

**823/FT. 01/SKRIP/07/2008**

**ANALISA PENGARUH SUBSTITUSI PASIR DENGAN  
BOTTOM ASH PADA PEMBUATAN BETON**

**SKRIPSI**

Oleh

**FATWA HAKIM**  
**04 02 01 030 1**



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN  
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008**

**823/FT. 01/SKRIP/07/2008**

**ANALYSIS OF BOTTOM ASH EFFECTS AS FINE  
AGGREGATE SUBSTITUTER IN CONCRETE  
DESIGN**

**FINAL ASSIGNMENT**

Oleh

**FATWA HAKIM**  
**04 02 01 030 1**

**THIS FINAL ASSIGNMENT IS PROPOSED TO COMPLETE ONE OF  
THE REQUIREMENT TO ACHIEVE AN ENGINEERING  
BACHELOR DEGREE**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
ENGINEERING FACULTY UNIVERSITY OF INDONESIA  
2007/2008**

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

### **ANALISA PENGARUH SUBSTITUSI PASIR DENGAN BOTTOM ASH PADA PEMBUATAN BETON**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, Juli 2008

FATWA HAKIM

NPM 04 02 01 030 1

# **FINAL ASSIGNMENT ORIGINALITY CLARIFICATION**

I hereby state that final assignment titled :

## **ANALYSIS OF BOTTOM ASH EFFECTS AS FINE AGGREGATE SUBSTITUTER IN CONCRETE DESIGN**

which is submitted to fulfill one of requirement needed to achieve Bachelor Degree in Civil Engineering Department Faculty of Engineering University of Indonesia, is my own work. This final assignment is the original copy and not duplication of other final assignment that have been published or used to gain Bachelor Degree in University of Indonesia as well as other university or any other institute, unless the references included as they should be.

Depok, Juli 2008

FATWA HAKIM  
NPM 04 02 01 030 1

# PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

## **ANALISA PENGARUH SUBSTITUSI PASIR DENGAN BOTTOM ASH PADA PEMBUATAN BETON**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 09 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, Juli 2008

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr-Ing. Ir. Henki Wibowo Ashadi

NIP. 131 845 375

Dr. Ir. Sotya Astutiningsih, M.Sc

NIP. 132 005 688

# APPROVAL

Final assignment titled :

## **ANALYSIS OF BOTTOM ASH EFFECTS AS FINE AGGREGATE SUBSTITUTER IN CONCRETE DESIGN**

is submitted to fulfill one of requirement needed to achieve Bachelor Degree in Civil Engineering Department Faculty of Engineering University of Indonesia, is my own work. This final assignment has been examined at December 28<sup>th</sup> 2007 and approved as final assignment on Civil Engineering Department Faculty of Engineering University of Indonesia.

