

PENGARUH SUHU PEMBAKARAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON *FLY ASH* DENGAN PENAMBAHAN *WATER REDUCER*

Angelina Eva Lianasari¹, Sabdo Tri Manggolo², Randy Kristovandy Tanesia³

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 43 Yogyakarta
Email: eva@mail.uajy.ac.id

²Alumni Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 43 Yogyakarta

³Alumni Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 43 Yogyakarta

ABSTRAK

Abu terbang (*fly ash*) merupakan limbah pembakaran batubara yang mengandung SiO_2 yang tinggi, yang dapat meningkatkan sifat mekanik beton. Penelitian ini menggunakan penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan penambahan *water reducer* dalam hal ini adalah Sikament LN. Tujuan dari pemberian *fly ash* dan Sikament LN adalah untuk meningkatkan kestabilan beton pada temperatur tinggi karena pozzolan yang mengandung silika aktif yang di tambahkan pada pasta semen dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dapat membuat beton lebih stabil dalam suhu tinggi. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah studi eksperimen dengan melakukan percobaan langsung di laboratorium. Benda uji yang dibuat pada penelitian ini total sebanyak 45 buah dengan rincian 15 buah untuk beton normal (BN), 15 buah untuk beton dengan *fly ash* (BF), dan 15 buah untuk beton dengan *fly ash* + Sikament LN (BFS). Benda uji dibakar pada suhu 200°C, 400°C, 500°C dengan waktu ± 1 jam pada umur 56 hari dan kemudian akan diuji kuat tekannya. Perencanaan adukan beton menggunakan SNI T-15-1990-03 dengan kuat tekan rencana 25 MPa, fas 0,49, kadar substitusi *fly ash* sebesar 20% dari berat semen, dan 0,6% Sikament LN dari berat semen. Hasil penelitian menunjukkan BF umur 28 hari kuat tekan meningkat 3,34% dari BN, BFS meningkat 17,03%. BF pada umur 56 hari kuat tekan meningkat 12,46% dari BN, BFS meningkat 21,76%. BN umur 56 hari pasca bakar suhu 200°C, 400°C, dan 500°C mengalami penurunan kuat tekan berturut-turut sebesar 4,19%, 13,24%, 28,24%. BF umur 56 hari pasca bakar mengalami penurunan kuat tekan secara berturut-turut sebesar 19,81%, 31,27%, 31,42%. BFS umur 56 hari pasca bakar mengalami penurunan kuat tekan secara berturut-turut sebesar 8,64%, 10,96%, 14,37%.

Kata kunci : pasca bakar, beton, *fly ash*, Sikament LN

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, sekarang banyak diteliti mengenai beton mutu tinggi untuk menanggulangi kekurangan-kekurangan yang dimiliki oleh beton biasa. Diantara sifat-sifat beton yang paling penting adalah kuat tekan (*compressive strength*) dan indeks mutu beton (*quality of concrete*).

Jika dibandingkan dengan material lain, beton merupakan bahan bangunan yang memiliki daya tahan terhadap api yang relatif lebih baik, karena beton merupakan material yang memiliki daya hantar panas yang rendah, sehingga dapat menghalangi rambatan panas ke bagian dalam struktur beton tersebut. Saat terbakar beton tidak dapat menghasilkan api namun dapat menyerap panas sehingga akan terjadi suhu tinggi yang berlebihan, yang akan mengakibatkan perubahan pada mikro struktur beton tersebut. Perubahan atau kerusakan akibat kebakaran dipengaruhi oleh ketinggian suhu, lama pembakaran, jenis bahan pembentuk campuran beton, dan perilaku pembebanan.

Jika kita cermati, kerugian terbesar yang terjadi pada bangunan akibat dari bencana kebakaran adalah rusaknya bangunan tersebut. Terjadinya perubahan temperatur yang cukup tinggi, seperti yang terjadi pada peristiwa kebakaran, akan berpengaruh terhadap elemen-elemen struktur. Karena pada proses tersebut akan terjadi suatu siklus pemanasan dan pendinginan yang bergantian, yang akan menyebabkan adanya perubahan kimiawi secara kompleks, hal ini akan menyebabkan beton menjadi getas.

Semakin besar faktor air semen (FAS) yang digunakan semakin besar porositas, sebaliknya semakin kecil faktor air semen (FAS) maka semakin kecil porositas. Untuk mendapatkan beton dengan kuat tekan yang tinggi maka harus

digunakan faktor air semen yang rendah, namun jika faktor air semen terlalu kecil pengerjaan beton akan menjadi sangat sulit, sehingga pemadatan tidak bisa maksimal dan akan mengakibatkan beton menjadi keropos, hal tersebut berakibat menurunnya kuat tekan beton. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan *superplasticizer* yang sifatnya dapat mengurangi air.

Porositas juga dapat diakibatkan adanya partikel-partikel bahan penyusun beton yang relatif besar, sehingga kerapatan tidak dapat maksimal. Partikel terkecil bahan penyusun beton konvensional adalah semen. Untuk mengurangi porositas semen dapat digunakan aditif yang bersifat pozzolan dan mempunyai partikel yang sangat halus. Salah satunya adalah abu terbang (*fly ash*), yang merupakan sisa pembakaran batubara yang mengandung SiO_2 yang tinggi, yang dapat meningkatkan kuat tekan beton sehingga dapat berpengaruh baik terhadap struktural beton.

Dalam penelitian ini, beton dibuat dengan mensubstitusi sebagian semen dengan abu terbang (*fly ash*) dan penambahan *superplasticizer* Sikament LN yang merupakan *high range water reducer*. Melalui penelitian ini diharapkan dengan menggantikan sebagian semen oleh *fly ash* dapat mengurangi penurunan kuat tekan beton pada beton pasca bakar pada suhu pembakaran yang berbeda.

2. BETON PASKA BAKAR

Kebakaran beton pada hakekatnya merupakan reaksi kimia dari *combustible* material dengan oksigen yang dikenal dengan reaksi pembakaran yang menghasilkan panas (Sumardi, 2000 dalam Ahmad dkk, 2009). Panas hasil pembakaran ini diteruskan ke massa beton/mortar dengan dua macam mekanisme yakni pertama secara radiasi yaitu pancaran panas diterima oleh permukaan beton sehingga permukaan beton menjadi panas. Pancaran panas akan sangat potensial, jika suhu sumber panas relatif tinggi. Kedua secara konveksi yaitu udara panas yang bertuip/bersinggungan dengan permukaan beton/mortar sehingga beton menjadi panas. Bila tiupan angin semakin kencang, maka panas yang dipindahkan dengan cara konveksi semakin banyak.

Tjokrodimuljo (2000) mengatakan bahwa beton pada dasarnya tidak mampu menahan panas sampai di atas 250°C . Akibat panas, beton akan mengalami retak, terkelupas (*spalling*), dan kehilangan kekuatan. Kehilangan kekuatan terjadi karena perubahan komposisi kimia secara bertahap pada pasta semennya.

Panas menyebabkan beton berubah warna. Bila beton dipanasi sampai suhu sedikit di atas 300°C , beton akan berubah warna menjadi merah muda. Jika di atas 600°C , akan menjadi abu-abu agak hijau dan jika sampai di atas 900°C menjadi abu-abu. Namun jika sampai di atas 1200°C akan berubah menjadi kuning. Dengan demikian, secara kasar dapat diperkirakan berapa suhu tertinggi selama kebakaran berlangsung berdasarkan warna permukaan beton pada pemeriksaan pertama.

Hasil penelitian Ahmad dan Taufieq (2006) menyatakan terjadi penurunan kekuatan pada beton yang telah dioven. Pada penelitian ini didapatkan kuat tekan pada beton yang tidak dioven sebesar $240,0624 \text{ kg/cm}^2$. Kekuatan sisa beton yang dioven pada temperatur 200°C dan 400°C adalah 88,89 % dan 70,15 % dari kekuatan beton normal yang tidak dioven.

Rahmah (2000) menggunakan silinder hasil *core case* berdiameter 5 cm dari suatu model balok beton bertulang yang dibakar pada temperatur 200°C , 400°C , 600°C , dan 800°C . Hasil dari penelitian ini adalah terjadi perubahan kuat tekan tiap cm kedalaman *core case* beton sebesar 0,4%, sedangkan perubahan modulus elastisitas tiap cm-nya berkisar 1,2% - 2,2%.

Menurut Zacob dan Anggraini (2005), perubahan temperatur yang cukup tinggi, seperti yang terjadi pada peristiwa kebakaran, akan membawa dampak pada struktur beton. Karena pada proses tersebut akan terjadi suatu siklus pemanasan dan pendinginan yang bergantian, yang akan menyebabkan adanya perubahan fase fisis dan kimiawi secara kompleks. Hal ini akan mempengaruhi kualitas/kekuatan struktur beton tersebut. Pada beton normal mutu tinggi dengan suhu 1200°C terjadi penurunan kekuatan tekan sampai tinggal 40% dari kekuatan awal. Sedangkan pada beton mutu tinggi dengan *Silikafume* dan *Superplasticizer* akan mengalami perubahan yang cukup berarti pada suhu tinggi dimana kekuatannya tinggal 35%.

Ada tiga macam cara pengujian yang dapat dilakukan untuk mempelajari atau meneliti pengaruh temperatur terhadap kekuatan beton, yaitu : *unstressed test*, yaitu benda uji diberikan perubahan temperatur tanpa beban awal dan kemudian diuji kekuatannya pada temperatur yang diinginkan; *stressed test*, yaitu benda uji diberikan beban awal konstan dan dipertahankan selama perubahan temperatur dan pada temperatur yang dikehendaki tercapai langsung di uji kekuatannya; dan *residual unstressed test*, yaitu benda uji diberikan perubahan temperatur tanpa beban awal, didinginkan setelah tercapai temperatur tertentu kemudian diuji. (Lianasari, 1999)

3. FLY ASH

Abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran hasil residu pembakaran batu bara atau bubuk batu bara. *Fly ash* dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu abu terbang yang normal yang dihasilkan dari pembakaran batubara antrasit atau batu bara *bitomius* (kelas F), abu terbang yang dihasilkan dari batu bara jenis *lignite* atau *subbitumeus* (kelas C), dan abu terbang yang dihasilkan dari hasil kalsinasi pozolan alam seperti tanah *diatonic*, *shole*, *tuft*, batu apung (kelas N).

Fly ash mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan carbon.

Keuntungan menggunakan *fly ash* pada beton segar adalah dapat memperbaiki sifat pengerjaan adukan beton (*workability*) akibat bentuk partikelnya yang bundar, mengurangi jumlah air campuran yang dibutuhkan, mengurangi jumlah panas hidrasi yang terjadi, sehingga baik untuk pembuatan beton massa karena dapat mengurangi terjadinya retak, dapat mengurangi kemungkinan terjadinya segregasi dan *bleeding*. Sedangkan pada beton keras keuntungan penggunaan *fly ash* adalah mempertinggi daya tahan terhadap lingkungan yang bersifat agresif, meningkatkan kerapatan beton, mengurangi penyusutan, mengurangi pengembangan yang disebabkan oleh reaksi alkali agregat. (Yogaswara,1998).

Pada penelitian ini digunakan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen (sebanyak 20%). Dari hasil pengujian didapat berat jenis *fly ash* sebesar $2,3010 \text{ gram/cm}^3$. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* yang telah diolah oleh PT Holcim Tbk, dengan komposisi kimiawi seperti tabel 1. Dari tabel tersebut terlihat bahwa *fly ash* yang digunakan masuk dalam kategori *fly ash* tipe F (*ACI Manual of Concrete Practice* 1993 Part 1 226.3R-3), dengan kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari 70% dan sesuai dengan syarat SNI 03-2460-1991. *Fly ash* kelas F disebut juga *low-calcium fly ash*, yang tidak mempunyai sifat *cementitious* dan hanya bersifat *pozzolanic*.

Tabel 1. Komposisi kimia *fly ash* (Sumber PT Holcim Tbk)

Unsur Kimia	%
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	76,93
CaO	7,54
MgO	1,33
SO_3	0,55
K_2O	1,90
Na_2O	1,88

4. WATER REDUCER

Tujuan penambahan water reducer dalam penelitian ini adalah diperoleh beton dengan kekuatan yang lebih sebagai konsekuensi dari pengurangan air, namun adukan beton tetap mudah untuk dikerjakan. Produk PT Sika Indonesia dengan material Sikament LN sebagai pengurang air mengakibatkan suatu peningkatan dari karakteristik beton khususnya peningkatan kuat tekan (*compressive*), sebagai konsekuensi pengurangan dari perbandingan air/semen. Dengan penambahan Sikament LN beton menjadi lebih *workable*. Pada perbandingan air/semen yang sama, *slump loss* beton dengan *superplasticizer* lebih tinggi dari beton tanpa admixture sebagai fungsi dari jenis *superplasticizer*. Kuat tekan beton *fly ash* 20% + Sikament LN mengalami peningkatan sebesar 61,4% dibandingkan dengan beton normal pada usia 90 hari (Lianasari, 2010).

5. METODE PENELITIAN

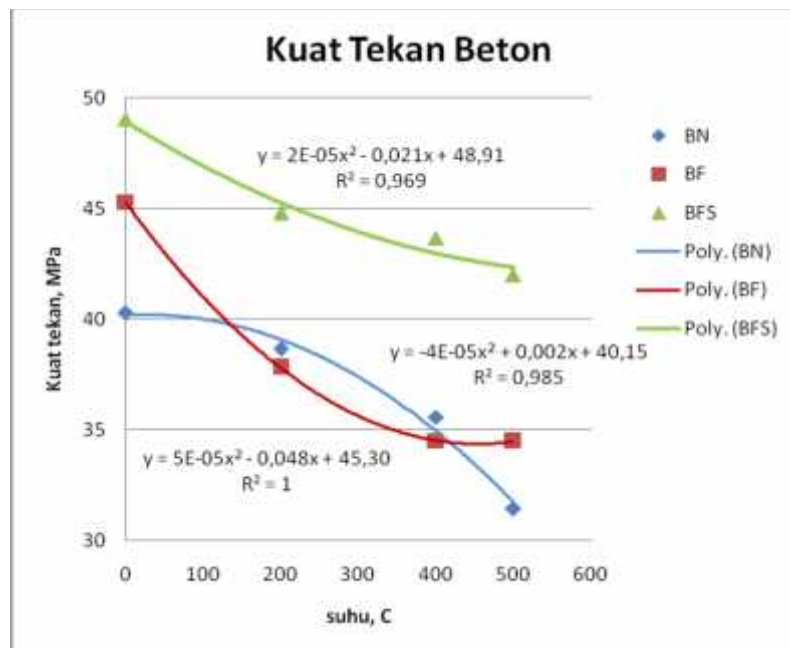
Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah studi eksperimen dengan melakukan percobaan langsung di laboratorium. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh suhu pembakaran terhadap kuat tekan beton dengan substitusi sebagian semen oleh abu terbang (*fly ash*) dan *superplasticizer* Sikament LN. Benda uji yang dibuat pada penelitian ini sebanyak 15 buah untuk beton normal (BN) dan 15 buah untuk beton dengan *fly ash* (BNF), serta 15 buah untuk beton dengan *fly ash* dan *superplasticizer* Sikament LN. Benda uji yang dibakar sebanyak 36 buah dengan variasi suhu pembakaran 200°C , 400°C , 500°C . Sampel benda uji ini akan dibakar pada umur 56 hari dan kemudian akan diuji kuat tekannya.

6. HASIL PENGUJIAN

Pengujian kuat tekan dilakukan saat umur beton silinder mencapai 28 hari dan 56 hari (pasca bakar). Data hasil pengujian kuat tekan beton untuk semua variasi suhu ditunjukkan pada Tabel 2, serta grafik hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 56 hari ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 2. Hasil pengujian kuat tekan beton

Suhu pembakaran	0°	200°	400°	500°
BN (MPa)	40,3	38,66	35,57	31,41
BF (MPa)	45,3	37,81	34,51	34,47
BFS (MPa)	49,1	44,81	43,67	42



Gambar 1. Grafik perbandingan kuat tekan beton

Dengan penambahan abu terbang (*fly ash*) yang berasal dari PT. Holcim.tbk Cilacap menunjukkan bahwa adanya peningkatan kuat tekan beton pada umur 28 hari sebesar 3,34% dan 56 hari sebesar 12,46% (BF) dan sebesar 17,03% pada umur 28 hari dan kenaikan sebesar 21,76% pada usia 56 hari dibanding beton normal (BFS). Terlihat persentase kenaikan kuat tekan beton lebih tinggi pada umur 56 hari (diatas 28 hari), hal ini terjadi karena reaksi sekunder *fly ash* dengan hasil hidrasi semen. Kenaikan kuat tekan beton pada penambahan abu terbang terjadi karena secara kimiawi abu terbang bersifat reaktif 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 atau kalsium hidroksida menjadi senyawa keras kalsium silikat hidrat atau yang disebut *tobbermorite* yang akhirnya mempengaruhi kekuatan tekan beton. Kadar kalsium hidroksida akibat proses hidrasi yang berkurang karena adanya pengikatan yang terjadi dengan abu terbang menyebabkan porositas dan permeabilitas berkurang sehingga membuat beton menjadi lebih padat dan lebih kuat. Abu terbang yang butirannya lebih halus dari semen dalam beton secara mekanik juga akan mempengaruhi kuat tekan beton karena akan mengisi pori-pori yang ada dalam beton sehingga menambah kedapatan dan memudahkan pengerjaan. (Andoyo,2006). Penambahan sikament sebagai *high range water reducer* dapat menekan FAS sehingga porositas pada beton akan semakin berkurang hal ini akan menjadikan semakin meningkatkan kuat tekan beton tanpa menurunkan *workability* pada adukan beton segar. Dalam penelitian ini air dikurangi sebanyak 0,5 kg sehingga nilai FAS menjadi 0,46 dari nilai FAS sebelumnya yaitu 0,49.

Dari Tabel 2 hasil pengujian kuat tekan beton diatas dapat dilihat bahwa : untuk beton normal pada suhu 200°C, 400°C, dan 500°C mengalami penurunan kuat tekan berturut-turut sebesar 4,19%, 13,24%, 28,24%; untuk beton *fly ash* pada suhu 200°C, 400°C, dan 500°C mengalami penurunan kuat tekan berturut-turut sebesar 19,81%, 31,27%, 31,42%; untuk beton *fly ash* + Sikament LN pada suhu 200°C, 400°C, dan 500°C mengalami penurunan kuat tekan berturut-turut sebesar 8,64%, 10,96%, 14,37%.

Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan kuat tekan pada beton normal namun pada beton pasca bakar beton dengan *fly ash* mengalami penurunan yang lebih besar dari beton normal dan beton pasca bakar *fly ash* + Sikament LN mengalami penurunan yang lebih besar dari beton normal pada suhu 200° dan mengalami penurunan yang lebih kecil pada suhu 400° dan 500°. Secara keseluruhan beton dengan *fly ash* + Sikament LN pasca bakar memiliki kekuatan yang lebih tinggi di banding beton normal pasca bakar.

7. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Beton pada umur 28 hari menunjukkan beton *fly ash* mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 3,34% dari beton normal, sedangkan pada umur 56 hari terlihat beton *fly ash* mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 12,46%, sedangkan beton *fly ash* + Sikament LN mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 17,03% dibanding beton normal sedangkan pada beton umur 56 hari beton *fly ash* + Sikament LN mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 21,76% dibanding beton normal.
2. Beton normal pada suhu 200°C, 400°C, dan 500°C mengalami penurunan kuat tekan secara berturut-turut sebesar 4,03%, 11,71%, 22,03%.
3. Beton *fly ash* umur 56 hari pada suhu 200°C, 400°C, dan 500°C mengalami penurunan kuat tekan secara berturut-turut sebesar 19,81%, 31,27%, 31,42%.
4. Beton *fly ash* + Sikament LN pada suhu 200°C, 400°C, dan 500°C mengalami penurunan kuat tekan secara berturut-turut sebesar 8,64%, 10,96%, 14,37%.
5. Penggunaan *fly ash* dalam beton normal dapat meningkatkan kuat tekan namun dalam beton pasca bakar beton yang menggunakan *fly ash* sebagai substitusi semen sebanyak 20% mengalami presentasi penurunan kuat tekan yang lebih besar dari beton normal sedangkan beton dengan *fly ash* + Sikament LN mengalami penurunan yang lebih besar dari beton normal pada suhu 200° dan mengalami penurunan yang lebih kecil pada suhu 400° dan 500°.
6. Secara keseluruhan beton dengan *fly ash* + Sikament LN pasca bakar memiliki kekuatan yang lebih tinggi di banding beton normal pasca bakar.

8. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, I.A., 2001, *Tinjauan Kelayakan Balok Beton Bertulang Pascabakar Secara Analisis dan Eksperimen*, Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ahmad, I.A. dan Taufieq, N.A.S., 2006, *Tinjauan Kelayakan Forensic Engineering Dalam Menganalisis Kekuatan Sisa Bangunan Pasca Kebakaran*, Laporan Penelitian Dosen Muda. Jurusan Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Makasar, Makasar.
- Andoyo, 2006, *Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tekan Dan Serapan Air Pada Mortar*, Semarang : Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
- ACI Manual Of Concrete Practice, Part 1, Materials And General Properties Of Concrete, 1993
- Anonim, 1990, *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles (SK SNI M-02-1990-F)*, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim, 1990, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Adukan Beton Normal (SK SNI T-15-1990-03)*, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Lianasari, A. E., Perilaku dan Rehabilitasi Struktur Beton Pasca Kebakaran, Sigma Edisi 22/Tahun XXII/Agustus 1999, ISSN 0216-3977.
- Lianasari, A. E., 2010, Pemanfaatan Limbah *Fly Ash* (Abu Terbang) Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Dan *Sikament LN* Untuk Memperoleh Beton Hijau Mutu Tinggi , *Proceeding National Conference on Green Tecnology For Better Future*, ISBN 978-602-97320-1-6.

Rahmah, S.N., 2000, *Analisis Material Beton Pasca Bakar (Tinjauan Sifat Mekanik dan Kimiawi)*, Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Tjokrodimuljo, K.I., 2000, *Teknologi Beton*, Biro Penerbit, Yogyakarta.

SNI 03-2460-1991, *Abu Terbang Sebagai Bahan Tambah Campuran Beton Spesifikasi*.

Yogaswara, H., 1998, *Kuat Tekan Beton Dengan Fly Ash dan Accelerator*, Laporan penelitian Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, *unpublised*.

Zacoeb, A. dan Anggraini, R., 2005, *Kuat Tekan Beton Pasca Bakar*, diakses pada 14 Februari 2013, <http://bppft.brawijaya.ac.id/?hlm=bpenelitian&view=full&thnid=2005&pid=1153962006>.