

TINJAUAN PENAMBAHAN LIMBAH STYROFOAM DAN FLY ASH TERHADAP BERAT JENIS, KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR BETON RINGAN STRUKTURAL

Ernawati Sri S., Taufiq Lilo Adi S.

Prodi. Pend. Teknik Bangunan, Jurusan Pendidikan Teknik dan Kejuruan, FKIP, UNS
Kampus UNS Pabelan Jl. Ahmad Yani 200, Surakarta, Telp/Fax 0271 718419

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: (1) Pengaruh penambahan styrofoam dan fly ash terhadap berat jenis beton ringan struktural; (2) Pengaruh penambahan styrofoam dan fly ash terhadap kuat tekan beton ringan struktural dan (3) Pengaruh penambahan styrofoam dan fly ash terhadap kuat lentur beton ringan struktural.

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen. Variabel dari penelitian ini ada dua yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebasnya adalah variasi styrofoam 20%, 30%, 40% dari kebutuhan agregat kasar dan variasi fly ash 0%, 20%, 30%, 40% dari kebutuhan semen. Sedangkan variabel terikatnya adalah berat jenis, kuat tekan dan kuat lentur beton. Benda uji untuk uji berat jenis dan kuat tekan beton berbentuk silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Sedangkan untuk uji kuat lentur berbentuk persegi panjang dengan sisi 15 cm dan panjang 60 cm. Mutu beton rencana 25 Mpa dan di uji pada umur 28 hari.

Dari hasil pengujian diketahui bahwa: (1) Penggantian sebagian agregat kasar dengan styrofoam mengurangi kuat tekan beton, semakin besar prosentase styrofoam maka semakin rendah kuat tekan beton. Penggantian sebagian semen dengan fly ash meningkatkan kuat tekan beton. Namun setelah tercapai nilai optimum maka penambahan fly ash kedalam campuran beton akan mengakibatkan penurunan kuat tekan beton. Dan dari semua kuat tekan beton yang dihasilkan, tidak satupun yang memenuhi persyaratan kuat tekan beton ringan struktural, yaitu harus lebih besar dari 17,24 MPa; (2) Penggantian sebagian agregat kasar dengan styrofoam mengurangi berat jenis beton, semakin besar prosentase styrofoam maka semakin rendah berat jenis beton. Penggantian sebagian semen dengan fly ash meningkatkan berat jenis beton, semakin besar prosentase fly ash maka semakin besar pula berat jenis beton. Dan dari semua berat jenis beton yang dihasilkan, tidak satupun yang memenuhi persyaratan berat jenis beton ringan struktural, yaitu harus lebih kecil dari 1850 kg/m³; (3) Penggantian sebagian agregat kasar dengan styrofoam mengurangi kuat lentur beton, semakin besar prosentase styrofoam maka semakin rendah kuat lentur beton. Penggantian sebagian semen dengan fly ash meningkatkan kuat tekan beton. Namun jika penambahan fly ash terlalu berlebihan maka akan mengakibatkan penurunan kekuatan beton. Penggantian sebagian semen oleh fly ash yang optimal yaitu untuk variasi styrofoam 20%, 30% dan 40% masing-masing adalah 21,54%, 24,751% dan 22,25%.

Kata kunci : Beton ringan struktural, styrofoam, fly ash.

Pendahuluan

Sekarang ini salah satu kondisi lingkungan yang menjadi pusat perhatian adalah bencana gempa bumi yang mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan, dimana kerusakan akibat gempa berbanding lurus dengan berat bangunan. Dengan adanya kondisi seperti ini mendorong para peneliti untuk mencari bahan bangunan yang tahan terhadap gempa bumi. Salah satunya yaitu penggunaan material ringan sebagai bahan pembentuk beton.

Dibeberapa negara maju mulai dilakukan penelitian penggunaan bahan **styrofoam** yang ringan untuk membuat beton ringan. Keuntungan penggunaan *styrofoam* dibandingkan dengan rongga udara dalam beton ringan adalah *styrofoam* mempunyai kuat tarik. Selain itu styrofoam merupakan limbah pembungkus peralatan elektronika, sehingga dengan

pemanfaatan styrofoam berarti kita juga membantu dalam hal pemanfaatan sampah.

