

# PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BENDRAT TERHADAP KUAT TEKAN, PERMEABILITAS DAN PENETRASI PADA BETON RINGAN STYROFOAM

Slamet Prayitno <sup>1)</sup>, Sunarmasto <sup>2)</sup>, Ayu Setiyaningrum <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Fakultas Teknik, Program Studi teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2), 3)</sup> Pengajar Fakultas Teknik, Program Studi teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

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

Email: [ndoroayu2903@gmail.com](mailto:ndoroayu2903@gmail.com)

## Abstract

*Structural Lightweight Concrete is one of a structure that has specific gravity of (density) lighter than concrete in general. Lightweight Concrete commonly used in the current construction. Besides the price is more affordable, Lightweight Concrete can be used as a construction material safe towards earthquake. Lightweight Concrete weighing typically between 1400-1800 kg per cubic meters and strong complained bitterly >17.24 MPa. From previous research obtained the results that with the addition of Styrofoam on concrete mortar make a mixture of concrete have easy workmanship (workability) is high, more watertight as well as a heavy concrete lighter. This research used is the experimental methods are implemented in the laboratory using material. The test cylindrical 15 inches in diameter and high 30 cm for testing strong press, 7,5 centimeters x 15 inches for testing permeability and penetration. The percentage a fiber used is 0 %; 0.5 %; 1 %; 1.5 %; and 2 %. Testing used a ctm (compression testing machine). Calculations used is statistical analysis with regression linear on the elastic limit concrete on the microsoft excel. The result of this research is the enhancement of the compressive strength value, permeability, penetration and abrasion concrete have high quality after added Styrofoam 20 % and steel fibers variation. The results of the study of compressive strength value, light concrete reached value steady to adding steel fibers 1.12 % increased by 25,19 % , permeability to adding steel fibers 1.0 % increased by 20,24 % , penetration to adding steel fibers 4,22 % increased by 15,35 % rather than by the addition of the glass 0 %.*

**Keywords:** *Lightweight Concrete, Styrofoam, steel fiber, compressive strength, permeability, penetration.*

## Abstrak

Struktur beton ringan merupakan salah satu struktur yang memiliki berat jenis (density) lebih ringan daripada beton pada umumnya. Beton ringan banyak dimanfaatkan pada pembangunan saat ini. Selain harganya lebih terjangkau beton ringan dapat digunakan sebagai bahan bangunan aman terhadap gempa. Beton ringan biasanya memiliki berat jenis antara 1400-1800 kg/m<sup>3</sup> dan kuat tekannya > 17,24 MPa. Dari penelitian sebelumnya diperoleh hasil bahwa dengan penambahan Styrofoam pada beton membuat campuran adukan beton memiliki kemudahan pengerjaan (workability) yang tinggi, lebih kedap air serta berat jenis beton lebih ringan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium Bahan-UNS. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan, 7,5 cm x 15 cm untuk pengujian permeabilitas dan penetrasi. Persentase serat yang digunakan adalah 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2%. Pengujian menggunakan alat CTM (Compression Testing Machine). Hitungan yang digunakan adalah analisis statistik dengan regresi linear pada batas elastis beton menggunakan program Microsoft Excel. Hasil penelitian nilai kuat tekan beton ringan mencapai nilai optimum pada penambahan serat bendrat 1,12% mengalami kenaikan sebesar 25,19%, permeabilitas pada penambahan serat bendrat 1,0% mengalami kenaikan sebesar 20,24%, penetrasi pada penambahan serat bendrat 4,22% mengalami kenaikan sebesar 15,35% dibandingkan dengan penambahan serat bendrat 0%.

Kata kunci : Beton Ringan, Styrofoam, Serat Bendrat, Kuat Tekan, Permeabilitas, Penetrasi.

