

# PENGARUH PENGGUNAAN HIGH VOLUME FLY ASH PADA KUAT TEKAN MORTAR

Agus Maryoto

Program Studi Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Jenderal Soedirman  
Jl. Kampus No. 1, Purwokerto Email : agus\_maryoto1971@yahoo.co.id

**Abstract:** Effort of fly ash recycling for masonry work and mortar will give double effects. First reduce Portland Cement usage and negative effect if fly ash is disposed on the open area. The aim of this research is to investigate influences of fly ash in mortar compressive strength and cost efficiency. Compressive Strength Specimen is cube 50 x 50 x 50 mm and tested at 7 and 28 days. Dosages of fly ash addition are 30%, 40% and 50% for cement replacement. Ratio of binder (fly ash and cement) and sand are 1:6, 1:8 and 1:10. The results indicated that mortar compressive strength with ratio 1:6 meet the standard for mortar type N and the ratio 1:8 and 1:10 didn't meet the standard. Mortar, ratio 1:6 with 50% fly ash has cost efficiency 58.030,- or 32% lower than price of non fly ash mortar.

**Keywords :** mortar, fly ash, compressive strength.

**Abstrak:** Upaya pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) untuk pasangan batu dan plesteran akan mendatangkan efek ganda, yaitu mengurangi penggunaan semen *Portland* dan sekaligus mereduksi dampak negatif jika bahan sisa ini dibuang begitu saja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh abu terbang (*fly ash*) terhadap kuat tekan dan efisiensi biaya pada pasangan batu dan plesteran (mortar). Benda uji kuat tekan berbentuk kubus ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat mortar berumur 7 dan 28 hari dengan kadar penambahan *fly ash* sebesar 30 %, 40 % dan 50 %. Perbandingan semen dan pasir yang digunakan adalah 1 : 6, 1 : 8 dan 1:10. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan mortar dengan perbandingan semen dan pasir sebesar 1 : 6 memenuhi kuat tekan standar mortar tipe N. Mortar dengan perbandingan semen : pasir = 1 : 8 dan 1 : 10 tidak memenuhi standar kuat tekan standar mortar tipe N. Mortar dengan perbandingan semen dan pasir = 1 : 6 dengan kadar *fly ash* 50 % mempunyai efisiensi biaya Rp 58.030,- atau sekitar 32% dari harga mortar tanpa *fly ash*.

**Kata kunci :** mortar, *fly ash*, kuat tekan

## PENDAHULUAN

Pada tahun 1989, total abu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di seluruh dunia mencapai 440 miliar ton. Sekitar 75 persen adalah abu terbang. Produsen utama adalah negara-negara bekas Uni Soviet (99 miliar ton), diikuti Cina (55 miliar ton), Amerika Serikat (53 miliar ton) dan India (40 miliar ton). Produksi abu ini terus meningkat dari tahun ke tahun. Cina sendiri menghasilkan lebih dari 110 miliar ton abu di tahun 2000, dengan total produksi abu dunia tahun 2000 mencapai angka 661 miliar ton. Tingkat pemanfaatan abu terbang dalam produksi semen saat ini masih tergolong amat rendah. Cina memanfaatkan

sekitar 15 persen, India kurang dari lima persen, untuk memanfaatkan abu terbang dalam pembuatan beton. Abu terbang ini sendiri, kalau tidak dimanfaatkan juga bisa menjadi ancaman bagi lingkungan. Karenanya dapat dikatakan, pemanfaatan abu terbang akan mendatangkan efek ganda pada tindak penyelamatan lingkungan, yaitu penggunaan abu terbang akan memangkas dampak negatif kalau bahan sisa ini dibuang begitu saja dan sekaligus mengurangi penggunaan semen Portland dalam pembuatan beton (Hardjito, 2001).

Abu terbang (*fly ash*) sebagai limbah PLTU berbahan bakar batu bara dikategorikan oleh Bapedal sebagai limbah berbahaya (B3).

Sehubungan dengan meningkatnya jumlah pembangunan PLTU berbahan bakar batubara di Indonesia, maka jumlah limbah abu terbang juga akan meningkat yaitu jumlah limbah PLTU pada tahun 2000 sebanyak 1,66 juta ton, sedangkan pada tahun 2006 diperkirakan akan mencapai sekitar 2 juta ton. Khusus untuk limbah abu dari PLTU Suralaya, sejak tahun 2000 hingga tahun 2006, diperkirakan ada akumulasi jumlah abu sebanyak 219.000 ton/tahun. Jika limbah abu ini tidak dimanfaatkan akan menjadi masalah pencemaran lingkungan (Ardha, 2003).

Sementara itu, berdasarkan rencana pembangunan energi listrik di Indonesia, pada akhir 2010 harus terpenuhi penambahan energi listrik sebesar 10.000 Mega Watt. Itu artinya perlu dibangun lagi pembangkit listrik sebanyak tidak kurang dari 10 buah. Seluruh pembangkit listrik ini merupakan pembangkit listrik dengan bahan bakar batu bara. Hal ini sangat realistis, mengingat harga bahan bakar minyak saat ini melambung cukup tinggi. Dengan demikian limbah PLTU juga akan meningkat drastis.

