

PEMANFAATAN ABU BATUBARA SEBAGAI BAHAN PENGIKAT

Bowo Leksono
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

ABSTRAK

Batubara banyak dipakai sebagai bahan bakar turbin untuk menggerakkan motor listrik di perusahaan yang menyediakan power plant unit untuk memenuhi kebutuhan tenaga listriknya. Dari pembakaran batubara menghasilkan limbah abu batubara. Limbah abu batubara itu kenyataannya dibuang yang sebetulnya ada kemungkinan dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain.

Penelitian ini untuk menentukan karakteristik abu limbah pembakaran batubara, sebagai bahan tambahan digunakan untuk memperbaiki mutu beton, sifat-sifat pengerjaan waktu pengikatan dan pengerasan. Penggunaan bahan tambahan sesuai dengan proporsi yang ditentukan terhadap komposisi campuran beton normalnya. Bahan tambahan sebagai bahan pengisi pori, bahan pengisi udara, atau untuk mengganti proporsi semen.

Pada penelitian ini untuk mendapatkan abu batubara dengan cara membakar sendiri batubara dalam jumlah kecil, sehingga abu yang didapat juga dalam jumlah relatif kecil. Dalam percobaan ini dilakukan pembakaran sebanyak 20 kg batubara kering yang menghasilkan sekitar 3-5 kg abu pembakaran batubara. Dalam penelitian ini mengacu kepada standar-standar: Standar Industri Indonesia (SII), American Society of Testing and Material (ASTM) dan British Standard (BS).

Benda Uji terdiri dari campuran mortar ditambah abu hasil sisa pembakaran batubara dengan presentase yang berbeda pada masing-masing benda uji. Komposisi campuran terdiri dari Semen + Pasir + Air + Abu pembakaran batubara (5%, 10%, 15%, 25%, 35%, 45%) dan tiga benda uji direndam dalam asam sulfat 5%, dengan kuat tekan pada umur masing-masing 3 hari, 7 hari dan 28 hari.

Abu pembakaran batubara merupakan bahan tambahan yang bersifat retarder (memperlambat pengerasan). Ditinjau dari sifat pozzolan, komposisi kimia abu pembakaran batubara bersifat

menyerupai pozzolan. Abu pembakaran batubara dapat menjadi alternative pemakaian bahan tambahan.

Kata kunci : abu batubara, komposisi campuran, uji tekan.

PENDAHULUAN

Abu batubara merupakan limbah produksi hasil pembakaran batubara yang banyak dipakai pabrik-pabrik sebagai bahan bakar turbin menggerakkan motor listrik. Limbah itu kenyataannya dibuang dan sebetulnya ada kemungkinan untuk dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain.

Pada penelitian ini untuk mendapatkan abu batubara dengan cara membakar sendiri batubara dalam jumlah kecil, sehingga abu yang didapat juga dalam jumlah relatif kecil. Dalam percobaan ini dilakukan pembakaran sebanyak 20 kg batubara kering yang menghasilkan sekitar 3-5 kg abu pembakaran batubara.

Penelitian ini terbatas pada hal-hal sebagai berikut:

1. Menentukan karakteristik abu limbah pembakaran batubara, yang meliputi sifat fisik dan kimia.
2. Menentukan pengaruh abu limbah pembakaran batubara terhadap kekuatan mortar.
3. Menentukan pengaruh abu limbah pembakaran batubara terhadap ketahanan adukan dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4), atau adanya kandungan pozzoland dalam abu limbah pembakaran batubara tersebut.

KAJIAN TEORI

Bahan Tambahan dan Komposisi Kimia

Bahan tambahan digunakan untuk memperbaiki mutu beton, sifat-

sifat pengerjaan waktu pengikatan dan pengerasan maupun ada maksud-maksud lain. Penggunaan bahan tambahan sesuai dengan proporsi yang ditentukan terhadap komposisi campuran beton normalnya. Bahan tambahan sebagai bahan pengisi pori, bahan pengisi udara, atau untuk mengganti proporsi semen.

Bahan tambahan yang sering digunakan sebagai campuran beton adalah Pozzoland (Pozzolanas). Pozzoland adalah bahan yang bereaksi dengan kapur ikat, bebas selama pengikatan semen, termasuk daya tahannya terhadap sulfat, air kotor dan lain-lain.

Pozzoland dapat digunakan untuk menambah atau mengganti sampai dengan 70% semen, karena bahan pozzoland terdapat sedikit sifat-sifat yang sama dengan sifat semen. Bahan ini dapat mereduksi waktu pengerasan beton beton, sehingga waktu pengikatan menjadi lebih lambat.

Sifat pozzoland dari *pulverisasi fuel ash* diperoleh dengan adanya alumina dan silica. Disini kandungan bahan yang tak terbakar, proporsinya tidak lebih dari 7% apabila ingin digunakan untuk bahan tambahan.

Perbandingan komposisi kimia antara beberapa jenis pozzoland yang ada adalah sebagai berikut:

Prosentase Komposisi dari Beberapa Pozzoland Buatan

Pozzoland	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃	HP
Burnt Clay	58,2	18,4	9,3	3,3	3,9	3,9	1,1	1,6
Raw Gaize	79,6	7,1	3,2	2,4	1,0	-	0,9	5,9
Fly Ash (USA)	44,8	18,4	11,2	11,2	1,1	3,2	2,0	7,5
Fly Ash (Bri)	45,9	24,4	12,3	12,3	2,5	4,2	0,9	1,1

Sumber: *The Chemistry of Cement and Concrete*, Lea, F.M, 1970

Prosentase Komposisi Abu Terbang

Abu Terbang	SiO ₂	AlO	FeO	Na ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	HP
Jenis I	55,9	30,5	1,85	0,91	0,46	0,54	2,1	1,97
Jenis II	53,1	29,0	1,93	1,20	0,51	0,59	2,3	3,06
Jenis III	53,6	29,52	1,97	1,16	0,54	0,58	3,2	3,57