## PENDAHULUAN

Beton adalah material konstruksi yang banyak dipakai di Indonesia, jika dibandingkan dengan material lain seperti kayu dan baja. Hal ini bisa dimaklumi, karena bahan-bahan pembentuknya mudah dan banyak terdapat di Indonesia, cukup awet, mudah dibentuk dan harganya relatif terjangkau, akan tetapi dengan penggunaan struktur beton dikhawatirkan kerusakan saat terjadi gempa sangat tinggi karena beton sendiri memiliki berat jenis yang sangat tinggi. Di beberapa negara maju mulai dilakukan penelitian penggunaan bahan *styrofoam* yang ringan untuk membuat beton ringan. Beberapa persyaratan untuk beton ringan struktur yaitu mempunyai berat jenis antara 1400-1800 kg/m<sup>3</sup> dan kuat tekannya > 17,24 MPa. Dari penelitian sebelumnya diperoleh hasil bahwa dengan penambahan *styrofoam* pada beton membuat campuran adukan beton memiliki kemudahan pengerjaan (*workability*) yang tinggi, lebih kedap air serta berat jenis beton lebih ringan.

## Beton

Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture) tertentu dan dicampur merata dengan komposisi tertentu yang dapat dibentuk sesuai keinginan. Campuran tersebut bila dibiarkan akan mengalami pengerasan sebagai akibat reaksi kimia antara semen dan air yang akan bertambah keras sejalan dengan umurnya. (Istimawan Dipohusodo, 1994)

## Beton Ringan

Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis (*density*) lebih ringan daripada beton pada umumnya. Beton normal pada umumnya memiliki berat jenis sekitar 2300 kg/m<sup>3</sup> dan dikategorikan sebagai beton ringan jika berat jenisnya kurang dari 1900 kg/m<sup>3</sup>.

## Beton Serat

Beton serat didefinisikan sebagai suatu konstruksi yang tersusun dari bahan semen, agregat halus dan kasar serta sejumlah kecil serat. Prinsip penambahan serat adalah memberi tulangan pada beton yang disebar merata kedalam adukan beton secara acak untuk mencegah terjadinya retakan-retakan beton yang terlalu dini di daerah tarik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan (Soroushian dan Bayasi, 1987).

## Styrofoam

Styrofoam atau *foam polystyrene* 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/m<sup>3</sup>.

## Serat Bendrat

Beberapa macam serat dapat dipakai untuk memperbaiki sifat-sifat beton yang telah dilaporkan oleh ACI Committee 54 (1902) dan Soroushian & Bayasi (1987). Ananta Ariatama (2005) menunjukkan bahwa dengan penggunaan serat bendrat memiliki unit densitas yang lebih rendah dari pada serat baja.

## Beton Metode *Standart Nasional Indonesia (SNI)*

Metode Standart Nasional Indonesia (SNI) mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan kekuatan dan pekerja beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).

## Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan kemampuan dari beton untuk dapat menerima gaya tekan persatuan luas. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari beton yang diinginkan hasilnya sesuai dengan yang sudah direncanakan. Pengujian nilai kuat tekan benda uji silinder berpedoman pada standart ASTM C 39-86 'Standart Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens'.

$$f_c = \frac{P}{A}$$

dengan :

$f_c$  = Kuat tekan beton benda uji silinder (MPa)

P = Beban desak maksimum (N)

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

## Permeabilitas dan Penetrasi

Nilai penetrasi pada beton ditentukan oleh besarnya nilai permeabilitas beton. Permeabilitas adalah sifat dapat dilewati/dimasuki zat atau gas. Jadi permeabilitas adalah kemudahan cairan atau gas untuk melewati beton. Beton yang baik adalah yang relatif tidak bisa dilewati oleh zat/gas, atau dengan kata lain mempunyai permeabilitas yang rendah. Semakin baik mutu beton maka permeabilitasnya semakin rendah yang mana penetrasi dari unsur-unsur penyebab korosi juga semakin berkurang. Permeabilitas beton dapat diekspresikan sebagai koefisien permeabilitas (K), yang dievaluasi berdasarkan hukum Darcy sebagai berikut:

$$V = A^2 (h)$$

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{h}{l}$$

Dengan kombinasi dan integrasi persamaan di atas didapat:

$$k = \left( \frac{A^2 l}{A t} \right) \ln \left( \frac{h_o}{h_i} \right)$$

Keterangan:

