

# PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BENDRAT DAN STYROFOAM PADA BETON RINGAN TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK BELAH DAN MODULUS ELASTISITAS

Slamet Prayitno<sup>1)</sup>, Sunarmasto<sup>2)</sup>, Adi Nugroho<sup>3)</sup>

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

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

Jln Ir. Sutami 36 A, Surakarta 57126

Email : Adidot07@ymail.com

## Abstract

*Technological development strives for innovations, not an exception in building materials. The researches toward building materials already done by many Experts in their sector. Those researches were not only about the correct determining composition of materials mixture, but also to find out the other alternative way, such as adding particular materials and changing the components to the others, to create the lighter concrete. Light Concrete is one of Concrete's types which have weight unit under 1900 kg/m<sup>3</sup>. Adding the Styrofoam into the Concrete's mixture in order to make Concrete lighter, it can reduce the burden of the structure. Certainly, the lighter Concrete has very low strength. Thus, there should be some improvements of the Concrete's quality by adding the fiber into fresh Concrete, Wire fiber is chosen as the adding material in order to increase the Concrete's pressure level. The aims of this research is to know the Influence of adding Wire Fiber and Styrofoam into light Concrete toward Compressive Strength, Modulus of Elasticity and the Attractiveness of Divisive. This research was done by laboratory experimental research. In this research used the object test, it was a cylinder which has 15cm diameter and it's weight 30cm for the pressure test, Modulus of Elasticity and the Attractiveness of Divisive with each Styrofoam contents adding 20% and Wire fiber 0%; 0.5%; 1%; 1.5%; and 2%. Testing process included material test, pressure test level, Modulus of Elasticity and the Attractiveness of Divisive. The measurement usage was statistics analysis with linear regression on the concrete's limit using Microsoft Excel program. The Concrete testing result as follows, where light Concrete compressive strength value with Wire fiber and Styrofoam as the adding materials reached the top-level at 0.944% of Wire fiber content, with pressure level 18.443 MPa. Then, Modulus of Elasticity testing reached the top-level at 2.92% of Wire fiber content with Modulus of Elasticity 17581.94 MPa. The Attractiveness of Divisive reached the top-level at 0.96% of Wire fiber content with 1.82 MPa.*

**Keywords :** *Compressive Strength, Modulus of Elasticity, and the Attractiveness of Divisive, light concrete, Styrofoam, Wire fiber.*

## Abstrak

Perkembangan zaman dan teknologi menuntut kemajuan tak terkecuali dalam bidang material bangunan. Penelitian terhadap material bangunan sudah banyak dilakukan para ahli di bidangnya. Penelitian material tersebut tidak hanya pada penentuan komposisi campuran material yang tepat, tetapi juga mencari berbagai alternatif lain seperti penambahan bahan tertentu dan penggantian suatu komponen dengan komponen lainnya untuk menghasilkan beton yang lebih ringan. Beton ringan merupakan salah satu jenis beton yang mempunyai berat satuan di bawah 1900 kg/m<sup>3</sup>. Penambahan *styrofoam* dalam campuran beton dimaksudkan supaya beton menjadi ringan, sehingga dapat mengurangi beban strktur. Beton yang semakin ringan tentu mempunyai kekuatan yang sangat rendah. Dengan demikian perlu adanya peningkatan mutu beton dengan langkah menambahkan serat pada beton segar, maka dipilihlah bahan tambah serat bendrat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan serat bendrat terhadap sifat-sifat mekanik beton berupa kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah. Penelitian dilakukan dengan eksperimental laboratorium. Dalam penelitian ini menggunakan benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk uji kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah dengan masing-masing kadar penambahan *styrofoam* sebesar 20% dan serat bendrat sebesar 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2%. Proses pengujian meliputi uji bahan, uji kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah. Perhitungan yang digunakan adalah analisis statistik dengan regresi linear pada batas elastis beton menggunakan program *Microsoft Excel*. Hasil pengujian beton yaitu nilai kuat tekan beton ringan dengan bahan tambah serat bendrat dan *styrofoam* pada penelitian ini mencapai nilai tertinggi pada kadar serat bendrat 0,944% dengan kuat tekan sebesar 18,443 MPa. Kemudian untuk pengujian modulus elastisitas mencapai nilai tertinggi pada kadar serat bendrat 2,92% dengan modulus elastisitas sebesar 17581,94 MPa. Nilai kuat tarik belah mencapai nilai tertinggi pada kadar serat bendrat 0,96% sebesar 1,82 MPa.