Sumber: *Pengaruh Pemakaian Abu Terbang Terhadap Mutu Beton*, Pusat Litbang Pemukiman

Sistem Pembakaran

Pada penelitian ini untuk mendapatkan abu batubara dengan cara membakar sendiri batubara dalam jumlah kecil, sehingga abu yang didapat juga dalam jumlah relatif kecil. Dalam percobaan ini dilakukan pembakaran sebanyak 20 kg batubara kering yang menghasilkan sekitar 3-5 kg abu pembakaran batubara. Adapun cara pembakaran batubara yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tungku pembakaran dengan bahan bakar kayu dan batubara diletakkan di atas kawat anyaman.
2. Batubara kering diletakkan di atas tungku pembakaran dan kayu dinyalakan.
3. Pembakaran memerlukan waktu sekitar 25 menit, sampai batubara tersebut menjadi bara api.
4. Setelah membara, kawat anyaman diangkat dan batubara dimasukkan dalam tong dalam keadaan menyala.
5. Dibiarkan selama sekitar 4 jam sampai batubara tersebut menjadi abu seluruhnya.

6. Setelah menjadi abu, kemudian diambil dan dimasukkan dalam karung penyimpang.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian laboratorium. Dimana semua proses kegiatan percobaan seluruhnya berada di laboratorium. Mulai pencampuran bahan sampai tes beton yang memenuhi standart yang diharapkan.

1. Pada bagian awal digunakan untuk campuran mortar ditambah abu hasil pembakaran batubara, sebagai berikut:
 - a. Semen Portland tipe I (Ordinary Portland Cement).
 - b. Pasir putih, pasir standar (sejenis pasir Ottawa)
 - c. Air suling
 - d. Abu hasil pembakaran batubara
2. Mortar hasil campuran dicetak dalam cetakan 5 cm x 5 cm, dengan variasi 9 (sembilan) macam komposisi

- campuran sebagai benda uji. Adapun masing-masing campuran adalah sebagai berikut:
- Untuk tes kuat tekan diambil mortar yang berumur 3 hari, 7 hari, dan 28 hari masing-masing diambil 2 buah benda uji.
 - Untuk contoh uji coba diambil 1 buah benda uji.
3. Benda Uji terdiri dari campuran mortar ditambah abu hasil sisa pembakaran batubara dengan presentase yang berbeda pada masing-masing benda uji. Adapun 9 (sembilan) komposisi campuran masing-masing adalah sebagai berikut:
- Komposisi campuran A dan campuran B, terdiri dari Semen + Pasir + Air.
 - Komposisi campuran C, terdiri dari Semen + Pasir + Air + 5% abu pembakaran batubara.
 - Komposisi campuran D, terdiri dari Semen + Pasir + Air + 10% abu pembakaran batubara.
 - Komposisi campuran E, terdiri dari Semen + Pasir + Air + 15% abu pembakaran batubara.
 - Komposisi campuran F, terdiri dari Semen + Pasir + Air + 25% abu pembakaran batubara.
 - Komposisi campuran G, terdiri dari Semen + Pasir + Air + 35% abu pembakaran batubara.
 - Komposisi campuran H, terdiri dari Semen + Pasir + Air + 45% abu pembakaran batubara.
 - Komposisi 3 (tiga) campuran I, J, K, terdiri dari Semen + Pasir + Air + prosentase bahan tambahan yang mempunyai kuat tekan tertinggi pada umur 28 harti.
4. Selanjutnya, komposisi campuran B, C, D, E, F, G dan H, sesudah berumur 28 hari direndam dalam air yang dicampur dengan 5% asam sulfat.
- Untuk komposisi campuran I, setelah selesai dicetak direndam dalam air yang dicampur 10% asam sulfat.
 - Untuk komposisi campuran I, setelah selesai dicetak direndam dalam air yang dicampur 20% asam sulfat.
 - Untuk komposisi campuran I, setelah selesai dicetak direndam dalam air yang dicampur 30% asam sulfat.

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan berat jenis semen portland (ASTM C 1005-83)

Pemeriksaan ini untuk menentukan berat jenis semen Portland yang akan digunakan untuk percobaan. Berat jenis semen Portland merupakan perbandingan berat isi kering semen pada suhu kamar dengan berat isi kering air suling pada suhu 4°C dengan isi sama dengan isi semen.

- Hasil Pemeriksaan
 - Berat semen Portland (A) = 250 gram.
 - Berat labu takar + semen + minyak tanah (B) = 723 gram.
 - Berat labu takar + minyak tanah (C) = 548,75 gram
 - Berat jenis minyak tanah = 0,8
- Perhitungan
Berat jenis semen =
$$A / (A + C - B) \times BJ \text{ minyak tanah.}$$
$$= 250 / (250 + 548,75 - 723) \times 0,8$$
$$= 3,3.$$

Pemeriksaan kehalusan semen portland (ASTM C 184-83)

Pemeriksaan ini untuk menentukan kehalusan semen Portland yang akan digunakan untuk percobaan dengan menggunakan saringan no. 100 dan no. 200. Kehalusan merupakan factor penting yang mempengaruhi kecepatan reaksi antara partikel semen dengan air.

1. Hasil Pemeriksaan:
 - a. Berat benda uji yang tertahan di atas saringan no. 100 (A1) = 0.
 - b. Benda uji yang tertahan di atas saringan no. 200 (A2) = 8 gr.
 - c. Berat benda uji semula (B) = 50 gr.
2. Perhitungan
 - a. Kehalusan (F) saringan no. 100 = $(A1/B) \times 100\% = 0\%$.
 - b. Kehalusan (F) saringan no. 200 = $(A2/B) \times 100\% = (8/50) \times 100\% = 16\%$.

