

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BENDRAT PADA BETON RINGAN DENGAN TEKNOLOGI FOAM TERHADAP KUAT LENTUR, TOUGHNESS, DAN STIFFNESS

Purnawan Gunawan¹⁾, Slamet Prayitno²⁾, Hermansyah³⁾

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

³⁾ Mahasiswa, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta, Jln Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126 Telp: 0271-634524

Email : holicherman@gmail.com

Abstract

Lightweight concrete foam technology is obtained by mixing the mortar of concrete with foam agent (liquid foam). The addition of foam agent aims to reduce the weight of concrete. Lightweight concrete foam technology flexural strength, toughness and stiffness lower than normal concrete. The solution by adding fiber wire. How big is the effect if coupled with a fiber content of 0%; 0.25%; 0.5; and 1%. The method used to take 3 samples of some percentage. Flexural strength values with fiber wire content of 0% , 0,25 % , 0,5 % and 1 % were tested at 28 days in a row is 104,284 t/m², 149,216 t/m², 151,312 t/m² and 161,251 t/m², the maximum value of flexural strength with fiber content of 161,251 t/m² 1 % or an increase of 54,627 %. Respectively toughness value 634 Nmm, 837,667 Nmm, 840 Nmm, and 1052,333 Nmm, the maximum value toughness with fiber content of 1% by 1052,333 Nmm or an increase of 65,983 %. Stiffness values respectively 5001,647 N/mm, 7660,024 N/mm, 7995,570 N/mm and 8087,582 N/mm. the maximum value of stiffness with the fiber content of 1% by 8087,582 N/mm or an increase of 61,698 %.

Keywords: *Lightweight Concrete, Foam agent, Wire Fibers, Flexural strength, Toughness, Stiffness.*

Abstrak

Beton ringan dengan teknologi foam diperoleh dengan cara mencampurkan mortar beton dengan foam agent (cairan busa). Penambahan foam agent bertujuan untuk mengurangi berat jenis. Beton ringan dengan teknologi foam kuat lentur, toughness dan stiffness lebih rendah daripada beton normal. Solusinya dengan cara menambahkan serat bendrat. Seberapa besar pengaruhnya jika ditambah serat dengan kadar 0%; 0,25%; 0,5; dan 1% . Metode yang digunakan dengan mengambil 3 sampel dari beberapa persentase. Nilai kuat lentur dengan serat bendrat sebesar 0%; 0,25%; 0,5; dan 1% yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 104,284 t/m²; 149,216 t/m²; 151,312 t/m²; dan 161,251 t/m², nilai maksimal kuat lentur dengan serat 1% sebesar 54,627 %. Nilai toughness berturut-turut 634 Nmm, 837,667 Nmm, 840 Nmm, dan 1052,333 Nmm, nilai toughness maksimal dengan serat 1% sebesar 65,983 %. Nilai stiffness berturut-turut 5001,647 N/mm, 7660,024 N/mm, 7995,570 N/mm dan 8087,582 N/mm, nilai stiffness maksimal dengan serat 1% sebesar 61,698 %.

Kata Kunci: *Beton ringan, Foam agent, Serat bendrat, Kuat lentur, Toughness, Stiffness.*

PENDAHULUAN

Bidang konstruksi di Indonesia jika dilihat sekarang bahwa pertumbuhan /perkembangannya cukup pesat karena seiring dengan kebutuhan akan bangunan meningkat. Sebagian besar material yang digunakan untuk pekerjaan konstruksi adalah beton (concrete). Beton memiliki kelebihan mampu menahan beban yang tinggi, dapat dibentuk sesuai dengan keinginan, tahan terhadap cuaca maupun temperatur dan biaya pemeliharaan yang relative mudah dan murah. Adapun beton juga mempunyai kelemahan salah satunya yaitu pada berat sendiri.

Dalam mengatasi berat struktur beton yang cukup berat, cara yang mudah dilakukan yaitu membuat beton dengan agregat yang mempunyai berat jenis rendah atau ringan. Beton ini disebut beton ringan yang pada umumnya berat jenis beton normal adalah sekitar 2400 kg/m³ sedangkan berat jenis beton ringan lebih rendah dari beton normal sekitar 400-1800 kg/m³ (Tjokrodimuljo, 1996).

