebesar 0%; 0,25%; 0,5%; 0,75%; dan 1% berturut – turut adalah 8,431 MPa; 10,284 MPa; 13,374 MPa; 10,814 MPa; dan 9,755 MPa. Kuat tekan maksimum adalah pada beton ringan gas dengan kadar serat sebesar 0,5% dengan nilai optimum adalah sebesar 13,374 MPa.
- c. Berdasarkan hasil penelitian didapat kuat tarik belah dengan kadar serat sebesar 0%; 0,25%; 0,5%; 0,75%; dan 1% berturut – turut adalah 1,385 MPa; 1,895 MPa; 2,023 MPa; 1,945 MPa; dan 1,816 MPa. Kuat tarik belah maksimum adalah pada beton ringan gas dengan kadar serat sebesar 0,5 dengan nilai optimum adalah sebesar 2,023 MPa.
- d. Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai modulus elastisitas dengan kadar serat kawat seng sebesar 0%; 0,25%; 0,5%; 0,75%; dan 1% adalah 9551 MPa; 10749MPa; 16773 MPa; 14449 MPa; dan 10339 MPa. Modulus elastisitas maksimum adalah pada penambahan serat sebesar 0,5% dengan nilai optimum adalah sebesar 16773 MPa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Hibah PUPT Dikti 2015 yang telah membiayai penelitian Beton Gas. Purnawan Gunawan, ST, MT dan Wibowo, ST,DEA yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Anonim. 1999. American Civil Institue (ACI). Michigan.
- Anonim. 2012. Standar Nasional Indonesia (SNI). Jakarta.
- Antoni dan Paul Nugraha. 2007. Teknologi beton. Andi Offset. Yogyakarta.
- Clarke, J.L. 2002. *Structural Lightweight Aggregate Concrete*. CRC Press. London.
- Dipohusodo, I. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia. Jakarta.
- Hannant, D, J. 1979. *Fibre Cements and Fibre Concretes*. John Wiley & Sons, Inc. Amerika
- Mulyono, Tri. 2003. Teknologi Beton. UNJ. Jakarta
- Murdock dan Brook (Terjemahan : Stephanus Hendarko). 1999. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Neville, A.M., and J.J. Brook. 1987. *Concrete Technology*. New York: Longman Scientific & Technical.
- Soroushian, P, Lee, dan Bayasi, Z. 1987. *Concept of Fibre Reinforced Concrete*. Michigan State University. Michigan.
- Tjokrodimuljo, K. 2007. Teknologi Beton, Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.