Pemeriksaan konsistensi normal Semen portland (ASTM C 187-86)

Pemeriksaan ini untuk menentukan konsistensi normal semen Portland yang akan digunakan untuk percobaan dengan vicat. Konsistensi normal merupakan kondisi standar semen portland yang menunjukkan kebasahan pasta.

Konsistensi normal didapatkan pada saat jarum menunjukkan penurunan (10 ± 1) mm. dibawah ini table hasil pemeriksaan penurunan jarum vicat terhadap waktu.

Tabel : Konsistensi normal semen Portland

Komposisi	Jumlah Air (ml)	Penurunan (mm)
100% PC + 0% AB	65	3
	70	4
	75	9
	80	13
95% PC + 5% AB	70	5
	75	7
	80	10
	85	15
90% PC + 10% AB	70	3
	77	7
	82	10
	85	15

85% PC + 15% AB	90	6
	100	7
	110	10
	120	13
75% PC + 25% AB	90	5
	100	7
	115	10
	120	12
65% PC + 35% AB	100	4
	110	5
	120	10
	130	15
55% PC + 45% AB	120	5
	130	10
	135	12
	140	17

Pemeriksaan waktu pengikatan awal dengan vicat (ASTM C 191-82)

Pemeriksaan ini untuk menentukan waktu pengikatan permulaan, yaitu jangka waktu dari pengukuran pasta pada konsistensi normal sampai pasta kehilangan sifat plastis (menjadi keras).

Syarat pengikatan awal minimum 45 menit, sedang pengikatan akhir/pengerasan tidak boleh lebih dari 10 jam. Dibawah ini tabel pengikatan awal semen portland menurut beberapa komposisi.

Analisa sifat fisik agregat halus

Syarat agregat halus sesuai SNI T15-1991-03

1. Agregat halus untuk beton berupa pasir alami; sebagai hasil desintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu.
2. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras, dan tidak hancur oleh pengaruh cuaca.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat kering dan merupakan bagian yang lolos melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur lebih dari 5%, agregat halus harus dicuci.

100% + 0% AB	
Waktu (menit)	Penurunan (mm)
45	40
60	40
75	40
90	40
105	40
120	40
135	32
150	15
165	2
180	0
195	
210	

95% + 5% AB	
Waktu (menit)	Penurunan (mm)
45	40
60	40
75	40
90	40
105	40
120	40
135	25
150	10
165	6
180	1
195	0
210	

90% + 10% AB	
Waktu (menit)	Penurunan (mm)
45	40
60	40
75	40
90	40
105	40
120	40
135	39
150	30
165	20
180	3
195	0
210	

85% PC + 15% AB	
Waktu (menit)	Penurunan (mm)
45	40
60	40
75	40
90	40
105	40
120	40
135	37
150	35
165	28
180	19
195	4
210	0

75% PC + 25% AB	
Waktu (menit)	Penurunan (mm)
45	40
60	40
75	40
90	40
105	40
120	40
135	39
150	37
165	36
180	35
195	30
210	12
225	4
240	0
255	
270	

65% PC + 35% AB	
Waktu (menit)	Penurunan (mm)
45	40
60	40
75	40
90	40
105	40
120	40
135	40
150	40
165	40
180	40
195	37
210	30
225	16
240	10
255	5
270	0

55% PC + 45% AB	
Waktu (menit)	Penurunan (mm)
45	40
60	40
75	40
90	40
105	40
120	40
135	40
150	40

55% + 45% AB	
Waktu (menit)	Penurunan (mm)
165	40
180	40
195	38
210	33
225	18
240	15
255	10
270	7

55% + 45% AB	
Waktu (menit)	Penurunan (mm)
285	4
300	0

4. Agregat halus tidak boleh terlalu banyak mengandung bahan-bahan organik yang dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams Harder (NaOH), tetapi yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga dipakai asalkan kekuatan adukan pada umur 7 hari dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan agregat halus yang sama yang dicuci terlebih dahulu dalam larutan NaOH, kemudian dicuci dengan air bersih.

Pemeriksaan analisa saringan (ASTM C 136-84a)

Pemeriksaan ini untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dengan menggunakan saringan.

Hasil saringan untuk masing-masing saringan adalah sebagaimana tabel berikut.

Tabel Hasil Saringan

No. Ayakan	Diameter (mm)	Berat Tertinggal (gr)
16	1,180	0
30	0,600	8,5
40	0,425	257,4
50	0,300	523,7
100	0,150	187,3
Pan	-	23,1

Prosentase Hasil Saringan

No. Ayakan	Berat Tertinggal (gr)	Prosentase Tertinggal (%)	Kumulatif Tertinggal (%)	Prosentase Lolos (%)
16	0	0	0	100
30	8,5	0,85	0,85	99,15
40	257,4	25,74	26,59	73,41
50	523,7	52,37	78,96	21,04
100	187,3	18,73	97,69	2,31
Pan	23,1	2,31	100	0

Pemeriksaan analisa saringan (ASTM C 136-84A)

Pemeriksaan ini untuk menentukan berat jenis kering permukaan jenuh dari agregta halus, yang merupakan perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.