Kelebihan dari beton ringan itu selain dari sendiri yaitu berat sendiri yang lebih ringan dari beton normal. Kelemahan dari beton ringan adalah kuat tarik yang lemah dan sifatnya yang kurang getas. Untuk solusinya beton dicampurkan dengan serat. Serat yang dipilih adalah Serat bendrat mempunyai sifat yang sangat elastis dan liat. Penambahan serat dalam beton akan membentuk suatu komposit antara beton dengan serat dan untuk menahan retak-retak rambut yang diakibatkan oleh gaya tarik.

Beton Ringan

Beton ringan merupakan beton dengan berat jenis beton ringan antara 300-1200 kg/m³. Untuk sifat-sifat yang lain tidak menghantarkan panas, tahan api, mudah dikerjakan, awet, dan harga murah. (M.L. Gambhir, 1986).

Beton Serat

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

Beton Foam

Beton foam adalah campuran antara semen, air, agregat dengan bahan tambah (*admixture*) tertentu yaitu dengan membuat gelembung-gelembung udara dalam adukan semen sehingga didalam betonnya terjadi banyak pori-pori udara (Husin dan Setiaji, 2008)

Material Pembentuk Beton

Semen *Portland*

Semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat dan juga mengisi rongga-rongga diantara butiran-butiran agregat. Salah satu jenis semen yang biasa dipakai dalam pembuatan beton ialah semen portland (Ijokrodumuljo 1996).

Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai pengisi campuran beton. Agregat menempati sebanyak 60% - 80% dari volume beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat beton. Bentuk, tekstur, serta gradasi agregatnya dapat mempengaruhi sifat kelecakan, pengikatan dan pengerasan beton segar, sedangkan sifat fisik, kimia, dan mineral dapat mempengaruhi kekuatan, kekerasan dan ketahanan dari beton, sehingga agregat merupakan bagian terpenting di dalam campuran beton sehingga penting pula didalam pemilihan dan penggunaannya. Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam dengan ukuran kecil (0,15 mm - 5 mm) (Murdock & Brook, 1979).

Air

Air merupakan salah satu bahan dasar pembuat dan perawatan beton. Air diperlukan untuk bereaksi kimia dengan semen yang mengakibatkan pengikatan dan pengerasan beton, untuk melumasi antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang memenuhi syarat sebagai air minum, memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton (SNI 03-2847-2002).

Foam Agent

Foam agent adalah suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana penggunaannya dengan melarutkannya kedalam air. Surfaktan merupakan molekul yang memiliki gugus polar yang bersifat hidrofilik dan gugus non polar yang bersifat lipofilik sekaligus, sehingga dapat mempersatukan campuran yang terdiri dari minyak dan air, dan juga zat yang cenderung terkonsentrasi pada antar muka dan mengaktifkan antar muka tersebut dengan menghasilkan gelembung-gelembung yang bermunculan di dalam beton, sehingga terjadilah banyak pori-pori udara di dalam betonnya sehingga beton menjadi ringan karena berpori udara. Dalam penelitian foam agent menggunakan bahan yang digunakan adalah *Spectafoam*, HDM, *Polimer* (Husin dan Setiaji, 2008).

Serat Bendrat

Dewasa ini jenis serat yang paling populer dipakai di luar negeri adalah serat baja (steel fiber), yang memiliki tebal 1 mm dan panjang 19 mm (ACI Committee 544, 1996). Bendrat memiliki berat jenis sebesar 6680 kg/m³ kuat tarik sebesar 38,5 MPa dengan perpanjangan saat putus sebesar 5,5% (Wikipedia, 2012).

Pengujian Beton Serat

Kuat Lentur

Kuat Lentur adalah besarnya nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk balok yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar di atas permukaan meja penekan mesin uji lentur atau juga didefinisikan sebagai hasil bagi antara momen lentur terhadap momen inersia balok beton. Pengujian kuat lentur beton ringan pada penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk balok dengan ukuran 10 x 10 x 55 cm dengan jumlah 3 benda uji tiap satu jenis sampel. Jumlah sampel tersebut dipakai berdasarkan peraturan SNI 03-2823-1992 (2.1), dimana jumlah benda uji yang dipakai minimal 3 buah. Untuk membutuhkan kemampuan balok beton dalam menahan beban maka balok beton perlu diuji kuat lentur. Kuat lentur dapat dihitung dengan Gambar 1 dan Persamaan (1) dan (2).