Pemakaian styrofoam pada beton ringan sudah mulai merambah pada **penggunaan** yang bersifat **struktural**, misalnya untuk kolom, balok maupun pelat. Dimana persyaratan untuk beton ringan struktur yaitu mempunyai berat jenis antara 1400-1850 kg/m³ 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**. Akan tetapi dengan penambahan styrofoam pada beton mengakibatkan **kuat tekan** beton **mengalami penurunan**. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu ditambahkan suatu bahan yang dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Salah satu bahan alternatif yang bisa digunakan yaitu abu terbang (fly ash). Fly ash merupakan limbah pembakaran batu bara yang mempunyai sifat pozzolanic. Dari penelitian sebelumnya, dengan menambahkan fly ash pada campuran adukan beton dengan prosentase tertentu akan meningkatkan kuat tekan beton dan beton lebih kedap air. Selain itu pemakaian fly ash juga mengurangi penggunaan jumlah semen dalam campuran beton, yang pada akhirnya akan mengurangi biaya pembuatan beton.

Pada penelitian ini pemanfaatan abu terbang tidak hanya untuk kepentingan bahan bangunan, tetapi juga merupakan suatu usaha untuk membantu menanggulangi masalah lingkungan, sebagai contoh; abu terbang dari limbah industri Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Uap Suralaya, diperkirakan akan menghasilkan 750.000 ton pertahun apabila ketujuh unit PLTU-nya sudah beroperasi. Abu terbang yang sebagian besar unsur utamanya adalah silica dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan yang berbahaya bagi kesehatan bila tidak ditangani secara memadai.

Atas dasar pertimbangan-pertimbangan diatas, maka akan dilakukan penelitian mengenai beton ringan struktural dengan memanfaatkan limbah styrofoam sebagai bahan pengganti sebagian agregat serta menggunakan bahan ikat semen portland dan fly ash. Dengan komposisi yang bervariasi diharapkan akan diperoleh campuran yang menghasilkan berat jenis, kuat tekan dan kuat lentur yang optimum untuk beton ringan struktural.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan styrofoam dan fly ash terhadap berat jenis beton ringan struktural.
2. Bagaimana pengaruh penambahan styrofoam dan fly ash terhadap kuat tekan beton ringan struktural.
3. Bagaimana pengaruh penambahan styrofoam dan fly ash terhadap kuat lentur beton ringan struktural.

Landasan Teori Beton Ringan

Pengurangan berat dari beton normal ke beton ringan dapat dicapai dengan membuat pori-pori atau gelembung-gelembung udara yang terdapat pada agregat maupun mortar, karena

beton biasa merupakan bahan bangunan yang tidak ringan. Beton ringan adalah beton yang mempunyai berat jenis di bawah 2000 kg/m^3 (beton biasa mempunyai berat jenis 2400 kg/m^3).

Sedangkan oleh Kardiyono Tjokrodinuljo (1998: 189), secara kasar beton ringan ini menurut berat jenisnya dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu :

- 1) Beton ringan dengan berat jenis antara 300 sampai 800 kg/m^3 yang biasanya dipakai sebagai bahan isolasi.
- 2) Beton ringan dengan berat jenis antara 800 sampai 1400 kg/m^3 yang dipakai untuk struktur ringan.
- 3) Beton ringan dengan berat jenis antara 1400 sampai 2000 kg/m^3 yang dipakai untuk struktur sedang.

Menurut SNI: 03-3449-2002 beton ringan dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu berdasarkan berat jenis, kuat tekan dan agregat penyusunnya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 1. Jenis-jenis beton ringan berdasarkan berat jenis, kuat tekan dan agregat penyusunnya

Konstruksi Beton Ringan	Beton Ringan	
	Kuat Tekan (MPa)	Berat Jenis (kg/m^3)
Struktural :		
• Minimum	17,24	1400
• Maksimum	41,36	1850
Struktural ringan :		
• Minimum	6,89	800
• Maksimum	17,24	1400
Struktural sangat ringan, sebagai isolasi maksimum	---	800

Jenis beton ringan menurut Dobrowolski (1998) dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2 Jenis-jenis beton ringan berdasarkan berat jenis kuat tekannya

Jenis Beton Ringan	Berat Jenis (kg/m^3)	Kuat Tekan (MPa)
Beton dengan berat jenis rendah	240-800	0,35-6,9
Beton ringan dengan	800-1440	6,9-17,3

kekuatan menengah		
Beton ringan struktural	1440-1900	> 17,3

Beton ringan digunakan pada struktur yang tidak terlalu mendapat beban karena ketahanan terhadap tekanan dan pengaruh gaya luarnya terbatas. Berbagai pemakaian beton ringan (Gambhir, 1986) dalam bangunan dapat disebutkan sebagai berikut:

- 1) Dinding tembok struktural yaitu dinding tembok yang menahan beban beton ringan, yang dipakai untuk ini tentu saja beton ringan yang mempunyai kuat tekan cukup tinggi.
- 2) Tembok penyekat antar ruang dalam suatu gedung biasanya berupa panel-panel beton bertulang.
- 3) Dapat dipakai beton tulang di tempat pada struktur komposit antara plat lantai/atap beton ringan dan balok beton bertulang biasa.
- 4) Sebagai dinding isolasi pada gedung-gedung terutama pada bangunan perindustrian.

