

LAPORAN PENELITIAN



PENGARUH SUHU PEMBAKARAN TERHADAP KUAT TEKAN BETON PASCA BAKAR DENGAN SUBSTITUSI SEBAGIAN SEMEN OLEH *FLY ASH* DAN PENAMBAHAN *SUPERPLASTICIZER*

**Oleh :
ANGELINA EVA LIANASARI, ST, MT**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
2013**

LEMBARAN PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN

1.	Judul Penelitian	:	Pengaruh Suhu Pembakaran Terhadap Kuat Tekan Beton Pasca Bakar Dengan Substitusi Sebagian Semen Oleh <i>Fly Ash</i> Dan Penambahan <i>Superplasticizer</i>
2.	Kategori Penelitian	:	Laboratorium
3.	Ketua Peneliti		
	a. Nama Lengkap	:	Angelina Eva Lianasari, ST, MT
	b. Tempat, tanggal lahir	:	Yogyakarta, 10 Februari 1973
	c. Jenis Penelitian	:	Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi
	d. NPP/Golongan	:	11.96.600/III b
	e. Jabatan Akademik	:	Lektor
	f. Jabatan Struktural	:	Sekretaris Program Studi Teknik Sipil
	g. Fakultas/Program Studi	:	Teknik/Teknik Sipil
	h. Alamat Rumah	:	Perum Puri Gejayan Indah C-21 Jl. Jembatan Merah
	i. Telepon/HP	:	08164266052
3.	Anggota Peneliti	:	Randy Kristovandy Tanesia, NPM 090213306 Sabdo Tri Manggolo, NPM 090213248
3.	Lokasi Penelitian	:	Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik, UAJY serta Laboratorium Bahan Bangunan Universitas Gadjah Mada, UGM
4.	Jangka waktu Penelitian	:	5 bulan
5.	Biaya yang diperlukan	:	Rp. 4.830.000,-

Yogyakarta , 12 Juli 2013

Ketua Peneliti,

Angelina Eva Lianasari, ST, MT
NPP: 11.96.600/NIDN: 0510027301

Mengetahui dan menyetujui
Dekan Fakultas Teknik UAJY,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng
NPP:01.88.265/NIDN:0522026201

Johanes Januar Sudjati, ST, MT
NPP:02.95.532/NIDN: 0523017101

Ketua LPPM,

Dr. Ir. Y. Djarot Purbadi, MT
NPP:07.87.217/NIDN:0516065701

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 oleh *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 silica 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: beton, *fly ash*, Sikament ln, pasca bakar

KATA PENGANTAR

Syukur kepada Allah Bapa Maha Pengasih atas perlindungan dan penyertaanNya kepada penulis sehingga dapat terlaksananya penelitian ini sampai tertulisnya laporan penelitian ini.

Harapan penulis melalui laporan penelitian ini, pengetahuan penulis semakin bertambah dalam teknik sipil khususnya tentang perkembangan material bahan susun beton. Penulis berharap semoga laporan penelitian ini juga memberikan manfaat bagi orang lain dan memberikan inspirasi untuk melakukan penelitian lanjutan yang memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu dan teknologi khususnya bidang material beton.

Dalam pelaksanaan penelitian ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan yang diberikan baik selama pelaksanaan penelitian maupun penyusunan laporan. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih atas segala bantuannya kepada :

1. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
2. Johanes Januar Sudjati, ST, MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
3. Dr. Ir. Y. Djarot Purbadi, MT selaku Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
4. Ir. Haryanto YW, MT selaku Ketua Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
5. Sukaryanta, Randy, dan Sabdo yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian
6. Serta pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam pelaksanaan maupun pelaporan penelitian ini. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kemajuan penulis.

Akhir kata penulis mengucapkan banyak terima kasih. Semoga Tuhan selalu memberkati kita semua.

Yogyakarta, Oktober 2013

Angelina Eva Lianasari, ST, MT

DAFTAR ISI

LEMBARAN PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I. PENDAHULUAN	1
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
BAB III. METODE PENELITIAN	8
BAB IV. DESKRIPSI OBYEK PENELITIAN	11
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	12
5.1 Pengujian Bahan dan Material	12
5.2. Pengujian Slump	15
5.3. Berat Jenis Beton	16
5.5. Pengujian Beton	18
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	23
4.1. Kesimpulan	23
4.2. Saran	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	27
Lampiran 1. Instrumen Yang Digunakan	28
Lampiran 2. Bahan Yang Digunakan	29
Lampiran 3. Perhitungan Bahan Susun Beton	30
Lampiran 4. Pemeriksaan Pasir	31
Lampiran 5. Pemeriksaan Kerikil	33
Lampiran 6. Pemeriksaan <i>Fly Ash</i>	35

DAFTAR TABEL

Nomer	Judul Tabel	Halaman
Tabel 2.1.	Sifat Beton Untuk Berbagai Temperatur	6
Tabel 2.2.	Estimasi Suhu yang Dialami dari Pengamatan Warna	6
Tabel 3.1.	Variasi Benda Uji	10
Tabel 5.1	Hubungan warna larutan dengan kandungan zat organik	12
Tabel 5.2.	Komposisi kimia <i>fly ash</i> (Sumber PT Holcim Tbk)	14
Tabel. 5.3	Syarat <i>fly ash</i> SNI 03-2460-1991	14
Tabel 5.4.	Hasil pengujian nilai <i>slump</i> (cm)	16
Tabel 5.5.	Berat jenis beton dan pemakaiannya	16
Tabel 5.6.	Hasil pemeriksaan berat jenis rata-rata beton	17
Tabel 5.7.	Rencana Campuran Adukan Beton Per m ³	18
Tabel 5.8.	Hasil Pengamatan Warna Pada beton Pasca Bakar	18
Tabel 5.9.	Hasil pengujian kuat tekan beton	19

