

Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Pada Beton Ringan Dengan Teknologi Gas Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas

¹⁾Purnawan Gunawan, ²⁾ Slamet Prayitno, ³⁾ Wahyu Aldoko

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

³⁾Mahasiswa Sarjana, Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret,

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

Email : wahyu_aldoko@yahoo.co.id

Abstract

Lightweight concrete made gas technology were made from mixed of concrete mortar with Aluminium paste. The solution to increased the compressive strength, tensile strength, modulus elasticity, is by added a fiber wire. percentage variation of fiber used were 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; and 2%. The data used is statistical analysis regression on the boundary elastic used microsoft excel program, and analyzed by concept of composite material that refers to a simple mixture rule. The average density of light weight gas fiber wire concrete was 1895 kg/m³. Maximum compressive strength with 0,5% fiber wire added about heavy concrete with the result was 16,048 MPa increase by 89,063% compared with 0% fiber wire. Maximum tensile strength with 0,5% fiber wire added about heavy concrete with the result was 2,370 MPa increase by 77,778% compared with 0% fiber wire. Maximum modulus of elasticity with 0,5% fiber Wire added about heavy concrete with the result was 11098 MPa, While the results calculated used simple mixture rule formula was 10644 MPa from 0,5% added Fiber Wire about heavy concrete with the result.

Keywords: Lightweight concrete, gas technology, compressive Strength, tensile Strength, and modulus of elasticity.

Abstrak

Beton ringan dengan teknologi gas diperoleh dengan cara mencampurkan mortar beton dengan aluminium pasta. Solusi untuk meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas, yang dimiliki beton ringan yaitu dengan menambahkan serat kawat bendrat. Presentase serat yang dilakukan adalah 0%; 0,5%; 1%; 1,5%, 2%. data yang digunakan yaitu analisis statistik dengan regresi pada batas elastis menggunakan program *Microsoft Excel* dan analisis dengan konsep material gabungan yang mengacu pada *simple mixture rule*. Berat jenis rata-rata beton ringan gas berserat adalah 1895 kg/m³. Kuat tekan maksimum dengan presentase 0,5% serat kawat bendrat terhadap berat beton dengan hasilnya sebesar 16,048 MPa meningkat sebesar 89,063 % di banding dengan 0% serat kawat bendrat. Kuat tarik belah maksimum dengan presentase 0,5% serat kawat bendrat terhadap berat beton dengan hasilnya sebesar 2,370 MPa, meningkat sebesar 77,778 % di banding dengan 0% serat kawat bendrat. Modulus elastisitas maksimum dengan presentase 0,5% serat kawat bendrat terhadap berat beton dengan hasilnya sebesar 11098 MPa, hasil perhitungan dengan rumus *simple mixture rule* presentase 0,5% serat kawat bendrat terhadap berat beton dengan hasilnya adalah 10644 MPa.

Kata kunci : Beton ringan, teknologi gas, kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas.

PENDAHULUAN

Pekerjaan struktur bangunan sipil sering dijumpai penggunaan bahan beton, penggunaan beton sebagai material struktur merupakan salah satu alternatif yang paling banyak digunakan, karena beton mempunyai beberapa kelebihan. Kelebihan beton diantaranya adalah memiliki kuat desak yang tinggi, kebutuhan beton ringan dalam berbagai aplikasi teknologi konstruksi modern meningkat dengan cepat, dikarenakan beton ringan ini memiliki berat jenis yang lebih ringan, sehingga dapat mengurangi beban mati struktural yang membuat dimensi dari elemen struktur sendiri lebih efisien.

Berat jenis beton normal yaitu lebih dari 2400 kg/m³, berat jenis beton ringan yaitu berkisar antara 400-1800 kg/m³, untuk mengurangi berat jenis beton atau membuat beton lebih ringan dibandingkan beton normal digunakan metode *gas concrete*. *Gas concrete* yaitu dengan memasukkan suatu reaksi kimia dalam bentuk gas/udara kedalam mortar basah, sehingga ketika bercampur menghasilkan gelembung-gelembung gas udara dalam jumlah yang banyak. (Kardiyono, 2007).

Penggunaan beton ringan pada dunia konstruksi antara lain diterapkan untuk dinding sebagai pengganti batu bata merah, dinding precetak, pelat lantai pracetak, dan lain-lain. Beton ringan menggunakan serat dan tidak menggunakan agregat kasarnya dan bahan tambahan yang digunakan adalah aluminium pasta. Aluminium pasta

ditambahkan sebagai campuran untuk adukan semen dan pasir, agar menghasilkan gas pada adukan dan nantinya menjadikan beton menjadi lebih ringan (Neville, 1993).