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan beton ringan antara lain (Tjokrodinuljo, 1996) :

- 1) Dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen. Dengan demikian akan terjadi banyak pori-pori udara di dalam betonnya. Bubuk aluminium yang ditambahkan ke dalam semen akan menimbulkan gelembung-gelembung udara.
- 2) Dengan menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat bakar, batu apung. Dengan demikian beton yang dihasilkan akan lebih ringan daripada beton biasa.
- 3) Pembuatan beton dengan tanpa butir-butir agregat halus. Dengan demikian beton ini disebut “beton non pasir” dan hanya dibuat dari semen dan agregat saja (butir maksimum agregat kasar sebesar 20 mm atau 10 mm).

Styrofoam

Styrofoam terbuat dari bahan utama *polysterene* yaitu bahan plastic yang cukup kuat, yang disusun oleh *erethylene* dan *benzene*. Bahan ini diproses secara injeksi ke dalam sebuah cetakan dengan tekanan tinggi dan dipanaskan pada suhu tertentu dan waktu tertentu. Akhir abad 19 apoteker Jerman bernama Eduard Simon menemukan senyawa *polysterene*. Ia mengisolasi senyawa itu dari bahan resin alami. Temuan ini disempurnakan oleh Herman Staudinger dari Jerman menjadi bahan plastic polimer dan

menjadi tonggak perkembangan *Styrofoam* (Zainal Abidin, 2004: 1-2).

Styrofoam ditemukan oleh Dow lebih dari 50 tahun yang lalu, sekarang ini produk *styrofoam* dikenal secara luas dalam bidang penyekatan atau isolasi. Pada awal tahun 1900, Perusahaan Kimia Dow menemukan suatu proses extruding karet sintesis untuk melindunginya dari proses karat dan kehancuran dari embun dan air laut. *Styrofoam* adalah material yang tidak bisa tenggelam (bersifat *unsinkabilitas*) mula-mula diadopsi oleh penjaga pantai pada tahun 1942 untuk digunakan pada rakit penolong. Produk ini merupakan hasil penelitian Ray Mc. Entire yang mencampur *styrene* dengan *isotylene* (bahan cair yang mudah menguap) dibawah tekanan dan panas yang tinggi dalam waktu tertentu. Hasilnya adalah bahan baru yang terdiri dari gelembung-gelembung *styrene* yang lebih ringan dari *polysterene* dan dipatenkan dengan nama *Styrofoam*. Sekarang, *STYROFOAM* meliputi berbagai macam bahan bangunan (termasuk pengemasan produk dan *housewrap*), pipa isolasi atau penyekatan dan benda-benda kerajinan atau hiasan (<http://www.dow.com/styrofoam>, 3 September 2004).

Salah satu bahan pengganti sebagian agregat untuk beton yaitu *styrofoam*. *Styrofoam* merupakan hasil pengolahan dari *polystyrene*. *Polystyrene* merupakan bahan termoplastik hasil dari pengolahan minyak mentah. Secara kimia *polystyrene* ditulis sebagai $-CH_2CH(C_6H_5)-$. *Polystyrene* memiliki sifat transparan, lembut, elastis, dengan nilai susutan kecil, mudah diwarnai, dan mudah dibentuk. *Polystyrene* merupakan bahan yang baik ditinjau dari segi mekanis maupun suhu namun bersifat agak rapuh dan lunak pada suhu dibawah 100°C (Billmeyer, 1984). *Polystyrene* memiliki berat jenis sampai 1050 kg/m³, kuat tarik sampai 40 MN/m², modulus lentur sampai 3 GN/ m², modulus geser sampai 0,99 GN/ m², angka poisson 0,33 (Crowford, 1998).