V = Volume total yang diserap sampel (m<sup>3</sup>)

A<sup>2</sup> = Luas penampang pipa (m<sup>2</sup>)

h = Tinggi air dalam pipa (m)

Q = Kecepatan aliran air (m<sup>3</sup>/dt)

A = Luas penampang sampel (m)

- l = Ketebalan penetrasi air (m)  
 k = Koefisien permeabilitas air (m)  
 ho = Tinggi air mula-mula (m)  
 hi = Tinggi air akhir (m)  
 t = Waktu pengaliran (detik)

## METODE

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 metode *Standart Nasional Indonesia* (SNI). Setelah pengujian bahan yang dilakukan memenuhi standar persyaratan, maka dilanjutkan dengan membuat benda uji. Benda uji yang telah dibuat nantinya akan diuji terhadap kuat desak, permeabilitas penetrasi dan abrasi. Pengujian kuat tekan menggunakan silinder 15 cm x 30 cm, pengujian permeabilitas dan penetrasi menggunakan silinder 7,5 cm x 15 cm, pengujian abrasi menggunakan setengah bola beton dengan diameter 10 cm x 5 cm, dengan variasi persentase serat bendrat 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2% berjumlah 3 buah per persentase.

Tabel 1. Jumlah dan Kode Benda Uji Kuat Tekan

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

Tabel 2. Jumlah dan Kode Benda Uji Permeabilitas dan Penetrasi

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

Pengujian dilakukan setelah beton mencapai umur 28 hari dengan menggunakan alat uji tekan, permeabilitas, penetrasi, dan abrasi yang ada di laboratorium. Data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisa menggunakan analisis regresi pada program Microsoft Excel. Data hasil pengujian tersebut nantinya dapat diambil kesimpulan seberapa besar pengaruh penambahan styrofoam dan serat bendrat pada beton ringan terhadap kuat tekan, permeabilitas, penetrasi, dan abrasi beton ringan dengan metode *Standart Nasional Indonesia* (SNI).

## 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	2 %	Maks 5 %	Memenuhi syarat
3	<i>Bulk specific gravity</i>	2,44 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
4	<i>Bulk specific SSD</i>	2,54 gr/cm <sup>3</sup>	2,5-2,7	Memenuhi syarat
5	<i>Apparent specific gravity</i>	2,71 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
6	<i>Absorbtion</i>	4,17%	-	-
7	Modulus Halus	2,42	2,3-3,1	Memenuhi syarat

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

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	Modulus Halus Butir	7,80	5 - 8	Memenuhi syarat
2	Bulk Specific Gravity	2,38	-	-
3	Bulk Specific Gravity SSD	2,53	-	-
4	Apparent Specific Gravity	2,78	-	-
5	Absorbtion	6,03%	-	-
6	Abrasi	44,32 %	50 %	Memenuhi syarat

### Hasil Perhitungan Rancang Campur Adukan Beton Metode *Standart Nasional Indonesia* (SNI)

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

- a. Pasir = 534,474 kg
- b. Agregat Kasar = 631,863 kg
- c. Semen = 455,775 kg
- d. Air = 227,888 liter

Kebutuhan bahan untuk tiap benda uji silinder yaitu :

- a. Pasir = 2,101 kg
- b. Agregat Kasar = 4,049 kg
- c. Semen = 2,594 kg
- d. Air = 0,009 kg
- e. Kawat Galvanis 1% = 1,223 gram

