

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BENDRAT DAN STYROFOAM PADA BETON RINGAN TERHADAP KUAT TEKAN, *MODULUS OF RUPTURE*, DAN KETAHANAN KEJUT (*IMPACT*)

Slamet Prayitno¹⁾, Sunarmasto²⁾, Aris Munandar³⁾

^{1),2)} Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

³⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln Ir. Sutami 36 A, Surakarta 57126

Email : arismunlah@gmail.com

Abstract

The development of modern civilization demand advancement, including building material sector. Research in building material has done by many experts. Material research is not only deciding in the material mixture composition appropriately, but also finding other alternatives such as addition of certain material and substitution of a component with other component to produce a lighter concrete. Lightweight concrete is one kind of concrete which has weight unit under 1900 kg/m³. Addition of Styrofoam in concrete mixture is to make the concrete lighter, then it can reduce structure load. The lighter concrete has very low strength for sure. Thus, it needs to improve the quality of concrete by adding fiber on fresh concrete, then wire fiber is chosen to be added, to re-use as addition material which has aim to increase the compressive strength of concrete. The purpose of this research is to find out the effect of adding wire fiber toward mechanical characteristics of concrete in the form of compressive strength, modulus of rupture and impact. The research done is a laboratory experimental research. The research used experiment object that was a cylinder with 15 cm diameter and 30 cm high to compressive strength test. A cylinder with 15cm diameter and 5 cm high to impact test, and a bar with 50 cm long, 10 cm wide, and 10 cm high to modulus of rupture test with each styrofoam addition level by 20% and wire fiber by 0%; 0.5%; 1%; 1.5%; and 2%. Testing process included material test, compressive strength test, impact and modulus of rupture test. The result of concrete testing was where the compressive strength value of lightweight concrete with addition of wire fiber and styrofoam in this research reached the highest percentage in wire fiber by 0.944% with compressive strength by 18.443MPa. Then, for modulus of rupture testing reached the highest percentage in wire fiber by 0.986% with modulus of rupture by 2.624 MPa. Impact percentage when first crack reached the highest percentage in wire fiber level by 1.27% by 2595.726 J. When it was totally collapsed, it reached the highest percentage in wire fiber level by 1% by 2890.026 J.

Key Words *Compressive strength, impact, and modulus of rupture, lightweight 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/m³. Penambahan *styrofoam* dalam campuran beton dimaksudkan supaya beton menjadi ringan, sehingga dapat mengurangi beban struktur. 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 of rupture* dan ketahanan kejut (*impact*). Penelitian dilakukan dengan eksperimen laboratorium. Penelitian ini menggunakan benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk uji kuat tekan, Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 5 cm untuk pengujian ketahanan kejut (*impact*), dan balok dengan ukuran panjang 50 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm untuk uji *modulus of rupture* 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, ketahanan kejut (*impact*) dan uji *modulus of rupture*. 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 of rupture* mencapai nilai tertinggi pada kadar serat bendrat 0,986% dengan *modulus of rupture* sebesar 2,624 MPa. Nilai ketahanan kejut (*impact*) saat retak pertama mencapai nilai tertinggi pada kadar serat bendrat 1,27% sebesar 2595,726 J. Saat runtuh total mencapai nilai tertinggi pada kadar serat bendrat 1% sebesar 2890,026 J

Kata Kunci kuat tekan, ketahanan kejut (*impact*), dan *modulus of rupture*, beton ringan, *styrofoam*, serat bendrat.

PENDAHULUAN

Beton ringan adalah salah satu jenis beton yang mempunyai berat satuan di bawah 1900 kg/m³. 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/m³ sampai 20 kg/m³, karena ringannya bahan *styrofoam* ini, maka beton yang dihasilkan juga akan sangat ringan.

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Tinjauan Pustaka

Menurut Murdock (1986), Beton ringan ialah berat volume beton ringan berkisar antara 1360 – 1840 kg/m³ dan berat volume 1900 kg/m³ dapat dianggap sebagai batas dari beton ringan yang sebenarnya, meskipun nilai ini kadang-kadang melebihi.

Styrofoam dikenal sebagai salah satu dari busa polystyrene yang dipadatkan dan biasa digunakan untuk membungkus barang elektronik. *Polystyrene* sendiri dihasilkan dari *styrene* (C₆H₅CH₉CH₂), 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

Kata beton dalam bahasa Indonesia berasal dari kata yang sama dalam bahasa Belanda. Kata *concrete* dalam bahasa Inggris berasal dari bahasa Latin *concretus* yang berarti tumbuh bersama atau menggabungkan menjadi satu. Dalam bahasa Jepang digunakan kata *kotau-za*, yang arti harafiahnya material-material seperti tulang, mungkin karena agregat mirip tulang-tulang hewan (Antoni dan Paul Nugraha, 2007)

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/m³ dan dikategorikan sebagai beton ringan jika berat jenisnya kurang dari 1900 kg/m³.

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 perhitungan :

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

dengan :

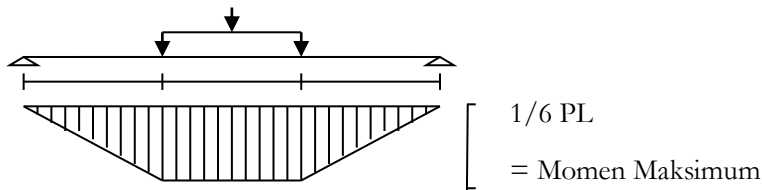
f_c = Kuat tekan beton pada umur 28 hari yang didapat dari benda uji (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Modulus Of Rupture

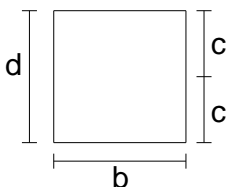
Modulus of Rupture merupakan kuat tarik maksimum yang secara teoritis dicapai pada serat bagian bawah dari sebuah balok uji (Neville, 1997). Nilai dari modulus of rupture bergantung pada dimensi dari balok uji dan susunan beban. Untuk memperoleh nilai modulus of rupture digunakan metode third point loading. Modulus of rupture diukur dengan menguji balok polos berpenampang bujur sangkar 10 x 10 x 50 cm³ dan di bebani di titik-titik sepertiga bentang hingga gagal. *modulus of rupture* mempunyai nilai yang lebih tinggi dibanding kuat belah.



Secara umum nilai modulus of rupture dapat dihitung dengan rumus:

$$MOR = \frac{M_{maks}}{S} \dots\dots\dots(2)$$

dengan $S = \frac{I}{c}$



$$MOR = \frac{P \times L}{b \times h^2} \dots\dots\dots(3)$$

- MOR = Modulus Of Rupture (MPa)
- Mmaks = Momen Maksimum (Nmm)
- S = Modulus Penampang (mm³)
- P = Beban maksimum pada balok benda uji (Newton)
- L = Panjang bentang (mm)
- b = Lebar balok benda uji (mm)
- h = Tinggi balok benda uji (mm)
- c = Setengah tinggi balok uji = 1/2 h (mm)

Kuat Kejut (*Impact*)

Menurut PCA (*Portland Cement Association*) ketahanan kejut didefinisikan sebagai energi total yang diperlukan untuk membuat benda uji retak dan patah menjadi beberapa bagian, yang diketahui dari jumlah pukulan suatu massa yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu. Energi potensial massa terhadap elevasi benda uji sama dengan m.g.h. Energi potensial ini akan dikonversikan menjadi energi kinetik.

$$\frac{Mv^2}{2} \text{ dengan } v = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots(4)$$

Prinsip konversi energi menyatakan bahwa energi potensial yang hilang pada saat jatuhnya massa sama dengan energi regangan yang timbul pada batang ($E_p = E_r$). Analogi dengan teori di atas, maka rumus yang digunakan sebagai pendekatan hitungan energi serapan adalah:

$$E_{maks} = 2 E_p = 2nmgh \dots\dots\dots(5)$$

- E_{maks} = energi serapan (joule)
- m = massa beban yang dijatuhkan (kg)
- g = gravitasi (m/detik²)
- h = tinggi jatuh (m)
- n = jumlah pukulan

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 kejut, kuat tekan, dan *modulus of rupture*. Pengujian kuat tekan menggunakan silinder 15 cm x 30 cm, modulus of rupture menggunakan balok ukuran 10 cm x 10 cm x 50 cm, dan pengujian ketahanan kejut (*impact*) menggunakan silinder 15 cm x 5 cm dengan variasi penambahan persentase serat bendrat 0%; 0,5%; 1%; 1,5% dan 2% dan penambahan Styrofoam 20%, dapat dilihat pada tabel 3.1, 3.2, dan 3.3. Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari, dengan menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*), alat uji kejut (*Impact Testing Machine*) di Laboratorium, data yang digunakan yaitu analisis statistic menggunakan program Microsoft Excel 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 *Modulus Of Rupture*

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 *Impact*

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 ³	-	-
4	<i>Bulk specific SSD</i>	2,53 gr/cm ³	2,5-2,7	Memenuhi syarat
5	<i>Apparent specific gravity</i>	2,57 gr/cm ³	-	-
6	<i>Absorbtion</i>	0,4 %	-	-
7	Modulus Halus	2,42	2,3-3,1	Memenuhi syarat

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 ²)	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 *Modulus Of Rupture*

Tabel 7. Hasil Pengujian MOR

No	Kadar Serat bendrat (%)	Kadar <i>styrofoam</i> (%)	Kode Benda uji	Beban Maksimum (kgf/cm ²)	Beban Maksimum (kN)	MOR (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	0%	20%	BB 0%	65	8209,03	2,46	2,34
				55	6946,10	2,08	
2	0,5%	20%	BB 0,5%	65	8209,03	2,46	2,46
				65	8209,03	2,46	
				65	8209,03	2,46	
				65	8209,03	2,46	
3	1%	20%	BB 1%	75	9471,96	2,84	2,65
				70	8840,50	2,65	
				65	8209,03	2,46	
4	1,5%	20%	BB 1,5%	65	8209,03	2,46	2,59
				70	8840,50	2,65	
				70	8840,50	2,65	
5	2%	20%	BB 2%	65	8209,03	2,46	2,27
				60	7577,57	2,27	
				55	6946,10	2,08	