Fly Ash

Batubara sebagai bahan bakar banyak digunakan di PLTU. Kecenderungan dewasa ini akibat naiknya harga minyak diesel industri, maka banyak perusahaan yang beralih menggunakan batubara sebagai bahan bakar dalam menghasilkan steam (uap). Sisa hasil pembakaran dengan batubara menghasilkan abu yang disebut dengan fly ash dan bottom ash (5-10%). Persentase abu (*fly ash* dan *bottom ash*) yang dihasilkan adalah *fly ash* (80-90%) dan

bottom ash (10-20%) : [Sumber PJB Paiton]. Umumnya komposisi kimia fly ash yaitu : SiO₂ : 52,00%, Al₂O₃ : 31,86%, Fe₂O₃ : 4,89%, CaO : 2,68%, MgO : 4,66%. (Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2006)

Bahan bangunan abu terbang dapat digunakan sebagai bahan baik untuk pembuatan agregat buatan dalam campuran beton, bahan tambahan paving blok, mortar, batako, bahan tambah beton aspal, beton ringan dan sebagainya. Sebagai bahan tambah beton, abu terbang dinilai dapat meningkatkan kualitas beton dalam hal kekuatan, kedap air, ketahanan terhadap sulfat dan kemudahan dalam pengerjaan (*workability*) beton (Sofwan Hadi, 2000).

Penggunaan abu terbang juga dapat mengurangi penggunaan semen dan sekaligus sebagai bentuk pemanfaatan limbah yang akan membantu menjaga kelestarian lingkungan. Abu terbang sepertinya cukup baik untuk digunakan sebagai bahan ikat karena bahan penyusun utamanya adalah silikon dioksida (SiO₂), aluminium (Al₂O₃) dan Ferrum oksida (Fe₂O₃). Oksida-oksida tersebut dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen ketika bereaksi dengan air. Clarence (1966: 24) menjelaskan dengan pemakaian abu terbang sebesar 20 – 30% terhadap berat semen maka jumlah semen akan berkurang secara signifikan dan dapat menambah kuat tekan beton. Pengurangan jumlah semen akan menurunkan biaya material sehingga efisiensi dapat ditingkatkan.

Dalam SK SNI S-15-1990-F, Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton disebutkan ada 3 jenis abu terbang, yaitu :

- Abu terbang kelas F, ialah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis *anthracite* pada suhu 1560 °C, abu terbang ini mempunyai sifat-sifat semen dengan kadar kapur dibawah 10%.
- Abu terbang kelas N, ialah hasil kalsinasi dari pozolan alam, misalnya diatomic, shale, tuft dan batu apung.
- Abu terbang kelas C, ialah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau batubara dengan kadar karbon sekitar 60%, abu terbang ini mempunyai sifat-sifat semen dengan kadar kapur diatas 10%.

Menurut standar SNI 03-6863-2002 (2002: 150) penggunaan abu terbang sebagai bahan tambah beton, baik untuk adukan maupun campuran beton harus memenuhi syarat-syarat seperti tabel 2.4.

Tabel 3. Susunan kimia abu terbang

No.	Uraian	Kelas F (%)	Kelas C (%)
A. Susunan Kimia			
1.	Silikon dioksida + aluminium oksida + besi oksida, min	70.00	50.00
2.	Sulfur trioksida, maks	5.00	5.00
3.	Kadar air, maks	3.00	3.00
4.	Hilang Pijar, maks	6.00	6.00
5.	Na ₂ O, maks	1.50	1.50
B. Sifat fisik			
1.	Kehalusan sisa di atas ayakan 4 um, maks	34.00	34.00
2.	Indeks keaktifan pozolan dengan PC I, pada umur minimal 28 hari	75.00	75.00
3.	Air, maks	105.00	105.00
4.	Pengembangan dengan autoclave, maks	0.80	0.80

(Sumber: SNI 03-6863-2002 (2002: 150))

Tabel 4. Komposisi kimia abu terbang PT. Tjiwi Kimia Putra

Parameter	Satuan	Hasil Uji Abu terbang	Metode pengujian	
Moisture	AR	%	0.56	Drying oven 105°C, 2 hours
LOI	DB	%	5.38	combustion at 900°C
Al ₂ O ₃	DB	%	29.48	AAS
SO ₃	DB	%	0.45	Gravimetric
Fe ₂ O ₃	DB	%	8.28	AAS
CaO	DB	%	3.32	AAS
Na ₂ O	DB	%	0.29	AAS
SiO ₂	DB	%	48.31	Gravimetric

(PT. Superintending Company Of Indonesia, 2003)