Depok, Juli 2008

Counsellor 1

Counsellor 2

Dr-Ing. Ir. Henki Wibowo Ashadi

NIP. 131 845 375

Dr. Ir. Sotya Astutiningsih, M.Sc

NIP. 132 005 688

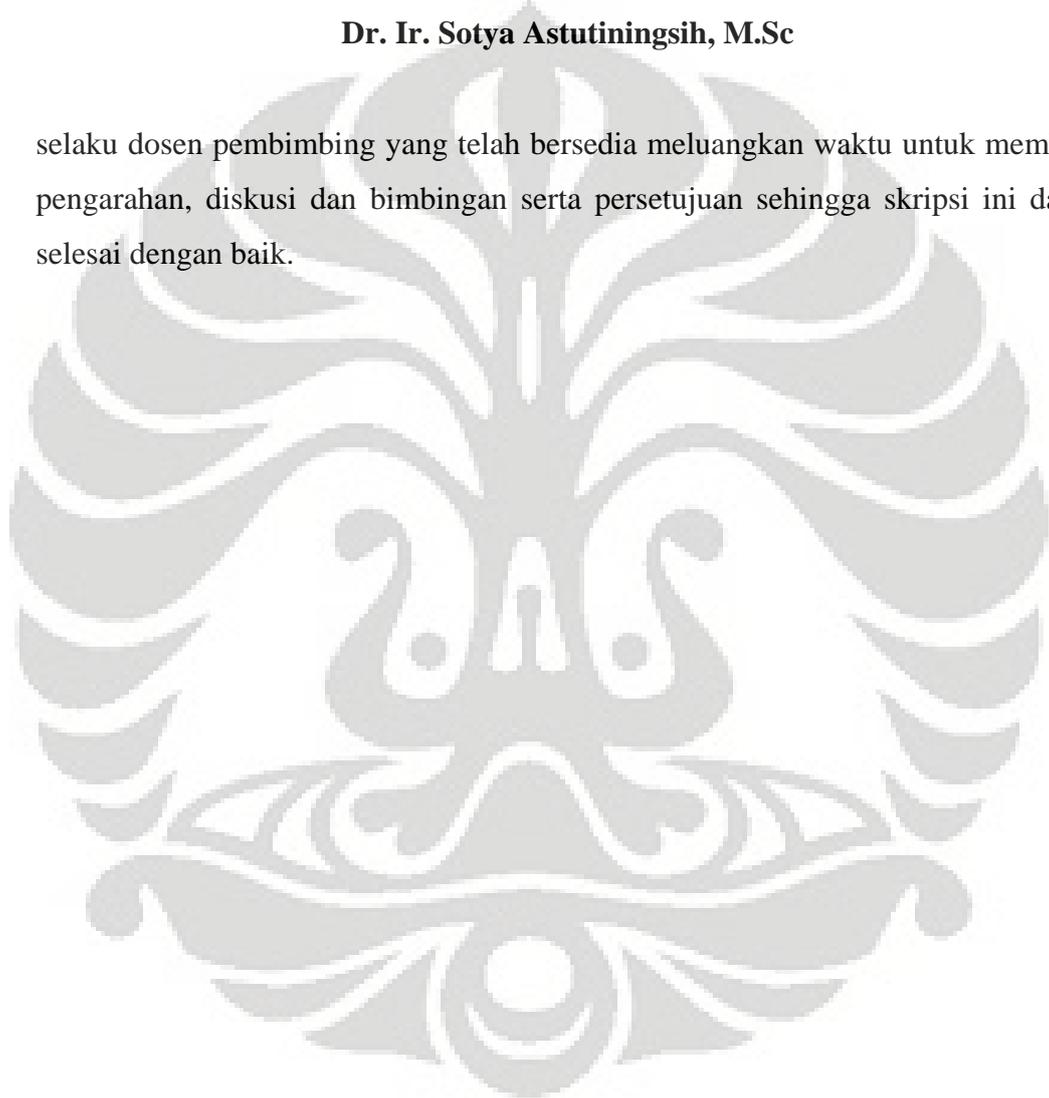
## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

**Dr-Ing. Ir. Henki Wibowo Ashadi**

**Dr. Ir. Sotya Astutiningsih, M.Sc**

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



Fatwa Hakim  
NPM 04 02 01 030 1  
Departemen Teknik Sipil

Dosen Pembimbing  
I. Dr-Ing. Ir. Henki Wibowo Ashadi  
II. Dr. Ir. Sotya Astutiningsih, M.Sc

**ANALISA PENGARUH SUBSTITUSI PASIR DENGAN BOTTOM ASH PADA  
PEMBUATAN BETON**

**ABSTRAK**

Penggunaan batubara secara terus menerus menghasilkan residu berupa limbah B3 ( bottom ash dan fly ash ).Dampak negative terhadap lingkungan yang disebabkan telah terjadi dan memberikan peringatan bagi para enginer untuk memanfaatkannya seperti untuk pembuatan beton dari bottom ash. Hal ini mulai dipandang sebagai sebuah kebutuhan untuk menghindari penumpukan limbah batubara pada landfill dan kerugian yang ditimbulkannya. Penggunaan abu batubara dalam beton dengan kekuatan normal adalah sebuah wacana yang masih dapat dikatakan baru dalam desain campuran beton dan jika diaplikasikan pada skala besar akan memberikan sebuah revolusi bagi industry konstruksi, dengan meminimalkan biaya konstruksi dan menurunkan jumlah abu batubara. Tulisan ini mempresentasikan penelitian yang membawa study kita pada efek dari penggunaan bottom ash sebagai bahan pengganti pasir pada pembuatan beton. Meskipun fly ash sedang banyak digunakan sebagai bahan pengganti semen, sebagai bahan campuran dalam beton, study tentang penggunaan bottom ash ( material yang relative lebih kasar yang mengendap pada tungku pembakaran batubara pada suhu tinggi yang dihasilkan sekitar dua puluh persen dari batubara yang dibakar ) masih sangat terbatas.