P (N) dengan lendutan (mm) untuk menghasilkan nilai *stiffness* dengan adanya rumus perhitungan pembagian antara beban P dengan lendutan.

METODE

Metode dalam penelitian ini yang digunakan adalah metode eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret. Pembuatan benda uji sesuai tahapan hingga benda uji mengeras dan siap ke tahapan selanjutnya. Benda uji akan diuji dengan uji kuat lentur. Pengujian kuat lentur menggunakan balok berukuran 10 x 10 x 55 cm dengan variasi persentase serat 0%; 0,25%; 0,5%; dan 1%. berjumlah 3 buah per sample.

Tahapan dan Prosedur Penelitian

Tahapan-tahapan dalam penelitian ini meliputi :

Tahapan I :

Disebut tahapan persiapan. Pada tahapan ini disiapkan bahan dan alat yang dibutuhkan.

Tahapan II :

Disebut tahapan uji bahan. Pada tahapan ini dilakukan uji agregat halus agar mengetahui sifat bahan tersebut.

Tahapan III :

Disebut tahapan pembuatan benda uji. Pada tahapan ini dilakukan pekerjaan sebagai berikut :

- Perhitungan rencana campuran adukan beton ringan.
- Pembuatan adukan beton ringan.
- Pembuatan benda uji.

Tahapan IV :

Disebut tahapan uji perawatan (*Curing*). Pada tahapan ini dilakukan perawatan terhadap benda uji yang telah dibuat pada tahap III. Perawatan beton umur 28 hari dilakukan dengan cara membasahi menggunakan karung goni dan disiram dengan air benda uji tersebut secara rutin pada hari kedua selama 14 hari, kemudian beton ringan diangin-anginkan selama 14 hari atau sampai benda uji berumur 28 hari.

Tahapan V :

Disebut tahapan pengujian. Pada tahapan ini dilakukan pengujian kuat lentur. Pengujian kuat lentur dilakukan pada benda uji balok berukuran 10 x 10 x 55 cm setelah beton berumur 28 hari.

Tahapan VI :

Disebut tahapan analisis data. Pada tahap ini, data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisa untuk mendapatkan suatu kesimpulan hubungan antara variable-variabel yang diteliti dalam penelitian.

Tahapan VII :

Disebut tahapan pengambilan keputusan. Pada tahap ini, data yang telah dianalisis dibuat suatu kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat Halus

Hasil dari beberapa pengujian terhadap agregat halus. Untuk hasil yang telah dianalisis dan dibuat kesimpulan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. 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
Bulk specific gravity	2,52 gr/cm ³	-	-
Bulk spesific SSD	2,53 gr/cm ³	2,5 - 2,7	Memenuhi syarat
Apparent spesific gravity	2,56 gr/cm ³	-	-
Absorbtion	0,60%	-	-

Hasil Perhitungan Rancang Campuran Adukan Beton

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

- Agregat Halus = 1150 kg
- Semen = 575 kg
- Air Campuran Adukan = 201,25 liter
- Air Campuran Specta Foam = 12 liter
- Specta Foam* = 0,3 kg

- f. *Harder Mill (HDM)* = 1 kg
 g. *Polymer* = 1 kg

Hasil Pengujian dan Pembahasan Berat Jenis

Hasil pengujian berat jenis yang didapat dari beberapa benda uji yang diambil rerata untuk masing-masing presentase, untuk hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Berat Jenis Beton Ringan Foam Berserat Bendrat

No	Kadar Serat	Berat Jenis Rerata
1	0%	0,000020 N/mm ³
2	0,25%	0,000020 N/mm ³
3	0,5%	0,000019 N/mm ³
4	1%	0,000020 N/mm ³

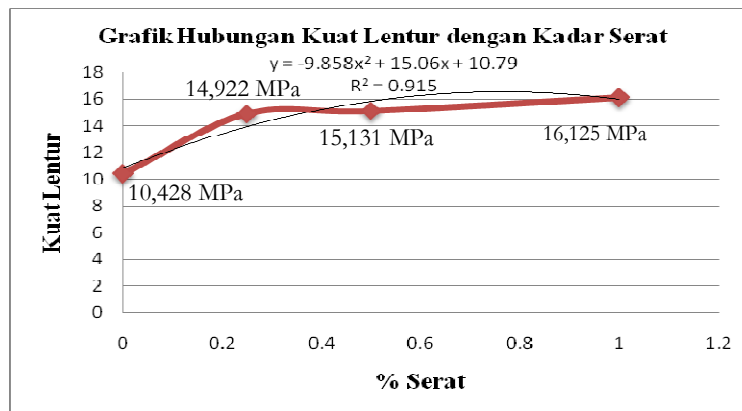
Pada Tabel 2. berdasarkan hasil pengujian diatas diperoleh berat jenis rata-rata 0,00001975 N/mm³. Dengan nilai sebesar 1975 kg/m³ masih termasuk beton ringan dimana berat jenis beton normal 2400 kg/m³.

