

UPAYA MENINGKATKAN PERFORMA HIGH VOLUME FLY ASH CONCRETE SEBAGAI BAHAN KONSTRUKSI RAMAH LINGKUNGAN: SEBUAH KAJIAN LITERATUR

Mochamad Solikin

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email: msolikin@yahoo.com

Abstrak

Pemakaian beton sebagai bahan konstruksi yang paling banyak digunakan menimbulkan efek samping meningkatnya jumlah emisi gas rumah kaca yang dilepaskan ke atmosfer. Untuk mengurangi dampak buruk tersebut pemakaian high volume fly ash concrete untuk menggantikan pemakaian beton normal menjadi salah satu solusi yang tepat. Makalah ini menampilkan kajian literature mengenai segi teknis teknologi tersebut, penerapan dan upaya mengatasi hambatan dipakainya teknologi ini. Hasil kajian menunjukkan teknologi ini memiliki keunggulan terutama durabilitasnya dibandingkan beton normal dan telah terbukti dipakai pada banyak bangunan. Upaya mengatasi lambatnya perkembangan kuat tekan dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu: pemakaian kadar air yang rendah, penghalusan partikel fly ash, pemakaian kapur dalam campuran beton dan pemakaian temperature yang tinggi untuk perawatannya.

Kata kunci: fly ash, durabilitas, penghalusan, kapur, temperature tinggi.

Pendahuluan

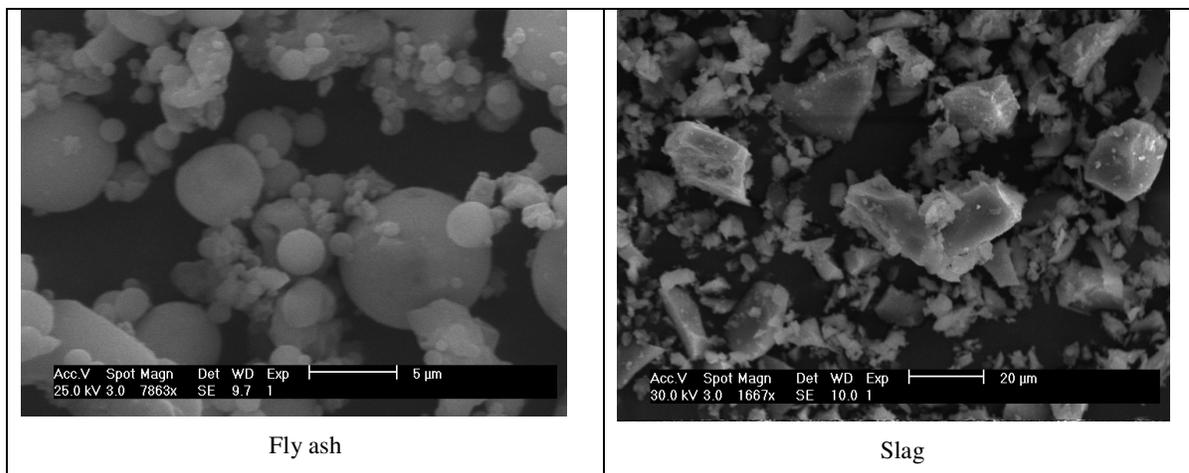
Semen yang ditemukan oleh Joseph Aspadin pada tahun 1824 adalah bahan pengikat komposit beton yang merupakan bahan utama dalam industri konstruksi (Oficemen, 2011). Data menunjukkan peningkatan yang tajam pemakaian semen dalam kurun waktu 4 dasawarsa terakhir. Pada tahun 1964 sebagaimana dilaporkan oleh Brunauer (di dalam Mehta (2004)), jumlah semen yang digunakan secara global sebesar 3 milyar ton pertahun. Selanjutnya pada tahun 1986 jumlah pemakai semen meningkat menjadi 4,5 milyar ton pertahun dan sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk dunia, jumlah pemakaian semen pada tahun 2011 menjadi 21 milyar ton pertahun (Mehta, 1986, Mehta and Meryman, 2009).