Pemakaian dolocid pada bahan mortar semakin disukai untuk pasangan dan plesteran. Mortar menjadi lebih plastis. Mudah dikerjakan, sehingga hasilnya menjadi bagus. Walaupun sudah banyak dipakai, tetapi kuat tekannya belum diketahui. Hasilnya, ada perbedaan yang signifikan kuat tekan kubus mortar yang dibuat dari campuran dolocid dengan yang tidak (Jirna, 1997).

Pemakaian abu terbang (*fly ash*) pada beton telah banyak dilakukan baik untuk beton berkekuatan tekan tinggi (*high strength concrete*) maupun untuk beton ringan (*light weight concrete*). Pengguna *fly ash* masih terbatas pada perusahaan dan industri besar.

Hal ini disebabkan oleh riset-riset yang dilakukan baru sebatas pada penggunaan dalam beton, sementara penelitian tentang mortar masih jarang. Sehingga nilai ekonomis dari pemakaian *fly ash* belum bisa dinikmati oleh masyarakat biasa. Mereka biasanya masih menggunakan semen murni untuk pasangan batu, plesteran dan elemen non struktur (mortar).

Sistem pembakaran dan bahan baku batu bara yang dipakai di PLTU Cilacap berbeda dengan PLTU lain yang lebih dulu dibangun di Indonesia. *Fly Ash* yang dihasilkanpun tentunya mempunyai karakteristik berbeda pula. Sedangkan penelitian pemakaian *fly ash* PLTU Cilacap untuk mortar (dipakai untuk pasangan batu dan plesteran) belum pernah dilakukan. Pemakaian *fly ash* PLTU Cilacap untuk mortar akan sangat membantu menekan biaya penggunaan semen.

### **Rumusan Masalah**

*Fly Ash* adalah bagian dari sisa pembakaran batubara pada Boiler pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus *amorf* dan bersifat Pozzolan, berarti abu tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat. Dengan adanya sifat pozzolan tersebut, abu terbang mempunyai prospek untuk digunakan dalam berbagai keperluan bangunan.

Agregat kasar (pasir) yang digunakan adalah pasir Ottawa dari Kanada (*Import*). Adukan standar adalah adukan yang murni menggunakan semen sebagai pengikat. Sehingga untuk itu dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh *fly ash* terhadap kuat tekan mortar ?
2. Sampai sejauh mana tingkat prosentase pemakaian *fly ash* masih aman ?
3. Berapa besar efisiensi biaya dengan pemakaian *fly ash* ?

### Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan :

1. Mengetahui kuat tekan mortar dengan bahan perekat semen + *fly ash*.
2. Mengetahui prosentase *fly ash* yang masih mempunyai kuat tekan layak sesuai standar mortar.
3. Mengetahui efisiensi biaya yang didapatkan bila mortar menggunakan perekat semen + *fly ash*.

### Manfaat Penelitian

Dengan kuat tekan mortar yang memenuhi standar, *mix design* mortar dengan *fly ash* yang diuji bisa diterapkan pada struktur pekerjaan plesteran dan pasangan batu.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat diinformasikan dan disebarluaskan sehingga dapat dimanfaatkan dan digunakan oleh praktisi, masyarakat dan pemerintah untuk pekerjaan plesteran dan pasangan batu.

Bagi kalangan akademisi diharapkan dapat menumbuhkan dan memperkaya inovasi-inovasi terhadap pemanfaatan limbah Pembangkit Listrik terutama *fly ash* secara maksimal. Hal ini juga menjadi dasar untuk dilakukan penelitian lanjutan pada beton mutu tinggi dan beton untuk struktur nuklir.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Kandungan Kimia *Fly Ash*

Abu terbang PLTU-Suralaya berbutir halus (0.31 – 300.74 mm), dengan distribusi

80% berukuran 0.31 — 40.99mm, atau  $d_{50} = 6,22$  mm, bentuk butiran membulat dan tidak berikatan satu sama lain (terlepas), komposisi mineralnya adalah kuarsa dan sedikit mulite. Komposisi kimia  $SiO_2 = 72,9\%$ ,  $Al_2O_3 = 11,4\%$  dengan kadar pengotor cukup tinggi seperti besi = 6%, titan = 0,8%, oksida natrium = 1,5% serta kapur = 3,2% (Ardha, 2003).

