

**PENGARUH VARIASI
PENGUNAAN LIMBAH STYROFOAM DAN FLY-ASH
TERHADAP KUAT LENTUR BETON RINGAN STRUKTURAL**

Rochmat Kastubi, Taufiq Lilo Adi Sucipto², Ernawati Sri Sunarsih³

Pendidikan Teknik Bangunan, Universitas Sebelas Maret

e-mail: rochmatkastubi@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah : Meninjau kuat beton dengan bahan tambah *fly-ash* dan limbah *styrofoam*, untuk mendapatkan kuat lentur yang sesuai dengan standar beton ringan struktural. Penelitian ini disebut penelitian eksperimen. Adapun sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton berbentuk balok (panjang 600mm, lebar 150mm, dan tinggi 150mm) sebanyak 39 buah benda uji dengan mutu beton 25 MPa. Identifikasi kuat lentur dan pengujiannya dilakukan setelah perawatan 28 hari. Komposisi penambahan agregat *fly-ash* yaitu pada persentase 0%, 20%, 30% dan 40% terhadap semen. Sedangkan komposisi penggantian limbah *Styrofoam* yaitu pada persentase 0%, 20%, 30% dan 40% terhadap volume agregat kasar. Hasil penelitian kuat lentur optimal yaitu sebesar 2,847 MPa, didapatkan pada persentase penggantian 30% *fly-ash* dan 20% limbah *Styrofoam*. Dengan demikian, berbagai persentase bahan tambah *fly-ash* dan limbah *Styrofoam* yang digunakan dalam penelitian ini tidak dapat digunakan untuk menghasilkan beton ringan struktural. Untuk itu perlu dicoba dengan bahan tambah lain. Ini menunjukkan bahwa beton dengan bahan tambah *fly-ash* dan limbah *Styrofoam*, dalam campuran beton didapatkan hasil kuat lentur yang belum memenuhi syarat beton ringan struktural.

Kata Kunci: limbah *styrofoam*, *fly-ash*, beton ringan struktural.

ABSTRACT

The purpose of this research is: review of flexural strenght concrete by the use of flyash and styrofoam waste, to get flexural strenght in accordance with the standards of structural lightweight concrete. The study called research experiments. As for the samples used in this study is a concrete beams (600 mm x 150 mm x 150 mm) by as much as 39 pieces of quality concrete test objects with 25 MPa. Identification of the type and the weight of the flexural test done after 28 days of treatment. Addition of flyash aggregate composition in percentage 0%, 20%, 30% and 40% of cement. While the composition of waste Styrofoam replacements were 0%, 20%, 30% and 40% of coarse aggregate volume. Results of flexural strenght research which are as big as 2,847 MPa, obtained on a percentage of the replacement of 30% addition of flyash and 20% of waste Styrofoam. Thus, the various percentages of ingredients add flyash and waste Styrofoam used in this study cannot be used to generate structural lightweight concrete. Therefore must to be tried with other added ingredients. This indicates that the added ingredients of concrete with flyash and Styrofoam waste, in a concrete mix obtained results of flexural strenght that had not meet in the standart of lightweight structural concrete.

Key words: *Styrofoam waste, Flyash, structural lightweight of concrete.*

¹ Mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan FKIP UNS

² Staf Pengajar Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan FKIP UNS

³ Staf Pengajar Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan FKIP UNS

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/m³ dan kuat tekannya > 17,5 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.

Telah dilakukan penelitian *styrofoam* digunakan sebagai bahan pengisi beton dan dapat mengurangi berat beton, sehingga didapatkan beton yang lebih ringan, sekaligus dengan pemanfaatan *styrofoam* yang banyak menjadi limbah di lingkungan kita dapat mengurangi beban pemerintah kita dalam menanggulangi limbah *styrofoam* yang tidak dapat teruraikan di alam. *Styrofoam* adalah suatu bahan yang terbuat dari polistiren yang dikembangkan atau *expanded polystyrene* yang mempunyai berat satuan sangat ringan yaitu sekitar 13 kg/m³ sampai 16 kg/m³. Karena ringannya bahan *styrofoam* ini, maka beton yang dihasilkan juga akan sangat ringan bila dibandingkan dengan menggunakan batu pecah atau kerikil pada umumnya. Selain bahannya yang ringan, beton dengan menggunakan *styrofoam* sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar ini mempunyai keuntungan yang lain yaitu biaya pembuatan yang murah karena memanfaatkan bahan limbah, tahan terhadap cuaca,

mempunyai berat yang ringan karena berat struktur berkurang, maka beban gempa yang bekerja juga akan lebih kecil sehingga struktur akan lebih aman dan sangat cocok untuk perumahan di daerah gempa. Dalam penelitian ini *styrofoam* yang digunakan adalah *styrofoam* dari limbah kotak pembungkus barang pada kargo pesawat terbang (*waste styrofoam*).

Akan tetapi dengan penambahan *styrofoam* pada beton mengakibatkan kekuatan beton mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan kekuatan *styrofoam* jauh lebih kecil dibandingkan kekuatan agregat. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu ditambahkan suatu bahan yang dapat meningkatkan kekuatan beton. Tujuannya adalah agar beton yang dihasilkan nantinya meskipun ringan tetapi memiliki kekuatan sehingga bisa diterapkan di dalam kehidupan sehari-hari.

Salah satu bahan alternatif yang bisa digunakan yaitu abu terbang (*fly-ash*). *Fly-Ash* berguna sebagai bahan pengganti semen (*cementitious*). Penggantian penggunaan semen ini dapat mengurangi biaya pembuatan beton serta dapat mengurangi pemanasan global yang ditimbulkan dari produksi semen karena menurut Bilodeau dan Malhotra (2000) yang mengadakan penelitian tentang *High Volume Fly Ash System: Concrete Solution for Sustainable Development* menyebutkan bahwa, produksi semen Portland selama ini melepaskan gas CO₂ ke atmosfer bumi, dimana gas CO₂ memberikan sumbangan terbesar dalam pemanasan global. Oleh karena itu, sangat penting dilakukan penggantian sebagian besar penggunaan semen Portland pada produksi beton, dan bahan pengganti semen yang cukup tersedia banyak adalah *fly-Ash*, limbah hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik.

Fly-ash berfungsi sebagai bahan tambah mineral (*additive*) yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Pada saat ini, bahan tambah mineral ini lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kuat tekan

beton, sehingga bahan tambah mineral ini cenderung bersifat penyemenan (*cementitious*). Keuntungan menggunakan *fly-ash* pada beton antara lain, dapat menggantikan semen karena berifat *pozzolanic*, meningkatkan *workability*, mengisi rongga-rongga dengan material *cementitious* dan berfungsi sebagai pengisi (*filler*), sehingga dapat mengurangi total area permukaan yang harus ditutup oleh semen, memperlambat timbulnya panas hidrasi, dan meningkatkan kekuatan (*strength*), serta membuat beton lebih kedap air.

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

Dengan meninjau keuntungan-keuntungan yang terdapat pada *styrofoam* dan *fly-ash*, maka akan mencoba melakukan penelitian rekayasa bahan material beton dengan menggunakan *fly-ash* sebagai pengganti sebagian semen dan *styrofoam* sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar (kerkil).