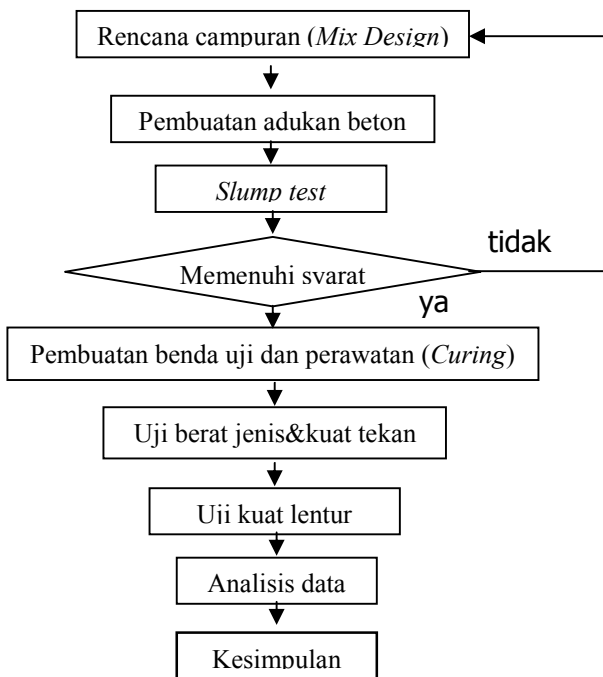
Abu terbang yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah abu terbang dari PT. Tjiwi Kimia Putra yang didistribusikan kepada PT. Varia Usaha Beton.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen. Variabel dari penelitian ini ada dua yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebasnya adalah variasi styrofoam 20%, 30%, 40% dari kebutuhan agregat kasar dan variasi fly ash 0%, 20%, 30%, 40% dari kebutuhan semen. Sedangkan variabel terikatnya adalah berat jenis, kuat tekan dan kuat lentur beton. Benda uji untuk uji berat jenis dan kuat tekan beton berbentuk silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Sedangkan untuk uji kuat lentur berbentuk persegi panjang dengan sisi 15 cm dan panjang 60 cm. Mutu beton rencana 25 Mpa dan di uji pada umur 28 hari.

Jumlah benda uji untuk masing-masing variasi berjumlah 4 buah. Sehingga jumlah sampel yang digunakan untuk uji kuat tekan dan berat jenis sebanyak 52 buah silinder. Sedangkan untuk uji kuat lentur sebanyak 52 buah balok.

Berikut disajikan diagram alir tahapan dalam penelitian:



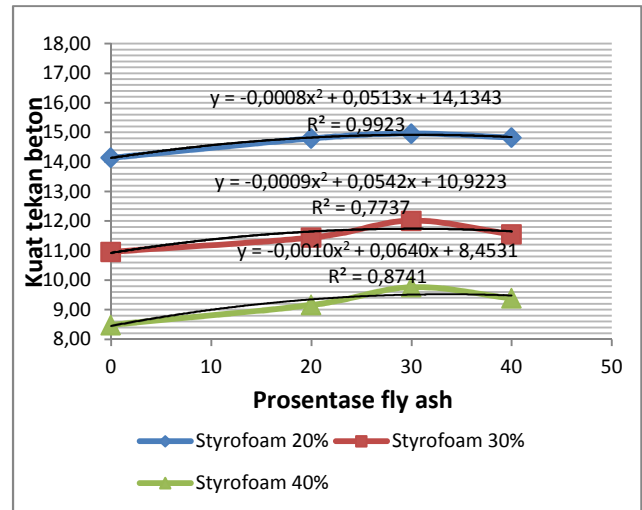
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Hasil Penelitian Dan Pembahasan

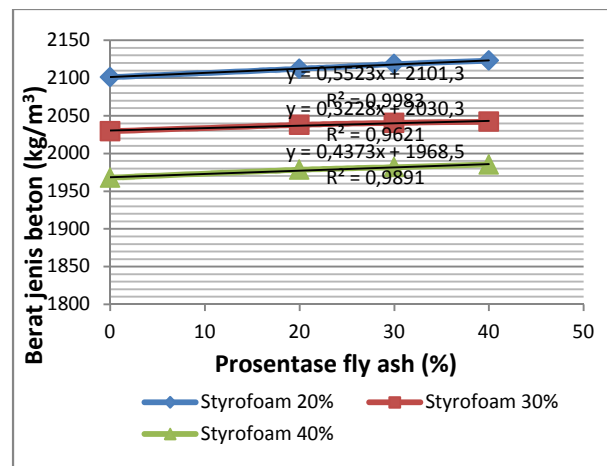
Hubungan antara variasi styrofoam dan variasi fly ash dengan berat jenis, kuat tekan dan kuat lentur beton dapat dilihat dalam tabel dan grafik berikut ini.

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis, Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton pada Berbagai Variasi Styrofoam dan Fly Ash.