Dalam penelitian ini material yang digunakan hampir sama dengan pembuatan beton pada umumnya yaitu air, semen, aggregate halus dan aggregate kasar. Namun fungsi pasir sebagai aggregate halus disubstitusi dengan bottom ash yang merupakan limbah pembakaran batubara. Substitusi ini dilakukan dengan proporsi pasir : bottom ash 50%:50%. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi uji kuat tekan, uji kuat lentur dan uji leaching test.

**Kata kunci : Beton , Bottom ash, Gradasi aggregate, Kuat Tekan, Kuat Lentur, Leaching Test**

Fatwa Hakim  
NPM 04 02 01 030 1  
Civil Engineering Departement

Counsellor 1  
I. Dr-Ing. Ir. Henki Wibowo Ashadi  
II. Dr. Ir. Sotya Astutiningsih, M.Sc

**ANALYSIS OF BOTTOM ASH EFFECTS AS FINE AGGREGATE  
SUBSTITUTER IN CONCRETE DESIGN**

**ABSTRAK**

Consumption of coal produce harmful wastes ( bottom ash and fly ash ). The negative effects for environment caused by those wastes have occurred and warned engineers to utilize them. This is now defined as one of environmental requirement to avoid wastes accumulation on landfill and environmental disadvantages caused by it. Utilizing wastes resulted from coal combustion as concrete material with normal strength is one of new research in construction field and if it is applicable for large scale construction project it will give very useful contribution for construction field. Not only producing concrete but also reducing harmful wastes. This script presents research about bottom ash effects as fine aggregate substituter in concrete design.

In this research, Concrete is designed as usual by mixing water, Portland cement, fine and coarse aggregate. A variation is made in fine aggregate that is made by mixing 50 % sand and 50 % bottom ash. The concrete then will be tested with these parameters :

1. Compressive strength
2. Flexural strength
3. Leaching test

**Keywords : Concrete , Bottom ash, Aggregate gradation, Compressive strength, Flexural strength, Leaching Test**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur kehadirah Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik di Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua dan keluarga yang tercinta
2. Bapak Prof. Dr. Ir Irwan Katili, DEA, selaku Kepala Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia
3. Bapak Dr.Ir. Yusuf Latief MT, selaku Penasehat Akademik
4. Dr-Ing. Ir. Hengki Wibowo Ashadi, selaku dosen pembimbing I
5. Dr. Ir. Sotya Astutiningsih, M.Sc, selaku dosen pebimbing II
6. Seluruh staf Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia
7. Seluruh staf Laboratorium Material dan Bahan Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia, (Pak Samin, Pak Yudhi, Pak Obhet, Pak Idris, dll)
8. Seluruh staf Laboratorium Lingkungan Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia (terutama Mas Prima dan Mbak Lika).
9. Eryn dan keluarga.
10. Dan semua yang telah banyak membantu

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Juli 2008

FATWA HAKIM

NPM 04 02 01 030 1

# DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	i
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN	3
1.3 RUANG LINGKUP PERMASALAHAN	4
1.4 HIPOTESA AWAL	4
1.5 METODOLOGI PENELITIAN	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	5
<b>BAB II STUDI LITERATUR</b>	<b>6</b>
2.1 BETON	6
2.2 MATERIAL PENYUSUN BETON	7
2.2.1 Semen	7
2.2.2 Agregat	9
2.3 BOTTOM ASH	17
2.4 SIFAT – SIFAT BETON	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	<b>23</b>
3.1 SISTEMATIKA PENELITIAN	23
3.2 PENGUJIAN AGGREGAT	25
3.3 MIX DESIGN	31
3.4 PENGUJIAN SIFAT FISIK BETON	32

3.5 PENGUJIAN SIFAT MEKANIK BETON	36
3.6 PENGUJIAN LEACHING	40
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN</b>	<b>43</b>
4.1 PENDAHULUAN	42
4.2 HASIL PENGUJIAN MATERIAL	43
4.2.1 Hasil pengujian aggregate halus	43
4.2.2 Hasil Pengujian aggregate kasar	48
4.2.3 Hasil uji kekuatan beton	50
4.2.4 Hasil leaching test	57
4.3 ANALISA HASIL PENGUJIAN	58
4.3.1 Analisa material	58
4.3.2 Analisa proses pembuatan benda uji	58
4.3.3 Analisa hasil uji kekuatan beton	59
4.3.4 Analisa hasil leaching test	59
4.3.5 Analisa biaya	60
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>62</b>
5.1 KESIMPULAN	62
5.2 SARAN	63
DAFTAR PUSTAKA	xii
LAMPIRAN	64