Peningkatan jumlah pemakaian semen yang sangat besar menunjukkan bahwa beton merupakan bahan utama konstruksi bangunan dimana beton memiliki beberapa kelebihan dibandingkan material konstruksi yang lain (Mehta, 1986). Kelebihan beton adalah bahan pembuat beton tersedia di hampir semua tempat dan beton memiliki sifat tahan terhadap air yang lebih baik dibandingkan besi dan kayu sehingga beton memiliki sifat durabilitas (keawetan) yang baik. Demikian juga beton segar dengan konsistensi yang baik dapat dibentuk menjadi bahan konstruksi dengan berbagai variasi bentuk dan ukuran.

Disamping keuntungan yang diperoleh terdapat kerugian yang ditimbulkan akibat pemakaian beton sebagai bahan konstruksi ditinjau dari sisi lingkungan. Kerugian yang ditimbulkan adalah, dengan peningkatan jumlah pemakaian beton, jumlah emisi gas CO₂ ke atmosfer juga meningkat (Flower and Sanjayan, 2007). Hal ini disebabkan setiap satu ton semen yang dipakai untuk membuat beton akan memproduksi sebanyak 0,99 ton gas karbon dioxide (CO₂) (Humphreys and Mahasenan, 2002). Peningkatan emisi gas CO₂ ke atmosfer meningkatkan masalah efek rumah kaca dan menjadi penyebab peningkatan pemanasan global. Menurut Malhotra (Malhotra, 1999), pemakaian semen dalam industri konstruksi secara global menyumbang 7% dari jumlah emisi gas CO₂ yang disebabkan oleh aktivitas manusia.

Untuk mengurangi efek buruk terhadap lingkungan dari pemakaian semen, maka upaya penggantian semen sebagai bahan pengikat beton baik seluruhnya maupun sebagian perlu didukung. Bahan pengganti semen yang saat ini sering digunakan adalah silica fume, copper slag dan fly ash, dimana fly ash merupakan bahan pengganti yang

paling luas dipakai saat ini (Kosmatka et al., 2003). Fly ash adalah produk sampingan terutama dari pembangkit listrik tenaga batubara yang dikumpulkan dari system pembuangan debu hasil pembakaran batu bara. Fly ash pada umumnya merupakan partikel yang sangat halus dengan diameter antara 1 – 150 mikron meter dan berbentuk butiran bulat (Siddique, 2004).



Gambar 1. Perbedaan bentuk partikel fly ash dan slag

Dalam upaya mendukung pengurangan secara signifikan pemakaian semen, salah satu teknologi pemanfaatan fly ash dalam pembuatan beton dengan cara produksi yang identik dengan pembuatan beton normal adalah *high volume fly ash concrete* (HVFA). HVFA adalah beton dimana setidaknya 50% jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan fly ash baik berupa kelas F fly ash maupun kelas C fly ash. Istilah *high volume fly ash concrete* sendiri pertama kali diperkenalkan oleh peneliti di pusat penelitian CANMET Kanada pada tahun 1980an (Malhotra and Mehta, 2005).

Makalah ini ditulis sebagai sebuah kajian terhadap perkembangan pemakaian teknologi *high volume fly ash concrete*, permasalahannya serta usulan perbaikan dalam pemanfaatan teknologi ini.

Fly ash sebagai cementitious material.

Ide pemanfaatan fly ash sebagai material bangunan salah satunya berasal dari bangsa Romawi kuno yang memanfaatkan abu dari gunung berapi dengan dicampur kapur dan air untuk membuat bahan pengikat sebagaimana semen (Moore, 1995). Salah satu keunggulan nyata dari pemanfaatan abu gunung berapi tersebut adalah durabilitas bangunan bangsa Romawi yang dapat bertahan hingga lebih dari 2000 tahun.

Penelitian mengenai pemakaian fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam pembuatan beton telah dimulai semenjak tahun 1930an setelah jumlah produksi fly ash mungkin dipakai sebagai bahan pengganti semen. Salah seorang yang memberikan dasar-dasar penelitian tentang fly ash untuk pembuatan beton adalah R E Davies dari Universitas Wisconsin Amerika yang mempublikasikan hasil penelitiannya pada tahun 1937 (ACI 226-3R-87, 1987).

Berdasarkan klasifikasi oleh *American Standard Testing Material* (ASTM) terdapat 3 jenis fly ash berdasarkan kandungan kimianya yaitu kelas C, kelas F dan kelas N (natural pozzolan). Klasifikasi yang dibuat tersebut didasarkan pada kandungan kimia fly ash, sebagaimana dapat dilihat pada table berikut:

Table 1. Klasifikasi fly ash berdasar kandungan kimia (ASTM C 618-03, 2003)

| | Kelas fly ash | | |
|---|---------------|------|------|
| | N | F | C |
| Silicon dioxide (SiO ₂) plus aluminium oxide (Al ₂ O ₃) plus iron oxide (Fe ₂ O ₃), min % | 70.0 | 70.0 | 50.0 |
| Sulphur trioxide (SO ₃), max % | 4.0 | 5.0 | 5.0 |

| | | | |
|-------------------------------|------|------------------|-----|
| Moisture content, max % | 3.0 | 3.0 | 3.0 |
| Loss on ignition (LOI), max % | 10.0 | 6.0 ^A | 6.0 |

Pemakaian fly ash sebagai pengganti sebagian semen berguna terutama untuk meningkatkan durabilitas beton, karena kandungan silica (SiO_2) di dalam fly ash yang tinggi akan mengikat $\text{Ca}(\text{OH})_2$ untuk menghasilkan CSH (Calcium Silicat Hydrate), senyawa utama yang membangun kekuatan beton. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sendiri adalah produk hidrasi reaksi dari semen dengan air namun memiliki sifat rapuh dan larut di dalam air. Sehingga kehadiran fly ash bermanfaat untuk meningkatkan durabilitas beton.

Reaksi kimia yang terjadi di dalam beton yang menggunakan fly ash ditunjukkan dengan reaksi kimia di bawah ini (Oner et al., 2005):

Hidrasi semen:



Reaksi fly ash:



Perkembangan pemakaian high volume fly ash concrete.

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, HVFA concrete adalah beton yang dibuat dengan mengganti sekurang-kurangnya 50% semen dengan fly ash. Pemakaian HVFA concrete dalam industri konstruksi dimulai pada tahun 1980an dengan dibangunnya beberapa bangunan sebagaimana ditampilkan pada Tabel berikut ini:

Tabel 2. Bangunan yang dibangun memakai high volume fly ash concrete

| No. | Nama bangunan | Kelas fly ash | Jumlah Fly ash (Kg/m^3) | Jumlah Semen (Kg/m^3) | Mutu beton (MPa) |
|-----|---|---------------|---|---|------------------|
| 1. | Concrete blok untuk satelit komunikasi di Ottawa – Kanada (1987) | Kelas F | 193 | 151 | 46 (91 hari) |
| 2. | Landasan parkir di komplek hotel dan perkantoran, Haliac Canada (1988) | Kelas F | 220 | 180 | 50 (120 hari) |
| 3. | Tempat kerja pekerja seni, Vancouver Canada (2001) | Kelas F | 195 | 195 | 41 (28 hari) |
| 4. | Peningkatan struktur tahan gempa Barker Hall University of California Berkeley USA (2001) | Kelas F | 197 | 160 | 38 (28 hari) |
| 5. | Perkerasan jalan beton, Punjab India (2002) | Kelas F | 225 | 225 | 41 (28 hari) |

Tabel 2 menunjukkan bahwa jumlah fly ash yang dipakai dalam pembuatan beton terbukti telah melebihi 50%. Dengan kenyataan ini maka dapat menghapus keraguan tentang penerapan teknologi ini di lapangan. Selain itu jenis fly ash yang dipakai untuk pembuatan high volume fly ash concrete hanya di dominasi oleh kelas F.

Pemakaian HVFA concrete memberikan beberapa keuntungan terhadap beton yang dihasilkan, baik dalam keadaan beton segar maupun beton yang telah mengeras. Keuntungan-keuntungan yang diperoleh tersebut adalah:

Peningkatan kelecakan beton

Bentuk partikel fly ash yang berupa butiran bulat memberikan keuntungan untuk mengurangi gesekan antara bahan pengikat dengan agregat (Sata et al., 2007). Berkurangnya gesekan antar partikel mengakibatkan jumlah air yang dibutuhkan untuk pembuatan beton dengan tinggi slump yang sama menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan beton yang dibuat tanpa fly ash. Pengalaman praktis menunjukkan meskipun tinggi slump high volume fly ash concrete hanya 75 mm namun tetap dapat dilakukan pengecoran dengan pompa beton. Dimana pada umumnya tinggi slump agar beton dapat dicor dengan cara dipompa adalah 100 – 125 mm (Malhotra and Mehta, 2005).

Kemudahan dalam finishing permukaan beton.

High volume fly ash concrete pada umumnya dibuat dengan kadar air yang rendah, sehingga kemungkinan terjadinya bleeding di permukaan beton menjadi berkurang. Berkurangnya kemungkinan bleeding di permukaan beton mengakibatkan finishing permukaan beton segar menjadi lebih cepat (Malhotra and Mehta, 2005).

Drying shrinkage dan creep

Drying shrinkage adalah perubahan dimensi beton setelah berlangsung beberapa lama sedang creep adalah perubahan dimensi beton akibat pembebanan. Hasil penelitian menunjukkan, akibat jumlah agregat relative lebih tinggi maka drying shrinkage dan creep pada *high volume fly ash concrete* relative sama dengan beton normal (McCarthy and Dhir, 2005).

Peningkatan durabilitas beton

Peningkatan durabilitas high volume fly ash concrete dapat dilihat dari hasil pengujian beberapa parameter yaitu: rendahnya permeabilitas beton, rendahnya nilai penetrasi ion klorida, dan tingginya ketahanan terhadap sulfat (Crouch et al., 2007, Malhotra and Mehta, 2005, McCarthy and Dhir, 2005, Torii et al., 1995)

Permasalahan pemakaian HVFA Concrete

Meskipun pemakaian high volume fly ash concrete sangat bersesuaian dengan kampanye "*green concrete*", masih ada beberapa kendala yang menyebabkan teknologi ini belum dapat diterima secara luas. Hambatan-hambatan tersebut dapat disebutkan, yaitu:

Hambatan dari segi peraturan.

Pemanfaatan fly di Indonesia masih menghadapi kendala karena berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999 mengenai pengeloaan bahan berbahaya dan beracun fly ash masih digolongkan limbah bahan berbahaya dan beracun (Limbah B3) (---, 1999). Hal ini mengakibatkan banyak pihak yang menghindari pemanfaatan fly ash sebagai bahan pengganti semen.

Perkembangan kuat tekan yang lambat

Sebagai mana terlihat dari reaksi kimia hidrasi semen dan fly ash di mana mekanisme reaksi fly ash terjadi setelah reaksi hidrasi semen, maka perkembangan kuat tekan beton menjadi lebih lambat terutama pada umur awal beton dibandingkan beton normal. Meskipun setelah beberapa waktu, kuat tekan high volume fly ash concrete akan sama dengan kuat tekan beton normal (Atis, 2003, Naik et al., 1998). Lambatnya perkembangan kuat tekan tersebut dapat memungkinkan bertambahnya waktu penyelesaian pekerjaan beton.

Umur perawatan beton yang lama.

Masih berkaitan dengan lambatnya perkembangan kuat tekan high volume fly ash concrete maka umur perawatan beton (*curing*) menjadi faktor yang penting terhadap high volume fly ash concrete. Hal ini disebabkan selama masa hidrasi beton, lingkungan perawatan beton sangat berpengaruh agar hidrasi bahan pengikat berlangsung dengan sempurna sehingga memungkinkan high volume fly ash concrete mencapai kekuatan yang sama dengan beton normal (Baoju et al., 2001). Kegagalan memberikan perawatan terhadap beton dapat mengakibatkan kerusakan pada beton seperti retak-retak pada permukaan beton (Malhotra and Mehta, 2005).

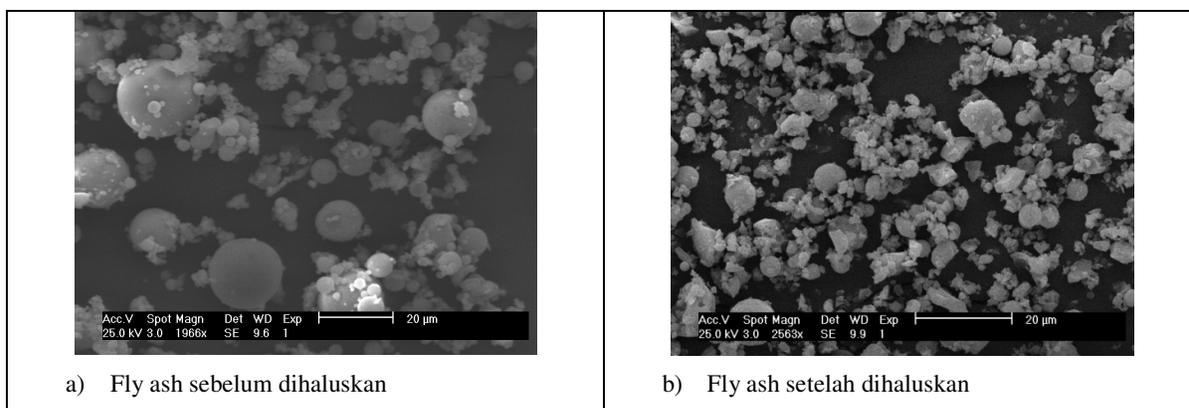
Upaya perbaikan pemakaian HVFA Concrete

Untuk mengatasi permasalahan yang berkaitan dengan pemakaian fly ash di dalam beton maka ada 2 hal yang perlu dilakukan. Pertama adalah melakukan diseminasi hasil-hasil penelitian terbaru yang berkaitan dengan komposisi kimia fly ash sehingga kategori B3 terhadap fly ash dapat diperbaiki. Menurut Malhotra dan Mehta (2005) fly ash aman digunakan untuk bahan pembuat beton karena hanya mengandung prosentase kecil logam beracun di bawah ambang batas yang ditetapkan. Demikian juga hasil penelitian Trihadiningrum dan Sari (2004) juga menunjukkan bahwa fly ash memiliki kandungan logam berat yang sangat kecil meskipun terjadi peningkatan kadar sulfat di areal penimbunan fly ash.

Langkah kedua yang perlu dilakukan adalah meningkatkan kecepatan reaksi hidrasi binder sehingga mempercepat perkembangan kuat tekan dan memperpendek umur perawatan beton, dengan cara:

- a) pemakaian kadar air yang rendah dalam campuran beton (w/binder ratio maximum 0.4), dimana dengan kadar air yang rendah tersebut diperlukan superplasticizer untuk meningkatkan kelecakan beton (Malhotra and Mehta,

- 2005). Pada beton dengan campuran pozzolan sebagai bahan pengikat istilah w/c rasio digantikan oleh istilah w/binder rasio karena bahan pengikat tidak hanya terdiri dari semen.
- b) Pemakaian hanya partikel yang halus dari fly ash, karena fly ash dengan ukuran partikel sebesar 10 mikron merupakan partikel fly ash yang bersifat pozzolan sedang partikel yang lebih besar bertindak sebagai filler dalam campuran beton (Mehta dalam Obla et al, 2003) . Penghalusan partikel fly ash dapat dilakukan dengan cara pengilingan (grinding) atau pemilihan partikel fly ash yang kecil (selected air classified) (Paya et al., 1995, Xu, 1997).
 - c) Pemakaian kapur (Ca(OH)₂) dalam high volume fly ash concrete juga berpotensi meningkatkan kecepatan reaksi binder dalam high volume fly ash concrete, sehingga Ca(OH)₂ yang bereaksi dengan semen tidak hanya berasal dari hasil hidrasi semen (Barbhuiya et al., 2009, Solikin et al., 2011).
 - d) Kecepatan reaksi hidrasi semen dapat ditingkatkan apabila perawatan beton dilakukan dalam lingkungan bersuhu tinggi (Elevated curing temperature). Penelitian sebelumnya menunjukkan dengan menggunakan suhu yang lebih tinggi dari suhu normal perawatan maka high volume fly ash concrete dapat mencapai kuat tekan yang lebih cepat di dibandingkan beton normal dan memiliki kuat tekan paling tinggi pada umur perawatan yang sama (Elsageer et al., 2009).



Gambar 2. Ukuran partikel fly ash sebelum dan setelah dihaluskan (Solikin et al., 2011)

Mix proportion of high volume fly ash concrete

Untuk mendapatkan gambaran tentang rancangan campuran high volume fly ash concrete, berikut ini ditampilkan tipikal rancangan campurannya.

Tabel 3. Rancangan campuran high volume fly ash concrete (Mehta, 2004).

| Strength level | low | moderate | high | Beton normal |
|--|---|---------------|---------------|--------------|
| 28 hari | 20 MPa | 30 MPa | 40 MPa | 32 MPa |
| Rancangan campuran | | | | |
| air (kg/m ³) | 120 - 130 | 115 - 125 | 100 - 120 | 208.33 |
| semen(kg/m ³) | 100 - 130 | 150 - 160 | 180 - 200 | 373.00 |
| fly ash (kg/m ³) | 125 - 150 | 180 - 200 | 200 -225 | |
| w/c ratio | 0.4 - 0.45 | 0.33 - 0.35 | 0.3 - 0.32 | 0.56 |
| kerikil max. 19 mm(kg/m ³) | 1.100 - 1.200 | 1.100 - 1.200 | 1.100 - 1.200 | 1,182.13 |
| pasir (kg/m ³) | 800 - 900 | 800 - 900 | 800 - 900 | 636.53 |
| Superplasticizer | Ditambahkan sesuai tinggi slump rencana | | | --- |

Rancangan campuran beton di atas menunjukkan, semakin tinggi kuat tekan rencana high volume fly ash concrete maka semakin rendah rasio air/binder yang digunakan. Sebagai akibatnya jumlah pemakaian superplasticizer akan semakin tinggi. Selain itu karena jumlah air yang digunakan dalam rancangan campuran beton juga rendah, maka jumlah agregat yang digunakan lebih banyak dibandingkan dengan rancangan campuran beton normal terutama jumlah pasir. Jumlah pasir pada umumnya memang digunakan untuk membuat volume rancangan campuran menjadi 1 m³.

Kesimpulan dan saran

Berdasarkan kajian yang dilakukan terhadap literature yang tersedia, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan bahwa pemakaian high volume fly ash concrete sebagai bahan konstruksi mendukung upaya penurunan jumlah emisi gas CO₂ ke atmosfer, mengatasi masalah limbah batu bara dari pembangkit tenaga listrik dan mendukung upaya pemakaian *green concrete* dalam industri konstruksi. Selain itu pemakaian high volume fly ash concrete dengan teknik yang tepat tidak hanya dapat menghasilkan beton yang memiliki sifat mekanik yang sama dengan beton normal namun juga menghasilkan beton yang memiliki sifat durabilitas yang lebih baik dibandingkan beton normal.

Dari kajian juga diperoleh kesimpulan masih terdapat hambatan dari segi peraturan untuk pemakaian fly ash di Indonesia karena ditetapkan fly ash sebagai limbah bahan beracun dan berbahaya. Selanjutnya perlu dilakukan kajian pemakaian fly ash kelas C dalam pembuatan high volume fly ash concrete.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Surakarta yang memberikan waktu penulisan sehingga makalah ini dapat diselesaikan. Selain itu diucapkan terima kasih juga kepada RMIT University atas kemudahan akses literatur untuk penulisan makalah ini.

Daftar bacaan

- 1999. Perubahan Atas Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. In: INDONESIA, P. R. (ed.) No. 18/ 1999. Jakarta.
- ACI 226-3R-87 1987. Use of Fly Ash in Concrete: reported by ACI Committee 226. ACI MATERIALS JOURNAL, Sep-Oct 1987, 381-409.
- ASTM C 618-03 2003. Standard specification for fly ash and raw calcined natural pozzolan for use as mineral admixture in portland cement concrete. Philadelphia, United States: Annual Book of ASTM Standard
- ATIS, C. D. 2003. High-Volume Fly Ash Concrete with High Strength and Low Drying Shrinkage. ASCE JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING March-April, 153-156.
- BAOJU, L., YOUJUN, X., SHIQIONG, Z. & JIAN, L. 2001. Some factors affecting early compressive strength of steam-curing concrete with ultrafine fly ash. Cement and Concrete Research Vol. 31, 1455-1458.
- BARBHUIYA, S. A., GBAGBO, J. K., RUSSELL, M. I. & BASHEER, P. A. M. 2009. Properties of fly ash concrete modified with hydrated lime and silica fume. Construction and Building Materials Vol. 23, 3233-3239.
- CROUCH, L. K., HEWITT, R. & BYARD, B. 2007. High volume fly ash concrete. 2007 World coal ash (WOCA). Northern Kentucky, USA.
- ELSAGEER, M. A., MILLARD, S. G. & BARNETT, S. J. 2009. Strength development of concrete containing coal fly ash under different curing temperature conditions World of Coal Ash (WOCA) Conference. Lexington, KY, USA.
- FLOWER, D. J. M. & SANJAYAN, J. G. 2007. Green House Gas Emissions due to Concrete Manufacture. The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 12, 282-288.
- HUMPHREYS, K. & MAHASENAN, M. 2002. Toward a Sustainable Cement Industry. Substudy 8: Climate Change. Bonn, Germany: ICLEI - Local Governments for Sustainability.
- KOSMATKA, S. H., KERKHOFF, B. & PANARES, W. C. 2003. Design and Control of Concrete Mixtures 14th edition, Skokie, Illinois, USA, Portland Cement Association.
- MALHOTRA, V. M. 1999. Making concrete greener with fly ash. Concrete International. Detroit: American Concrete Institute.

- MALHOTRA, V. M. & MEHTA, P. K. 2005. High Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: materials, mixture proportioning, properties, construction practice, and case histories. , Ottawa, Canada, Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa Canada.
- MCCARTHY, M. J. & DHIR, R. K. 2005. Development of high volume fly ash cements for use in concrete construction. *Fuel*, Vol. 84, 1423 - 1432.
- MEHTA, P. K. 1986. *Concrete: Structure, Properties, and Materials*, New Jersey, USA, Prentice Hall, Inc.
- MEHTA, P. K. 2004. HIGH-PERFORMANCE, HIGH-VOLUME FLY ASH CONCRETE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology. Beijing: IOWA State University.
- MEHTA, P. K. & MERYMAN, H. 2009. Tools for Reducing Carbon Emissions Due to Cement Consumption STRUCTURE. Wisconsin, U S: National Council of Engineers Associations (NCSEA).
- MOORE, D. 1995. The Riddle of Ancient Roman Concrete [Online]. Roman Concrete. [Accessed 12/11 2012].
- NAIK, T. R., SINGH, S. & RAMME, B. 1998. Mechanical Properties and Durability of Concrete Made with Blended Fly Ash. *ACI Materials Journal*, July-August, 454 - 460.
- OBLA, K. H., HILL, R. L., THOMAS, M. D. A., SHASHIPRAKASH, S. G. & PEREBATOVA, O. 2003. Properties of Concrete Containing Ultra-Fine Fly Ash. *ACI MATERIALS JOURNAL*, Sept.-Okt. 2003, 426-433.
- OFICEMEN. 2011. Industrial Revolution [Online]. Madrid: <http://www.oficemen.com>. [Accessed 12/09/2011 2011].
- ONER, A., AKYUZ, S. & YILDIZ, R. 2005. An experimental study on strength development of concrete containing fly ash and optimum usage of fly ash in concrete. *Cement and Concrete Research* Vol. 35, 1165– 1171.
- PAYA, J., MONZO, J., PERIS-MORA, BORRACHERO, M. V., TERCERO, R. & PINILLOS, C. 1995. Early-Strength Development of Portland Cement Mortars Containing Air Classified Fly Ashes. *Cement and Concrete Research*, Vol, 25, 449-456.
- SATA, V., JATURAPITAKKUL, C. & KIATTIKOMOL, K. 2007. Influence of pozzolan from various by-product materials on mechanical properties of high-strength concrete. *Construction and Building Materials*, 21, 1589-1598.
- SIDDIQUE, R. 2004 Performance characteristics of high-volume Class F fly ash concrete. *Cement and Concrete Research* Vol. 34 487–493.
- SOLIKIN, M., SETUNGE, S. & PATNAIKUNI, I. 2011. The Influence of Lime Water as Mixing Water on The Compressive Strength Development of High Volume Ultra Fine Fly Ash Mortar. In: CHEUNG, S. O., YAZDANI, S., GHAFORI, N. & SINGH, A. (eds.) *Modern Methods and Advances in Structural Engineering and Construction*. Zurich, Switzerland: Research Publishing Services.
- TORII, K., TANIGUCHI, K. & KAWAMURA, M. 1995. Sulfate Resistance of High Fly Ash Content Concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, 759 - 768.
- TRIHADININGRUM, Y. & SARI, Y. 2004. Kajian Status Limbah Abu Batu Bara Sebagai Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. *Jurnal Natur Indonesia*, Vol. 7, 27 - 31.
- XU, A. 1997. *Fly ash in concrete*, New jersey, Noyes Publications.