Hasil Pengujian Kuat Lentur

Hasil pengujian kuat lentur terhadap masing-masing benda uji, untuk hasil hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kuat Lentur Beton

No.	Kode	Berat Jenis (N/mm ³)	Gaya (N)	Gaya rerata (N)	Mc (ton.m)	σ Lentur (t/m ²)
1			2250			
2	KL B-0	0,000020	2250	2250	173806,364	10,428
3			2250			
1			3500			
2	KL B-0,25	0,000020	3250	3250	248692,841	14,922
3			3000			
1			3250			
2	KL B-0,5	0,000019	3400	3300	252186,648	15,131
3			3250			
1			3500			
2	KL B-1	0,000020	3000	3520	268751,136	16,125
3			4050			



Gambar 3. Kurva Hubungan Kuat Lentur dengan Kadar Serat

Dari grafik dan tabel diatas dapat diketahui seberapa pengaruh variasi penambahan serat terhadap kuat lentur beton. Pada penambahan serat sebesar 0,25% terjadi peningkatan kat lentur sebesar 43,086%, pada penambahan serat sebesar 0,5% terjadi peningkatan kat lentur sebesar 45,096%, dan pada penambahan serat sebesar 1%

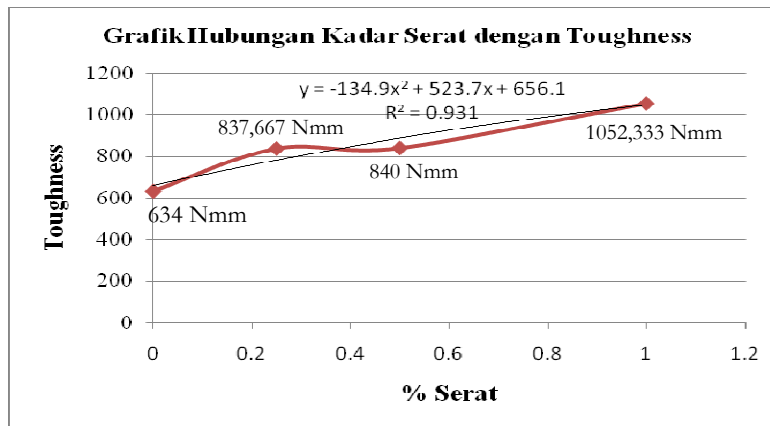
terjadi peningkatan kat lentur sebesar 54,627%. Penambahan serat 1% merupakan peningkatan yang paling optimum pada penelitian ini karena dapat menahan tegangan tarik lebih besar dibandingkan dengan kadar serat yang lainnya.

Hasil Nilai *Toughness*

Hasil nilai *toughness* dari masing-masing benda uji dan diambil rerata. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 4.

Tabel 4. Nilai *Toughness*

Sampel	Persamaan	Defleksi Max (mm)	<i>Toughness</i> (Nmm)	<i>Toughness</i> Rerata (Nmm)
KL B-0% 1	$y = -9165x^2 + 8977x + 45,13$	0,450	651	634
KL B-0% 2	$y = -8613x^2 + 8867x - 4,989$	0,460	656	
KL B-0% 3	$y = -7450x^2 + 8410x - 16,59$	0,440	595	
KL B-0,25% 1	$y = -4654x^2 + 10873x - 117$	0,420	794	837,667
KL B-0,25% 2	$y = -8749x^2 + 11667x - 5,581$	0,400	744	
KL B-0,25% 3	$y = -6196x^2 + 9237x + 27,73$	0,460	975	
KL B-0,5% 1	$y = -4652x^2 + 8442x + 43,82$	0,560	1075	804
KL B-0,5% 2	$y = -14129x^2 + 15276x + 28,78$	0,320	637	
KL B-0,5% 3	$y = -7359x^2 + 10924x - 15,40$	0,430	808	
KL B-1% 1	$y = -4158x^2 + 9079x + 6,101$	0,510	999	1052,333
KL B-1% 2	$y = -17545x^2 + 16505x - 27,35$	0,250	417	
KL B-1% 3	$y = -2671x^2 + 7760x - 88,47$	0,750	1741	