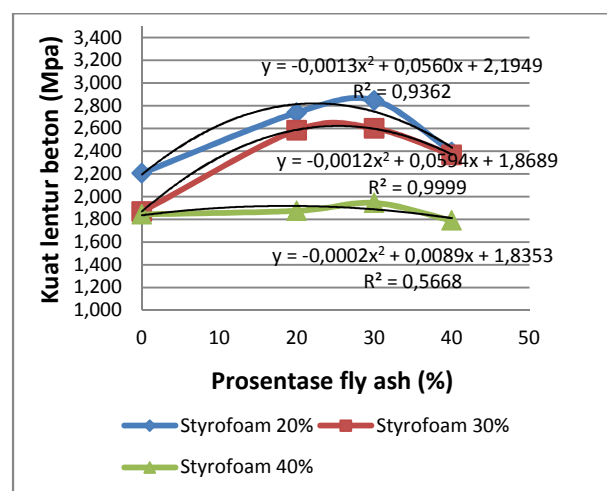
Var. Sty	Var. flyash	Berat jenis (kg/m ³)	Kuat tekan MPa	Kuat lentur MPa
20%	0%	2100.55	14.14	2.207
	20%	2112.24	14.79	2.739
	30%	2118.41	14.96	2.847
	40%	2123.02	14.82	2.394
30%	0%	2029.52	10.96	1.869
	20%	2037.89	11.44	2.586
	30%	2040.63	12.01	2.600
	40%	2042.08	11.55	2.368
40%	0%	1967.98	8.48	1.842
	20%	1978.36	9.16	1.875
	30%	1981.75	9.76	1.944
	40%	1985.43	9.39	1.789



Gambar 2. Grafik hubungan variasi styrofoam dan variasi flyash dengan kuat tekan beton



Gambar 3. Grafik hubungan variasi styrofoam dan variasi flyash dengan berat jenis beton



Gambar 4. Grafik hubungan variasi styrofoam dan variasi flyash dengan kuat lentur beton

1. Pengaruh Variasi Styrofoam Dan Flyash Terhadap Kuat Tekan Beton

Dari hasil analisa regresi menyatakan bahwa penggantian sebagian agregat kasar dengan styrofoam dan penggantian sebagian semen dengan fly ash memberikan pengaruh yang sangat kuat terhadap kuat tekan beton. Dimana penggantian sebagian agregat kasar dengan styrofoam memberikan dampak berkurangnya kuat tekan beton, semakin besar prosentase styrofoam maka semakin rendah pula kuat tekan beton. Hal ini disebabkan karena styrofoam mempunyai kekerasan dan kekuatan bahan yang jauh lebih rendah dibandingkan kerikil, sehingga beton dengan agregat styrofoam juga akan mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibandingkan beton normal. Selain itu, penurunan kekuatan beton juga dikarenakan permukaan styrofoam yang licin, sehingga tidak terjadi pengikatan yang sempurna antara agregat styrofoam dengan agregat penyusun beton yang lainnya.

Sedangkan penggantian sebagian semen dengan fly ash berdampak meningkatkan kuat tekan beton. Peningkatan itu terjadi karena secara kimiawi fly ash bersifat hidrolis yang bereaksi mengikat kapur bebas atau kalsium hidroksida $Ca(OH)_2$ yang dilepaskan semen saat proses hidrasi. Reaksi kimia yang terjadi tersebut membuat kapur bebas yang semula adalah mortar udara mengeras bersama air dan fly ash yang akhirnya mempengaruhi kekuatan tekan beton. Kadar kalsium hidroksida akibat proses hidrasi yang berkurang karena adanya pengikatan yang terjadi dengan fly ash menyebabkan porositas dan permeabilitas berkurang sehingga membuat beton menjadi lebih padat dan lebih kuat. Namun jika penambahan fly ash terlalu berlebihan maka akan mengakibatkan penurunan kekuatan beton. Hal ini dikarenakan jumlah semen yang semakin sedikit sehingga fungsi semen yang merupakan bahan perekat tidak mencukupi untuk merekatkan semua bahan penyusun beton, sehingga ikatan tidak sempurna dan akibatnya kekuatan beton menjadi menurun.

Dan dari semua kuat tekan beton yang dihasilkan dari berbagai variasi styrofoam dan variasi fly ash, tidak satupun yang memenuhi kuat tekan beton ringan struktural. Dimana syarat kuat tekan beton ringan struktural sesuai dengan SNI 2002 yaitu harus lebih besar dari 17,24 MPa.