1. Hasil Pemeriksaan
 - a. Berat pasir dalam keadaan SSD (A) = 500 gram
 - b. Berat labu takar + pasir + air (B) = 1310 gram
 - c. Berat labu takar + air (C) = 994 gram.
2. Perhitungan dengan rumus :
 Berat jenis pasir putih = $(A) / (A + C - B) = (500) / (500 + 994 - 1310) = 2,717$

Pemeriksaan berat volume (ASTM C 29-78)

Pemeriksaan ini untuk menentukan berat isi dari agregta halus, yang merupakan perbandingan antara berat dan isi agregat halus. Hasil Pemeriksaan adalah:

1. Berat takaran 3 liter (A) = 2650 gram = 2,650 kg.
2. Berat takaran + pasir (B) = 6650 gram = 6650 kg.

3. Volume takaran (C) = 3 liter = 3 dm³.

Perhitungan

Berat volume lepas =

$$(B - A) / C = (6,650 - 2,650) / 3 =$$

$$1,33 \text{ kg/dm}^3.$$

Pemeriksaan resapan agregat halus (ASTM C 128-84)

Pemeriksaan ini untuk menentukan penyerapan dari agregat halus, yaitu prosentase berat air yang dapat diserap pori pasir terhadap berat agregat halus kering. Hasil Pemeriksaan

1. Berat pasir SSD (A) = 500 gram.
2. Berat pasir setelah di oven (B) = 477 gram

Perhitungan:

$$\text{Resapan pasir} = (A - B) / B \times 100\% = (500 - 477) / (477) \times 100\% = 4,82 \%$$

Pemeriksaan kadar organik agregat halus (ASTM C 40-84)

Pemeriksaan ini untuk menentukan adanya bahan organik pada pasir yang akan digunakan sebagai bahan campuran mortar atau beton percobaan. Adanya kotoran bahan organik akan mempengaruhi kekuatan dan sifat awet beton. Hasil Pemeriksaan dari pengamatan, ternyata setelah 24 jam larutan yang berada di botol gelas dan berisi pasir putih warnanya jauh lebih muda dibandingkan warna standar. Dengan demikian kadar organik sangat sedikit dan pasir dapat dipakai sebagai campuran mortar.

Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus (ASTM C 143-78)

Pemeriksaan ini untuk menentukan kadar lumpur dalam agregat halus, yaitu kandungan agregat halus yang lolos saringan no. 200 (ASTM)

atau dengan diameter 0,063 mm. Hasil Pemeriksaan :

1. Tinggi pasir putih dalam botol = 6 cm.
2. Tinggi endapan lumpur setelah 24 jam (A) = 1 mm.
3. Tinggi pasir putih yang bersih (B) = 5,9 cm.

Perhitungan :

Syarat kadar lumpur < 5%.

$$\text{Kadar lumpur dari hasil pemeriksaan: } A/B \times 100\% = 0,1 / 5,9 \times 100\% = 1,69\%.$$

Kadar lumpur memenuhi syarat : 1,69% < 5%

Pemeriksaan kadar air agregat halus (ASTM C 183-83a)

Pemeriksaan ini untuk menentukan kadar air dalam agregat halus, yaitu perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering. Hasil Pemeriksaannya adalah:

1. Berat pasir putih dalam botol (A) = 500 gram.
2. Berat benda uji setelah di oven (B) = 495 gram.

Perhitungan

$$\text{Kadar air (kelembaban)} = (A - B) / (B) = \{(500 - 495) / 495\} \times 100\% = 1,01 \%$$

Pemeriksaan kuantitas dan kualitas bahan tambahan (berat jenis abu pembakaran batubara sesuai ASTM C 1005-83)

Pemeriksaan ini untuk menentukan berat jenis abu pembakaran batubara, yang merupakan perbandingan antara berat isi kering abu pembakaran batubara pada suhu kamar dengan berat isi kering air suling pada 4°C yang isinya sama dengan

isi abu pembakaran batubara. Hasil Pemeriksaan adalah sebagai berikut:

1. Berat abu pembakaran batubara (A) = 250gram.
2. Berat labu takar + abu pembakaran batubara + minyak tanah (B) = 736gram.
3. Berat labu takar + minyak tanah (C) = 548,75 gram
4. Berat jenis minyak tanah = 0,8

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis abu} &= A / (A + C - B) \times B \\ &= 250 / (250 + 548,75 - 736) \times 0,8 \\ &= 3,18. \end{aligned}$$

Pemeriksaan berat kehalusan abu pembakaran batubara

Pemeriksaan ini untuk menentukan kehalusan abu pembakaran batubara dengan menggunakan saringan no. 100 dan no. 200, yang merupakan factor penting yang mempengaruhi kecepatan reaksi antara partikel abu pembakaran batubara dengan air. Hasil Pemeriksaan:

1. Berat benda uji yang tertahan di atas saringan no. 100 (A1) = 0.
2. Benda uji yang tertahan di atas saringan no. 200 (A2) = 11 gr.
3. Berat benda uji semula (B) = 50 gr.

Perhitungannya:

1. Kehalusan (F) saringan no. 100 = $(A1/B) \times 100\% = 0\%$.
2. Kehalusan (F) saringan no. 200 = $(A2/B) \times 100\% = (11/50) \times 100\% = 22\%$.

Dalam penelitian ini mengacu kepada standar-standar yang ada saat ini, antara lain:

1. SII = Standar Industri Indonesia
2. ASTM = American Society of Testing and Material.

3. B S = British Standard.

Digunakannya beberapa standar agar dapat memenuhi standar yang diinginkan.

Komposisi Kimia Abu Pembakaran Batubara

1. Pemeriksaan Karbon

Prosedur:

- a. Timbang 5 gram abu pembakaran batubara yang telah dihilangkan kelembabannya.
- b. Panaskan furnace dengan suhu 550°C selama 2 jam.
- c. Pindahkan pada oven suhu 105°C selama 15 menit, kemudian masukkan pada desikator selama 15 menit.
- d. Selanjutnya, timbang dengan timbangan analitik.
- e. Prosentase kehilangan berat adalah kadar zat organik, sedangkan % berat zat organik dibagi dengan 1,724 berdasarkan formula New Zeland adalah % kadar karbon.