Gambar 4. Kurva Hubungan *Toughness* dengan Kadar Serat

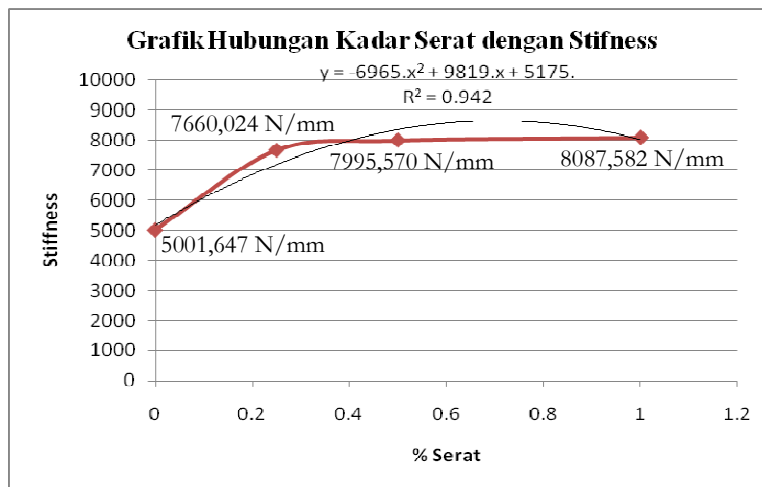
Nilai *Toughness* rata-rata pada beton ringan foam tanpa serat sebesar 634 Nmm, pada beton ringan foam berserat bendrat dengan persentase serat 0,25%; 0,5%; dan 1% sebesar 837,667 Nmm, 840 Nmm, dan 1052,333 Nmm. Pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai *Toughness* beton ringan berserat dapat mengalami perubahan sebesar 32,124%, 32,492%; dan 65,983%. Nilai *Toughness* terbesar terdapat pada beton ringan foam yang berserat 1 % dengan *Toughness* rata-rata 1052,333 Nmm.

Hasil Perhitungan *Stiffness*

Hasil nilai *stiffness* dari masing-masing benda uji dan diambil rerata. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 5.

Tabel 5. Perhitungan Nilai *Stiffness*

Sampel	P (N)	Lendutan (mm)	<i>Stiffness</i> (N/mm)	<i>Stiffness</i> Rerata (N/mm)
KL B-0% 1	2250	0,450	5000,000	
KL B-0% 2	2250	0,460	4891,304	5001,647
KL B-0% 3	2250	0,440	5113,636	
KL B-0,25% 1	3500	0,420	8333,333	
KL B-0,25% 2	3250	0,400	8125	7660,024
KL B-0,25% 3	3000	0,460	6521,739	
KL B-0,5% 1	3250	0,560	5803,571	
KL B-0,5% 2	3400	0,320	10625	7995,570
KL B-0,5% 3	3250	0,430	7558,140	
KL B-1% 1	3500	0,510	6862,745	
KL B-1% 2	3000	0,250	12000	8087,582
KL B-1% 3	4050	0,750	5400	

Gambar 5. Kurva Hubungan *Stiffness* dengan Kadar Serat

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan yang didapatkan dengan kadar serat bendrat sebesar 0%, 0,25%, 0,5%, 1% yang diuji pada umur 28 hari adalah 5001,647 N/mm; 7660,024 N/mm; 7995,570 N/mm dan 8087,582 N/mm. Nilai *Stiffness* maksimum adalah pada beton ringan foam dengan kadar penambahan serat sebesar 1%. Penambahan kadar serat sebesar 1% menghasilkan nilai *Stiffness* sebesar 61,698% dibandingkan dengan beton ringan foam tanpa serat. Besarnya nilai *Stiffness* akan sebanding dengan kuat lentur yang dihasilkan pada 1 % serat, semakin besar nilai kuat lenturnya maka nilai *Stiffness* akan besar pula. Sehingga penambahan serat dapat berfungsi dimana dapat diketahui pada penambahan serat sebesar 1 % mendapatkan hasil paling maksimum diantara penambahan serat lain.