2. Pengaruh Variasi Styrofoam Dan Flyash Terhadap Berat Jenis Beton

Dari analisa regresi dapat disimpulkan bahwa penggantian sebagian agregat kasar dengan styrofoam dan penggantian sebagian semen dengan fly ash memberikan pengaruh yang sangat kuat terhadap berat jenis beton. Dimana penggantian sebagian agregat kasar dengan styrofoam berpengaruh negatif atau mengurangi berat jenis beton, semakin besar prosentase styrofoam maka akan semakin besar pula pengurangan berat jenis beton. Hal ini disebabkan styrofoam mempunyai berat jenis yang jauh lebih kecil dibandingkan agregat konvensional. Dimana styrofoam yang terbuat dari polystyrene memiliki berat jenis sampai 1050 kg/m^3 (Crowford, 1998), sedangkan berat jenis agregat konvensional yaitu sebesar 2590 kg/m^3 . Dengan berat jenis yang relatif ringan, maka pada saat digunakan dalam pembuatan beton akan menyebabkan berat jenis beton juga menjadi ringan.

Penggantian sebagian semen dengan fly ash berpengaruh positif atau meningkatkan berat jenis beton, semakin besar prosentase fly ash yang ditambahkan maka semakin besar pula peningkatan berat jenis beton. Seperti telah disampaikan sebelumnya, fly ash didalam campuran beton akan bereaksi dengan kapur bebas hasil hidrasi semen dan membuat beton lebih kedap air. Selain itu fly ash yang butirannya lebih halus dari semen dalam beton secara mekanik juga akan mempengaruhi berat jenis beton karena akan mengisi pori-pori yang ada dalam beton sehingga menambah kedapatan dan memudahkan pengerjaan, hal ini sesuai dengan pendapat Sofwan Hadi (2000) yang menyatakan bahwa abu terbang dapat menambah *workability* dan kualitas mortar dalam hal kekuatan dan kedapatan air. Sehingga semakin beton tersebut kedap/rapat maka berat jenis beton juga semakin meningkat.

Dan dari semua berat jenis beton yang dihasilkan dari berbagai variasi styrofoam dan variasi fly ash, tidak satupun yang memenuhi persyaratan berat jenis beton ringan struktural. Dimana syarat berat jenis beton ringan struktural sesuai dengan SNI 2002 yaitu harus lebih kecil dari 1850 kg/m^3 .

3. Pengaruh Variasi Styrofoam Dan Flyash Terhadap Kuat Lentur Beton

Dari hasil analisa regresi menyatakan bahwa penggantian sebagian agregat kasar dengan styrofoam dan penggantian sebagian semen dengan fly ash memberikan pengaruh yang sangat kuat terhadap kuat lentur beton.

Dimana penggantian sebagian agregat kasar dengan styrofoam memberikan dampak berkurangnya kuat lentur beton, semakin besar prosentase styrofoam maka semakin rendah kuat lentur beton.

Beton dengan kekuatan yang baik diperoleh apabila interaksi antara komponen pembentuknya terjadi dengan baik, interaksi ini akan diperoleh bila antara komponen-komponen pembentuk beton memiliki ikatan/lekatan yang kuat satu dengan yang lain. Styrofoam merupakan bahan kedap air dan memiliki permukaan yang licin, sehingga lekatannya dengan pasta semen tidak baik. Saat pasta semen mengeras akan terjadi penyusutan pada beton, proses ini akan membentuk microcrack pada daerah lemah (weak zone) yaitu daerah disekitar butiran styrofoam. Semakin banyak jumlah styrofoam yang ditambahkan dalam campuran beton, maka akan semakin banyak microcrack pada daerah lemah yang akan terbentuk pada saat pasta semen mengalami proses pengerasan. Jumlah microcrack dalam beton akan mempengaruhi kekuatan beton.

Sedangkan penggantian sebagian semen dengan fly ash berdampak meningkatkan kuat tekan beton. Peningkatan itu terjadi karena fly ash yang bersifat hidrolis bereaksi mengikat kapur bebas atau kalsium hidroksida $Ca(OH)_2$ yang dilepaskan semen saat proses hidrasi. Reaksi kimia yang terjadi tersebut membuat kapur bebas yang semula adalah mortar udara mengeras bersama air dan fly ash yang akhirnya akan mempengaruhi kekuatan beton. Kadar kalsium hidroksida yang berkurang karena adanya pengikatan yang terjadi dengan fly ash menyebabkan porositas dan permeabilitas berkurang sehingga membuat beton menjadi lebih padat dan lebih kuat. Namun jika penambahan fly ash terlalu berlebihan maka akan mengakibatkan penurunan kekuatan beton. Hal ini dikarenakan jumlah semen yang semakin sedikit sehingga fungsi semen yang merupakan bahan perekat tidak mencukupi untuk merekatkan semua bahan penyusun beton, sehingga ikatan tidak sempurna dan akibatnya kekuatan beton menjadi menurun.