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

TINJAUAN PUSTAKA

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 kawat bendrat adalah beton ringan dengan teknologi gas yang terdiri dari campuran semen, air, agregat halus, *fly ash*, aluminium pasta, dan ditambahkan serat kawat bendrat.

MATERIAL PEMBENTUK BETON RINGAN

Penentuan bahan-bahan pembentuk beton yang memiliki kualitas baik, perhitungan proporsi yang 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 pembentuk beton diantaranya adalah semen, agregat, air dan bahan tambah (Kardiyono, 2007).

Semen Portland Pozzoland (PPC)

Semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat dan juga mengisi rongga-rongga diantara butiran-butiran agregat. Semen portland dengan gipsum dan bahan pozzolan, untuk bangunan umum dan bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang seperti jembatan, jalan raya, perumahan, dermaga, beton massa, bendungan, dan bangunan irigasi. Dalam penelitian ini digunakan semen merek gresik (Kardiyono, 2007).

Fly Ash

Penggunaan *fly ash* dalam pembuatan beton adalah meningkatkan keawetan beton, selain itu penggunaan *fly ash* memiliki keuntungan lingkungan yang sangat signifikan, yaitu, mengurangi produksi energi gas rumah kaca, mengurangi banyaknya *fly ash* yang harus dibuang ke lingkungan, dan menghemat sumber daya alam dan bahan lainnya (ACAA, 2003).

Agregat Halus

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini menempati sebanyak 60% - 80% dari volume mortar atau beton. Agregat halus berupa pasir dengan ukuran kecil (0,15 mm - 5 mm). Agregat halus harus memenuhi persyaratan gradasi agregat halus yang telah ditentukan. Pasir yang di gunakan dalam penelitian ini berasal dari kali woro klaten (Murdock, 1979).

Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan, untuk membasahi agregat dan untuk melumasi butiran agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan (PBI, 1971).

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 (Samekto, 2001).

Kawat Bendrat

Kawat bendrat yang biasa di pergunakan untuk mengikat antar tulangan besi struktur bangunan, berdiameter ± 1 mm berwarna hitam, dalam penelitian ini akan di gunakan panjang serat 20 mm, dengan kadar serat 0%, 0,5%, 1%, 1,5 dan 2% dari berat beton.

BETON RINGAN

Beton ringan adalah beton yang mempunyai berat jenis kurang dari 1800 Kg/m³. Beton yang mempunyai berat jenis rendah sering disebut dengan beton ringan. Pada penelitian ini akan dibuat beton ringan dengan

ditambahkannya zat pengembang berupa aluminium pasta dengan tujuan untuk membentuk pori-pori udara didalam beton. Menurut kegunaannya beton ringan dibagi menjadi tiga, klasifikasi beton ringan dapat di lihat pada Tabel 1 (Kardiyono,2007).

Tabel 1. Klasifikasi beton ringan.

Klasifikasi	Berat jenis (kg/m ³)	Kuat tekan (MPa)
Non struktural	240-800	0,35 - 7,0
Struktur ringan	800-1400	7,0 - 17,0
Struktural	800-1800	17- keatas

Kardiyono (2007)

Serat Dalam Beton

Standar mengenai penentuan ukuran serat diatur dalam *American Civil Institute (ACI)*. Penentuan panjang serat sesuai dengan ACI 544.4R-88.

$$L/d = 20/1 = 20 \quad (\text{ACI } 544.2R-82 : 12,7 < L/d < 63,5)$$

Dimana:

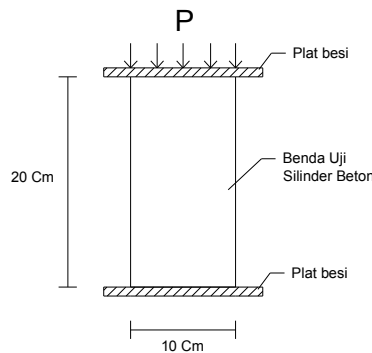
L = Panjang Serat

D = Diameter Serat

maka dalam penelitian ini serat dengan diameter 1mm dan panjang 20 mm dapat digunakan.