Berdasarkan ASTM C618 – 96 Volume 04.02 *fly ash* dibagi dalam 3 kategori. Kategori tersebut disajikan pada Tabel 1

**Tabel 1.** Persyaratan Kandungan Kimia *Fly Ash*

Senyawa	Kelas campuran mineral		
	F	N	C
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ , min, %	70	70	50
$SO_3$ , maks, %	4	5	5
Moisture content, maks, %	3	3	3
Loss of Ignition, maks, %	10	6	6
Alkali, $Na_2O$ , maks, %	1.5	1.5	1.5

### Persyaratan Fisika *Fly Ash*

ASTM C618 – 96 Volume 04.02 juga mensyaratkan syarat fisik seperti pada tabel 2.

**Tabel 2.** Persyaratan Fisika *Fly Ash*

Persyaratan Fisika	Kelas campuran mineral		
	F	N	C
- Jumlah yang tertahan ayakan 45 $\mu m$ (no.325), maks,%	34	34	34
- Indeks aktifitas kekuatan : Dengan semen, umur 7 hari, min, %	75	75	75
Dengan semen, umur 28 hari, min, %	75	75	75
- Kebutuhan air, maks, %	115	105	105
- Autoclave ekspansi atau contraction, maks,%	0.8	0.8	0.8
- Density, maks variasi dari rata-rata,%	5	5	5
- % tertahan ayakan 45 $\mu m$ , maks variasi, % dari rata-rata	5	5	5

### **Pemakaian *Fly Ash* pada Beton**

Penambahan abu batu bara (*fly ash*) pada beton dibandingkan dengan beton normal menunjukkan adanya peningkatan kualitas beton. Kuat tekan meningkat sebesar 12.68% pada umur 7 hari, 12.24% pada umur 14 hari, 11,77% pada umur 28 hari, 18.3% pada umur 42 hari dan 21.89 % pada umur 56 hari. Pemeriksaan Modulus Elastisitas yang ditunjukkan oleh diagram tegangan dan regangan cenderung meningkat pada beton ditambah abu terbang (*fly ash*) dibandingkan dengan beton normal. Pemeriksaan abrasi menunjukkan adanya penurunan nilai abrasi sebesar 11.11% pada umur 7 hari, 14.28% pada umur 14 hari, 20% pada umur 28 hari, 51% pada umur 42 hari dan 100% pada umur 56 hari, sehingga beton dengan abu terbang lebih tahan abrasi dibandingkan dengan beton normal. Peningkatan kualitas beton disebabkan kandungan unsur silikat dan aluminat pada abu terbang yang reaktif bereaksi dengan kapur bebas pada proses hidrasi antara semen dan air menjadi kalsium silikat (Erlambang, 1997).

Sementara itu dalam penelitian Yamamoto (2006) menyebutkan bahwa jika *fly ash* ditambahkan selama reaksi hidrasi dimana semen dan air bereaksi dalam satu kesatuan, hal itu menyebabkan sebuah reaksi kimia dalam waktu lama membentuk fase *glass* seperti silika dan aluminium dengan semen hidrat (kalsium hidroksida). Hal ini mencakup 70% – 80% dari *Fly Ash*. Sifat-sifat *fly ash* tergantung dari sumber bahan batu bara dan proses pembakaran yang ada di pembangkit listrik.

Seperti diketahui negara kita merupakan negara maritim dimana + 70% dari kawasannya terdiri dari lautan. Kondisi ini memungkinkan proses perusakan bangunan-bangunan pantai

yang disebabkan oleh abrasi air laut dan serangan kimia dari garam-garam sulfat dan zat destruktif lainnya yang terdapat dalam air laut akan terus meningkat sepanjang waktu. Dari literatur yang ada dan pengalaman di luar negeri pemanfaatan abu terbang untuk konstruksi beton dapat meningkatkan mutu dan ketahanan beton di daerah agresif, karena akan terjadi reaksi Pozolanik yang akan mengikat kapur bebas, oleh silikat dari abu terbang, sehingga membentuk permukaan yang lebih padat dan kedap air.

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh abu terbang terhadap mutu beton di lingkungan agresif (pantai dan laut) dilakukan uji coba pembuatan kubus beton ukuran 15 x 15 x 15 cm dan portal beton ukuran sisi 11/2 m yang terbuat dari beton normal dan beton abu terbang. Variasi pemakaian abu terbang adalah 0, 10, 20, 25, 30, dan 40% dari berat semen (Yatti, 1993).

Dalam penelitian Ardha (2003), secara kimia abu terbang merupakan material oksida anorganik mengandung silika dan alumina aktif karena sudah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Bersifat aktif yaitu dapat bereaksi dengan komponen lain dalam komposisinya untuk membentuk material baru (*mulite*) yang tahan suhu tinggi.

Dari konferensi Concrete 2001 yang diselenggarakan di Perth, Australia, belum lama ini, dilaporkan penggunaan HVFA (*high volume fly ash*) *concrete* atau beton dengan kandungan abu terbang tinggi pada sejumlah proyek infrastruktur, demikian pula penggunaan bahan buangan lain seperti slag. Beton tersebut dilaporkan menunjukkan hasil memuaskan di lapangan. Dalam waktu singkat di masa mendatang, penggunaan beton jenis ini

diperkirakan akan meningkat dengan cepat. Selain lebih ramah lingkungan, mengurangi jumlah energi yang diperlukan karena berkurangnya pemakaian semen, lebih awet dan lebih murah, bahan ini juga tetap menunjukkan perilaku mekanik memuaskan. Perkembangan mutakhir yang menjanjikan adalah penggunaan abu terbang sepenuhnya sebagai pengganti semen lewat proses yang disebut polimerisasi anorganik (kadang disebut geopolimer) yang dipelopori oleh seorang ilmuwan Prancis, Prof. Joseph Davidovits, sekitar 20 tahun lalu (Hardjito, 2001).

Beton mutu tinggi sebagai material konstruksi yang menjanjikan di masa yang akan datang perlu diteliti lebih jauh mengenai sifat-sifatnya. Sifat proteksi terhadap radiasi gamma merupakan salah satu hal yang perlu diketahui menghadapi kemungkinan penggunaan material tersebut pada fasilitas-fasilitas dan pembangkit listrik yang menggunakan tenaga nuklir. Dari hasil pengujian atenuasi didapatkan bahwa kemampuan atenuasi terhadap radiasi dengan energi 0,661 MeV dapat ditingkatkan dengan meningkatkan densitas beton, menggunakan BMT dengan tambahan *fly ash* dan polimer dan mengurangi jumlah *void* pada beton (Abduh, 1996).

Kusuma et. al (2001) melakukan penelitian bahwa komposisi semen dengan bahan pengisi *fly ash* dilakukan dengan komposisi binder (semen : *fly ash*) 10:0, 8:2, 7:3, 6:4 dan sampai batas *flowability* dan *workability* yang dapat dikerjakan, yaitu 5:5. Dari segi *workability*, *flowability* dan kuat tekan beton, komposisi binder 6:4 dan dosis *viscocrete* 1.5 % merupakan kondisi yang optimal.

Ati (2002) telah meneliti penggunaan *fly ash* dalam jumlah tinggi yaitu dengan mengganti 50% dan 70% dari kandungan semen dengan *fly ash*. Beton dengan kandungan *fly ash* dapat mereduksi *shrinkage* sampai 30% bila dibandingkan dengan beton yang tidak menggunakan *fly ash*.

### Landasan Teori

Pasta adalah adukan yang terdiri dari bahan perekat dan air. Mortar (sering disebut juga mortel atau spesi) adalah adukan yang terdiri dari pasir, bahan perekat dan air. Bahan perekat dapat berupa tanah liat, kapur, *fly ash*, maupun semen portland. Pasir berfungsi sebagai bahan pengisi (bahan yang direkat). Mortar semen dibuat dari campuran pasir, semen portland (dicampur dengan *fly ash*), dan air dalam perbandingan campuran yang tepat. Perbandingan antara volume semen (dan *fly ash*) dan pasir berkisar antara 1 : 2 dan 1 : 10. Perbandingan yang sering dipakai dalam masyarakat berkisar antara bahan perekat dan pasir 1: 6, 1: 8 dan 1: 10.

Tjokrodimuljo (1996), menyebutkan bahwa mortar yang baik harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut : murah, tahan lama (awet), mudah dikerjakan (diaduk, diangkut, dipasang, diratakan), melekat dengan baik dengan batu, cepat kering/keras, tahan terhadap rembesan air, tidak timbul retak-retak setelah dipasang.

Abu terbang adalah abu sisa pembakaran batu bara yang dipakai dalam banyak industri. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses

hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Pakar teknologi beton yang bermukim di Kanada, VM Malhotra, memelopori riset penggunaan abu terbang (*fly ash*) dalam proporsi cukup besar (hingga 60-65 persen dari total semen Portland yang dibutuhkan) sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam proses pembuatan beton. Sebelumnya banyak peneliti menggunakannya hanya dalam proporsi kecil (Hardjito, 2001).

Pengaruh utama terhadap penggunaan *fly ash* adalah pemakaian air dan *workability*. Untuk *workability* yang tetap, penggunaan air akan berkurang 5-15% pada campuran semen + *fly ash* bila dibandingkan dengan semen murni. Pengurangan air pada campuran agregat akan menyebabkan meningkatnya faktor air semen / FAS (Neville, 1996). Oleh karena faktor air semen lebih tinggi maka akan diperoleh pula kuat tekan mortar yang lebih tinggi pula.

Dalam Tjokrodinuljo (1996) menyebutkan bahwa kekuatan semen yang telah mengeras tergantung pada jumlah air yang di pakai waktu proses hidrasi berlangsung. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi hanya kira-kira 25 persen dari berat semennya, penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan setelah mengeras.

Berdasarkan ASTM C 109-93 disebutkan bahwa metode pengujian kekuatan semen (bahan perekat) dengan menggunakan mortar 1 : 2.75 yang menggunakan pasir standar (Ottawa), faktor air semen / FAS = 0.485 dan dites dengan kubus ukuran 50 mm.

Sementara SNI 15-3758-2004 membagi pemakaian mortar dalam beberapa jenis, seperti yang tersebut di tabel 3. dan syarat fisika seperti dalam tabel 4.

**Tabel 3.** Petunjuk pemilihan semen *masonry*

No.	Lokasi	Jenis bangunan	Jenis mortar	
			Disarankan	Pilihan
1.	Bangunan tidak terlindungi cuaca - Bangunan atas	- Dinding penahan beban - Dinding tidak menahan beban - Dinding sandaran	S N N	M M atau S S
		- Bangunan bawah	Pondasi, penguat lubang, selokan, trotoar, teras	S M atau N
2.	Bangunan terlindungi cuaca	Dinding penahan beban Partisi menahan beban Partisi tidak menahan beban	S S N	M M S atau M

**Tabel 4.** Persyaratan fisika

No	Uraian	Satuan	Jenis		
			Tipe N	Tipe S	Tipe M
1	Kehalusan sisa diatas ayakan 45 um.	%	maks.24	maks. 24	maks.24
2	Kekakuan bentuk dalam autoclave pemuain.	%	maks. 1,0	maks. 1,0	maks. 1,0
3	Waktu pengikatan dengan alat Gillmore Awal Akhir	menit menit	min. 120 maks. 1440	min.90 maks. 1440	min.90 maks. 1440
4	Kuat tekan (nilai rata-rata dari 3 kubus) 7 hari 28 hari	kg/cm <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup>	min. 35 min.63	min.92 min.148	min.126 min.204
5	Kandungan udara	% volume % volume	min.8 maks.21	min.8 maks.19	min.4 maks.19
6	Daya simpan air.	% laju air awal	min.70	min.70	min.70

Kuat tekan didefinisikan sebagai besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan dirumuskan sebagai berikut :

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (1.1)$$

dengan :

$f_c'$  = kuat desak beton salah satu benda uji (kg/cm<sup>2</sup>)

P = beban desak maksimum (kg)

A = luas permukaan benda uji tertekan (cm<sup>2</sup>).

Kuat tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan berbagai jenis campuran. Perbandingan air terhadap semen

merupakan faktor utama dalam penentuan kuat tekan beton (Wang, Salmon, 1993).

## METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, dengan mengadakan percobaan untuk mendapatkan hasil yang menunjukkan hubungan antara variabel yang ada. Dalam penelitian ini dimasukkan variasi penambahan *fly ash* dan perbandingan semen: *fly ash* sebagai variabel bebas dan kuat tekan sebagai variabel tak bebas.

### Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan adalah :

1. *Fly ash* hasil limbah dari PLTU Cilacap.
2. Semen dari PT. Holcim Indonesia Tbk.
3. Pasir dari Ottawa, Kanada.
4. Air dari PAM Cilacap.

### Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan antara lain :

1. Alat untuk pembuatan benda uji kuat tekan meliputi : tempat adukan mortar, mesin pengaduk, timbangan elektronik ketelitian 0.5 gram, kerucut abram, alat pemadat mortar, landasan kaca, meteran, ayakan agregat, cetakan mortar ukuran 50 mm x 50mm x 50mm, ruskam kecil, tempat untuk perawatan benda uji.
2. Alat untuk pengujian meliputi alat kuat tekan mortar, meteran, timbangan elektronik ketelitian 0.5 gram.

### Benda Uji

Benda uji kuat tekan berupa kubus ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm. Secara keseluruhan benda uji yang dibuat untuk setiap campuran adalah 3 buah untuk umur 7 hari dan

3 buah untuk umur 28 hari. Langkah-langkah membuat *Mix design* sebagai berikut :

1. Mencari berat jenis material penyusun mortar. Berat jenis semen = 3150 kg/m<sup>3</sup>, pasir ottawa = 2710 kg/m<sup>3</sup>, fly ash = 2800 kg/m<sup>3</sup>, air = 1000 kg/m<sup>3</sup>.
2. Menentukan berat masing-masing material penyusun mortar.
3. Membagi berat dengan berat jenis sehingga didapatkan volume masing-masing material penyusun mortar.
4. Menjumlahkan volume material penyusun mortar.
5. Mengecek volume total sehingga mendekati volume 1 m<sup>3</sup>.

**Tabel 5.** Contoh Perhitungan *Mix Design*

No.	Material	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	Semen	3150	280	0.0889
2	<i>Fly Ash</i>	2800	0	0.0000
3	Pasir Ottawa	2700	1700	0.6296
4	Air	1000	270	0.2700
Volume Total				0.9885

### Pelaksanaan Penelitian

Secara umum pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada diagram alur jalannya penelitian (Gambar 1). Sedangkan uraian tahapan pelaksanaan penelitian secara garis besar adalah sebagai berikut :

1. Tahap persiapan bahan baku meliputi pembelian Pasir Ottawa (*Import*), Semen tipe 1 produksi PT. Holcim Indonesia, pembelian *fly ash* PLTU Cilacap.
2. Tahap pengujian material penyusun mortar meliputi pengujian kandungan kimia *fly ash*, pengujian sifat fisik Pasir Ottawa, kandungan kimia semen.
3. Tahap pembuatan benda kubus 50 mm x 50 mm x 50 mm untuk uji kuat tekan mortar sesuai *mix design* pada lampiran 2.

4. Tahap perawatan benda uji kubus 50 mm x 50 mm x 50 mm untuk uji kuat tekan mortar dengan merendam dalam air.
5. Tahap pengujian kuat tekan mortar dengan benda uji kubus 50 mm x 50 mm x 50 mm.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan mortar untuk masing-masing perbandingan pasir dan semen dan kadar penambahan *fly ash* disajikan dalam tabel berikut ini.

#### Kuat Tekan Mortar 1 : 6

Tabel 6. Kuat tekan mortar umur 7 hari, semen : pasir = 1 : 6

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata-Rata (kg/cm <sup>2</sup> )	Standar Mortar Tipe N Tipe N (kg/cm <sup>2</sup> )
0	75.1	74.2	35
	75.4		
	72.2		
30	75.4	75.6	35
	76.2		
	75.1		
40	51.7	54.9	35
	56.5		
	56.5		
50	54.1	54.8	35
	56.1		
	54.1		

Tabel 7. Kuat tekan mortar umur 28 hari, semen : pasir = 1 : 6

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata-Rata (kg/cm <sup>2</sup> )	Standar Mortar Tipe N Tipe N (kg/cm <sup>2</sup> )
0	93.6	92.0	63
	89.7		
	92.8		
30	118.9	114.2	63
	114.6		
	109		
40	100.3	99.0	63
	96.4		
	100.3		
50	96	95.8	63
	92.4		
	99.1		

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari. Hal ini dilakukan karena berdasarkan SNI 15-3758-2004 hanya disebutkan syarat kuat tekan mortar tipe N umur 7 hari yaitu 35 kg/cm<sup>2</sup> dan umur 28 hari sebesar 63 kg/cm<sup>2</sup> seperti yang tercantum dalam tabel 7. Sehingga kuat tekan yang diuji memenuhi SNI 15-3758-2004 atau tidak.

Hasil pengujian kuat tekan mortar umur 7 hari dengan perbandingan semen : pasir = 1 : 6 menunjukkan bahwa kuat tekan mortar dengan kadar *fly ash* 40% dan 50% masih memenuhi kuat tekan standar mortar tipe N namun lebih rendah bila dibandingkan dengan mortar tanpa *fly ash*. Sedangkan kuat tekan mortar dengan kadar *fly ash* 30% lebih tinggi bila dibandingkan dengan mortar tanpa *fly ash* dan kuat tekan standar mortar tipe N.

Hasil pengujian kuat tekan mortar 28 hari dengan perbandingan semen : pasir = 1 : 6 menunjukkan bahwa kuat tekan mortar dengan campuran *fly ash* 30 %, 40 % dan 50 % lebih tinggi bila dibandingkan dengan mortar tanpa *fly ash* dan masih memenuhi kuat tekan standar mortar Tipe N.

Secara umum, mortar yang mengandung *fly ash* pada umur 7 hari mempunyai kuat tekan yang lebih rendah dari mortar tanpa *fly ash*, namun pada umur 28 hari mempunyai kuat

tekan yang lebih besar dari mortar tanpa fly ash. Hal ini sesuai dengan Neville (1996) bahwa *fly ash* mempunyai sifat lambat dalam waktu pengikatan awal, namun akan lebih meningkat pengikatannya setelah umur 28 hari.

### Kuat Tekan Mortar 1 : 8

**Tabel 8.** Kuat tekan mortar umur 7 hari, semen : pasir = 1 : 8

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata-Rata (kg/cm <sup>2</sup> )	Standar Mortar Tipe N Tipe N (kg/cm <sup>2</sup> )
0	32.4	31.2	35
	30.0		
	31.2		
30	35.2	33.1	35
	32.8		
	31.2		
40	26.5	27.8	35
	31.2		
	25.7		
50	30.4	31.1	35
	31.6		
	31.2		

**Tabel 9.** Kuat tekan mortar umur 28 hari, semen : pasir = 1 : 8

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata-Rata (kg/cm <sup>2</sup> )	Standar Mortar Tipe N Tipe N (kg/cm <sup>2</sup> )
0	41.1	42.1	63
	43.8		
	41.5		
30	54.1	54.4	63
	54.1		
	54.9		
40	54.9	51.6	63
	53.7		
	46.2		
50	60.4	57.7	63
	53.7		
	58.9		

Hasil pengujian kuat tekan mortar 7 hari dengan perbandingan semen : pasir = 1 : 8 menunjukkan bahwa mortar dengan kadar *fly ash* 40% mempunyai kuat tekan lebih kecil dari kuat tekan standar mortar tipe N maupun kuat tekan mortar tanpa *fly ash*, hal ini disebabkan benda 2 benda uji cacat. Sedangkan Mortar dengan kadar *fly ash* 30 % dan 50 % mempunyai kuat tekan lebih tinggi dari mortar

tanpa *fly ash* dan lebih rendah dari kuat tekan standar mortar tipe N.

Hasil pengujian kuat tekan mortar 28 hari dengan perbandingan semen : pasir = 1 : 8 menunjukkan bahwa mortar dengan kadar *fly ash* 30%, 40% dan 50% mempunyai kuat tekan lebih tinggi dari mortar tanpa *fly ash* tetapi lebih kecil dari kuat tekan standar mortar tipe N.

### Kuat Tekan Mortar 1 : 10

**Tabel 10.** Kuat tekan mortar umur 7 hari, semen : pasir = 1 : 10

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata-Rata (kg/cm <sup>2</sup> )	Standar Mortar Tipe N Tipe N (kg/cm <sup>2</sup> )
0	26.9	26.6	35
	25.3		
	27.7		
30	27.7	26.4	35
	26.9		
	24.5		
40	15.0	16.2	35
	17.0		
	16.6		
50	11.5	14.2	35
	17.0		
	14.2		

**Tabel 11.** Kuat tekan mortar umur 28 hari, semen : pasir = 1 : 10

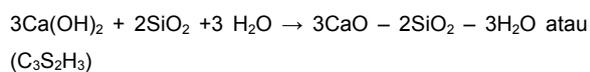
Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata-Rata (kg/cm <sup>2</sup> )	Standar Mortar Tipe N Tipe N (kg/cm <sup>2</sup> )
0	34.4	35.7	63
	35.2		
	37.5		
30	43.8	42.6	63
	40.3		
	43.8		
40	32.8	33.9	63
	34.4		
	34.4		
50	24.1	23.0	63
	21.3		
	23.7		

Hasil pengujian kuat tekan mortar 7 hari dengan perbandingan semen : pasir = 1 : 10 menunjukkan bahwa mortar dengan kadar *fly ash* 30 %, 40 %, 50 % mempunyai kuat tekan lebih rendah dari mortar tanpa *fly ash* maupun kuat tekan standar mortar tipe N.

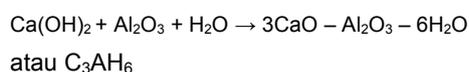
Hasil pengujian kuat tekan mortar 28 hari dengan perbandingan pasir : semen = 1 : 10

menunjukkan bahwa mortar dengan kadar *fly ash* 30 % mempunyai kuat tekan lebih tinggi dari mortar tanpa *Fly Ash* tetapi lebih rendah dari kuat tekan standar mortar tipe N. Sedangkan mortar dengan kadar *fly ash* 40% dan 50 % mempunyai kuat tekan lebih rendah dari mortar tanpa *fly ash* maupun kuat tekan standar mortar Tipe N. Hal ini disebabkan oleh kapur bebas yang dihasilkan dari reaksi antara semen dan air lebih kecil dari jumlah *fly ash* yang ada. Sehingga sisa *fly ash* yang tidak bereaksi dengan kapur bebas tidak bisa membentuk senyawa *tobermorite*.

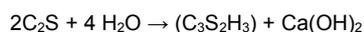
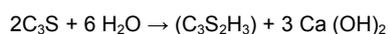
Secara umum dapat disimpulkan bahwa kuat tekan mortar dengan *fly ash* 30%, 40% dan 50% lebih rendah bila dibandingkan dengan kuat tekan mortar tanpa *fly ash* pada umur 7 hari. Hal ini disebabkan karena perilaku *fly ash* dalam reaksi hidrasi berjalan lambat. Sedangkan pada umur 28 hari, kuat tekan mortar dengan *fly ash* 30%, 40% dan 50% lebih tinggi dibandingkan dengan mortar tanpa *fly ash*. Fenomena ini disebabkan oleh kapur bebas hasil reaksi semen dan air akan bereaksi dengan *fly ash* membentuk senyawa *tobermorite*. Reaksi *fly ash* dan kapur bebas disebutkan dalam Tjokrodinuljo (1996) sebagai berikut :



dan



Sementara reaksi yang terjadi pada semen adalah sebagai berikut :



dimana : C = CaO ; S = SiO<sub>2</sub> ; A = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

## Workability

Hasil pengujian *workability* mortar untuk masing-masing perbandingan semen : pasir dan kadar penambahan *fly ash* serta personil yang mengujinya disajikan dalam tabel 11.