Berdasarkan hasil penelitian didapat nilai modulus of rupture dengan kadar serat bendrat sebesar 0 %; 0,5%; 1 %; 1,5 %; dan 2% yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 2,34 MPa; 2,46 MPa; 2,65 MPa; 2,59 MPa; dan 2,27 MPa. Dari hasil penghitungan regresi pada grafik, kuat tekan maksimum pada beton ringan metode SNI kuat tekan maksimal terjadi pada kadar serat 0,986 % dengan nilai sebesar 2,624 MPa.

Hasil Pengujian Kuat Kejut (*Impact*)

Tabel 8. Energi serapan saat benda mengalami retak pertama dan runtuh total

kadar serat bendrat	rata-rata jumlah pukulan retak pertama	energi	rata-rata jumlah pukulan runtuh total	energi
		J		J
0%	112,00	1977,696	128,67	2271,996
0,50%	127,67	2254,338	146,00	2578,068
1%	147,00	2595,726	163,67	2890,026
1,50%	136,33	2407,374	150,00	2648,7
2%	124,33	2195,478	137,00	2419,146

Tabel 9. Perubahan Nilai Energi Serapan Kuat Kejut (*Impact*) Saat Retak Pertama

Kode Benda Uji	Energi (J)	Selisih Energi (J)	Selisih Energi (%)
BS 0	1977,696	0	0,00
BS 0,5	2254,338	276,642	17,94
BS 1	2595,726	618,03	40,08
BS 1,5	2407,374	429,678	27,86
BS 2	2195,478	217,782	14,12

Tabel 10. Perubahan Nilai Energi Serapan Kuat Kejut (*Impact*) Saat Runtuh Total

Kode Benda Uji	Energi (J)	Selisih Energi (J)	Selisih Energi (%)
BS 0	2271,996	0	0,00
BS 0,5	2578,068	306,072	21,14
BS 1	2890,026	618,03	42,68
BS 1,5	2648,7	376,704	26,02
BS 2	2419,146	147,15	10,16

Dari hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan diperoleh energi serapan rata-rata saat benda mengalami retak pertama pada pengujian kuat kejut (*Impact*) adalah 1977,696 J pada benda uji dengan kadar serat 0%, dan jumlah energi serapan maksimal adalah sebesar 2595,726 J pada benda uji dengan kadar serat 1% dengan selisih energi maksimal sebesar 40,08 %. Jumlah energi serapan pada saat beton mengalami runtuh total sebesar 2271,996 J pada benda uji dengan kadar serat 0%, dan jumlah energi serapan maksimum adalah 2890,026 J pada benda uji dengan kadar serat 1%, dengan selisih energi maksimal sebesar 42,68 %.

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/m³, pada penambahan *Styrofoam* 20% sebesar 1849,405 kg/m³ 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 *modulus of rupture* sebesar 2,65 MPa, dan optimum pada 0,98 % mencapai 2,62 MPa.
- Kandungan serat pada kadar serat bendrat 1 % dengan energi serapan maksimal saat retak pertama sebesar 2595,726 J dan saat runtuh total sebesar 2890,026 J.

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 :

- a. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan komposisi campuran kadar *styrofoam* yang berbeda.
- b. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan penambahan serat selain bendrat.
- c. Perlu dilakukan penelitian terhadap penambahan material lain yang dapat meningkatkan kuat tekan, *modulus of rupture* dan ketahanan beban kejut (*impact*).
- d. Penelitian dengan menggunakan alat uji kuat kejut (*Impact Drop Weight*) dengan alat buatan perlu dilakukan dengan teliti dan konsisten, untuk mempertahankan ketinggian yang konstan. Karena ketinggian beban jatuh sangat berpengaruh terhadap jumlah pukulan dan energi serapan benda uji.

DAFTAR PUSTAKA

- Adib Rifa'i. 2011. *Kajian Ketahanan Kejut (Impact) dan Abrasi Beton Ringan Berserat Polythelene*, Program Sarjana UNS, Surakarta.
- 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-ligter-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. *Flextural Strength of Steel Fibre Reiforced Concrete Beams*. National University of Singapore. Kent Ridge, Singapore.
- Soroushian, P. Lee, and Bayasi,Z. 1987, " *Consept of Fiber Reinforced Concrete*", Michigan State University, Michigan.

Tjokrodimulyo, K. 1996. *Teknologi Beton*, Nafitri. Yogyakarta.

Wang, C.K. dan Charles G. Salmon. 1986, *Desain Beton Bertulang*.