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Kandungan material dalam beton PC	7
<b>Gambar 2.2</b> Gradasi rapat (bermacam-macam ukuran)	12
<b>Gambar 2.3</b> Gradasi terbuka (ada ukuran yang tidak ada)	12
<b>Gambar 2.4</b> Gradasi seragam (ukuran butirnya serupa)	12
<b>Gambar 2.5</b> Proses pembentukan pori – pori dalam pasta semen	15
<b>Gambar 2.6</b> Capillary pores saling berhubungan (Permeabilitas tinggi)	16
<b>Gambar 2.7</b> Capillary pores terpisah (Permeabilitas rendah)	17
<b>Gambar 2.8</b> Tegangan Tekan Benda Uji Beton	22
<b>Gambar 3.1</b> <i>Flow chart</i> penelitian	24
<b>Gambar 3.2</b> Benda uji	26
<b>Gambar 3.3</b> Larutan serbuk beton BBA dan BGT dalam 100 mL aquades dan 100 mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .	41
<b>Gambar 3.3 a.</b> Alat spektrofotometer <b>b.</b> Larutan 10 mL yang akan diuji kadar Fe didalamnya <b>c.</b> Detail alat spektrofotometer	42
<b>Gambar 4.1</b> Grafik gradasi pasir putih	45
<b>Gambar 4.2</b> Grafik gradasi bottom ash	46
<b>Gambar 4.3</b> Grafik gradasi campuran 50 % pasir putih dan 50 % bottom ash	48
<b>Gambar 4.5</b> Grafik gradasi aggregate kasar	52

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.1</b> Konsumsi Batubara menurut jenis industry di Indonesia tahun 1998–2005	1
<b>Tabel 2.1</b> Komponen utama semen portland	8
<b>Tabel 2.2</b> Reaksi hidrasi semen Portland pada proses pembuatan beton	
<b>Tabel 2.3</b> Klasifikasi semen portland berdasarkan ASTM C 150	10
<b>Tabel 2.4</b> Persentase nilai maksimum Material Pengganggu dalam Agregat Kasar	13
<b>Tabel 2.5</b> Perbandingan Capillary Pores dengan Gel Pores	17
<b>Tabel 2.6</b> Sifat Fisik Bottom Ash	19
<b>Tabel 2.7</b> Persentase senyawa kimia yang terdapat dalam bottom ash	20
<b>Tabel 2.8</b> Sifat mekanis dari dry dan wet Bottom Ash	20
<b>Tabel 2.9</b> Kelas dan Mutu Beton	21
<b>Tabel 3.1</b> Benda Uji	25
<b>Tabel 4.1</b> Hasil uji Sieve analysis Pasir putih	44
<b>Tabel 4.2</b> Hasil uji specific gravity dan penyerapan Pasir putih	45
<b>Tabel 4.3</b> Hasil uji Sieve analysis Bottom ash	46
<b>Tabel 4.4</b> Hasil uji specific gravity dan penyerapan Bottom ash	47
<b>Tabel 4.5</b> Hasil uji Sieve analysis Campuran pasir putih dan bottom ash.	48
<b>Tabel 4.6</b> Hasil uji Sieve analysis aggregate kasar	49
<b>Tabel 4.7</b> Hasil uji specific gravity dan penyerapan aggregate kasar	50
<b>Tabel 4.9</b> Hasil uji kekuatan tekan beton BP	52
<b>Tabel 4.10</b> Hasil uji kekuatan lentur beton BBA	53
<b>Tabel 4.11</b> Hasil uji kekuatan lentur beton BP	53
<b>Tabel 4.12</b> Hasil uji leaching	54

<b>Tabel 4.13</b> Jumlah maksimum besi terlarut dari 1 m <sup>3</sup> beton	54
<b>Tabel 4.14</b> Analisa biaya pembuatan 1m <sup>3</sup> beton BBA	57
<b>Tabel 4.15</b> Analisa biaya pembuatan 1m <sup>3</sup> beton Pembanding	57



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1</b> Hasil uji kekuatan tekan beton	L-1
<b>Lampiran 2</b> Hasil uji kekuatan lentur beton	L-4
<b>Lampiran 3</b> Hasil uji leaching	L-7
<b>Lampiran 4</b> Perhitungan mix design k-350	L-14
Lampiran 5 ASTM	L-18

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Kebutuhan batubara di Indonesia semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan energy dan semakin berkembangnya sektor industri. Adanya rencana pembangunan PLTU baru di dalam dan luar Pulau Jawa dengan total kapasitas 10.000 MW, meningkatnya produksi semen setiap tahun, dan semakin berkembangnya industri - industri lain seperti industri kertas dan industri tekstil merupakan indikasi permintaan batubara dalam negeri akan semakin meningkat. Perkembangan penggunaan batubara nasional dapat dilihat pada dibawah ini.