SIMPULAN

Dari apa yang diperoleh selama penelitian, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut ini:

- Berat jenis dari hasil pengujian adalah 1900 kg/m^3 - 2000 kg/m^3 , masih termasuk beton ringan.
- Berdasarkan hasil penelitian didapat kuat lentur dengan kadar serat bendrat sebesar 0%; 0,25%; 0,5; dan 1% yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah $104,284 \text{ t/m}^2$; $149,216 \text{ t/m}^2$; $151,312 \text{ t/m}^2$; dan $161,251 \text{ t/m}^2$. Kuat lentur maksimum adalah pada beton ringan foam dengan kadar penambahan serat sebesar 1 %, menghasilkan kuat lentur sebesar $161,251 \text{ t/m}^2$ atau terjadi kenaikan kuat lentur sebesar 54,627 % dibandingkan dengan beton ringan foam tanpa serat.
- Berdasarkan pengujian nilai *Toughness* rata-rata pada beton ringan foam tanpa serat sebesar 634 Nmm, pada beton ringan foam berserat bendrat dengan persentase serat 0,25%; 0,5%; dan 1% sebesar 837,667

Nmm; 840 Nmm; dan 1052,333 Nmm. Pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai *Toughness* beton ringan berserat dapat mengalami perubahan sebesar 32,124 %, 32,492 %, dan 65,983 %. Nilai *Toughness* terbesar terdapat pada beton ringan foam yang berserat 1 % dengan *Toughness* rata-rata 1052,333 Nmm.

- d. Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan *Stiffness* yang didapatkan dengan kadar serat bendrat sebesar 0%, 0,25%, 0,5%, 1% yang diuji pada umur 28 hari adalah 5001,647 N/mm, 7660,024 N/mm, 7995,570 N/mm dan 8087,582 N/mm. Nilai *Stiffness* maksimum adalah pada beton ringan foam dengan kadar penambahan serat sebesar 1 %. Penambahan kadar serat sebesar 1 % menghasilkan nilai *Stiffness* sebesar 61,698 % dibandingkan dengan beton ringan foam tanpa serat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Purnawan Gunawan, ST, MT dan Ir. Slamet Prayitno, ST, yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- ACI Committee 544. 4R-88 1999. *Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete*. Michigan: ACI International Michigan.
- Anonim. 1982. *Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI)*. Jakarta.
- Gambhir, M.L. 1986. *Concrete Technology*. Tata McGraw Hill Publishing Company Limited. New Delhi.
- <http://Wikipedia.com> accessed 2012 “pengertian kawat bendrat”
- Husin, A dan Setiadji, R. 2008. *Pengaruh Penambahan Foam Agent Terhadap Kualitas Bata Beton*. Pusat Litbang Permukiman. Bandung.
- Murdock dan Brook (Terjemahan : Stephanus Hendarko). 1999. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Purwanto, E. 2011. *Studi Kuat Lentur Beton Ringan Berserat Kawat Galvanis* Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Lampung.
- Putra, S.A. 2013. “*Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Pada Beton Ringan Dengan Teknologi Foam Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik, dan Modulus Elastisitas*”, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Ridho, B dan Biyanto T. 2009. *Evaluasi Density Lightweight Foam Concrete Menggunakan Metoda Statistical Process Control (SPC)*. Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Surabaya. Surabaya.
- Soroushian, P. Lee, and Bayasi, Z. 1987, “*Concept of Fiber Reinforced Concrete*”, Michigan State University, Michigan.
- Subari dan Rachman, A. 2008. *Pembuatan Bata Beton Ringan Untuk Diterapkan Di IKM Bahan Bangunan*. Jurnal Bahan Galian Industri. Bandung.
- SNI 03-2823-1992. “Metode Pengujian Kuat Lentur Beton”.
- Tjokrodimulyo, K. 1996. *Teknologi Beton*, Nafitri. Yogyakarta.
- Wahyono, A. 1996. “*Pengaruh fiber bendrat terhadap kuat geser balok beton bertulang*”, Thesis”, Program Pasca Sarjana, UGM, Yogyakarta.
- Wibowo. 2006. “*Kapasitas lentur, Toughness dan Stiffness Balok Beton Berserat Polyethylene*” Universitas Sebelas Maret, Surakarta.