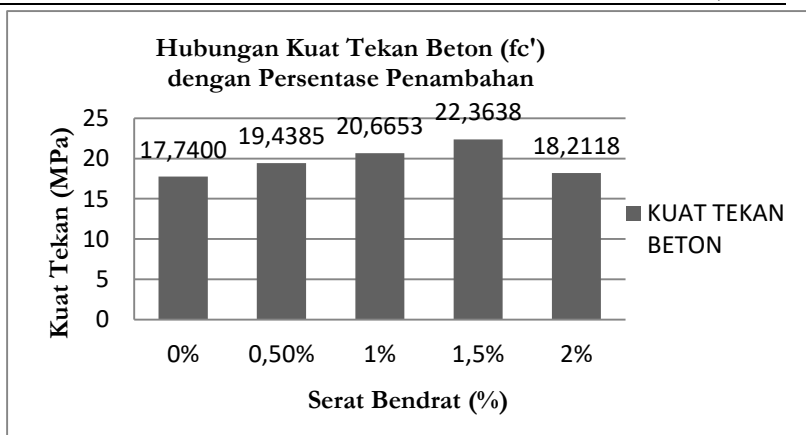
Kebutuhan bahan untuk tiap benda uji balok yaitu :

- a. Pasir = 3,805 kg
- b. Agregat Kasar = 7,333 kg
- c. Semen = 4,698 kg
- d. Air = 0,016 kg
- e. Kawat Galvanis 1% = 2,215 gram

### Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan

No	Kadar Serat Bendrat	Kode Benda Uji	No Benda Uji	A (mm <sup>2</sup> )	Pmaks (kN)	f'c (MPa)
1	0%	BS 0%	1	17662,50	350000	19,82
			2	17662,50	270000	15,29
			3	17662,50	320000	18,12
			Rerata		<b>940000</b>	<b>17,74</b>
2	0,5 %	BS 0,5%	1	17662,50	340000	19,25
			2	17662,50	340000	19,25
			3	17662,50	350000	19,82
			Rerata		<b>1030000</b>	<b>19,44</b>
3	1 %	BS 1%	1	17662,50	360000	20,38
			2	17662,50	375000	21,23
			3	17662,50	360000	20,38
			Rerata		<b>1095000</b>	<b>20,66</b>
4	1,5 %	BS 1,5%	1	17662,50	425000	24,06
			2	17662,50	370000	20,95
			3	17662,50	390000	22,08
			Rerata		<b>1185000</b>	<b>22,36</b>
5	2 %	BS 2%	1	17662,50	315000	17,83
			2	17662,50	320000	18,12
			3	17662,50	330000	18,68
			Rerata		<b>965000</b>	<b>18,21</b>



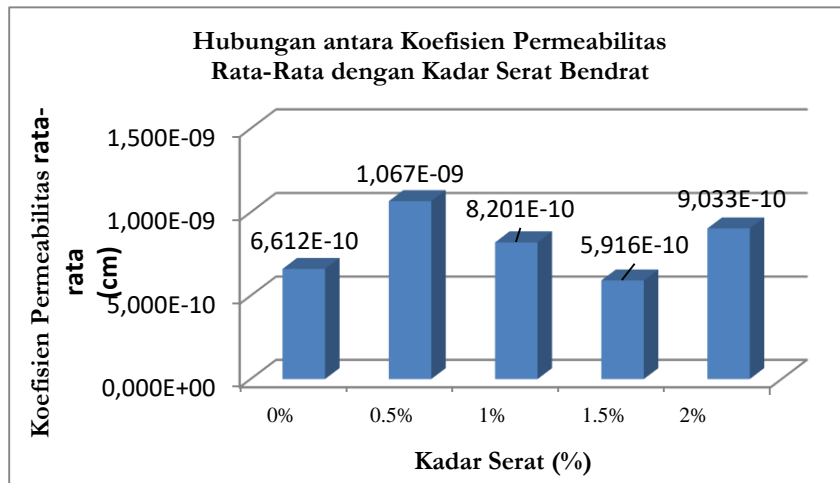
Gambar 1. Diagram Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Persentase Serat Bendrat

Berdasarkan hasil penelitian dan hitungan, didapat kuat tekan dengan variasi persentase serat bendrat sebesar 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2% yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 17,74 MPa; 19,44 MPa; 20,66 MPa; 22,36 MPa; dan 18,21 MPa. Kuat tekan maksimum yang terjadi pada penelitian ini yaitu dengan persentase serat bendrat 1,5% dan menghasilkan kuat tekan sebesar 22,36 MPa. Terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 2,92% dibandingkan dengan beton ringan metode SNI tanpa campuran styrofoam dan serat bendrat. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, persentase serat bendrat optimum terjadi pada  $x = 0,0112$  atau dalam persen adalah 1,12% dengan nilai kuat tekan sebesar 21,339 MPa.