2. Pemeriksaan SiO_2 .

Prosedur:

- a. Timbang 1 gram abu pembakaran batubara yang telah dihilangkan kelembabannya.
- b. Tambahkan 5 ml HCl 1:1, uapkan pada cawan platina sampai kering.
- c. Tambahkan 15 ml HCl 1:1, panaskan kembali pada suhu 105°C selama 30 menit.
- d. Tambahkan 5 ml HCl 1:1, hangat dan 50 ml aquadest panas, cuci cawan platina dengan HCl 1:50 hangat.
- e. Saring dengan kertas kering, filtrate di analisa dengan dengan prosedur sebagai berikut:
- f. Ambil 25 ml filtrat tersebut, tambahkan 1 ml Amonium Molibdate.

- g. Kocok, diamkan 5 menit kemudian tambahkan 5 ml asam oxalate.
- h. Kocok kembali, diamkan selama 10 menit.
- i. Baca pada spectrophotometer dengan 410 nm.

No	PARAMETER	HASIL
1	Carbon (C)	18,90
2	Silicon Dioksida (SiO ₂)	0,19
3	Kalsium (Ca)	57,32
4	Mangaan (Mg)	0,79
5	Besi (Fe)	0,23
6	Magnesium (Mn)	0,00
7	Alumina (Al)	31,12

- j. Plot pada grafik SiO₂.

$$\text{SiO}_2 (\%) = \frac{[(\text{mg/l SiO}_2)/1000] \times [(100)/(\text{berat contoh})]}{}$$
- 3. Pemeriksaan Ca/Mg/Fe/Mn/Al.
 Prosedur:
 - a. Timbang 1 gram abu pembakaran batubara yang telah dihilangkan kelembabannya.
 - b. Masukkan pada alat digester.
 - c. Tambahkan 5 ml HNO₃ 1:1, 25 ml Asam Perkhlorat dan 1 ml Asam Hidroflorik.
 - d. Tutup alat degester, panaskan pada oven dengan suhu 105°C sampai 110°C selama 2 jam.
 - e. Hasil digest disaring, filtrat diencerkan dengan aquadest sampai 100 ml dalam labu ukur.
 - f. Analisa Ca/Mg/Fe/Mn/Al pada AASs:

$$\text{Ca} (\%) = \frac{[(\text{mg/l Ca})/1000] \times [(100)/(\text{berat contoh})]}{}$$

Hasil dari Abu Pembakaran Batubara Percobaan Benda Uji Mortar

Perlu dilakukan percobaan-percobaan untuk mengetahui pengaruh benda uji terhadap mortar sebagai bahan pengikat agregat kasar untuk membentuk suatu konstruksi beton yang homogen.

Pengaruh Mortar terhadap Mutu Beton

Mortar mengisi rongga-rongga diantara agregat kasar yang kemudian mengeras sebagai perekat mempersatukan seluruh massa yang kompak dan padat. Oleh karena itu mortar mempunyai peranan penting dalam campuran beton. Beberapa fungsi mortar dalam campuran beton, yaitu:

1. Pengendali Workability
 Perbandingan antara mortar dan agregat kasar harus tepat sehingga mortar bisa mengisi seluruh rongga-rongga antara agregat kasar dan dapat menutup seluruh permukaan agregat sehingga merekat dengan baik. Apabila kondisi mortar kurang baik maka akan kaku (*harsh*) dan sukar dikerjakan dan mudah terjadi segregasi (pemisahan), sedangkan apabila berlebihan mortar beton terlalu plastis (*stricky*) akan memperbesar resiko susut dan terjadinya retak plastis.
2. Pengendali Keawetan Beton
 Beton akan lebih awet apabila kedap air atau permeabilitanya rendah. Mortar secara langsung menentukan kepadatan atau porositas beton. Oleh karena itu, sifat kedap air dapat dikendalikan oleh mutu mortar.
3. Pemberi Daya Rekat dan Kekuatan
 Besarnya daya rekat (*bonding strength*) antara mortar dengan agregat kasar (pada beton) dan antara pasta semen dengan agregat halus (pada mortar) ditentukan oleh :
 - a. Jenis mutu pasir
 - b. Kepekatan pasta semen yang umumnya dinyatakan sebagai factor air semen.

Macam Bahan

1. Semen
 Menggunakan semen portland Type I (*Ordinary Portland*) semen, yaitu

- semen portland produksi PT Semen Gresik.
2. Pasir
Menggunakan pasir putih berasal dari Banyuwangi, dengan sifat-sifat fisik yang mendekati pasir standar (pasir Ottawa).
 3. Air
Dalam percobaan ini menggunakan air suling.
 4. Bahan Tambahan
Sebagai obyek penelitian, bahan tambahan menggunakan abu pembakaran batubara. Dengan prosentase setiap benda uji seperti yang telah disebut dimuka.

Takaran dan Banyaknya Benda Uji

Menurut Standard Industri Indonesia, banyaknya benda uji untuk percobaan mortar adalah sebanyak 6 (enam) dan 9 (Sembilan) benda uji, dengan jumlah bahan yang berbeda dan sesuai dengan umur pengujian, maka dibuat 9 benda uji. Jumlah semen dan pasir sesuai standar SII, tetapi jumlah air harus dicari dengan percobaan meja leleh (*flow table*), karena menggunakan pasir putih.

Adapun banyaknya benda uji dan jumlah bahan menurut SII adalah :

Bahan	Jumlah Benda Uji	
	6	9
Semen (gr)	500	740
Pasir (gr)	1375	2035
Air (ml)	242	359

Dari percobaan meja leleh, terdapat perubahan dalam jumlah air, yaitu :

Bahan	Benda Uji
	9
Semen (gr)	740
Pasir (gr)	2035
Air (ml)	362

Peralatan

1. Neraca kapasitas 2000 gram dengan ketelitian 0,1%.
2. Gelas ukur, dengan ketelitian 2 ml.
3. Alat pengaduk (*Mixer*)
4. Stop watch, sendok perata dan pengukur leleh.
5. Meja leleh (*flow table*).
6. Cetakan kubus (5cm x 5cm x 5cm)
7. Alat pemadat.