Kesimpulan

1. Penggantian sebagian agregat kasar dengan styrofoam memberikan dampak berkurangnya kuat tekan beton, semakin besar prosentase styrofoam maka semakin rendah kuat tekan beton. Sedangkan penggantian sebagian

semen dengan fly ash berdampak meningkatkan kuat tekan beton. Namun setelah tercapai nilai optimum maka penambahan fly ash kedalam campuran beton akan mengakibatkan penurunan kuat tekan beton. Dan dari semua kuat tekan beton yang dihasilkan dari berbagai variasi styrofoam dan variasi fly ash, tidak satupun yang memenuhi persyaratan kuat tekan beton ringan struktural, yaitu harus lebih besar dari 17,24 MPa.

2. Penggantian sebagian agregat kasar dengan styrofoam mengurangi berat jenis beton, semakin besar prosentase styrofoam maka akan semakin besar pula pengurangan berat jenis beton. Penggantian sebagian semen dengan fly ash meningkatkan berat jenis beton, semakin besar prosentase fly ash yang ditambahkan maka semakin besar pula peningkatan berat jenis beton. Dan dari semua berat jenis beton yang dihasilkan dari berbagai variasi styrofoam dan variasi fly ash, tidak satupun yang memenuhi persyaratan berat jenis beton ringan struktural, yaitu harus lebih kecil dari 1850 kg/m^3 .
3. Penggantian sebagian agregat kasar dengan styrofoam memberikan dampak berkurangnya kuat lentur beton, semakin besar prosentase styrofoam maka semakin rendah kuat lentur beton. Penggantian sebagian semen dengan fly ash berdampak meningkatkan kuat tekan beton. Namun jika penambahan fly ash terlalu berlebihan maka akan mengakibatkan penurunan kekuatan beton. Penggantian sebagian semen oleh fly ash yang optimal yaitu untuk variasi styrofoam 20%, 30% dan 40% masing-masing adalah 21,54%, 24,751% dan 22,25%.

Saran

Setelah mengevaluasi hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam sehingga didapatkan komposisi campuran styrofoam dan fly ash yang optimal yang menghasilkan beton yang memenuhi syarat beton ringan struktural.
2. Untuk melihat pengaruh penambahan fly ash yang lebih berarti perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan memperpanjang umur beton.
3. Perlu dicoba untuk meningkatkan mutu beton rencana lebih besar dari 25 MPa, agar diperoleh kuat tekan beton yang memenuhi kuat tekan beton ringan struktural.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1982. *Annual Book of ASTM Standart*.
- Anonim. 1989. *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*, SK SNI S-04 1989- F, Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan LPMB, Bandung.
- Anonim. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Gedung (Beta Version) SNI 03-2847-2002*, Departemen pemukiman Dan Prasarana Wilayah, Badan Penelitian Dan Pengembangan, Bandung.
- Baroroh, Ali. 2013. *Analisis Multivariat dan Time Series dengan SPSS 21*, Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Crawford, R. J. 1998. *Plastics Engineering*, Third Edition.
- Ernawati Sri S. dan Anis Rahmawati. 2009. *Tinjauan Penambahan Aditif Mineral Abu Terbang Terhadap Ketahanan Beton Pada Lingkungan Agresi Sulfat*, Laporan Penelitian LPPM Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Ernawati Sri S. dan Taufiq Lilo A.S., 2008. Pengaruh Variasi Bentuk Styrofoam Terhadap Kuat Tekan dan Berat Jenis Beton Ringan Struktural, *JIPTEK*, Vol II No.1, Jurusan Pendidikan Teknik Dan Kejuruan, FKIP UNS.
- Gambhir, A. M. 1986. *Concrete Technology*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2006. *Fly-Bottom Ash dan Pemanfaatannya*, terdapat pada http://b3.menlh.go.id/3r/article.php?article_id=6. Diakses tanggal 11 Mei 2010.
- Neville, A. M. and Brooks, J. J. 1987. *Concrete Technology*, First Edition, Longman Scientific & Technical, England.
- Sambodo, A. 1999. *Penggunaan Styrofoam untuk Beton Ringan dengan Kandungan Semen 350 kg/m³*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sudjana, 1996. *Metode Statistika Edisi Keenam*, Tarsito, Bandung.
- Suharwanto, 2000. *Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) dalam Beton*, *Prosiding Magang Intensif Beton*, Pusat Antar Universitas (PAU) Ilmu Teknik, Yogyakarta.
- Taufiq Lilo A.S. dan AG. Tamrin, 2006. *Material Beton Struktur Dari Beton Ringan Styrofoam*, Laporan Penelitian Dosen Muda UNS, Surakarta.
- Tjokrodimuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta.