

**KESELAMATAN LINGKUNGAN TAHAN RESONANSI
DENGAN BETON RINGAN BAHAN *STYROFOAM*
(Suatu Kajian Teori Tahan Gempa)**

*SAFETY OF RESONANCE
WITH LIGHTWEIGHT CONCRETE MATERIALS *STYROFOAM*
(An Assessment of Earthquake Resistant Theory)*

Harijono, Paul G. Tamelan dan Asrial

Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan FKIP Undana
E-mail: harijono69@gmail.com, pgtamelan@gmail.com dan asrialchatib@gmail.com

Abstrak

Kajian karya ilmiah ini mengungkap sebagai kajian teori mengungkap bahwa Styrofoam adalah suatu bahan yang terbuat dari polistirin 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 bata atau batako pada umumnya sehingga akan berpengaruh terhadap keselamatan kerja dan kesehatan kerja. Selain bahannya yang ringan, beton dengan menggunakan *Styrofoam* sebagai bahan pengganti agregat ini mempunyai keuntungan yang lain yaitu biaya pembuatan yang murah karena memanfaatkan bahan limbah. Tahan terhadap cuaca mempunyai berat yang ringan tapi kuat tahan terhadap kebakaran, tahan terhadap bahan-bahan kimia. 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 lebih-lebih di wilayah NTT sebagai solusi keselamatan lingkungan yang cukup mendasar ini

Kata Kunci: *Styrofoam, Beton Ringan keselamatan lingkungan*

Abstract

This scientific study reveals that as a theoretical study reveals that Styrofoam is a material made from expanded polystyrene or expanded polystyrene which has a very light unit weight of about 13 kg / m³ to 16 kg / m³. Because of the lightness of this Styrofoam material, the concrete produced will also be very light when compared to using bricks or concrete blocks in general so that it will affect work safety and health. In addition to the lightweight material, concrete using Styrofoam as a substitute for this aggregate has the advantage the other is cheap manufacturing costs because it utilizes waste materials. Resistant to weather has a light weight but strong fire resistance, resistant to chemicals. Because the weight of the structure is reduced, the earthquake load that works will also be smaller so that the structure will be more safe and very suitable for housing in the earthquake area especially in the NTT region as a basic environmental safety solution.

Keywords: *Styrofoam, Lightweight Concrete, environmental safety*

Latar Belakang Masalah

Masalah yang perlu dihadapi saat ini adalah penyediaan rumah yang tahan gempa. Sebagaimana diketahui, kejadian gempa bumi yang sering terjadi berbagai daerah di Indonesia, menyebabkan kerusakan yang luar biasa. Penyebabnya adalah struktur bangunan tidak mampu menahan gempa. Salah satu penyelesaian masalah di atas adalah dengan menggunakan beton yang lebih ringan tapi kuat untuk digunakan pada elemen nonstruktural (misal:

dinding), khususnya digunakan untuk perumahan. Dengan penggunaan bahan yang ringan dan kuat maka struktur bangunan tersebut akan mampu menahan gempa.

Adapun bahan alternatif yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan campuran semen PC, abu terbang/*pulverised fly ash* (PFA) dan *Styrofoam* untuk dibuat panel dinding pracetak sebagai pengganti dinding batu bata. Dengan penggunaan *styrofoam* akan mengurangi berat beton, sehingga didapatkan

beton yang lebih ringan dan tahan gempa. *Styrofoam* yang digunakan ada 2 macam, (1) pemanfaatan/penggunaan *Styrofoam* dari limbah hasil pembuangan bekas pembungkus barang elektronik, dan (2) *Styrofoam* yang dibeli dalam bentuk butiran kecil. *Styrofoam* adalah suatu bahan yang terbuat dari polistirin 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 bata atau batako pada umumnya.

Selain bahannya yang ringan, beton dengan menggunakan *Styrofoam* sebagai bahan pengganti agregat ini mempunyai keuntungan yang lain yaitu:

Biaya pembuatan yang murah karena memanfaatkan bahan limbah. Tahan terhadap cuaca. Mempunyai berat yang ringan tapi kuat. Tahan terhadap kebakaran. Tahan terhadap bahan-bahan kimia. 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.

Satyarno (2004) telah melakukan penelitian yaitu penggunaan *Styrofoam* untuk membuat beton ringan dengan menggunakan semen biasa atau semen Portland Tipe I. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan campuran *Styrofoam* ini dapat mempunyai berat jenis yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan beton normal. Jika beton normal mempunyai berat jenis sekitar 2400 kg/m³, maka beton dengan campuran *Styrofoam* dapat mempunyai berat jenis hanya sekitar 600 kg/m³. Namun kuat tekan yang diperoleh juga lebih kecil yaitu sekitar 1.5 Mpa sampai 2 MPa yang mana cukup kecil jika dibandingkan dengan kuat tekan beton normal yang sekitar 20 MPa.

PFA 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 PFA pada beton:

1. Dapat menggantikan semen karena berifat *pozzolanic*.
2. Meningkatkan *workability*.

3. Mengisi rongga-rongga dengan material *cementitious* dan berfungsi sebagai pengisi (*filler*), sehingga dapat mengurangi total area permukaan yang harus ditutup oleh semen.
4. Memperlambat timbulnya panas hidrasi.
5. Meningkatkan kekuatan (*strength*).

Dengan meninjau keuntungan-keuntungan yang terdapat pada *Styrofoam* dan PFA, maka penulis mencoba melakukan rekayasa bahan material beton dengan menggunakan campuran semen, PFA dan *Styrofoam* tanpa agregat kasar. Dalam campuran beton ini, tidak digunakan pasir sebagai gantinya digunakan *Styrofoam*. PFA selain sebagai material *cementitious* juga berfungsi sebagai pengisi beton (*filler*). Diharapkan dengan menggunakan bahan campuran tersebut, akan dihasilkan beton ringan yang lebih kuat, murah karena memanfaatkan limbah, awet, mudah dikerjakan, dan dapat dibuat dari material campuran ini elemen non-struktur yang tahan gempa.

Sifat fisik dan mekanik dari beton ringan yang menggunakan campuran semen, PFA dan *Styrofoam*. Untuk mendapatkan kualitas mutu beton ringan yang baik, maka PFA dibedakan menjadi dua jenis yaitu PFA tanpa diayak dan PFA yang diayak dengan saringan no. 200. Penelitian ini diawali dengan pengukuran kualitas material semen, PFA dan *Styrofoam* untuk mendapatkan informasi awal tentang sifat-sifat fisik dan komposisi kimia dari material tersebut. Dengan menggunakan standar yang ada (ASTM) akan diketahui kelayakan material tersebut untuk dijadikan bahan campuran beton.

Setelah didapat informasi awal dari material tersebut, maka dilakukan perencanaan campuran semen dan PFA agar diketahui perbandingan yang optimum antara semen dan PFA. Dengan menggunakan perbandingan antara semen dan PFA yang optimum dilakukan pengujian dan analisa hasil campuran beton ringan dengan menambahkan *Styrofoam* sebagai bahan pengganti agregat untuk mendapatkan perbandingan optimum antara semen, PFA dan *Styrofoam*.

Pembahasan

a. Semen Portland (*Portland Cement*)

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan

dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton.

Semen portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982). Kandungan silikat dan aluminat pada semen merupakan unsur utama pembentuk semen yang mana apabila bereaksi dengan air akan menjadi media perekat. Media perekat ini kemudian akan memadat dan membentuk massa yang keras. Proses hidrasi terjadi bila semen bersentuhan dengan air. Proses ini berlangsung dalam 2 arah yakni keluar dan kedalam, maksudnya hasil hidrasi mengendap dibagian luar dan inti semen yang belum terhidrasi dibagian dalam secara bertahap terhidrasi.

b. Beton Ringan (*Lightweight Concrete*)

Beton dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan beratnya yaitu beton berat, beton sedang dan beton ringan. Umumnya beton dibuat dengan menggunakan bahan agregat yang diinginkan. Agregat ringan akan membentuk beton dengan berat volume ringan.

Terminologi ASTM C 125 mendefinisikan bahwa agregat ringan adalah agregat yang digunakan untuk menghasilkan beton ringan, meliputi batu apung (*puhnice*), *scoria*, *vulkanik cinder*, *tuff*, *diatomite*, hasil pembakaran lempung, residu batubara. Agregat berat didefinisikan sebagai agregat yang mampu menghasilkan beton dengan kepadatan tinggi seperti *barite*, *magnetite*, *limonite*, besi atau biji besi. Agregat normal adalah agregat yang mampu menghasilkan beton normal.

Menurut ASTM C 330, agregat ringan ini dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Agregat yang dihasilkan dari pengembangan (*expanded*), kalsinasi (*calcining*) atau hasil pengendapan (*sintering*), misalnya dapur tanur tinggi, tanah liat, *diatome*, abu terbang (*fly ash*), lempung atau slate.
2. Agregat yang dihasilkan melalui pengolahan bahan alam, misalnya: scoria, batu apung (*puhnice*).

Satyarno (2004) menyebutkan ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengurangi berat jenis beton atau membuat

beton lebih ringan antara lain adalah sebagai berikut:

1. Dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen sehingga terjadi banyak pori-pori udara di dalam betonnya. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menambah bubuk aluminium kedalam campuran adukan beton.
2. Dengan menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat bakar, batu apung atau agregat buatan (misal: *Styrofoam*) sehingga beton yang dihasilkan akan lebih ringan dari pada beton biasa.
3. Dengan cara membuat beton tanpa menggunakan butir-butir agregat halus atau pasir yang disebut beton non pasir.

Pada Tabel 1. Satyarno (2004) memperlihatkan pembagian penggunaan beton ringan berdasarkan berat jenis dan kuat tekan minimum yang harus dipenuhi.

Tabel 1. Pembagian beton ringan menurut penggunaan dan persyaratannya

Pustaka	Jenis Beton Ringan	Berat Jenis (kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)
	Beton dengan berat jenis rendah (<i>Low-Density Concrete</i>)	240 - 800	0.35 - 6.9
Debnrowski (1998)	Beton ringan dengan kekuatan menengah (<i>Moderate-Strength Lightweight Concrete</i>)	800 - 1440	6.9 - 17.2
	Beton ringan struktur (<i>Structural Lightweight Concrete</i>)	1440 - 1900	> 17.3
	Beton ringan struktur (<i>Structural Lightweight Concrete</i>)	1400 - 1800	> 17
Neville and Brooks (1987)	Beton ringan untuk pasangan batu (<i>Masonry Concrete</i>)	500 - 800	7 - 14
	Beton ringan penahan panas (<i>Insulating Concrete</i>)	< 800	0.7 - 7

Sumber: Satyarno, Swani, 2004

Kesimpulannya, Satyarno (2004) menyebutkan bahwa secara garis besar kalau diringkas pembagian penggunaan beton ringan dapat dibagi tiga yaitu:

1. Untuk nonstruktur dengan berat jenis antara 240 kg/m³ sampai 800 kg/m³ dan kuat tekan antara 0.35 MPa sampai 7 MPa yang umumnya digunakan seperti untuk dinding pemisah atau dinding isolasi,
2. Untuk struktur ringan dengan berat jenis antara 800 kg/m³ sampai 1400 kg/m³ dan kuat tekan antara 7 MPa sampai 17 MPa yang umumnya digunakan seperti untuk dinding yang juga memikul beban,

3. Untuk struktur dengan berat jenis antara 1400 kg/m³ sampai 1800 kg/m³ dan kuat tekan lebih dari 17 MPa yang dapat digunakan sebagaimana beton normal.



Gambar 1. Alat uji Tes Modulus Elastisitas Beton
Sumber: Satyarno, Iman, 2004

c. Styrofoam (*Expanded Polystyrene*)

Styrofoam atau *expanded polystyrene* dikenal sebagai gabus putih yang biasa digunakan untuk membungkus barang elektronik. *Polystyrene* sendiri dihasilkan dari *styrene* (C₆H₅CH=CH₂), yang mempunyai gugus *phenyl* (enam cincin karbon) yang tersusun secara tidak teratur sepanjang garis karbon dari molekul (lihat gambar 2). Penggabungan acak *benzena* mencegah molekul membentuk garis yang sangat lurus sebagai hasilnya *polyester* mempunyai bentuk yang tidak tetap, transparan dan dalam berbagai bentuk plastik. *Polystyrene* merupakan bahan yang baik ditinjau dari segi mekanis maupun suhu, namun bersifat agak rapuh dan lunak pada suhu di bawah 100°C. *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 (Satyarno, 2004).



Gambar 2. Bentuk dari beberapa *Styrofoam*
Sumber: Irmawan, 2000

Jika dibentuk *granular Styrofoam* atau *expanded polystyrene* maka berat satuannya menjadi sangat kecil yaitu hanya berkisar antara 13 - 16 kg/m³. Penggunaan *Styrofoam* dalam beton dapat dianggap sebagai udara yang

terjebak. Namun keuntungan menggunakan *Styrofoam* dibandingkan menggunakan rongga udara dalam beton berongga adalah *Styrofoam* mempunyai kekuatan tarik. Dengan demikian selain akan membuat beton menjadi ringan, dapat juga bekerja sebagai serat yang meningkatkan kemampuan kekuatan dan khususnya daktilitas beton. Kerapatan beton atau berat jenis beton dengan campuran *Styrofoam* dapat diatur dengan mengontrol jumlah campuran *Styrofoam* dalam beton. Semakin banyak *Styrofoam* yang digunakan dalam beton maka akan dihasilkan beton dengan berat jenis yang lebih kecil. Namun kuat tekan beton yang diperoleh tentunya akan lebih rendah dan hal tersebut harus disesuaikan dengan kegunaannya sebagaimana dijelaskan sebelumnya (Satyarno 2004).

d. Abu Terbang Batu Bara dan Macam-Macam *Fly Ash*

Komposisi batubara tidak semuanya dari carbon. Batu bara juga mengandung mineral yang tidak mudah terbakar (*non combustible*). Abu yang tidak ikut terbakar ini didapatkan jika terjadi pembakaran batu bara – biasanya pada pusat tenaga listrik – untuk memproduksi listrik. Menurut *American Coal Council*, penggunaan abu (*ash*) sebagai bahan bangunan sudah lama. Lebih dari 2000 tahun yang lalu – jauh sebelum ditemukan semen Portland – bangsa Romawi sudah menggunakan abu vulkanik untuk membuat bangunan yang monumental, seperti bangunan Pantheon. Pada zaman modern, penggunaan *fly ash* sebagai bahan cementitious dimulai setelah perang Eropa. Berdasarkan *Federal Highway Administration (FHA)*, penggunaan abu terbang pada beton pertama kali pada awal tahun 1930 di Amerika Serikat. Bangunan yang menggunakan abu terbang pada beton adalah *Hungry Horse Dam* pada tahun 1948, yang menggunakan 120.000 metric ton dari abu terbang (*fly ash*) untuk campuran beton.



Gambar 3. *Fly Ash*
Sumber: Buletin ISG Resources, Inc., 2003

Abu terbang adalah *additive* yang penting untuk membuat beton semakin kuat, dapat tahan lama dan mudah pengerjaan dengannya. Menurut ASTM C.618 (ASTM, 1995:304) abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batu bara. *Fly Ash* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu abu terbang kelas F dan kelas C. *Fly Ash* didapat dengan menggunakan *electrostatic precipitators* atau *baghouses*, kemudian ditransfer ke silo.

Abu terbang kelas F dihasilkan dari pembakaran batubara *anthracite* atau *bituminous* atau *sub-bituminous* atau *lignite*. Abu terbang kelas F umumnya mempunyai kandungan kapur yang sedikit, biasanya di bawah 15 %, dan mengandung kombinasi silica, alumina dan besi (*iron*) yang lebih besar dibanding kelas C (lebih besar 70 %).

Abu terbang kelas C dihasilkan dari batu bara jenis *lignite* atau *subbitumeus*. Abu terbang kelas C mempunyai kandungan kapur yang lebih besar – biasanya lebih dari 15 % – bahkan sampai lebih dari 30 %. Tingginya kadar CaO ini memberikan keunikan dalam karakteristik penguatan (*self-hardening*). Perbedaan antara kelas F dan kelas C dapat dilihat dalam tabel 2.

Tabel 2. Perbedaan antara Abu Terbang Kelas F dan Kelas C

Kelas F	Kelas C
1. Sangat efektif dalam mempercepat terjadinya panas hidrasi ketika perawatan beton dan material cementitious yang paling ideal untuk beton massa dan beton mutu tinggi.	1. Sangat bermanfaat untuk meningkatkan performa campuran untuk beton, peratekan dan kasus lain yang membutuhkan bekuan awal yang tinggi.
2. Tahan terhadap sulfida dan sulfida. Kelas F banyak direkomendasikan untuk penggunaan beton yang terbuka terhadap penetrasi ion sulfat pada tanah dan muka air tanah.	2. Bermanfaat untuk stabilisasi tanah karena kelas C tidak membutuhkan tambahan kapur (<i>lime</i>).