Tabel 1.1 Konsumsi Batubara menurut jenis industry di Indonesia tahun 2002 –2005

Jenis Industri	2002	2003	2004	2005
PLTU	21.902.161	23.810.054	23.492.328	25.132.174
Semen	5.355.460	5.068.194	6.070.825	6.023.248
Industri Tekstil	-	274.160	381.440	1.307.610
Industri Kertas	471.751	1.680.304	1.106.227	2.272.443
Metalurgi	236.802	225.907	122.827	160.490
Briket	24.708	24.976	23.506	28.267
Lain – lain	3.792.481	4.715.840	5.237.639	417.583
Jumlah	31.783.36			

Sumber : - Hasil Survei Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (TEKMIRA), 2006

Penggunaan batubara sebagai sumber energy menghasilkan residu berupa bottom ash dan fly ash. *Bottom ash* adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *fly ash*, sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air. Berdasarkan PP

No.18 Tahun 1999 dan PP 85 tahun 99 Bottom ash ataupun fly ash ditetapkan sebagai limbah B3, salah satu penyebabnya adalah tingginya kandungan karbon yang ada didalamnya, padahal jika pengelolaannya dilakukan secara benar keduanya dapat dikeluarkan dari daftar limbah B3.

Batubara merupakan bahan tambang yang mengandung unsur-unsur radioaktif alami berumur paruh panjang. Batubara mengandung uranium-238 ( $^{238}\text{U}$ ), thorium-232 ( $^{232}\text{Th}$ ), radium-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) dan kalium-40 ( $^{40}\text{K}$ ) yang kadarnya cukup bervariasi antara satu negara dengan negara lainnya. Radionuklida radium-226 dan radium-228, berturut-turut merupakan hasil peluruhan uranium dan thorium dengan waktu paruh 1.600 tahun. Radionuklida alami memang sudah terbentuk bersamaan dengan proses terbentuknya alam ini. Namun, radionuklida seperti U, Th, dan Ra biasanya terikat kuat dalam matrik batuan. Radionuklida ini dalam kadar yang sangat rendah terdapat pada setiap bagian kerak bumi. Kandungan radionuklida alam di dalam batubara bervariasi tergantung pada jenis dan lokasi penambangan batubara. Demikian juga, konsentrasi radionuklida di dalam abunya juga akan bervariasi dan cenderung lebih kaya dibandingkan unsur radionuklida yang terkandung di dalam batubara. Laju produksi abu batubara pada sistem pembangkit listrik tenaga uap kira-kira 10 % dari volume batubara. Lebih kurang 95 % abu akan tertinggal, masing-masing 20 % berupa *bottom ash* dan slag, lainnya 75 % berupa *fly ash*<sup>i</sup>.

Sampai saat ini penggunaan batubara secara terus menerus dan bahaya lingkungan yang disebabkan telah terjadi dan memberikan peringatan untuk memanfaatkannya seperti untuk pembuatan beton dari bottom ash. Hal ini mulai dipandang sebagai sebuah kebutuhan untuk menghindari penumpukan limbah batubara pada landfill dan kerugian yang ditimbulkannya. Penggunaan abu batubara dalam beton dengan kekuatan normal adalah sebuah wacana yang masih dapat dikatakan baru dalam desain campuran beton dan jika diaplikasikan pada skala besar akan memberikan sebuah revolusi bagi industri konstruksi, dengan meminimalkan biaya konstruksi dan menurunkan jumlah abu batubara. Tulisan ini

---

<sup>i i</sup> MCBRIDE J.P., MOORE R.E., WITHERSPOON J.P., dan BLANCO R.E., Radiological Impact of Airborne Effluents of Coal-Fired and Nuclear Power Plants, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, 1977.

mempresentasikan penelitian yang membawa study kita pada efek dari penggunaan bottom ash sebagai bahan pengganti pasir pada pembuatan beton.