Pengujian Kuat Tekan

Mutu beton selalu dikaitkan dengan kemampuannya dalam memikul beban tekan (atau istilahnya kuat tekan). Dalam penelitian ini menggunakan alat satu set *loading frame*, digunakan benda uji silinder diameter 10 cm dengan tinggi 20 cm sebanyak 3 buah benda uji tiap kadar campuran seratnya. Skema pengujian kuat tekan dapat di lihat pada Gambar 1 (Tri mulyono,2003).



Gambar 1. Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas.

Kuat tekan dapat di hitung berdasarkan persamaan 1.

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

Dengan :

f_c = Kuat Tekan benda uji (N/mm)

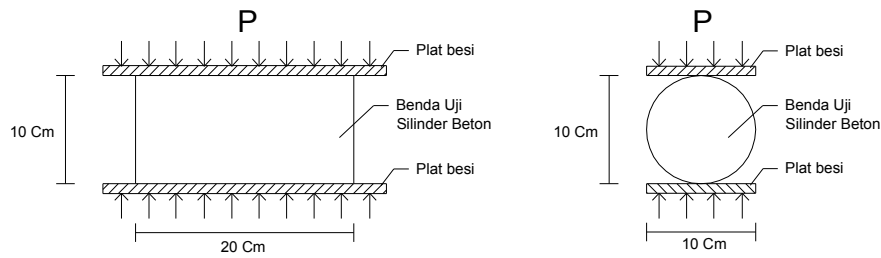
P =Beban yang diberikan (Ton)

A= Luas tampang melintang (mm²)

(Tri, 2003)

Pengujian Kuat Tarik Belah

Gaya P bekerja padasisi atas silinder sepanjang L dan gaya p disebarakan seluas selimut silinder ($\pi \cdot D \cdot L$). Secara berangsur-angsur pembebanan dinaikkan sehingga tercapai nilai maksimum dan silinder pecah terbelah oleh gaya tarik horizontal. Dalam penelitian ini menggunakan alat *Universal Testing Machine*. digunakan benda uji silinder diameter 10 cm dengan tinggi 20 cm sebanyak 3 buah benda uji tiap kadar campuran seratnya. Skema pengujian kuat tekan dapat di lihat pada Gambar2 (Dipohusodo,1994).



Gambar 2. Pengujian kuat tarik belah.

Kuat tarik belah dihitung berdasarkan persamaan 2.

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

Dengan :

- f_t = Kuat belah beton (N/mm²)
 - P = Beban maksimum yang diberikan (N)
 - D = Diameter silinder (mm)
 - L_s = Tinggi silinder (mm)
- (Dipohusodo,1994).

Modulus Elastisitas (E)

Sifat elastisitas suatu bahan sangat erat hubungannya dengan kekakuan suatu bahan dalam menerima beban. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang. Semakin besar modulus elastisitas semakin kecil lendutan yang terjadi. Modulus elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan beton menahan beban yang besar dengan kondisi regangan yang terjadi kecil(Neville,1975).

Modulus elastisitas beton di pengaruhi oleh modulus elastisitas agregat dan perbandingan volume dari agregat didalam beton. modulus elastisitas yang sebenarnya atau modulus pada suatu waktu tertentu dari hasil eksperimen. dihitung dengan menggunakan persamaan 3 - 5 (Murdock,1999).

Dimana :

$$\text{Modulus elastisitas (E)} = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots [3]$$

Dimana :

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

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

Dengan :

- P = Beban yang diberikan (ton)
 - A = Luas tampang melintang (mm²)
 - ΔL = Perubahan panjang akibat beban P (mm)
 - L = Panjang semula (mm)
- (Murdock, 1999).

Modulus elastis beton ringan berserat kawat bendrat akan dievaluasi berdasarkan hasil eksperimen dilaboratorium dan analisis berdasarkan konsep material gabungan mengacu pada *simple mixture rule* yang mempunyai persamaan 6(Soroushian,1987).

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

Dengan :

- E_c = Modulus elastis komposit
- E_f = Modulus elastis serat
- η_1 = Factor panjang serat

η_0 =Faktor orientasi serat
 γ =Faktor efisiensi matrik beton
 V_f =Volume fraksi serat
 (Soroushian,1987)

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, variasi serat 0%; 0,5%; 1%; 1,5% dan 2%. berjumlah 3 buah per sampel, Pengujian dilakukan setelah beton ringan berumur 28 hari, data yang digunakan yaitu analisis statistik menggunakan program *Microsoft Excel*. Data hasil pengujian tersebut nantinya dapat diambil kesimpulan pengaruh presentasi penambahan serat kawat bendrat pada beton ringan berteknologi gas terhadap berat jenis, kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas.