## Hasil Pengujian Permeabilitas

Tabel 6. Hasil Perhitungan Permeabilitas

Persen Serat Bendrat (%)	Kode Benda Uji	Kedalaman Penetrasi (m)	ho (m)	hi (m)	t (dt)	D' (m)	A' (m)	D (m)	A (m)	Koefisien Permeabilitas (m/detik)	Koefisien Permeabilitas Rata-rata (m/dt)
0	BS-0	0.019	0,7	0.69	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	6.612E-10	6.612E-10
		0.023	0,7	0.69	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	8.004E-10	
		0.015	0,7	0.69	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	5.220E-10	
0,5	BS-0,5	0.0182	0,7	0.68	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	1.276E-09	1.067E-09
		0.020	0,7	0.68	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	1.402E-09	
		0.015	0,7	0.69	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	5.220E-10	
1	BS-1	0.017	0,7	0.685	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	8.906E-10	8.201E-10
		0.02	0,7	0.685	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	1.048E-09	
		0.015	0,7	0.69	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	5.220E-10	
1,5	BS-1,5	0.026	0,7	0.69	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	9.048E-10	5.916E-10
		0.01	0,7	0.69	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	3.480E-10	
		0.015	0,7	0.69	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	5.220E-10	
2	BS-2	0.015	0,7	0.685	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	7.858E-10	9.033E-10
		0.015	0,7	0.69	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	5.220E-10	
		0.02	0,7	0.68	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,00442	1.402E-09	

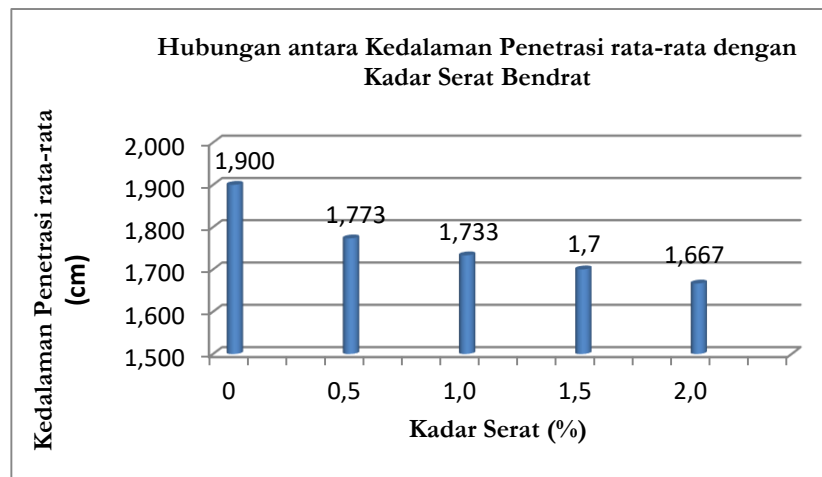


Gambar 2. Diagram Hubungan antara Koefisien Permeabilitas Rata-Rata dengan Persentase Serat Bendrat Hasil Uji Laboratorium