Sumber: Buletin ISG Resources, Inc., 2003



Gambar 4. Tampak Mikroskopis dari *Fly Ash* Databara
Sumber: ISG Resources, Inc., 2003

e. Reaksi Campuran antara Semen dan *Fly Ash*

Perbedaan utama antara semen Portland dan abu terbang (*fly ash*) adalah kandungan senyawa-senyawa kimia pembentuknya. Semen *Portland* mempunyai kandungan kapur yang tinggi sedangkan abu terbang kandungannya rendah. Abu terbang kandungan *silica* aktifnya tinggi sedang semen *Portland* kandungannya lebih rendah. Berikut tabel perbandingan kandungan senyawa kimia pada abu terbang dan semen Portland menurut buletin yang dikeluarkan oleh ISG Resources (2003).

Tabel 3. Perbandingan Kandungan Senyawa Kimia pada *Fly Ash* dan Semen (berdasar % berat)

Senyawa Kimia	Tipe <i>Fly Ash</i>		Semen
	Kelas F	Kelas C	
SiO ₂	54.90	39.90	22.60
Al ₂ O ₃	25.80	16.70	4.30
Fe ₂ O ₃	6.90	5.80	2.40
CaO	8.70	24.30	64.40
MgO	1.80	4.60	2.10
SO ₃	0.60	3.30	2.30
Na ₂ O & K ₂ O	0.60	1.30	0.60

Sumber: Buletin ISG Resources, 2003.

Beton umumnya adalah campuran dari agregat, semen dan air. Semen dan air membentuk senyawa kimia yang berfungsi sebagai pengikat agregat menjadi massa yang keras. Ketika *fly ash* dicampurkan pada campuran beton, penggunaan semen bisa dikurangi.

Secara mekanik, partikel *fly ash* kecil dan berbentuk bola (lihat gambar 2.3.), berfungsi sebagai pengisi rongga pada beton yang menyebabkan efek “*ball bearing*”. Efek ini secara signifikan menambah *workability* dari beton dan berakibat penggunaan air yang lebih sedikit daripada beton pada umumnya. Penambahan *fly ash* pada campuran konvensional secara tipikal dapat mengurangi kebutuhan air sampai 10 % (tergantung pada kadar *fly ash* yang ditambahkan), dan pengurangan ini akan meningkat jika kadar *fly ash* yang digunakan lebih tinggi (Sumber: Buletin ISG Resources, 2003).

Secara kimia, *fly ash* bereaksi dengan *excess lime* yang terbentuk ketika semen bereaksi dengan air, sehingga terbentuk bahan pengikat tambahan untuk terbentuknya beton yang lebih kuat dibandingkan tanpa tambahan *fly ash*.

Berikut adalah reaksi kimia antara *Semen Portland + Fly Ash*.

f. Referensi Tentang Penggunaan *Fly Ash* pada Beton

Bilodeau dan Malhotra (2000) mengadakan penelitian tentang *High Volume Fly Ash System: Concrete Solution for Sustainable Development*. Penelitian ini didasari bahwa produksi semen Portland selama ini melepaskan gas CO₂ ke atmosfer bumi, dimana gas CO₂ menyebabkan 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.

Secara umum, sifat mekanik dari *fly ash* dengan volume besar sangat bagus, dilihat dari rendahnya penggunaan air dan *w/cm*, dan kerapatannya secara mikro-struktur. Akibat dari lambatnya reaksi *pozzolanic* penggunaan *fly ash* dengan volume besar menyebabkan peningkatan secara signifikan pada sifat-sifat mekanik pada umur beton lebih dari 28 hari dibandingkan dengan beton konvensional dengan semen Portland.