Standar Penelitian dan Spesifikasi Bahan Dasar

Dalam Pengujian ini dilakukan terhadap agregat halus. Pengujian dilakukan dengan standar ASTM & SK SNI, sedangkan air yang digunakan dalam adukan beton sesuai dengan standar air dalam PBI 1971 pasal 3.6.

Bahan Pembuatan Beton Gas Berserat

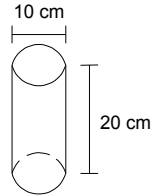
Bahan yang digunakan dalam pembuatan beton ringan berserat ini meliputi :

- Pasir,
- Semen portland tipe PPC,
- Fly Ash* (Abu terbang),
- Aluminium pasta,
- Serat kawat bendrat,
- Air.

Peralatan Pembuatan Beton Gas Berserat

Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan beton ringan berserat ini meliputi :

- Cetakan benda uji silinder di gambarkan pada Gambar 3,

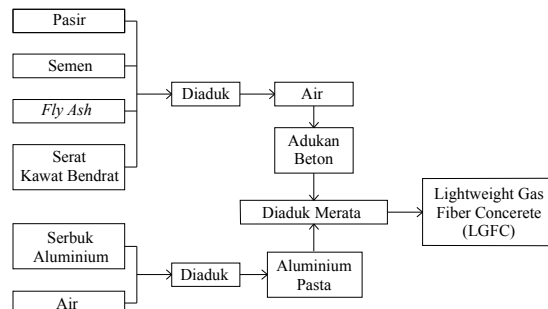


Gambar 3. Dimensi sampel beton ringan.

- Timbangan digital, Timbangan merk "camry" dengan kapasitas max 5 kg, ketelitian 1 gram dan digunakan untuk menimbang berat material campuran adukan beton,
- Nampan seng ukuran 50cm x 70cm untuk tempat mengaduk beton,
- Cetok untuk mengaduk,
- Alat – alat pendukung.

Tahapan dan Prosedur Pembuatan Beton Gas Berserat

Adapun prosedur pembuatan Beton Gas Berserat atau *lightweight gas fiber Concrete* (LGFC) sperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Prosedur pembuatan beton gas berserat.

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Rancang Campuran Adukan Beton

Perhitungan rancang campuran adukan beton dilakukan dengan metode *trial error*, dari perhitungan tersebut didapat kebutuhan bahan beton ringan untuk 1 m³ akan di sajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Kebutuhan bahan beton ringan untuk 1m³.

Pasir	1081,453	kg
Semen	540,727	kg
Faktor air semen	189,254	kg
<i>Fly ash</i>	108,145	kg
Aluminium powder	3,184	kg
Air aluminium powder	9,554	kg

Hasil Pengujian Berat Jenis Beton Ringan teknologi gas

Hasil perhitungan berat jenis masing-masing benda uji disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian berat jenis beton ringan teknologi gas.

Kadar serat (%)	Kode benda uji	Berat jenis (Kg/m ³)	Kadar serat (%)	Kode benda uji	Berat jenis (Kg/m ³)
0	KT B-0	1837,072	1,5	KT B-1.5	1928,958
	KB B-0	1888,426		KB B-1.5	1916,226
0,5	KT B-0,5	1905,403	2	KT B-2	1916,226
	KB B-0,5	1907,101		KB B-2	1974,795
1	KT B-1	1881,636	Rata-Rata = 1895,093		
	KB B-1	1945,086			

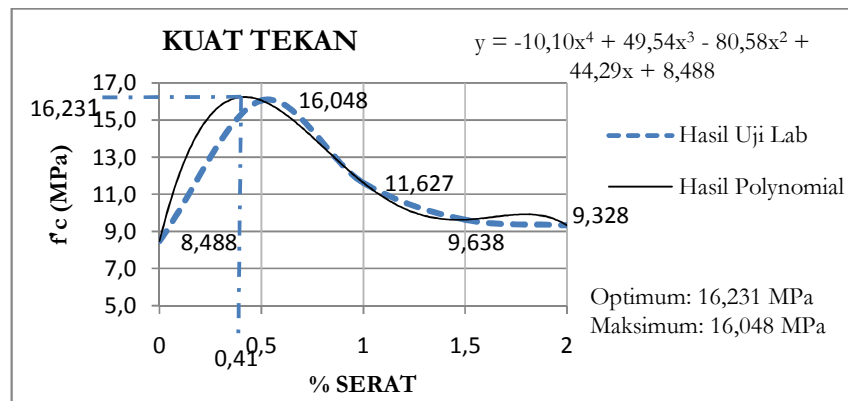
Berat jenis rata – rata yang diperoleh 1895,093 kg/m³. sehingga termasuk beton ringan. Menurut SNI menyatakan bahwa beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan dengan kepadatan 1900 kg/m³.