Persyaratan Benda Uji Mortar

Persyaratan membuat benda uji mortar meliputi persyaratan bahan dan persyaratan alat.

Persyaratan Bahan

1. Bahan Semen.
Bahan semen yang dapat dipakai adalah semen portland type I dan semen hidrolis.
2. Bahan Agregat (ASTM C 778-80a)
Bahan agregat yang digunakan dalam percobaan mortar adalah pasir standard atau pasir lain yang mempunyai gradasi sama dengan pasir standard.

Dibawah ini adalah tabel gradasi pasir yang disyaratkan:

No.	Diameter (mm)	Prosentase lolos (%)
16	1,180	100
30	0,600	98 ± 2
40	0,425	70 ± 5
50	0,300	25 ± 5
100	0,150	2 ± 2

3. Air

Air yang digunakan dalam percobaan mortar ini adalah air bersih, dan bebas dari minyak, asam, alkai, dan bahan organik atau bahan lain yang mungkin merugikan mortar.

Persyaratan Peralatan (SII 0013-81)

Peralatan untuk percobaan mortar sesuai dengan Standar Industri Indonesia, tentang bahan dan mutu uji semen portland.

Peralatan tersebut adalah :

1. Neraca kapasitas 2000 gram dengan ketelitian 0,1%.
2. Gelas ukur, dengan ketelitian 2 ml.
3. Alat pengaduk (*Mixer*)
4. Stop watch, sendok perata dan pengukur leleh.
5. Meja leleh (*flow table*).
6. Cetakan kubus (5cm x 5cm x 5cm)
7. Alat pemadat.
8. Mesin tekan dengan ketelitian pembacaan 1%.
9. Air suling 500 cm³.

Persyaratan Kuat Tekan

Dari beberapa percobaan yang telah dilakukan disyaratkan kuat tekan mortar minimum untuk umur 3 hari dan 7 hari atau 3 hari dan 28 hari.

Ada beberapa standar yang mensyaratkan kuat tekan mortar minimum, antara lain Standar Industri Indonesia (SII), British Standard (BS), dan American Society of Testing Materials (ASTM), dengan menggunakan bahan-bahan sebagai berikut:

1. Semen Portland Type I (*Ordinary Portland Cement*)
2. Pasir Standard
3. Air suling.

Catatan :

1. Benda uji kubus berdasarkan ASTM dan SII adalah kubus ukuran 50mm x 50mm.
2. Benda uji kubus berdasarkan BS dan SII adalah kubus ukuran 70,7mm x 70,7mm.

Pembuatan Benda Uji Mortar

Sebelum melakukan percobaan uji mortar terlebih dahulu menentukan jumlah air yang diperlukan karena tidak menggunakan pasir Ottawa.

Percobaan Meja Leleh (ASTM C 230-83)

1. Maksud
Untuk menentukan jumlah air pada campuran mortar.
2. Hasil Pemeriksaan

JUMLAH AIR	DIAMETER LELEH
357 ml	14 cm
361 ml	17 cm
362 ml	19 cm

Percobaan Benda Uji Mortar

1. Maksud
Untuk membuat mortar dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm.
2. Bahan
 - a. Semen portland Type I
 - b. Pasir putih
 - c. Air suling
 - d. Bahan tambahan
3. Cara Pelaksanaan
 - a. Semua air campuran sesuai yang telah diperoleh dari percobaan

Tabel : Harga kuat tekan mortar standar minimum

UMUR	KUAT TEKAN MORTAR MENURUT STANDAR		
	SII 0013-81	BS 12-78	ASTM C 150-85a
(hari)	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
3	≥ 125	≥ 230	≥ 124
7	≥ 200	-	≥ 193
28	-	≥ 410	-

- leleh (362 ml), masukkan ke dalam mangkok alat pengaduk.
- b. Tambahkan semen kedalam air, kemudian diaduk dengan mesin pengaduk dengan kecepatan rendah (14 ± 5) putaran per menit, selama 30 detik.
- c. Tambahkan pasir perlahan-lahan minimal 30 detik sambil diaduk dengan kecepatan rendah (14 ± 5) putaran per menit.
- d. Rubah kecepatan mesin pengaduk menjadi (285 ± 15) putaran per menit selama 1 menit
- e. Mesin pengaduk dihentikan dan adukan dibiarkan selama 1,5 menit, dengan 15 detik pertama membersihkan campuran mortar yang menempel di dinding mangkok, setelah itu mangkok ditutup.
- f. Pengadukan dilanjutkan dengan kecepatan sedang (285 ± 15) putaran per menit selama 1 menit.
- g. Mesin pengaduk dihentikan dan adukan dibiarkan selama 1,5 menit, mangkok ditutup.
- h. Diaduk lagi dengan kecepatan sedang (285 ± 15) putaran per menit selama 15 detik sebelum pencetakan benda uji dimulai.

Pencetakan Benda Uji Mortar

Pencetakan benda uji mortar dilakukan paling lambat 2,5 menit setelah pengadukan. Sedangkan pelaksanaan pencetakan adalah sebagai berikut:

1. Tuangkan adukan pada tahap I kira-kira separuh cetakan kubus, tumbuk 32 kali dalam waktu ± 10 menit.
2. Apabila tumbukan tahap I selesai, tuangkan sisa adukan ke dalam cetakan dan tumbuk lagi seperti tahap I.
3. Selesai tumbukan tahap I, dilakukan

penumbukan tahap II dan selama penumbukan tahap II, adukan yang keluar dari cetakan dikembalikan ke dalam cetakan pada setiap 8 kali selesai penumbukan, dengan menggunakan jari tangan yang terbungkus sarung tangan karet.