**Kata kunci :** kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah, beton ringan, *styrofoam*, serat bendrat.

## PENDAHULUAN

Beton merupakan material struktur yang umum digunakan. Sebagian besar bangunan komponen utamanya terbuat dari beton. Ada beberapa jenis beton yang biasanya digunakan dalam konstruksi antara lain beton normal, beton mutu tinggi, dan beton ringan. Beton ringan adalah salah satu jenis beton yang mempunyai berat satuan di bawah 1900 kg/m<sup>3</sup>. Penggunaan beton ringan untuk komponen struktur harus memenuhi persyaratan kekuatan material struktur. Pertimbangan penggunaan beton ringan untuk komponen struktur adalah membuat struktur menjadi lebih ringan sehingga mengurangi resiko kerusakan akibat gempa, *styrofoam* digunakan sebagai bahan pengisi beton dan dapat mengurangi berat beton, sehingga didapatkan beton yang lebih ringan. Styrofoam adalah suatu bahan yang terbuat dari *polystyrene* yang dikembangkan atau *expanded polystyrene* yang mempunyai berat satuan sangat ringan yaitu sekitar 13 kg/m<sup>3</sup> sampai 20 kg/m<sup>3</sup>.

## TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

### Tinjauan Pustaka

Beton ringan menurut Dobrowolski (1998) merupakan beton dengan berat beton di bawah 1900 kg/m<sup>3</sup> lebih rendah dibandingkan dengan berat beton normal. Neville dan Brooks (1987) memberikan batasan beton ringan yaitu beton dengan berat beton di bawah 1800 kg/m<sup>3</sup>.

Styrofoam dikenal sebagai salah satu dari busa *polystyrene* yang dipadatkan dan biasa digunakan untuk membungkus barang elektronik. *Polystyrene* sendiri dihasilkan dari *styrene* (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH=CH<sub>2</sub>), yang mempunyai gugus phenyl (enam cincin karbon) yang tersusun secara tidak teratur sepanjang garis karbon dari molekul. Penggabungan acak benzena mencegah molekul membentuk garis yang sangat lurus, sebagai hasilnya *polyester* mempunyai bentuk yang tidak tetap, transparan dan dalam berbagai bentuk plastik yang cukup regas. *Polystyrene* merupakan bahan yang baik ditinjau dari segi mekanis maupun suhu namun bersifat agak rapuh dan lunak pada suhu di bawah 1000C (Billmeyer, 1984).

### Landasan Teori

Menurut Wang dkk (1986), beton bertulang adalah gabungan logis dari beton polos yang mempunyai kuat tekan tinggi akan tetapi kuat tarik rendah, dan batangan-batangan baja yang ditanamkan di dalam beton dapat memberikan kuat tarik yang diperlukan

Beton ringan adalah material baru yang dibentuk dari campuran agregat, semen dan air melalui sebuah proses hidrasi. Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis (density) lebih ringan daripada beton pada umumnya. Beton normal pada umumnya memiliki berat jenis sekitar 2200 kg/m<sup>3</sup> dan dikategorikan sebagai beton ringan jika berat jenisnya kurang dari 1900 kg/m<sup>3</sup>.

### Pengujian

#### 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 hitungan :

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

dengan :

f<sub>c</sub> = 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 Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah dan lentur beton dilaksanakan pada umur 28 hari. Alat yang digunakan adalah mesin Elle untuk pengujian kuat lentur dan mesin desak dengan kapasitas 2000 KN untuk pengujian kuat tarik belah.