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan beton disajikan dalam Tabel 4. dan grafik kuat tekan pada Gambar 5.

Tabel 4. Hasil pengujian berat jenis beton ringan teknologi gas.

Kadar serat (%)	Kode benda uji	Tekanan (N)	f'c (MPa)	Perubahan (%)
0	KT B-0	64000	8,488	0
0,5	KT B-0,5	121000	16,048	89,063
1	KT B-1	87667	11,627	36,979
1,5	KT B-1,5	72667	9,638	13,542
2	KT B-2	70333	9,328	9,896



Gambar 5. Grafik hubungan kuat tekan dengan kadar serat kawat bendrat.

Peningkatan kuat tekan tersebut antara lain disebabkan karena adanya kontribusi dari serat terhadap volume adukan beton yang semakin padat. Serat yang ditambahkan masih dapat menyebar secara random dimana serat seolah-olah berfungsi sebagai tulangan. Serat kawat bendrat juga mampu terikat kuat dengan adukan beton yang menyebabkan peningkatan kuat tekannya.

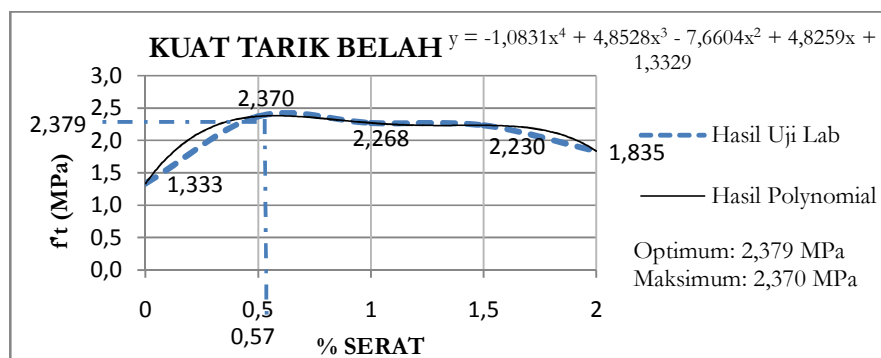
Penurunan kuat tekan antara lain disebabkan karena adukan beton ringan yang tergantikan dengan adanya penambahan volume kawat bendrat yang semakin besar, dan mempengaruhi daya ikat antara campuran beton dengan serat kawat bendrat, semakin banyak serat yang di gunakan belum tentu kuat tekan beton semakin tinggi.

Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Hasil pengujian kuat tarik belah beton disajikan dalam Tabel 5. dan grafik kuat tarik belah pada Gambar 6.

Tabel 5. Hasil perhitungan kuat tarik belah.

Kadar serat (%)	kode benda uji	Tekanan (N)	ft (MPa)	Perubahan (%)
0	KB B-0	40200	1,333	0
0,5	KB B-0,5	71467	2,370	77,778
1	KB B-1	68400	2,268	70,149
1,5	KB B-1,5	67267	2,230	67,330
2	KB B-2	55333	1,835	37,645



Gambar 6. Grafik hubungan kuat tarik belah dengan kadar serat kawat bendrat.

Peningkatan kuat tarik belah terjadi karena adanya penambahan serat kawatbendrat menghasilkan aksi komposit yang lebih baik yaitu tegangan lekat yang lebih besar. Mekanisme kerja yang diharapkan yaitu tegangan kerja yang terjadi pada beton akan ditahan oleh rekatan antara serat dengan massa betonnya.

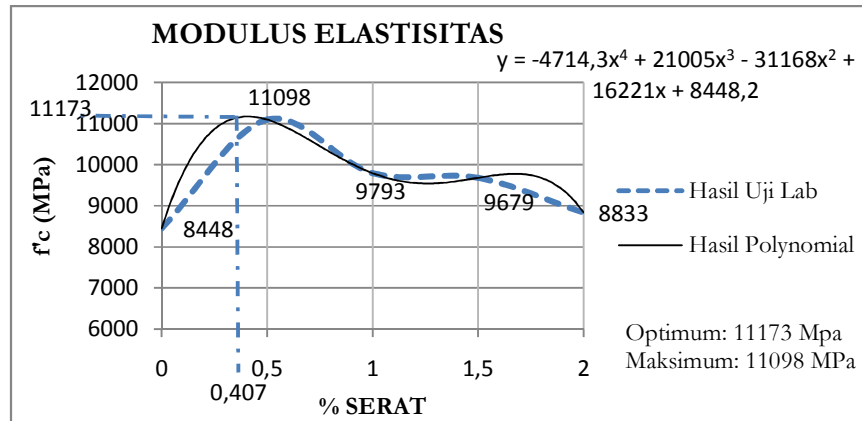
Penurunan kuat tarik belah yang terjadi karena volume campuran kawat bendrat yang mengikat antara beton terlalu banyak sehingga tegangan lekat antara beton ringan dengan serat kawat bendrat hasilnya menurun.

Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Hasil pengujian kuat tarik belah beton disajikan dalam Tabel 6. dan grafik kuat tarik belah pada Gambar 7.

Tabel 6. Hasil perhitungan modulus elastisitas.

Kadar serat (%)	Kode benda Uji	Ec (Mpa)	Perubahan (%)
0	KT B-0	8448	0
0,5	KT B-0,5	11098	31,364
1	KT B-1	9793	15,915
1,5	KT B-1,5	9679	14,573
2	KT B-2	8833	4,558



Gambar 7. Grafik hubungan kuat tarik belah dengan kadar serat kawat benadar.

Kesimpulan

- Berat jenis rata-rata dari hasil pengujian beton ringan adalah 1895,093 kg/m³.
- Nilai kuat tekan beton ringan pada umur 28 hari dengan teknologi gas berserat kawat benadar dengan presentase serat 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; 2%, hasilnya beturut-turut adalah 8,488MPa; 16,048MPa; 11,627 MPa; 9,638 MPa; 9,328 MPa, dengan peningkatan 89,063%; 36,979%; 13,542%; 9,896%, dari kuat tekan beton ringan dengan teknologi gas tanpa serat. Nilai optimum 16,231MPa dengan nilai maksimum 16,048MPa.
- Nilai kuat tarik belah beton ringan pada umur 28 hari dengan teknologi gas berserat kawat benadar dengan presentase serat 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; 2%, hasilnya beturut-turut adalah 1,333 MPa; 2,370 MPa; 2,268 MPa; 2,230 MPa; 1,835 MPa, dengan peningkatan 77,778%; 70,149%; 67,330%; 37,645% dari kuat tekan beton ringan dengan teknologi gas tanpa serat. Nilai optimum 2,379 MPa dengan nilai maksimum 2,370MPa.
- Hasil nilai modulus elastisitas beton ringan pada umur 28 hari dengan teknologi gas dengan presentase serat 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; 2%, hasilnya beturut-turut adalah 8448 MPa; 11098 MPa; 9793 MPa; 9679 MPa; 8833 MPa. Nilai optimum 11173 MPa dengan nilai maksimum 11098MPa.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih kepada Hibah PUPPT DIKTI 2015, Yang telah membiayai penelitian ini. dan terima kasih kepada Purnawan Gunawan, ST, MT. dan Ir. SlametPrayitno, MT. yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

Referensi

- Anonim. 2003. American Coal Ash Association (ACAA). Amerika.
- Anonim. 1999. American Civil Institue (ACI). Michigan.
- Anonim. 1971. Peraturan Beton Indonesia (PBI). Jakarta.
- Anonim. 1997. American Society for Testing and Materials (ASTM). Amerika.
- Anonim. 2012. Standar Nasional Indonesia(SNI). Jakarta.
- Dipohusodo, I. 1994. Struktur Beton Bertulang. Gramedia. Jakarta.
- Hannant, D, J. 1979. Fibre Cements and fibre Concretes. John Wiley & Sons, Inc. Amerika.
- Hardjito, R. 2005. Fly ash based geopolymer Concerete. Australia.
- Mulyono, T. 2003. Teknologi beton, UNJ, Jakarta

- Murdock, B (Terjemahan : Stephanus Hendarko). 1999. Bahan dan Praktek Beton. Erlangga. Jakarta.
- Samekto, W. 2001. Teknologi Beton, Kanisius. Yogyakarta.
- Neville, A.M. 1975. Properties of Concrete. London: The English Language Book Society and Pitman Publishing. New York.
- Putra,S.A. 2013. Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Pada Beton Ringan Ringan Dengan Teknologi Foam Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik, dan Modulus Elastisitas. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta, Surakarta.
- Tjokrodinuljo, K. 2007. Teknologi Beton, Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.