Tabel 11. Workability Mortar

Kadar fly ash (%)	Workability (semen:pasir) diameter dalam cm.		
	1:6 (penguji)	1:8 (penguji)	1:10 (penguji)
0	24 (agus)	58 (rinto)	33 (agus)
30	28 (agus)	55 (rinto)	53 (rinto)
40	22 (agus)	56 (rinto)	56 (rinto)
50	44 (rinto)	25 (agus)	56 (rinto)

Dari data *workability* atau *flowable* mortar yang diukur dalam besarnya diameter mortar seperti pada tabel 11 menunjukkan bahwa secara umum mortar mempunyai tingkat keenceran yang sama, meskipun dari mix design (terlampir) bahwa jumlah air yang dipakai pada mortar dengan *fly ash* lebih sedikit bila dibanding mortar tanpa *fly ash*. Hal ini sesuai dengan yang disampaikan Neville (1996) bahwa pemakaian *fly ash* mengurangi faktor air semen 7% sampai 12%.

*Flowable* mortar yang menyimpang jauh dari rata-rata disebabkan karena pengujian *flowable* mortar dilakukan oleh orang yang berbeda. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengujian yang berbeda berpengaruh terhadap nilai *flowable* mortar.

## Efisiensi Biaya

Perhitungan efisiensi biaya dilakukan dengan asumsi harga sebagai berikut :

- Harga semen (per kg) : Rp 650.-
- Harga *fly ash* (per kg) : Rp 120.-

Contoh perhitungan efisiensi biaya untuk mortar dengan perbandingan semen : pasir = 1 :

6 dan kadar fly ash 50 % diperoleh efisiensi sebesar 32%. Secara lengkap ditampilkan pada tabel 12.

**Tabel 12.** Efisiensi Biaya

Mortar (1 : 6)	tiap 1 m <sup>3</sup> adukan (kg)		Harga (Rp)		Jumlah (Rp)
	PC	FA	PC	FA	
Non FA	280	0	182,000	0	182,000
FA 50%	161	161	104,650	104,650	209,300
			Efisiensi =		27,300

PC=portland cement, FA=fly ash

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Pada penelitian Pemanfaatan Limbah PLTU Cilacap Untuk Pasangan Batu dan Plesteran yang telah dilaksanakan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Mortar dengan perbandingan semen : pasir = 1 : 6 memenuhi standar kuat tekan mortar tipe N, sedangkan mortar dengan perbandingan semen : pasir = 1 : 8 dan 1 : 10 tidak memenuhi standar kuat tekan mortar tipe N.
2. Mortar dengan perbandingan semen : pasir = 1 : 6 dan kadar *fly ash* 50 % mempunyai efisiensi biaya Rp 58.030,- atau sekitar 32 % dari harga mortar tanpa *fly ash*.

### Saran

Saran-saran yang dapat diberikan adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan kuat tekan mortar dengan kandungan *fly ash* 60%, 70 % dan 80%.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan kandungan *fly ash* 50 % pada beton.

## DAFTAR PUSTAKA

Abduh, 1996, *Sifat Proteksi Beton Mutu Tinggi Terhadap Radiasi Gamma 0.661 MeV*, Jurnal, Bandung

Anonim, ASTM - 04.02, 1996, *Concrete and Aggregates*, Easton, USA.

Anonim, SNI 15-3758-2004, *Semen masonry*, Badan Standar Nasional, Jakarta

Ardha, 2003, *Pemanfaatan Abu Terbang PLTU-Suralaya Untuk Castable Refractory (Penelitian Pendahuluan)*, Litbang Pengolahan Mineral, Jakarta

Ati, 2002, *High-Volume Fly Ash Concrete with High Strength and Low Drying Shrinkage*, ASCE, Turki.

Erlambang, 1997, *Karakteristik Beton dengan Bahan Tambah Abu Terbang*, Jurnal Yogyakarta

Hardjito, 2001, *Abu Terbang Solusi Pencemaran Semen*, Sinar Harapan, Kupang

Jirna, 1997, *Pemakaian Dolocid pada Campuran Mortar untuk Pasangan dan Plesteran*, Universitas Negeri Malang, Malang

Kusuma et. al, 2001, *Penggunaan Fly Ash dan Viscocrete pada Self Compacting Concrete*, Dimensi Teknik Sipil, Petra, Surabaya

Maryoto, 2003, *Mix Design Mortar*, PT. Jaya Readymix, Semarang

Mindes & Young, *Concrete*, 1981. Concrete, Prentice Hall Inc, New Jersey

Neville, 1996. *Properties of Concrete*, Longman, England

Tjokrodinuljo, 1996, *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta

UBP Suralaya, 2002, *Abu Batu Bara PLTU Suralaya*, Jawa Barat

Yamamoto, 2006, *Fly Ash As A Cemen Mixture, CREPE*, Public Communications Group, Tokyo, Jepang

Yatti, 1993, *Penelitian Mutu Beton Abu Terbang pada Lingkungan yang Agresif (Pantai dan Laut)*, Jurnal Permukiman, Jakarta.