Kuat tarik beton berkisar seperdelapan belas kuat tekannya pada umur masih muda dan berkisar seperduapuluh pada umur sesudahnya. Nilai kuat tekan dan tarik bahan beton tidak berbanding lurus. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai bahwa nilai kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 5% - 10% dari kuat tekannya. Nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan 0.50 - 0.60 kali  $\sqrt{f_c}$ , sehingga untuk beton ringan digunakan nilai  $0,57 \sqrt{f_c}$ .

Cara yang digunakan untuk mengukur kuat tarik beton adalah dengan pengujian kuat tarik belah sesuai SK SNI M-60-1990-03 (SNI 03-2492-1991). Spesimen yang digunakan adalah silinder dan ditekan oleh dua plat paralel pada arah diameternya.

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots(2)$$

dengan pengertian :

$f_{ct}$  = Kuat tarik-belah, dalam MPa

$P$  = beban uji maksimum (benda belah/hancur) dalam Newton (N) yang ditunjukkan mesin uji tekan

$L$  = panjang benda uji dalam mm

$D$  = diameter benda uji dalam mm

### Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau modulus young merupakan hubungan linier antara tegangan dan regangan untuk suatu batang yang mengalami tarik atau tekan. Semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi pada suatu tingkat pembebanan tertentu, atau dapat dikatakan material tersebut semakin kaku (*stiff*). Modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastis yang linier, diberikan oleh:

$$E = \sigma / \epsilon \quad \text{atau} \quad E = \tan \alpha \dots\dots\dots(3)$$

Dengan :

$\sigma$  = tegangan aksial searah sumbu benda uji

$\epsilon$  = regangan aksial

$\alpha$  = sudut yang dibentuk oleh daerah elastis kurva tegangan-regangan

$E$  = konstanta proporsionalitas yang dikenal dengan modulus elastisitas bahan tersebut.

Modulus elastisitas dapat juga dihitung berdasarkan nilai kuat tekan dan berat volume beton dengan menggunakan rumus empiris dari *ACI 318 M 1989* sebagai berikut:

$$E_c = W_c^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan:

$E_c$  = Modulus elastisitas beton (MPa)

$W_c$  = berat volume beton ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$f'_c$  = kuat tekan beton (MPa).

Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan rekomendasi ASTM C-459, yaitu Modulus Chord. Adapun modulus elastisitas chord ( $E_C$ ) dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris dari ASTM C-459 sebagai berikut:

Modulus elastisitas chord ( $E_C$ )

$$E_C = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \dots\dots\dots(5)$$

Dengan :

$S_2$  = tegangan sebesar  $0,4 f_c$

$S_1$  = tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar 0,0000531

$\epsilon_2$  = regangan longitudinal akibat tegangan  $S_2$

Dengan rumus menghitung regangan ( $\epsilon$ ) yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(6)$$

Dengan :

$\Delta L$  = penurunan arah longitudinal

$L$  = tinggi beton relatif (jarak antara dua strain gauge) (mm).

### METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Fakultas Teknik Universitas 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, kuat tarik belah dan modulus elastisitas. Pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas menggunakan silinder 15 cm x 30 cm berjumlah 3 buah per sampel, dengan variasi persentase serat bendrat 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% untuk kadar *Styrofoam* 20% terhadap berat beton dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan 3.2. Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari, dengan menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*) di Laboratorium, data yang digunakan yaitu analisis statistik menggunakan program *Microsoft Excel*.

Tabel 1. Jumlah dan Kode Benda Uji Kuat Tekan

No	Kadar Styrofoam	Kadar Serat Bendrat	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	20%	0 %	BS-0	3
2	20%	0,5 %	BS-0,5	3
3	20%	1 %	BS-1,5	3
4	20%	1,5 %	BS-1,5	3
5	20%	2 %	BS-2	3

Tabel 2. Jumlah dan Kode Benda Uji Kuat Tarik Belah

No	Kadar Styrofoam	Kadar Serat Bendrat	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	20%	0 %	BS-0	3
2	20%	0,5 %	BS-0,5	3
3	20%	1 %	BS-1,5	3
4	20%	1,5 %	BS-1,5	3
5	20%	2 %	BS-2	3