## 1.2. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan tentang pengaruh penggantian pasir dengan bottom ash pada pembuatan beton. Semoga tulisan ini dapat menjadi salah satu bahan pertimbangan bagi siapa saja yang bermaksud untuk mengurangi dampak negatif dari limbah batubara dan meminimalkan biaya produksi beton dengan menggunakan limbah tersebut sebagai salah satu bahan dasarnya. Adapun besaran yang akan diteliti pada penelitian tentang pengaruh penggantian pasir oleh bottom ash ini adalah sebagai berikut :

### o Kuat tekan

Diteliti berapa besar kuat tekan beton dengan berbagai macam komposisi material penyusunnya sehingga dapat diketahui cara mengkomposisikan material tersebut untuk mendapatkan besar kuat tekan tertentu. Dalam penelitian ini pasir akan diganti oleh bottom ash dengan perbandingan sebagian dengan perbandingan 50 % : 50 %. Benda uji adalah beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

### o Kuat Lentur

Dengan komposisi yang sama seperti pada tes kuat tekan dilakukan juga tes kekuatan tarik beton dengan benda uji berupa balok berdimensi 15 cm × 15 cm × 55 cm.

### o Leaching Test

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat bahaya bagi lingkungan yang ditimbulkan oleh penggunaan bottom ash sebagai pasir dalam pembuatan beton. Sampel benda uji merupakan serbuk dari hancuran benda uji yang dibuat.

### **1.3. RUANG LINGKUP PERMASALAHAN**

Penelitian tentang pengaruh penggantian pasir oleh bottom ash dibatasi pemahamannya pada kemungkinan substitusi material ini dalam pembuatan beton. Beton yang akan dibuat dirancang dengan perhitungan mix design seperti pada pembuatan beton secara umum, namun dalam penelitian ini sebagian bahan penyusunnya adalah limbah B3. Tujuannya adalah agar pada masa mendatang akan dihasilkan beton yang dapat diproduksi secara massal, dan dapat menjadi material konstruksi yang setara penggunaannya dengan material konvensional lain.

Material pengganti fine agregat yang akan dibuat adalah *abu dasar (bottom ash)* yang berasal dari sisa pembakaran batu bara PLTU Suralaya. Untuk mengetahui sifat – sifat teknis dari abu dasar ini, dilakukan uji *Sieve Analysis* dan uji *Specific Gravity*.

### **1.4. HIPOTESA AWAL**

Dengan percobaan ini diharapkan akan dihasilkan beton yang memiliki kekuatan yang setara dengan beton biasa atau lebih baik. Dengan catatan, abu dasar batubara ( *bottom ash* ) dapat berfungsi sebagai pengganti pasir.

Jika hipotesa ini bisa dibuktikan kebenarannya paling tidak terdapat 2 keuntungan yaitu :

- a. Biaya Pembuatan beton dapat direduksi.
- b. Menjadi solusi untuk mengurangi jumlah limbah batubara yang terus diproduksi dari aktivitas industry.

### **1.5 METODOLOGI PENELITIAN**

Metodologi penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan studi literatur, membuat hipotesa, melakukan percobaan dan pengujian kemudian membuat kesimpulan. Pengujian beton dilakukan berdasarkan standar pengujian beton pada umumnya. Dalam menentukan kombinasi material, kadar semen dan aggregate dibuat seperti proses pembuatan pada umumnya, namun proporsi aggregate halus yang digunakan adalah campuran pasir dan bottom ash.

Berdasarkan penjelasan di atas didapat urutan kegiatan:

1. Studi literatur
2. Penguraian karakteristik bottom ash yang akan dipergunakan.
3. Penentuan material – material lain yang digunakan.
4. Penentuan komposisi benda uji
5. Pengujian laboratorium
6. Pengumpulan data hasil laboratorium
7. Analisa dan kesimpulan

## **1.6 SISTEMATIKA PENULISAN**

Sistematika penulisan adalah sebagai berikut:

### **BAB I Pendahuluan**

Tentang latar belakang permasalahan, ruang lingkup dan tujuan penelitian.

### **BAB II Studi Literatur**

Tentang pengumpulan teori mengenai beton dan material penyusun beton secara umum, serta dasar pemikiran dari substitusi pasir dengan menggunakan bottom ash.

### **BAB III Metodologi Penelitian**

Tentang pembuatan beton dengan bottom ash sebagai fine aggregate dalam beberapa perbandingan, baik dalam tahap desain maupun metode pembuatannya.