Penelitian ini akan menentukan sifat fisik dan mekanik dari beton ringan yang menggunakan bahan pengganti sebagian agregat kasar dan semen yaitu *fly-ash* dan *styrofoam*. Setelah didapat informasi awal dari material tersebut, maka dilakukan perencanaan campuran agar diketahui kuat lenturnya. Dengan menggunakan perbandingan antara semen dan *fly-ash* yang sesuai dengan tujuan penelitian ini yaitu mendapatkan bahan yang murah dan kekuatan yang masih memenuhi untuk beton ringan, maka dilakukan pengujian dan analisa hasil campuran beton ringan

dengan menambahkan *styrofoam* sebagai bahan pengganti sebagian agregat untuk mendapatkan informasi besarnya kuat lentur beton ringan dengan bahan-bahan penyusunnya adalah semen, *fly-ash* dan *styrofoam*.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perpaduan penggunaan *fly-ash* dan *styrofoam* terhadap kuat lentur beton ringan struktural serta untuk mengetahui nilai optimal perpaduan penggunaan *fly-ash* dan *styrofoam* untuk nilai kuat lentur maksimal beton ringan struktural

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membuat masa padat (SK SNI 03-2847-2002).

Menurut Neville dan Brooks (1987) beton ringan dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu: beton ringan struktural (*Structural Lightweight Concrete*), beton ringan untuk pasangan batu (*Masonry Concrete*), dan beton ringan penahan panas (*Insulating Concrete*).

Styrofoam adalah hasil bahan olahan dari polyester yang berupa butiran sintetik yang saling rekat yang mempunyai sifat tidak bisa tenggelam dan mampu menahan suhu ruangan lebih lama. Penelitian ini digunakan limbah *styrofoam* dari pembungkus paket kargo pesawat terbang yang tidak digunakan lagi.



Gambar. 1 Styrofoam

Abu terbang merupakan *pozolan*, yaitu bahan alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan aluminat yang reaktif (PUBI-1982). Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton disebutkan ada 3 jenis abu terbang (SK SNI S-15-1990-F), yaitu: abu terbang kelas F, N dan C.



Gambar 2. Fly Ash

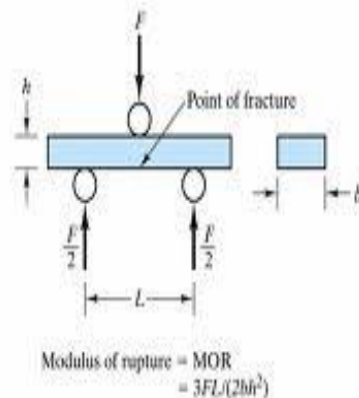
Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas (SNI 03-4431-1997).

Pengukuran nilai kuat lentur adalah dengan menggunakan rumus di bawah ini (ASTM C 78 – 02):

$$\text{Kuat Lentur} = \frac{3 \times P \times x \times p}{2 \times l \times t^2} \dots\dots\dots (I)$$

Keterangan :

- P : Hasil uji dari mesin MILANO-ITALY
- p : panjang benda uji
- l : lebar benda uji
- t : tinggi benda uji



Gambar 3. Gambar Penampang Benda Uji dan Pembebanannya

METODOLOGI

1. Bahan

Semen yang digunakan adalah Semen Portland yang telah memenuhi persyaratan dalam spesifikasi SK-SNI-S-04-1989-F.

Pasir yang digunakan adalah pasir Muntlan, Magelang. Hasil uji laboratorium menunjukkan kadar lumpur sebesar 2,5%, kadar air 2,06%, kadar zat organik kuning muda, *Bulk Specific Gravity* SSD 2,53, modulus kehalusan 3,8 dan tergolong zona II.

Agregat kasar yang digunakan adalah kerikil Woro dengan diameter berukuran maksimal 20 mm. Hasil uji laboratorium menunjukkan abrasi sebesar 44%, *Bulk Specific Gravity* SSD 2,59, modulus kehalusan 6,64, *absorpsi* 7,33% dan berat satuan volume 1,32 gr/cm³.

Air yang digunakan adalah air yang memenuhi persyaratan SK SNI S-04-1989-F.

Fly-ash yang digunakan adalah mutu F dari PT. Varia Usaha.

Styrofoam yang dipakai adalah limbah pembungkus barang kargo pesawat terbang yang telah dihancurkan tak beraturan.