Tabel 3. Jumlah dan Kode Benda Uji Modulus Elastisitas

No	Kadar Styrofoam	Kadar Serat Bendrat	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	20%	0 %	BS-0	3
2	20%	0,5 %	BS-0,5	3
3	20%	1 %	BS-1,5	3
4	20%	1,5 %	BS-1,5	3
5	20%	2 %	BS-2	3

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Agregat

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	Kandungan zat organic	Kuning Muda	0 - 10%	Memenuhi syarat
2	Kandungan lumpur	3 %	Maks 5 %	Memenuhi syarat
3	<i>Bulk specific gravity</i>	2,4 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
4	<i>Bulk specific SSD</i>	2,53 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

Sumber : \*) SNI 03 – 1969 – 1990 dan SNI 03 – 2417 – 1991

Tabel 5. Hasil Pengujian Agregat Kasar

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

### Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan

NO	KADAR SERAT	KODE BENDA UJI	NO BENDA UJI	LUAS PERM. (mm <sup>2</sup> )	UJI TEKAN (kN)	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	17,55
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	18,12
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	18,68
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	17,93
5	2	SA 0 %	1	17662,50	290000	16,42
			2	17662,50	310000	17,55
			3	17662,50	320000	18,12
			Rerata		306667	17,36

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. Dari hasil penghitungan regresi pada grafik, kuat tekan maksimum pada beton ringan metode SNI kuat tekan maksimal terjadi pada kadar serat 0,944 % dengan nilai sebesar 18,443 MPa.

### Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

No	Kadar Serat (%)	Kode Benda Uji	No Benda Uji	Ls (mm)	D (mm)	Pmaks (N)	ft (MPa)
1	0	BS 0%	1	300	150	110000	1,56
			2	300	150	110000	1,56
			3	300	150	110000	1,56
			<b>Rerata</b>				<b>1,17</b>
2	0,50	BS 0,5%	1	300	150	130000	1,84
			2	300	150	120000	1,70
			3	300	150	130000	1,84
			<b>Rerata</b>				<b>1,34</b>
3	1,00	BS 1%	1	300	150	165000	2,34
			2	300	150	175000	2,48
			3	300	150	175000	2,48
			<b>Rerata</b>				<b>1,82</b>
4	1,50	BS 1,5%	1	300	150	125000	1,17
			2	300	150	123000	1,74
			3	300	150	125000	1,77
			<b>Rerata</b>				<b>1,32</b>
5	2,00	BS 2%	1	300	150	100000	1,42
			2	300	150	100000	1,42
			3	300	150	105000	1,49
			<b>Rerata</b>				<b>1,08</b>

Berdasarkan hasil penelitian didapat kuat tarik belah dengan kadar serat bendrat sebesar 0 %; 0,5 %; 1 %; 1,5% dan 2 % yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 1,17 MPa; 1,34 MPa; 1,82 MPa; 1,32 MPa dan 1,08 MPa. Kuat tarik belah maksimum adalah pada beton dengan kadar penambahan serat sebesar 1 %, dan styrofoam 20% menghasilkan kuat tarik belah sebesar 1,82 MPa dengan kenaikan 56,06 %.

### Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Tabel 8. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

No.	Kadar Serat (%)	Kode Benda Uji	Ec Hitungan (MPa)	Ec Rata-rata (MPa)
1	0,00	BS 0%	17059,49	16043,36
		BS 0%	15548,60	
		BS 0%	15521,99	
2	0,50	BS 0,5%	17030,93	17101,46
		BS 0,5%	17136,73	
		BS 0,5%	17136,73	
3	1,00	BS 1%	17020,60	17581,94
		BS 1%	17862,61	
		BS 1%	17862,61	
4	1,50	BS 1,5%	16974,80	16555,32
		BS 1,5%	17164,16	
		BS 1,5%	15527,00	
5	2,00	BS 2%	16090,54	16058,93
		BS 2%	15825,56	
		BS 2%	16260,68	

Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai modulus elastisitas dengan kadar serat bendrat sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2% yang diuji pada umur 28 hari adalah 16043,36 MPa; 17101,46 MPa; 17581,94 MPa; 16555,32 MPa dan

16058,93 MPa. Modulus elastisitas maksimum adalah pada beton dengan kadar penambahan serat bendrat sebesar 1 %, menghasilkan modulus elastisitas sebesar 17581,94 MPa atau terjadi kenaikan sebesar 9,59 %.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, analisis data dan pembahasan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Penambahan *Styrofoam* pada campuran beton membuat beton menjadi lebih ringan dengan berat kurang dari 1900 kg/m<sup>3</sup>, pada penambahan *Styrofoam* 20% sebesar 1849,405 kg/m<sup>3</sup> dan dapat digolongkan ke dalam beton ringan.
- Penambahan serat bendrat dapat mempengaruhi kekuatan beton dengan kadar optimum rata-rata 1%.
- Kuat tekan beton meningkat pada penambahan serat bendrat sebesar 1% sebesar 18,68 MPa, dan berdasarkan grafik regresi *polynomial* kadar optimum sebesar 0,94% mencapai 18,443 MPa.
- Kandungan serat pada kadar serat bendrat 1% dengan kuat tarik belah sebesar 1,82 MPa, dan optimum pada 0,96 % mencapai 1,60 MPa.
- Kandungan serat pada kadar serat bendrat 1 % dengan modulus elastisitas sebesar 17581,95 MPa dan optimum pada 2,92 % mencapai 17327,59 MPa.

## SARAN

Untuk memperdalam kajian dari penelitian yang sudah dilakukan, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan yang merupakan pengembangan tema maupun metodologi. Adapun saran-saran untuk penelitian selanjutnya antara lain :

- Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan komposisi campuran kadar *styrofoam* yang berbeda.
- Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan penambahan serat selain bendrat.
- Perlu dilakukan penelitian terhadap penambahan material lain yang dapat meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas.

## DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 1996. *Fiber Reinforced Concrete ACI Committee 544*, ACI International, Michigan.

Anonim. 2002. *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan SNI 03-3449-2002*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

Anonim. 1918. *Concrete and Material Agregates (including Manual of Agregates and Consrete Testing) ASTM C 33-74a*, ASTM, Philadelphia.

Anonim. 2001. *Fibre Reinforced Concrete*, Cement & Concrete Institute, Midrand.

Billmeyer, F.W. 1984, *Text Book of Polymer Science*, Third Edition, John Wiley and Sons, Inc, Singapore.

Dobrowolski, A. Dan Joseph. (1998), *Concrete Construction Hand Book*, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York.

Gere, J.M., Timoshenko, S.P. 1996. *Mekanika Bahan*, Erlangga. Jakarta.

I Ketut Sudarsana, Ni Made Tautarani. et al. 2008. *Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Penambahan Styrofoam*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, vol.12, No. 1. <http://ojs.Unud.ac.id/index.php/jits/issue/view/552> (Diakses pada tanggal 16 November 2015).

Iman Satyarno, et al. 2004. *Lightweight Styrofoam Concrete For lighter and more Ductile Wall*, [www.pdfone.com/.../lightweight-styrofoam-concrete-for-lighter-andmore-ductile-wall.pdf](http://www.pdfone.com/.../lightweight-styrofoam-concrete-for-lighter-andmore-ductile-wall.pdf).

Istimawan Dipohusodo. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia. Jakarta.

Mehta, P.K. 1986, *Structure, Properties and Material*, Prentice Hall, New Jersey.

Murdock, L.J dan K.M Brook (Terjemahan : Stephanus Hendarko). 1999. *Bahan dan Praktek Beton*, Erlangga. Jakarta.

Nugraha Paul, dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Penerbit C.V Andi Offset,

Yogyakarta.

Ravindrajah, S.R., C.T. Tam. 1984. *Flexural Strength of Steel Fibre Reinforced Concrete Beams*. National University of Singapore. Kent Ridge, Singapore.