### **BAB IV Hasil dan Analisa Pengujian**

Tentang desain campuran, data-data material, dan pengujian beton sehingga dapat dikumpulkan data hasil uji yang kemudian diolah secara statistik dan dianalisa.

### **BAB V Kesimpulan dan Saran**

Tentang penarikan kesimpulan dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan serta saran mengenai hasil penelitian.

## BAB II

### STUDI LITERATUR

#### II.1 BETON

Beton biasanya dikenal sebagai campuran heterogen dari semen, Agregat halus (pasir), Agregat kasar (kerikil), air dan udara. Material – material tersebut bergabung dan kemudian berubah dari material yang basah dan memiliki kekentalan tertentu menjadi batuan yang kuat dan memiliki ketahanan jika dipergunakan sebagai material konstruksi. Hal ini terjadi setelah air dan semen mengalami reaksi kimia yang disebut reaksi hidrasi dan mengikat material – material lainnya sehingga memiliki ketahanan tertentu. Secara sederhana hal ini diilustrasikan dalam gambar 1.

Secara umum dapat dikatakan bahwa kekuatan beton merupakan perpaduan dari bahan inklusi dan bahan matriks. Bahan inklusi merupakan bahan anorganik seperti kerikil dan pasir yang memberikan sumbangan terbesar pada kekuatan beton. Sedangkan bahan matriks adalah bahan yang berperan sebagai bahan pengikat dan memberikan sumbangan kekuatan pada beton.

Proporsi campuran material – material diatas dalam beton memiliki perbandingan tertentu dan bervariasi sesuai dengan kekuatan beton yang akan dibuat.



Gambar 2.1 Kandungan material dalam beton PC

## II.2 MATERIAL PENYUSUN BETON

Dalam sub bab ini akan dibahas lebih detail tentang material penyusun beton secara umum yang merupakan hasil pencampuran antara :

1. Semen Portland
2. Agregat Kasar
3. Agregat halus, dan
4. Air

### II.2.1 Semen

Semen adalah bahan hidrolis yang dapat bereaksi secara kimia dengan air, reaksi yang terjadi adalah rekasi hidrasi sehingga menghasilkan material batu padat. Pada umumnya semen yang digunakan adalah tipe semen portland (karena menyerupai semen portland di Inggris Selatan. Hak paten dipegang oleh Joseph Apsdin pada tahun 1824 di Inggris). Senyawa kimia utama yang terdapat dalam semen dapat ditabulasikan sebagai berikut :

Tabel 2.1 : Komponen utama semen portland

Nama Senyawa	Komposisi Oksida	Singkatan
Tricalcium Silicate	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Dicalcium Silicate	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Tricalcium Aluminate	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
TetraCalcium Aluminoferrite	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

*Sumber : Feldman Dorel; Hartomo J Anton. 1999. Bahan Polimer Konstruksi Bangunan.*

Pada proses pembuatan beton, semen bereaksi dengan air melalui serangkaian reaksi hidrasi sebagai berikut :

Tabel 2.2 Reaksi hidrasi semen Portland pada proses pembuatan beton

No	Reactant			Product	
1	$2(3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$	$11\text{H}_2\text{O}$		$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$3(\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O})$
	Tricalcium Silicate	Water		Calcium Silicate Hydrate (C-S-H)	Calcium hydroxide
2	$2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$	$9\text{H}_2\text{O}$		$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$(\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O})$
	Dicalcium Silicate	Water		Calcium Silicate Hydrate (C-S-H)	Calcium hydroxide
3	$3(\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$	$3(\text{CaO} \cdot \text{SO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$	$26\text{H}_2\text{O}$	$6\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_3 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$	
	Tricalcium Aluminate	Gypsum	Water	Ettringate	
4	$2(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$	$6\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_3 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$	$4\text{H}_2\text{O}$	$3(4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$	
	Tricalcium Aluminate	Ettringate	Water	Calcium monosulfoaluminate	
5	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O}$	$12\text{H}_2\text{O}$	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	
	Tricalcium Aluminate	Calcium Hydroxide	Water	Tetracalcium aluminate hydrate	
6	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$10\text{H}_2\text{O}$	$2(\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O})$	$6\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	
	Tetracalcium Aluminoferrite	Water	Calcium Hydroxide	Calcium Aluminoferrite hydrate	

Sumber : Feldman Dorel; Hartomo J Anton. 1999. Bahan Polimer Konstruksi Bangunan.