2. Pembuatan Benda Uji

Penggantian agregat *styrofoam* dalam beton direncanakan dengan berbagai variasi, yaitu 0%, 20%, 30% dan 40% terhadap volume agregat kasar serta penggantian *Fly-ash* dalam beton direncanakan dengan berbagai variasi, yaitu 0%, 20%, 30%, dan 40% terhadap berat total semen. Perancangan campuran menggunakan acuan SK. SNI 03-2847-2002. Proses pembuatannya dengan mencampur semen, *Fly-ash*, pasir, kerikil dan *styrofoam* sampai rata, selanjutnya menambahkan air secukupnya dan diaduk sampai homogen. Memasukkan adonan tersebut ke dalam cetakan dan dilakukan pengepresan dengan cara dipadatkan, kemudian diamkan hasil cetakan tersebut sampai kering.

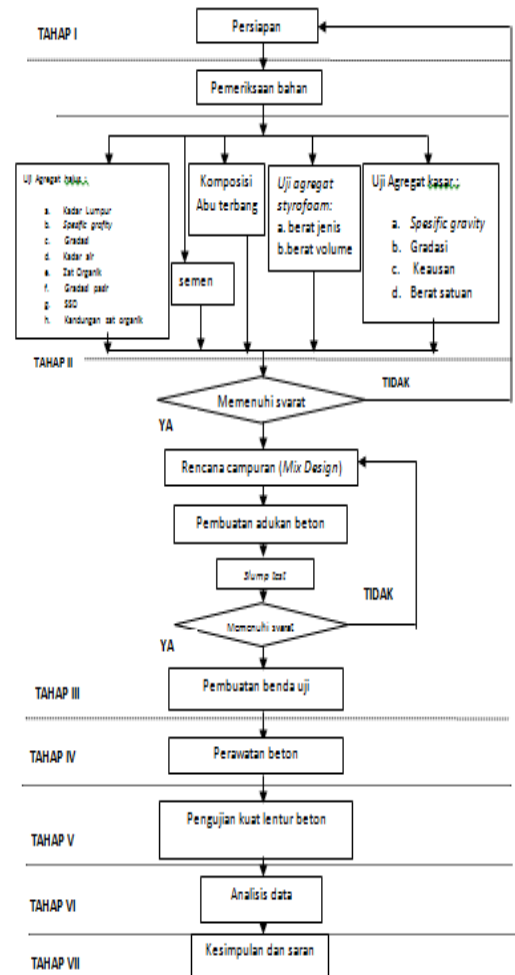
Beton yang dihasilkan berupa balok dengan dimensi 60 x 15 x 15 cm. Jumlah sampel beton yang dibuat adalah 39 buah.



Gambar 2. Hasil Cetakan Beton

3. Pengujian

Beton yang sudah mengalami perawatan selama 28 hari selanjutnya dilakukan pengujian kuat lentur.



Gambar 3. Alur Tahap Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kuat lentur beton ditunjukkan pada tabel 1, 2 dan 3 sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil pengujian kuat lentur beton dengan persentase styrofoam 20%

Variasi Styrofoam	Variasi flyash	Kuat lentur rata2 (MPa)
20%	0%	2,207
20%	20%	2,739
20%	30%	2,847
20%	40%	2,394

Tabel 2. Hasil pengujian kuat lentur beton dengan persentase styrofoam 30%

Variasi Styrofoam	Variasi flyash	Kuat lentur rata2 (MPa)
30%	0%	1,869
30%	20%	2,586
30%	30%	2,600
30%	40%	2,368

Tabel 3. Hasil pengujian kuat lentur beton dengan persentase styrofoam 40%

Variasi Styrofoam	Variasi flyash	Kuat lentur rata2 (MPa)
40%	0%	1,842
40%	20%	1,875
40%	30%	1,944
40%	40%	1,789

Analisis data menggunakan program komputer *Statistical Package for the Social Science 21* (SPSS 21), yaitu dengan uji *Regression*. Analisa regresi mempunyai cakupan yang cukup luas, didalamnya mencakup beberapa metode analisis seperti uji t, uji F/ANOVA, analisis korelasi dan koefisien determinasi.

Hasil SPSS 21 dengan uji analisa regresi berganda dimana sebagai variabel bebas adalah variasi *styrofoam* dan variasi *fly-ash* dan sebagai variabel terikat adalah kuat lentur beton, diperoleh hasil sebagai berikut:

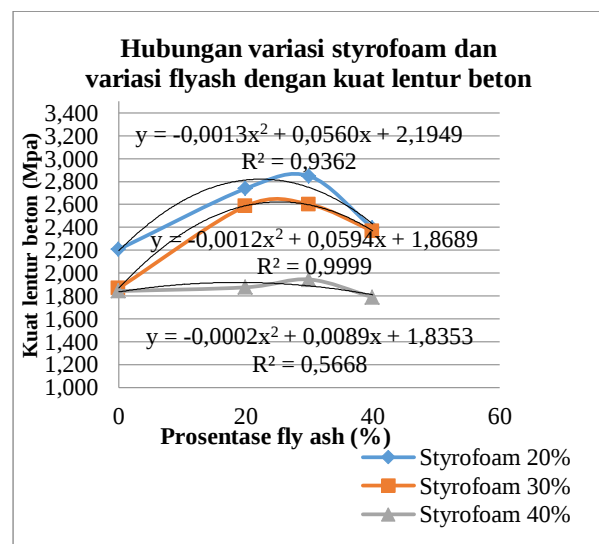
1. Dari hasil uji F/ANOVA diperoleh bahwa nilai *Sig.* lebih kecil dari alpha 5% ($0,001 < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa dari kedua variabel bebas yang diuji (variasi *styrofoam* dan variasi *fly-ash*), minimal terdapat 1 variabel bebas yang mempengaruhi kuat lentur beton. Atau bisa juga diinterpretasikan sebagai bukti bahwa secara bersama-sama variabel bebas (variasi *styrofoam* dan variasi *fly-ash*) mempengaruhi variabel terikat (kuat lentur beton).
2. Hasil uji t menunjukkan bahwa dari kedua variabel yang diuji (variasi *styrofoam* dan variasi *fly-ash*) ternyata variasi *styrofoam* dan variasi *fly-ash* sama-sama berpengaruh pada kuat lentur beton. Kesimpulan ini didapatkan dari nilai *Sig.* kedua variabel

yaitu untuk variasi *styrofoam* dengan nilai *Sig.* $0,000 < 0,05$ dan untuk variasi *fly-ash* dengan nilai *Sig.* $0,032 < 0,05$. Model persamaan regresinya adalah :

$$Y = 2,741 - 0,024X_1 + 0,010X_2$$

Dari persamaan regresi bisa disimpulkan bahwa penggantian sebagian agregat kasar dengan *styrofoam* berpengaruh negatif atau mengurangi kuat lentur beton, sedangkan penggantian sebagian semen dengan *fly-ash* berpengaruh positif atau meningkatkan kuat lentur beton.

3. Nilai korelasi (R) hubungan ketiga variabel tersebut sebesar 0,579 dimana hal ini menunjukkan bahwa terdapat korelasi sedang antara penggantian sebagian agregat kasar dengan *styrofoam* dan penggantian sebagian semen dengan *fly-ash* terhadap kuat lentur beton. Sedangkan pada koefisien determinasinya (*R square*) sebesar 0,335 Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan variabel variasi *styrofoam* dan variasi *fly-ash* mempengaruhi naik turunnya nilai kuat lentur beton sebesar 33,5% dan sisanya yaitu 66,5% dipengaruhi oleh variabel yang lain.