## Hasil Pengujian Permeabilitas

Tabel 7. Hasil Perhitungan Penetrasi

Persentase Serat Bendrat (%)	Kode Benda Uji	Air Dalam Selang		Penurunan Setelah 1 Jam (cm)	Kedalaman Penetrasi (cm)	Kedalaman Penetrasi Rata-Rata (cm)
		awal (cm)	akhir (cm)			
0	BS-0	70	69.00	1,00	1.90	1.90
		70	69.00	1,00	2.30	
		70	69.00	1,00	1.50	
0,5	BS-0,5	70	68.00	2,00	1.82	1.77
		70	68.00	2,00	2.00	
		70	69.00	2,00	1.50	
1	BS-1	70	68.50	1,50	1.70	1.73
		70	68.50	1,50	2.00	
		70	69.00	1,00	1.50	
1,5	BS-1,5	70	69.00	1,00	2.60	1.70
		70	69.00	1,00	1.00	
		70	69.00	1,00	1.50	
2	BS-2	70	68.50	1,50	1.50	1.67
		70	69.00	1,00	1.50	
		70	68.00	2,00	2.00	



Gambar 3. Diagram Hubungan antara Kedalaman Penetrasi Rata-Rata dengan Persentase Serat Hasil Uji Laboratorium

## SIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat ditarik beberapa simpulan yaitu :

a. Kuat Tekan

Berdasarkan hasil penelitian didapat kuat tekan maksimum pada beton ringan metode *Standart Nasional Indonesia* diperoleh peningkatan kuat tekan secara berturut-turut sebesar 17,74; 19,44; 20,76; 22,36; dan 18,21 dari kuat tekan beton tanpa campuran. Kadar optimum penambahan styrofoam dan serat bendrat ditinjau dari kuat tekannya adalah pada kadar 1,12% berdasarkan grafik fungsi polinomial dengan nilai kuat tekan sebesar 21,339 MPa.

b. Permeabilitas

Berdasarkan penelitian didapat hasil koefisien permeabilitas sebesar  $6,61 \times 10^{-10}$  m/detik;  $1,07 \times 10^{-9}$  m/detik;  $8,20 \times 10^{-10}$  m/detik;  $5,92 \times 10^{-10}$  m/detik; dan  $9,03 \times 10^{-10}$  m/detik. Tetapi dalam penelitian ini semua sampel tidak memenuhi standar ACI 301-729 (maksimum  $1,5 \times 10^{-11}$  m/det).

c. Penetrasi

Berdasarkan hasil penelitian didapat koefisien penetrasi yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut berturut-turut adalah 1,90cm; 1,773cm; 1,733cm; 1,700cm; dan 1,667cm. Dari hasil perhitungan fungsi polinomial pada grafik, kedalaman penetrasi maksimum pada beton ringan metode *SNI* terjadi pada variasi serat bendrat 1,98 % dengan nilai sebesar 1,674 cm. Terjadi perubahan nilai penetrasi berturut-turut dari 0%; 1,59%; -1,59%; 0% dan 39,68%. Dalam penelitian ini semua sampel memenuhi standar SK SNI S-36-1990-03 yaitu dengan kedalaman penetrasi  $\leq 30$  mm untuk syarat agresif sedang dan  $\leq 50$  mm untuk syarat agresif kuat).

## UCAPAN TERIMAKASIH

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

## REFERENSI

- Ida Bagus Dharma Giri.2008. *Kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan penambahan Styrofoam*, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar
- SNI 03-3449. 2002. *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum
- Dipohusodo, I. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia
- Gere, J.M., Timoshenko, S.P., 1996. *Mekanika Bahan*, Jakarta: Erlangga.
- Djaja Mungok, Chrisna, 1993, *Studi Perencanaan Campuran Beton Mutu Tinggi dengan Metode Dreux Laporan Penelitian*, Program Teknik Sipil Struktur Fakultas Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Eka mahardeka W. 2007. *Kajian permeabilitas dan penetrasi beton ringan alwa metakaolin berserat bendrat*. Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Irda Kusuma.2010.*Beton ringan dengan bahan tambah serat plastik dan serat nylon sebagai lapis perkuatan beton bertulang dengan fip plate*. Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Murdock, L.J dan K.M Brook (Terjemahan : Stephanus Hendarko). 1999. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga
- Muhaammad Rosyid.R. 2011. *Kajian serapan dan penetrasi beton ringan metakaolin berserat alluminium pasca bakar*. Program S1 Teknik Sipil. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Kardiyono *Tjokrodinuljo*. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil FT. UGM.