Naik, Tarun R dan Singh, Shiw S (1997) mengadakan penelitian *Influence of Fly Ash on Setting and Hardening Characteristic of Concrete Systems*. Penelitiannya dengan melakukan investigasi efek *fly ash* dengan mengambil dari berbagai daerah sumber pengambilan. Sebagai referensi, campuran beton tanpa *fly ash* mempunyai kekuatan pada umur 28 hari sebesar 35 Mpa. Campuran *fly ash* yang digunakan proporsinya dari 0 – 100 % dari berat media cementitious. Secara umum, setting awal dan akhir dari beton sangat dipengaruhi dari *fly ash*. Waktu setting awal dan setting akhir dari beton mengalami penundaan yang tinggi dengan semakin bertambahnya komposisi *fly ash* pada semen. Pada komposisi 60 % dari *fly ash*, terjadi waktu setting yang cepat.

Peled (2002) melakukan penelitian *High Content of Fly Ash (Class F) in Extruded Cementitious Composites*. Penelitiannya mengenai sifat mekanik dan durabilitas dari beton komposit dengan perkuatan fiber yang mengandung *fly ash* kelas F dengan persentase besar. *Fly ash* diteliti sebagai pengganti semen pada beton komposit yang mengandung *polyvinyl*

alcohol (PVA), *glass acrylic* (PAN), *polypropylene* (PP), atau *cellulose fiber*.

Percepatan umur pengujian digunakan untuk mempelajari efek dari *fly ash* pada *durabilitas* pada sistem-sistem yang berbeda. Dapat dilihat bahwa *fly ash* meningkatkan *performa flexural* pada beton komposit. Besar dari peningkatan bervariasi pada tipe-tipe fiber yang dicampurkan. PAN, glass, dan *cellulose fiber* sangat terpengaruh dengan digunakannya *fly ash*. Peningkatan yang paling besar pada kekuatan *flexural* dan *daktilitas* terjadi pada umur 28 hari beton komposit yang mengandung PAN fiber dengan kandungan *fly ash* sebagai pengganti semen sebesar 70 %. Peningkatan kekuatan ini terjadi akibat peningkatan kekuatan lekatan akibat digunakan *fly ash*. Penggantian *fly ash* sebesar 70 % dari volume semen secara signifikan juga meningkatkan porositas dari beton komposit tersebut.

Daftar Pustaka

- American Coal Ash Association's (ACAA). *Fly Ash, What Is it ?* www.acaa-usa.org. *Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Agregates*. 2003.
- Bilodeau, Alain and Malhotra, V. Mohan. 2000. *High-Volume Fly Ash System: Concrete Solution for Sustainable Development*. ACI Materials Journal/January-February 2000.
- Ghozi, Mohammad. 1999. *Pemanfaatan Abu Ampas Tebu untuk Campuran Semen pada Beton*. Proposal Tesis Program Pasca Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Irmawan, 2000. *Pengaruh Kehalusan Copper Slag sebagai Cementitious Material pada Campuran Beton Mutu Tinggi*. Research Grant Program, Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS.
- ISG Resources. 2003. *Fly Ash*. Buletin.
- Jovanovic, Desimir & Kostic, Radinko. 2002. *Products of Separation of Building Constructions Elements Made by Expanded Polystyrene at the Effect of Conflagration and Their Influence to One's Organism*. Series: Working and Living Environmental Protection, Vol 2, No 2.
- Mulyono, 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Naik, Tarun R. and Singh, Shiw S. 1997. *Influence of Fly Ash on Setting and*

- Hardening Characteristics on Concrete Systems*. ACI Material Journal/September-October 1997.
- Peled, Alva, Cyr, Michele F., and Shah, Surendra P. *High Content of Fly Ash (Class F) in Extruded Cementitious Composites*. ACI Material Journal/September October 2000.
- Pratapa, Suminar. 2005. *Sinar-X dan Prinsip Difraksi Sinar-X*. Laboratorium Difraksi Sinar-X, LPPM ITS.
- Satyarno, Iman. 2004. *Penggunaan Semen Putih untuk Beton Styrofoam Ringan (BATAFOAM)*. Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil FT UGM.
- Solikin, Mochamad. 2004. *Analisis Kecepatan Penetrasi Ion Klorida (Cl⁻) pada Beton dengan Campuran Fly Ash Domestik Menggunakan Metode Dipercepat untuk Memprediksi Durabilitas Beton*. Proposal Tesis Program Pasca Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Triwulan, 2002. *Pengaruh Kehalusan Fly Ash pada Durabilitas Beton Bertulang dengan Metode Galvanostatis*. Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.