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

Dari hasil analisa regresi menyatakan bahwa penggantian sebagian agregat kasar

dengan *styrofoam* dan penggantian sebagian semen dengan *fly-ash* memberikan pengaruh sedang 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 retakan kecil 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 retakan kecil dalam beton akan mempengaruhi kekuatan beton.

Sedangkan penggantian sebagian semen dengan *fly-ash* berdampak meningkatkan kuat lentur beton. Peningkatan itu terjadi karena *fly-ash* yang bersifat hidrolik 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.

Gambar grafik 3 mempunyai persamaan garis hasil dari analisa regresi adalah sebagai berikut:

- Untuk variasi *styrofoam* 20%:

$$Y = -0,0013X^2 + 0,0560X + 2,1949$$
- Untuk variasi *styrofoam* 30% :

$$Y = -0,0012X^2 + 0,0594X + 1,8689$$
- Untuk variasi *styrofoam* 40% :

$$Y = -0,0002X^2 + 0,0089X + 1,8353$$

Dan dari persamaan regresi tersebut dapat diperoleh 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% dengan besar kuat lentur maksimalnya masing-masing adalah 2,798 MPa, 2,604 MPa, dan 1,934 MPa.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan tentang pengaruh penggunaan limbah *styrofoam* dan *fly-ash* terhadap kuat lentur beton ringan struktural, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggantian sebagian agregat kasar dengan *styrofoam* memberikan dampak berkurangnya kuat lentur beton, semakin besar prosentase *styrofoam* maka semakin rendah kuat lentur beton, sedangkan penggantian sebagian semen dengan *fly-ash* berdampak meningkatkan kuat lentur beton.
2. 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% dengan besar kuat lentur maksimalnya masing-masing adalah 2,798 MPa, 2,604 MPa, dan 1,934 MPa.

SARAN

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. *Fly-ash* dapat diusahakan dan dipublikasikan agar bisa diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari sehingga dapat menjadi bahan alternatif yang dapat digunakan dalam bidang konstruksi.
4. Penelitian ini dapat dimanfaatkan masyarakat dalam pengembangan teknologi tetapi perlu dilakukan penelitian yang lebih jauh lagi agar didapatkan hasil yang bisa diaplikasikan dalam bidang konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, Sjafel. (2005). *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta: Yayasan John Hi-Tech Idetama
- 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.
- Anonim. (1997). Beton SNI 03-4431-1997
- Anonim. (1990). Beton SNI S-15-1990-F
- Crawford, R. J. 1998. *Plastics Engineering*, Third Edition.
- Dipohusodo, Istimawan.1999. *Struktur Beton Bertulang*. Yogyakarta: Gramedia.
- 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.
- L.J. Murdock dan K.M. Brook. 1986. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Neville, A. M. and Brooks, J. J. 1987. *Concrete Technology*, First Edition, Longman Scientific & Technical, England.
- Paul Nugraha dan Antoni, (2007). *Teknologi Beton Jurusan dan Material, Pembuatan beton Kinerja Tinggi*.Yogyakarta: Andi.
- Tim Praktek Beton. 2011. *Modul Panduan Beton*. Universitas sebelas Maret, Surakarta
- Suharwanto, 2000. *Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) dalam Beton*,

Prosiding Magang Intensif Beton,
Pusat Antar Universitas (PAU)
Ilmu Teknik, Yogyakarta.
Tjokrodimuljo, K. 1996. *Teknologi Beton,*
Nafiri, Yogyakarta.
Tjokrodimuljo, K. (2004). *Teknologi*
Beton. Jurusan Teknik Sipil,

Fakultas Teknik Universitas
Gadjah Mada. Yogyakarta
Zunwanis. Tinjauan Kuat Lentur Beton
Ringan Dengan Menggunakan
Styrofoam Pada Campuran Beton.
[http://lib.unri.ac.id/skripsi/index.p
hp?p=show_detail&id=17475](http://lib.unri.ac.id/skripsi/index.php?p=show_detail&id=17475)
(diakses tanggal 1 Maret 2014)