4. Permukaan adukan kubus dihaluskan dengan pisau aduk yang sedikit diangkat sekali sepanjang permukaan cetakan.
5. Kemudian permukaan diratakan dengan menggunakan tepi pisau aduk yang diiriskan sepanjang permukaan cetakan, sehingga permukaan adukan rata dengan permukaan cetakan.

Perawatan benda uji mortar

Setelah selesai melakukan pencetakan, letakkan benda uji yang masih dalam cetakan di dalam ruang lembab selama 20-24 jam. Jagalah permukaannya agar selalu berhubungan dengan udara lembab, tetapi terlindung dari percikan air.

Jika benda uji dikeluarkan sebelum 24 jam, jagalah benda uji itu agar tetap berada diruang lembab sampai 24 jam. Dan selanjutnya benda uji direndam dalam air. Air rendaman harus di dalam bak yang tidak berkarat dan airnya selalu terjaga keversihannya.

Pengujian benda uji mortar

Benda-benda uji segera setelah dikeluarkan dari dalam air untuk pengujian umur 3 hari dan umur yang lain, diuji kekuatan tekannya hingga pecah dengan ketentuan waktu sebagai berikut:

UMUR PENGUJIAN	TOLERANSI WAKTU
3 hari	± 1 jam
7 hari	± 3 jam
28 hari	± 12 jam

Jika lebih dari satu benda uji (pada waktu yang sama) dikeluarkan dari dalam air untuk pengujian 3 hari atau umur pengujian lainnya, benda-benda uji yang lain harus dilindungi masing-masing dengan kain basah atau air rendaman sampai waktu pengujian dilaksanakan.

Sesaat sebelum diuji, basahi masing-masing benda uji dengan kain basah untuk menghilangkan kelebihan air serta kotoran yang melekat. Kemudian ditentukan kecepatan penekanan.

Bersihkan balok landasan mesin penguji dari minyak atau kotoran lainnya, lalu letakkan benda uji diatas balok landasan. Aturlah benda uji agar berada tepat dititik tengah balok landasan, sebagaimana ditunjukkan oleh tanda lingkaran pusat.

Hidupkan benda uji dan berikan beban tekan pada benda uji secara teratur dan terus menerus dengan kecepatan 0,2 sampai 0,4 MPa. Pada awal pemberian beban sampai pada setengah pembebanan, diperbolehkan memberikan kecepatan beban yang lebih tinggi, tetapi tetap pada batas tersebut diatas.

Kekuatan tekan maksimum harus dicapai dalam waktu tidak kurang dari 20 detik dan tidak lebih dari 80 detik. Beban tekan dikenakan pada permukaan yang betul-betul rata. Ketika benda mendekati hampir pecah, tidak boleh dilakukan perubahan kecepatan pembebanan.

Lakukan pemberian beban sampai benda uji pecah dan catat beban maksimum yang dicapai benda uji. Hasil akhir kekuatan beton dinyatakan dalam kg/cm^2 , sebagai hasil rata-rata dari pengujian beberapa benda uji yang dibuat dari bahan contoh yang sama. Ketelitian pengukuran sampai $0,5 \text{ kg/cm}^2$.

Pembahasan

Sifat fisik semen portland

1. Pada pemeriksaan berat jenis semen, terdapat perbedaan dengan berat jenis semen portland yang disyaratkan, tetapi masih dalam batas selisih yang diizinkan, yaitu $3,15 \pm 0,05$.
2. Pada pemeriksaan kehalusan semen, ternyata semen portland tipe I yang digunakan pada penelitian ini memenuhi syarat. Syaratnya adalah kehalusan untuk saringan no. 100 = 0% dan kehalusan untuk saringan no. 200 = 0-22%.
3. Dari hasil pemeriksaan konsistensi normal semen portland diperoleh hasil bahwa semakin besar prosentase jumlah abu pembakaran batubara, maka semakin banyak pula air yang diperlukan untuk mencapai konsistensi normal (pada penurunan 10 mm). Sehingga proporsi campurannya adalah 100% PC + 0% AB, memerlukan jumlah air yang paling minimum (79 ml). sedangkan proporsi campuran 55% PC + 45% AB, memerlukan jumlah air yang paling maksimum (130 ml).
4. Dari hasil pemeriksaan pengikatan awal, ternyata semakin besar jumlah prosentase abu pembakaran batubara, maka semakin banyak waktu yang diperlukan baik untuk pengikatan awal (pada penurunan 25 mm), maupun untuk pengikatan akhir (pada penurunan 0 mm). Tetapi semua komposisi masih memenuhi syarat yang ditetapkan, yaitu pengikatan permulaan minimum 45 menit dan pengikatan akhir/pengerasan maksimum 10 jam.

Sifat fisik agregat halus

1. Pada pemeriksaan gradasi agregat halus diperoleh hasil bahwa gradasi

pasir putih masih memenuhi syarat untuk dipakai pada percobaan mortar, karena hampir mendekati gradasi pasir standar.

2. Pada pemeriksaan kadar organik agregat halus, warna yang dihasilkan ternyata jauh lebih terang/muda dari warna standar. Sehingga pasir putih mempunyai sangat sedikit kotoran-kotoran organik.
3. Pada pemeriksaan kadar lumpur, diperoleh hasil bahwa kadar lumpur yang terjadi dibawah syarat yang diizinkan yaitu = 5%.
4. Untuk pemeriksaan berat jenis, berat volume, repandan kadar air, digunakan untuk menghitung mix design pada campuran beton. Sebab penelitian ini nantinya akan diaplikasikan pada percobaan beton.