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.	Sistematika Metode Penelitian	9
Gambar 5.1.	Hasil pemeriksaan berat jenis rata-rata beton	17
Gambar 5.2	Visual Beton Pasca Bakar	18
Gambar 5.3.	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton	20

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Instrumen yang digunakan	28
Lampiran 2. Bahan yang digunakan	29
Lampiran 3. Perhitungan bahan susun beton	30
Lampiran 4. Pemeriksaan pasir	31
Lampiran 5. Pemeriksaan kerikil	33
Lampiran 6. Pemeriksaan <i>fly ash</i>	35

BAB I. PENDAHULUAN

Pembangunan konstruksi bangunan di Indonesia telah berkembang dengan pesat seiring dengan semakin bertambahnya jumlah penduduk, terutama di kota-kota besar yang mengakibatkan meningkatnya kebutuhan terhadap sarana dan prasarana, khususnya bangunan rumah dan gedung. Pada umumnya sebagian besar sarana dan prasarana (infrastruktur) yang ada menggunakan konstruksi beton, dimana teknologinya telah dapat dikuasai oleh seluruh lapisan masyarakat dari tingkat bawah hingga tingkat atas. Beton masih dapat memenuhi kebutuhan untuk pembangunan konstruksi dan secara keseluruhan konstruksi beton masih dianggap lebih murah dibandingkan dengan konstruksi lainnya.

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*). Berdasarkan kuat tekannya, mutu beton secara garis besar dibagi menjadi beton mutu biasa (*ordinary strength concrete*), beton mutu tinggi (*high strength concrete*), dan beton mutu sangat tinggi (*very high strength concrete*). Beton mutu tinggi sekarang ini banyak digunakan dalam bidang konstruksi pada bangunan bertingkat tinggi, bendungan, jembatan dengan bentangan cukup panjang, dan

sebagainya. Penggunaan dan pemilihan jenis beton harus disesuaikan dengan tujuan dan fungsi struktur bangunan yang ingin dibuat dengan pertimbangan ekonomis.

Akhir-akhir ini seringkali terjadi kerusakan pada konstruksi beton, yang disebabkan oleh kebakaran dan pengaruh lainnya. 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* Zikament 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.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

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 bertiup/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 kg/cm². 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 Zacoeb 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 :

1. *Unstressed test*, yaitu benda uji diberikan perubahan temperatur tanpa beban awal dan kemudian diuji kekuatannya pada temperatur yang diinginkan.
 2. *Stressed test*, yaitu benda uji diberikan beban awal konstan dan dipertahankan selama perubahan temperatur dan pada temperatur yang dikehendaki tercapai langsung di uji kekuatannya.
 3. *Residual unstressed test*, yaitu benda uji diberikan perubahan temperatur tanpa beban awal, didinginkan setelah tercapai temperatur tertentu kemudian diuji.
- (Lianasari, 1999)

Tabel 2.1. Sifat Beton Untuk Berbagai Temperatur

Temperatur	Kekuatan Beton	Kekakuan Beton
28°C (suhu ruang)	100%	100%
200°C	95%	90%
400°C	60%	55%
600°C	20%	35%

Sumber :Lianasari (1999)

Tabel 2.2. Estimasi Suhu yang Dialami dari Pengamatan Warna

Temperatur	Warna	Kondisi Beton
0°C-300°C	Normal	Tidak mengalami penurunan kekuatan
300°C-600°C	Merah jambu	Mengalami penurunan kekuatan
600°C-900°C	Putih keabu-abuan	Tidak mempunyai kekuatan
>900°C	Kuning muda	Tidak mempunyai kekuatan

Sumber :Lianasari (1999)

Abu terbang (*fly ash*) diperoleh dari hasil residu PLTU. Material ini berupa butiran halus ringan, bundar, tidak *porous*, mempunyai kadar bahan semen yang

tinggi dan mempunyai sifat *pozzolanik*, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air (Lianasari, 2010).

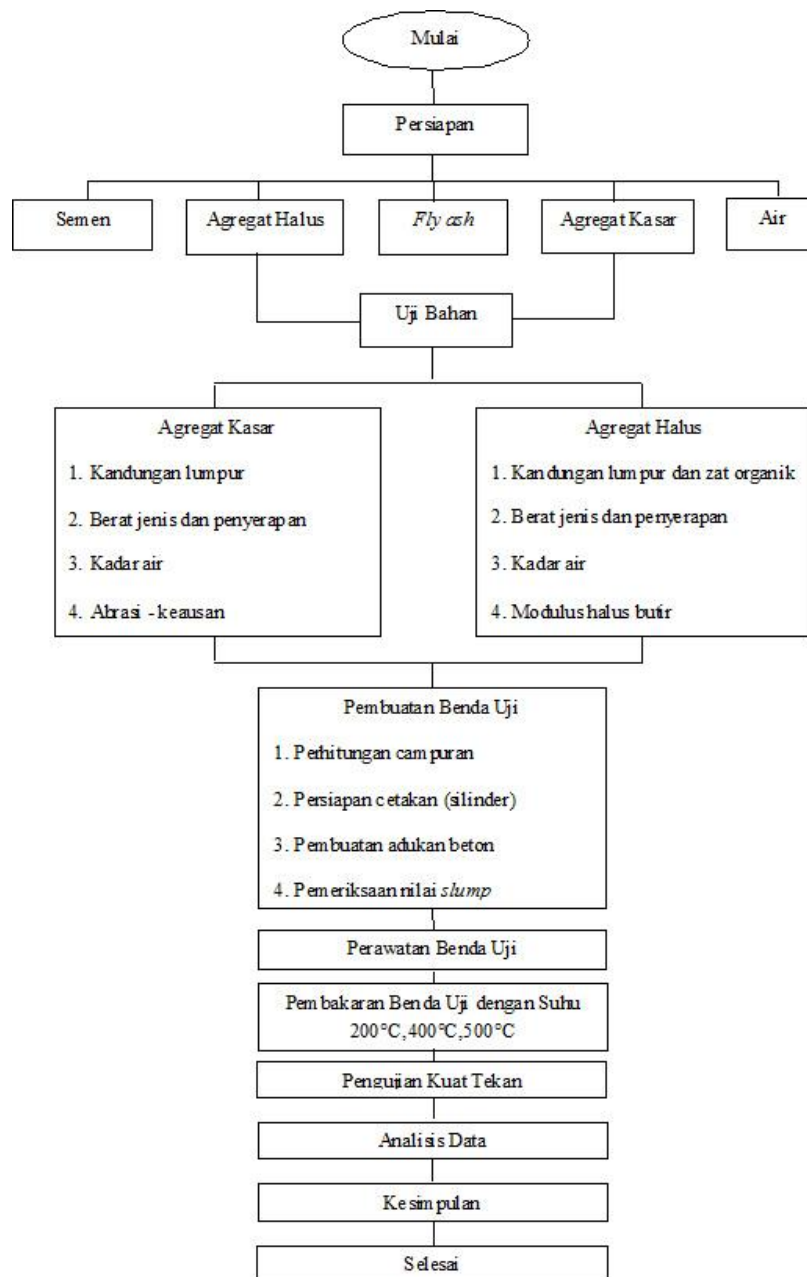
Sikament LN sebagai pengurang air mengakibatkan suatu peningkatan dari karakteristik beton khususnya peningkatan kuat tekan (*compressive*), sebagai konsekuensi pengurangan dari perbandingan air/semen. Dengan penambahan Sikament LN beton menjadi lebih *workable*. Pada perbandingan air/semen yang sama, *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).

BAB III. METODE PENELITIAN

Bahan-bahan dan alat-alat yang digunakan untuk berbagai pengujian dalam penelitian ini, meliputi: (1) Semen Portland tipe I dengan merk dagang Holcim, (2) Agregat batu pecah dengan diameter maksimum 40mm, (3) Air bersih diperoleh dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi FT UAJY, (4) *Superplastisizer* dengan merk dagang Sikament LN, (5) *fly ash* yang berasal dari PT. Holcim Cilacap. Peralatan yang digunakan terdiri dari: (1) Ayakan/saringan (2) Cetakan Beton berukuran tinggi 30cm, diameter 15cm, (3) *Compression Testing Machine*, (4) Pembakaran dengan Burner milik Laboratorium Bahan Bangunan UGM, (5) Gelas ukur dan piknometer, (6) Kerucut Abrams dan tongkat penusuk, (7) Penggaris, (8) Timbangan.

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.

Kerangka penelitian dibuat agar penelitian yang akan dilakukan ini dapat berjalan dengan teratur dan terarah dan tahap penelitian direncanakan agar berjalan secara sistematis.



Gambar 3.1. Sistematika Metode Penelitian

Tabel 3.1. Variasi Benda Uji

Umur Pengujian	Beton Normal			
	0°C	200°C	400°C	500°C
28 hari	3	0	0	0
56 hari	3	3	3	3
	Beton Normal + <i>Fly Ash</i> (20%)			
28 hari	3	0	0	0
56 hari	3	3	3	3
	Beton Normal + <i>Fly Ash</i> (20%) + Sikament LN			
28 hari	3	0	0	0
56 hari	3	3	3	3
Total	45			

BAB IV. DESKRIPSI OBYEK PENELITIAN

Penelitian ini mengamati perilaku beton segar, kekuatan akhir dari beton setelah mengeras yang tidak dibakar dan yang pasca bakar. Beton direncanakan memiliki kuat tekan f'_c 25 MPa,

Dalam penelitian ini, dilakukan proses pembuatan campuran adukan beton sesuai perencanaan tanpa menggunakan *concrete mixer* karena pada saat pelaksanaan pembuatan benda uji *concrete mixer* mengalami kerusakan. Selanjutnya diuji nilai *slump* (tinggi penurunan adukan beton) dengan menggunakan kerucut Abrams, berukuran diameter bawah 20cm, diameter atas 10cm, tinggi 30cm. Kemudian beton dicetak dengan menggunakan cetakan silinder beton dengan tinggi 30cm, diameter 15cm untuk uji kuat tekan beton dan modulus elastisitasnya. Beton didiamkan sampai berumur 24 jam, kemudian dilepas cetakannya untuk dilanjutkan dirawat dengan menggunakan air selama 28 hari. Setelah 28 hari beton diangkat dan diangin-anginkan selama 24 jam untuk kemudian diuji kuat tekannya saat berumur 28 hari dan 56 hari dengan variasi tidak dibakar dan dibakar pada suhu yang ditentukan 200°C, 400°C, dan 500°C.

Hasil pengujian kuat tekan dibandingkan dengan beton normal yang tidak dibakar sehingga diperoleh kesimpulan akhir.

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Bahan dan Material

5.1.1. Pemeriksaan Agregat Halus (Pasir)

Pemeriksaan terhadap agregat halus (pasir) terdiri dari kandungan zat organik, kandungan lumpur, modulus halus butir, berat jenis, berat satuan, dan kadar air. Hasil kandungan zat organik dalam pasir pemeriksaan menunjukkan pasir dapat dipergunakan walaupun dengan kandungan zat organik dalam pasir agak banyak, hasil pemeriksaan kandungan zat organik dalam pasir menghasilkan warna larutan di atas pasir sesuai dengan warna *Gardner Standard Colour* No. 8.

Tabel 5.1 Hubungan warna larutan dengan kandungan zat organik

No.	Warna	Kandungan zat organik	Kelayakan
5	Kuning muda sekali	Zat organik sedikit	Baik untuk dipergunakan
8	Kuning muda	Zat organik agak banyak	Dapat dipergunakan
11	Kuning tua	Zat organik banyak	Kurang baik untuk dipergunakan
14	Oranye tua sekali	Zat organik lebih banyak	Tidak boleh dipergunakan
16	Merah tua	Zat organik banyak sekali	Tidak boleh dipergunakan

Sumber : ASTM C.33

Hasil pemeriksaan kandungan lumpur dalam pasir adalah $1,9\% < 5\%$, sehingga memenuhi syarat sebagai bahan campuran adukan beton (ASTM C.33). Kandungan lumpur yang melampaui nilai itu dapat mengurangi ikatan antara pasir dan pasta semen, sehingga mutu dari betonnya akan menurun.

Hasil pengujian didapat nilai modulus halus butir agregat halus sebesar 3,065. Hal ini sesuai dengan nilai mhb dari agregat halus pada umumnya yaitu sebesar antara 2,3-3,3 (ASTM C.33). Dari nilai mhb tersebut, agregat halus ini termasuk golongan 2 yaitu pasir agak kasar. Berat jenis pasir didapat sebesar 2,8079 gr/cm³. Secara umum, berat jenis dari agregat halus normal memiliki nilai antara 2,3-2,6 gr/cm³, tetapi nilai biasanya lebih besar dari pada berat jenis dari agregat kasar, sehingga pasir yang digunakan memiliki berat jenis yang relatif sama dengan berat jenis yang diisyaratkan untuk agregat normal (Tjokrodinuljo, 2000). Nilai kadar air dalam pasir adalah sebesar 0,2190%.

5.1.2. Pemeriksaan Agregat Kasar

Secara umum, berat jenis dari agregat kasar normal memiliki nilai antara 2,5-2,7 gr/cm³. Sedangkan dari hasil pengujian didapat berat jenis yang nilainya sebesar 2,6940 gr/cm³. Nilai kadar penyerapan dari agregat kasar yakni 1,2320%. Hal ini memenuhi persyaratan penyerapan agregat kasar yaitu maksimum 5%. Nilai kadar air dalam agregat kasar yang digunakan sebesar 0,9150%. Nilai ini menandakan besarnya kadar air yang terkandung dalam agregat yang digunakan, yang nantinya dapat mempengaruhi besarnya kebutuhan air dalam adukan beton. Agregat yang memiliki kadar air yang banyak dapat memberikan air tambahan dalam adukan beton, sebaliknya jika kondisi agregat tidak jenuh kering permukaan (SSD), justru akan menyerap kebutuhan air dari adukan beton.

Berdasarkan SK SNI M-02-1990-F, tentang syarat mutu kekuatan agregat dengan bejana geser *Los Angeles* untuk beton kelas 1 dan mutu B₀ dan B₁ bagian yang hancur (lolos saringan No. 12) maksimum 40%. Dengan demikian, hasil pemeriksaan menunjukkan nilai keausan agregat kasar setelah diuji dengan menggunakan mesin *Los Angeles* adalah sebesar 20,58% < 40%, sehingga memenuhi syarat keausan maksimal.

5.1.3. Pemeriksaan *Fly ash*

Pada penelitian ini peneliti memakai *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen (sebanyak 20%). Dan diperoleh hasil pengujian didapat berat jenis *fly ash* sebesar 2,3010 gram/cm³.

Tabel 5.2. Komposisi kimia *fly ash* (Sumber PT Holcim Tbk)

Unsur Kimia	%
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	76,93
CaO	7,54
MgO	1,33
SO ₃	0,55
K ₂ O	1,90
Na ₂ O	1,88

Tabel. 5.3. Syarat *fly ash* SNI 03-2460-1991

No.	Senyawa	Kadar (%)
1	Jumlah oksida SiO ₂ +Fe ₂ O ₃ Minimum	70
2	SO ₃ maks	5
3	Hilang pijar maks	6
4	Kadar air maks	3
5	Total alkali dihitung sebagai Na ₂ O maks	1,5

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* yang telah diolah oleh PT Holcim Tbk, dengan komposisi kimiawi seperti tabel 5.2. 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*.

5.2. Pengujian Slump

Pengujian *slump* dilakukan untuk mengukur kemudahan adukan beton untuk dikerjakan (*workability*), pengujian ini dilakukan sesaat sebelum adukan beton dituangkan ke dalam cetakan. Untuk nilai *slump* adukan beton normal biasanya diambil nilainya sekitar 7,5-15 cm yaitu untuk pembuatan plat, balok dan dinding. Dari hasil pengujian *slump* didapatkan hasil seperti dalam pada Tabel 5.4. berikut ini.

Dari Tabel 5.4. dapat dilihat rata-rata nilai *slump* untuk beton normal adalah 9,105 cm dan rata-rata nilai *slump* untuk beton *fly ash* adalah 12,79 cm. Dari hasil pengujian nilai *slump* tersebut terlihat nilai *slump* beton *fly ash* lebih tinggi 40,47% dari beton normal sehingga sifat mudah dikerjakan (*workability*) lebih baik dari beton normal. Ini disebabkan juga karena *fly ash* yang memiliki butiran yang lebih halus sehingga dapat memudahkan pengerjaan beton.

Rata-rata nilai *slump* untuk beton *fly ash* + Sikament LN adalah 14,125 cm, lebih tinggi 55,13% dari beton normal sehingga sifat mudah dikerjakan (*workability*)

lebih baik dari beton normal meskipun dalam pengerjaan beton *fly ash* + Sikament LN dilakukan pengurangan air namun tidak mengurangi sifat mudah dikerjakan (*workability*) hal ini dikarenakan penambahan Sikament LN sebagai *high range water reducer*.

Tabel 5.4. Hasil pengujian nilai *slump* (cm)

Jenis Beton		0°28	0°56	200°56	400°56	500°56	Rata-rata Nilai <i>Slump</i> (cm)
BN	1	9	8	8.5	7	16	9,105
	2	5	7	8	14	11	
	3	11,5	12	10	6	9	
BF	1	12	14	16	13	12.5	12.79
	2	15	11	10.5	10.5	15.5	
	3	13,5	12	11	12.5	14.5	
BFS	1	12	12	13	15	14	14,125
	2	13,5	13	16	14	15,5	
	3	17,5	15	13	13	13,5	

Keterangan : BN : Beton normal,
 BF : Beton substitusi *fly ash* 20%
 BFS: Beton substitusi *fly ash* 20% + Sikament LN 0,6%

5.3. Berat Jenis Beton

Jenis-jenis beton dapat dikelompokkan berdasarkan dari berat jenis beton tersebut (tabel 5.5) dan hasil pemeriksaan berat jenis beton tabel 5.6.

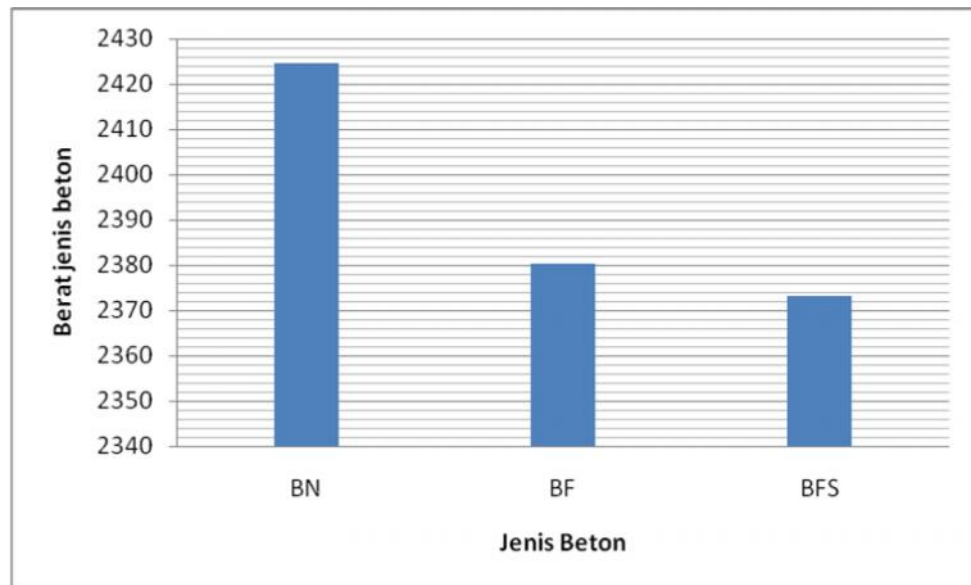
Tabel 5.5. Berat jenis beton dan pemakaiannya

Jenis Beton	Berat Jenis beton (gr/cm ³)	Pemakaian
Beton Sangat Ringan	< 1,00	Non Struktur
Beton Ringan	1,00-2,00	Struktur Ringan
Beton Normal	2,30-2,50	Struktur
Beton Berat	> 3,00	Perisai Sinar

(Tjokrodimuljo, 2000)

Tabel 5.6. Hasil pemeriksaan berat jenis rata-rata beton

Benda uji	Kode	Rata-rata (kg/m ³)	Persen terhadap BN
beton normal	BN	2424,59	100,00%
beton fly ash	BF	2380,314	98,17%
beton fly ash dan sikament	BFS	2373,2	97,88%



Gambar 5.1. Hasil pemeriksaan berat jenis rata-rata beton

Dari grafik 5.1. terlihat bahwa secara keseluruhan beton normal memiliki berat jenis yang lebih berat dari beton *fly ash* maupun beton *fly ash* + Sikament LN. Ini karena berat jenis *fly ash* lebih kecil dari berat jenis semen yaitu 2,3010 gr/cm³ dan adanya Sikament LN juga membuat beton menjadi lebih ringan.

5.4. Mixed Design

Perencanaan adukan beton dihitung berdasarkan metode SK SNI. T-15-1990-03.dengan kuat tekan beton rencana 25 Mpa. Perencanaan ini diperlukan agar

diperoleh proporsi dari masing-masing bahan pembentuk beton. Hasil perencanaan adukan beton seperti tersaji pada tabel 5.7.

Tabel 5.7. Rencana Campuran Adukan Beton Per m³

Keterangan	Kebutuhan BN	Kebutuhan BF	Kebutuhan BFS
semen	377,35 kg/m ³	301,88 kg/m ³	301,88 kg/m ³
pasir	652,59 kg/m ³	652,59 kg/m ³	652,59 kg/m ³
kerikil	1160,16 kg/m ³	1160,16 kg/m ³	1160,16 kg/m ³
air	184,9 L/m ³	184,9 L/m ³	184,9 L/m ³
<i>fly ash</i>		75,47 kg/m ³	75,47 kg/m ³
Sikamen Ln			2,2641 l/m ³

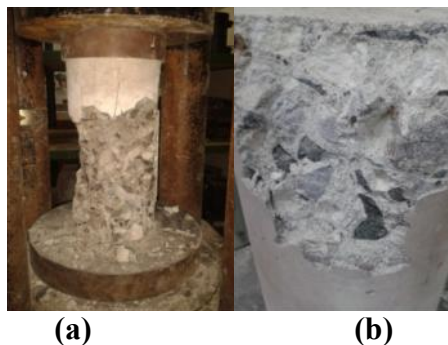
5.5. Pengujian Beton

5.5.1 Visual Beton Pasca Bakar

Dibawah ini adalah hasil visual (warna dan kondisi dalam beton) dari beton pasca bakar dengan substitusi sebagian semen oleh *fly ash* dengan suhu pembakaran 200°C, 400°C, dan 500°C.

Tabel 5.8. Hasil Pengamatan Warna Pada beton Pasca Bakar

Suhu	Warna sebelum dibakar	Warna sesudah dibakar
200°C	Putih keabu-abuan	Putih kekuning-kuningan
400°C	Putih keabu-abuan	Abu-abu kecoklatan
500°C	Putih keabu-abuan	Kuning kecoklatan



Gambar 5.2 Visual Beton Pasca Bakar

Dari Gambar 5.2 (a) beton *fly ash* terlihat kondisi dalam beton mengalami perubahan, yaitu pada bagian dalam beton *fly ash* pasca bakar terdapat butiran-butiran halus seperti kapur. Ini terjadi karena $\text{Ca(OH)}_2 + \text{SiO}_2$ akan menghasilkan CSH, tetapi CSH yang beraksi sempurna akan terjadi pada beton umur 90 hari, sehingga butiran-butiran halus yang terdapat pada beton *fly ash* umur 56 hari pasca bakar dikarenakan CSH yang belum bereaksi sempurna pada umur 56 hari. Terdapatnya butiran halus seperti kapur pada beton *fly ash* pasca bakar juga di sebabkan adanya proses dekomposisi unsur CSH yang terurai menjadi kapur bebas yaitu CaO. Adapun reaksi yang terjadi pada proses pembakaran beton adalah reaksi karbonat yaitu $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$.

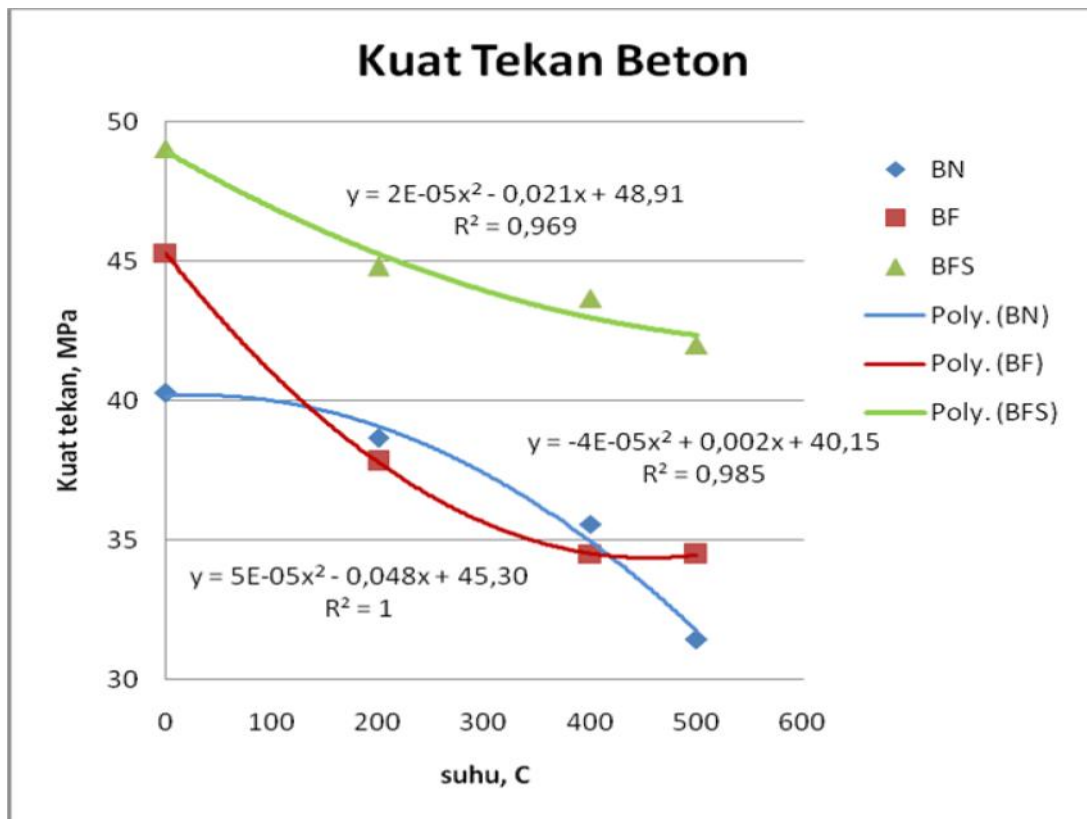
5.5.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian ini dilakukan saat umur beton silinder mencapai 28 hari dan 56 hari (pasca bakar). Pengujian dilakukan dengan bantuan CTM *ELE*, data hasil pengujian kuat tekan beton untuk semua variasi suhu ditunjukkan pada Tabel 5.9. serta grafik hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 56 hari ditunjukkan pada Gambar 5.3.

Tabel 5.9. Hasil pengujian kuat tekan beton

Umur		0°C			200°C			400°C			500°C		
		BN	BF	BFS	BN	BF	BFS	BN	BF	BFS	BN	BF	BFS
28 Hari	1	45.43	42.23	46.44									
	2	40.22	47.45	47.57									
	3	40.11	40.67	37.10									
	Rata-rata	40.17	41.45	47.01									
56 Hari	1	38.96	45.41	48.72	44.59	43.83	44.19	34.09	25.74	46.10	24.69	34.74	48.06
	2	40.35	45.19	48.50	18.34	36.46	38.65	28.18	34.51	40.37	30.18	34.40	47.56
	3	41.54	37.14	49.93	32.73	39.16	45.43	37.04	28.28	44.55	32.64	34.27	30.38
	Rata-rata	40.28	45.30	49.05	38.66	37.81	44.81	35.57	34.51	43.67	31.41	34.47	42.00

Keterangan : benda uji yang di arsir gelap adalah benda uji yang tidak diabaikan dalam perhitungan rata-rata kuat tekan beton.



Gambar 5.3. 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 5.9 hasil pengujian kuat tekan beton diatas dapat lihat bahwa :

1. 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%.
2. 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%.
3. 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.

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. 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.

4.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan, dapat diberikan saran yang diharapkan dapat bermanfaat, antara lain adalah sebagai berikut ini.

1. Dalam proses pembakaran beton, disarankan menggunakan dua *burner* yang di letakkan di dua sisi sehingga diharapkan pemanasannya dapat merata.
2. Lingkup dari penelitian yang dilakukan hanya mencakup sifat mekanik beton saja, masih perlu penelitian lebih lanjut mengenai sifat kimiawi dan lainnya.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan suhu yang lebih tinggi untuk pembakaran beton.

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*.

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=153962006>.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. INSTRUMEN YANG DIGUNAKAN



Cetakan Silinder Beton



Tungku Pembakaran



Burner



Thermocouple

LAMPIRAN 2. BAHAN YANG DIGUNAKAN



Pasir



Split



Semen



Fly Ash

LAMPIRAN 3. PERHITUNGAN BAHAN SUSUN BETON

1. $f_c' = 25 \text{ MPa}$
2. Kuat desak rencana: $f_{cr} = 25 + 7 = 32 \text{ MPa}$
3. Tipe semen: semen tipe I
4. Agregat halus: pasir alam, Agregat kasar: batu pecah
5. f_{as} (grafik): 0,49
6. $f_{as \text{ max}}$: 0,6
sehingga dipilih $f_{as} = 0,49$
7. slump: minimum: 7,5 cm, maksimum: 15 cm
untuk pelat, balok, kolom dan dinding.
8. Besar butir maksimum agregat yang diambil: 40 mm
9. Jumlah air yang digunakan untuk per- m^3 beton:
$$\begin{aligned} \text{Air} &= (0,67 \times A_h) + (0,33 \times A_k) \\ &= (0,67 \times 175) + (0,33 \times 205) \\ &= 184,9 \text{ L/m}^3 \end{aligned}$$
10. Berat semen yang dibutuhkan:
$$= A / f_{as} = 184,9 / 0,49 = 377,35 \text{ kg/m}^3$$
11. Perbandingan agregat halus dan kasar:
Jenis gradasi pasir = golongan 2
Proporsi pasir = 36%
12. Berat jenis agregat campuran:
$$\begin{aligned} &= (P/100) \times \text{BJ agregat halus} + (K/100) \times \text{BJ agregat kasar} \\ &= (36/100) \times 2,8079 + (64/100) \times 2,6940 \\ &= 2,7350 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$
13. Berat jenis beton: 2375 kg/m^3
14. Keperluan agregat campuran:
Per- m^3 beton
$$\begin{aligned} &= \text{berat beton tiap } \text{m}^3 - \text{keperluan air dan semen} \\ &= 2375 - (184,9 + 377,35) \\ &= 1812,75 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$
15. Berat agregat halus:
Per- m^3 beton
$$\begin{aligned} &= 36\% \times 1812,75 \\ &= 652,59 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$
16. Berat agregat kasar:
Per- m^3 beton
$$\begin{aligned} &= 1812,75 - 652,59 \\ &= 1160,16 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$
17. Kebutuhan *fly ash* 20%
$$= 377,35 \times 20\% = 75,47 \text{ kg / m}^3$$
18. Kebutuhan Sikament LN 0,6%
$$= 377,35 \times 0,6\% = 2,2641 \text{ l/m}^3$$

LAMPIRAN 4. PEMERIKSAAN PASIR

Hasil pemeriksaan kandungan lumpur dalam pasir

Pemeriksaan	Berat (gram)
Berat piring+pasir	218,7
Berat piring kosong	120,6
Berat pasir (A)	98,1

Kandungan lumpur pada pasir dihitung dengan rumus:

$$W = \frac{100 - A}{100} \times 100\%$$

$$W = \frac{100 - 98,1}{100} \times 100\% = 1,9\%$$

Jadi kandungan lumpur dalam pasir $1,9\% < 5\%$, sehingga memenuhi syarat sebagai bahan campuran adukan beton (ASTM C.33).

Hasil pemeriksaan berat jenis pasir

No.	Variabel	Besar
A	Berat contoh jenuh kering permukaan (SSD)-(500)	500 gram
B	Berat contoh kering	497 gram
C	Berat labu+air, temperatur 25°	712 gram
D	Berat labu+contoh (SSD)+air, temperatur 25°C	1035 gram
E	$BJ \text{ Bulk} = \frac{A}{(C + 500 - D)}$	2,8249
F	$BJ \text{ Jenuh Kering Permukaan (SSD)} = \frac{B}{(C + 500 - D)}$	2,8079
G	$BJ \text{ Semu (Apparent)} = \frac{B}{(C + B - D)}$	2,8563
H	$\text{Penyerapan (Absorption)} = \frac{(500 - B)}{B} \times 100\%$	0,6036%

Dari hasil pengujian didapat berat jenis agregat halus sebesar 2,8079 gr/cm³

Hasil pemeriksaan kadar air pasir

No.	Pemeriksaan	H1	H2	H3
1.	Cawan gram	8,461	9,932	9,245
2.	Cawan+berat pasir basah gram	58,224	60,155	52,365
3.	Cawan+berat pasir kering gram	58,109	60,053	52,269
4.	Berat air = (2) - (3) gram	0,115	0,102	0,096
5.	Berat contoh kering = (3) - (1) gram	49,648	50,121	43,024
6.	Kadar air (w) = $\frac{(4)}{(5)} \times 100\%$	0,232	0,204	0,223
Kadar Air Rerata		0,219%		

LAMPIRAN 5. PEMERIKSAAN KERIKIL

Hasil pemeriksaan kandungan lumpur dalam *split*

Pemeriksaan	Berat (gram)
Berat piring+ <i>split</i>	360,0
Berat piring kosong	260,8
Berat pasir (A)	99,2

Kandungan lumpur pada pasir dihitung dengan rumus:

$$W = \frac{100 - A}{100} \times 100\%$$

$$W = \frac{100 - 99,2}{100} \times 100\% = 0,8\%$$

Kandungan lumpur dalam *split* adalah $0,8\% < 1\%$, sehingga memenuhi syarat sebagai bahan campuran adukan beton (ASTM C.33).

Hasil pengujian berat jenis agregat kasar

No.	Variabel	Besar
A	Berat Contoh Kering	974 gram
B	Berat Contoh Jenuh Kering Permukaan (SSD)	986 gram
C	Berat Contoh Dalam Air	620 gram
D	Berat Jenis $Bulk = \frac{(A)}{(B) - (C)}$	2,6612
E	BJ Jenuh Kering Permukaan (SSD) $= \frac{(B)}{(B) - (C)}$	2,6940
F	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>) $= \frac{(A)}{(A) - (C)}$	2,7514
G	Penyerapan (<i>Absorption</i>) $= \frac{(B) - (A)}{(A)} \times 100\%$	1,2320%

Dari hasil pengujian didapat berat jenis agregat halus sebesar 2,7514 gr/cm³

Hasil pemeriksaan kadar air *split*

No.	Pemeriksaan	K1	K2	K3
1.	Cawan gram	9,684	8,484	10,410
2.	Cawan+berat <i>split</i> basah gram	76,406	77,853	75,044
3.	Cawan+berat <i>split</i> kering gram	76,072	77,379	74,055
4.	Berat air = (2) - (3) gram	0,334	0,474	0,989
5.	Berat contoh kering = (3) - (1) gram	66,388	68,895	63,645
6.	Kadar air (w) = $\frac{(4)}{(5)} \times 100\%$	0,5031%	0,6880%	1,5539%
Kadar Air Rerata		0,9150%		

Hasil pemeriksaan keausan *split* dengan mesin *Los Angeles*

Variabel	Berat
Berat sebelumnya (A)	5000 gram
Berat sesudah diayak saringan No. 12 (B)	3971 gram
Berat sesudah (A)-(B)	1029 gram
Keausan = $\frac{(A) - (B)}{(A)} \times 100\%$	20,58%
Keausan Rata-rata	20,58%

LAMPIRAN 6. PEMERIKSAAN *FLY ASH*

Hasil pemeriksaan berat jenis *fly ash*

A	No. <i>Picnometer</i>	16 (gram)	16 (gram)
B	Berat <i>Picnometer</i>	31,876	31,716
C	Berat <i>Picnometer</i> + air penuh	82,033	82,010
D	Berat air (C – B)	50,157	50,294
E	Berat <i>Picnometer</i> + <i>fly ash</i>	32,912	32,697
F	Berat <i>Fly Ash</i> (E – B)	1,036	0,981
G	Berat <i>Picnometer</i> + <i>fly ash</i> + air	82,622	82,585
H	Isi air (G – E)	49,710	49,888
I	Isi Contoh (D – H)	0,447	0.406
J	Berat Jenis = F/I	2,3177	2,4126
	Berat Jenis Rata-rata	2,3010	