Sifat fisik dan sifat kimia bahan tambahan

1. Pada pemeriksaan kehalusan bahan tambahan, ternyata memenuhi syarat kehalusan untuk semen portland. Sebab memang diusahakan untuk menyamakan kehalusan antara abu pembakaran batubara dengan kehalusan semen portland. Sebab jika kehalusan sama (partikel sama) maka campuran tersebut akan lebih homogen, juga kehalusan akan mempengaruhi kecepatan hidrasi dari abu pembakaran batubara tersebut. Makin halus makin cepat terjadinya hidrasi.
2. Untuk pemeriksaan berat jenis masih memenuhi syarat dari berat jenis yang diizinkan, yaitu 3,15 dengan selisih yang diperbolehkan $\pm 0,05$.
3. Untuk analisa kimia diperbolehkan hasil bahwa komposisi kimia dari abu pembakaran batubara sama dengan komposisi kimia pozzolan atau *fly ash*, meskipun mempunyai prosentase yang berbeda. Hal ini disebabkan karena jenis atau sifat dari pozzolan tersebut juga berbeda.
4. Unsur karbon (C) pada komposisi kimia bahan tambahan harus dibawah minimum yaitu = 7%.

Hasil pengujian mortar

Dari hasil pengujian mortar dengan menggunakan benda uji kubus 5cm x 5cm x 5cm, diperoleh analisa sebagai berikut:

1. Kekuatan tekan mortar meningkat searah dengan meningkatnya umur mortar sampai pada umur 28 hari (perendaman air bersih). Untuk semua komposisi pada umur 28 hari merupakan kekuatan tekan maksimum.
2. Pada umur 28 hari, ada dua komposisi yang mempunyai kekuatan tekan rata-rata diatas kekuatan tekan rata-rata dari komposisi 100% PC + 0% AB (tanpa penambahan abu batubara), yaitu komposisi 95% PC + 5% AB dan komposisi 90% PC + 10% AB, sedangkan komposisi lainnya dibawah komposisi 100% PC + 0% AB.
3. Umur 28 hari kekuatan tekan optimum rata-rata diperoleh komposisi 100% PC + 0% AB.
4. Pada umur 3 hari dan 7 hari, kekuatan tekan rata-rata dari semua komposisi berada diatas kekuatan tekan yang disyaratkan, baik menurut SII maupun ASTM, kecuali untuk komposisi 55% PC + 45% AB dan komposisi 65% PC + 35% AB dibawah kekuatan tekan yang disyaratkan. Hal ini dimungkinkan karena terlalu banyaknya penambahan abu pembakaran batubara, sehingga membuat kekuatan tekan menurun.
5. Direndam dengan larutan asam sulfat (H_2SO_4) setelah umur 28 hari dan kemudian dites kekuatan tekannya

pada umur 56 hari, ternyata kekuatan tekan untuk semua komposisi menurun.

6. Pada umur 56 hari (setelah perendaman dengan larutan asam sulfat), untuk komposisi 95% PC + 5% AB ; 90% PC + 10% AB dan 85% PC + 15% AB mempunyai kekuatan tekan diatas kekuatan tekan komposisi 100% PC + 0% AB yang juga direndam pada larutan asam sulfat.
7. Perendaman komposisi 90% PC + 10% AB, konsentrasi larutan asam sulfat yang bervariasi, yaitu 5%, 10%, 20%, dan 30%, ternyata kekuatan tekan optimum diperoleh dari komposisi 90% PC + 10% AB yang direndam dengan konsentrasi larutan asam sulfat 5% dari volume air.
8. Pada grafik perbandingan kuat tekan rata-rata antara komposisi 100% PC + 0% AB, dengan komposisi yang lain kemudian dibandingkan dengan grafik yang sama pada buku "The Chemistry of Cement and Concrete" menurun jika dibandingkan dengan komposisi 100% PC + 0% AB, sedangkan pada grafik penelitian ini meningkat, khususnya pada komposisi 95% PC + 5% AB. Sedangkan persamaannya yaitu kedua grafik menunjukkan kekuatan awal yang rendah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Abu pembakaran batubara merupakan bahan tambahan yang bersifat *retarder* (memperlambat pengerasan). Ditinjau dari sifat pozzolan dan komposisi kimia abu pembakaran batubara bersifat menyerupai pozzolan.

Untuk percobaan mortar agregat halus yang digunakan yaitu pasir putih dapat menggantikan pasir Ottawa. Mortar dengan bahan tambahan abu pembakaran

batubara terbukti dapat menggantikan sebagian dari bahan pengikat dan mempunyai kekuatan tekan rata-rata yang melebihi kekuatan tekan mortar standar (komposisi 100% PC + 0% AB).

Untuk perendaman dalam larutan asam sulfat tahan pada konsentrasi 5% dari volume air, daripada dibandingkan dengan konsentrasi 10%, 20%, dan 30%. Abu pembakaran batubara dapat menjadi alternative pemakaian bahan tambahan.

Saran

Disarankan pada penelitian selanjutnya dengan menggunakan benda uji mortar, menggunakan pasir standar sesuai spesifikasi ASTM. Dan perlu diadakan penelitian mengenai deformasi (susut) dari bahan campuran yang menggunakan bahan tambahan abu limbah pembakaran batubara. Selain itu perlu diadakan spesifikasi tambahan abu pembakaran batubara secara independen, meliputi jenis, asal, dan komposisi kimia dari bahan tambahan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahan dan Praktek Beton, K.M. Brook & L.J. Murdock, 1970.
- Pozzolan Alam dan Kapur, Mordjanto, Pusat Penelitian PT Semen Gresik, 1980.
- Jenis Semen dan Mutu Beton, PT Semen Gresik, 1988
- The Chemistry of Cement and Concrete, F.M. Lea, 1970.
- Pengaruh Pemakaian Abu Terbang (*fly ash*) terhadap mutu beton, Pusat Litbang Pemukiman.
- Buku Praktikum Laboratorium Beton, ITS Surabaya.
- ASTM (American Society of Testing and Materials)
- BS (British Standard)
- SII (Standar Industri Indonesia)