Terdapat berbagai jenis semen yang diproduksi untuk memenuhi berbagai jenis kebutuhan konstruksi. American Society for Testing And Materials (ASTM) C 150 mengklasifikasikan semen kedalam 8 kelas sebagai berikut<sup>ii</sup> :

<sup>ii</sup> ASTM C-150

Tabel 2.3 Klasifikasi semen portland berdasarkan ASTM C 150

Type	Nama
Type I	Normal
Type IA	Normal, Air-entraining
Type II	Memiliki ketahanan sedang terhadap sulfat
Type IIA	Memiliki ketahanan sedang terhadap sulfat, Air-Entraining
Type III	Cepat mengeras
Type IIIA	Cepat mengeras, air-entraining
Type IV	Memiliki panas hidrasi yang rendah
Type V	Memiliki ketahanan tinggi terhadap sulfat

*Sumber* : ASTM C 150

Berdasarkan tabel tersebut dapat kita lihat bahwa penggunaan semen disesuaikan berdasarkan kebutuhan konstruksi yang akan kita buat.

## II.2.2 Agregat

Dalam SNI T-15-1991-03 Agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolik atau adukan. Pada beton semen biasanya volume agregat yang digunakan adalah 50-80 % volume total beton, sehingga kondisi agregat yang digunakan sangat berpengaruh pada karakteristik beton. Semakin bagus agregat yang digunakan, maka akan lebih memberikan kekuatan pada beton.

### II.2.2.a Ukuran Agregat.

Berdasarkan ukurannya, agregat dibedakan menjadi:

1. Agregat halus (*fine aggregate*), memiliki rentang ukuran diameter 0–5 mm, yang dapat dibedakan lagi menjadi:
  - a. Fraksi halus:  $\emptyset$  0 – 1 mm
  - b. Fraksi kasar:  $\emptyset$  1 – 5 mm

2. Agregat kasar (*coarse aggregate*) diameter  $> 5$  mm, biasanya berukuran antara 5 hingga 40 mm, disebut kerikil.

### II.2.2.b Sifat fisik agregat

Sifat fisik agregat sangat mempengaruhi sifat beton segar dan beton keras. Sifat-sifat fisik dari agregat yang perlu diketahui adalah sebagai berikut:

#### 1. Bentuk agregat

Bentuk dari agregat sangat penting pada beton karena mempengaruhi workability beton. Bentuk dari agregat dipengaruhi oleh jenis batuan dan proses pemecahan batuan. Ditinjau dari bentuknya agregat digolongkan dalam bentuk sebagai berikut:

##### a. Bulat

Berbentuk bulat penuh atau bulat telur. Agregat ini banyak ditemukan di sungai.

##### b. Tidak beraturan

Bentuk alaminya memang tidak beraturan atau sebagian terjadi karena pergeseran dan mempunyai sisi tepi yang bulat. Jenisnya ialah kerikil yang berasal dari gunung berapi.

##### c. Pipih

Disebut pipih karena ketebalannya lebih kecil dibandingkan lebar panjangnya

##### d. Bersudut

Bentuk ini tidak beraturan, mempunyai sudut yang tajam dan permukaan kasar. Agregat ini terbentuk karena dipecah dengan mesin pemecah batu.

#### 2. Kekuatan agregat

Kekuatan agregat sangat mempengaruhi kekuatan beton yang akan dibuat, tetapi kekuatan beton juga dipengaruhi oleh ikatan antara pasta semen dengan agregat. Untuk mengetahui kekuatan agregat menurut standart pengujian yang

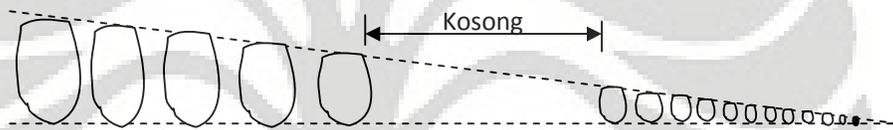
digunakan di Indonesia adalah dengan test abrasi menggunakan alat Los Angeles atau di test kuat hancurnya dengan bejana tekan Rudeloff.

### 3. Susunan butiran (gradasi)

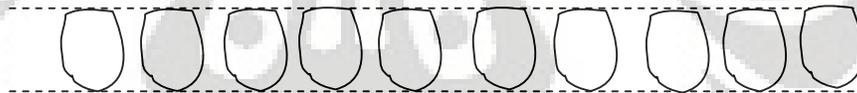
Pada dasarnya ada tiga macam susunan gradasi dari agregat yaitu : gradasi rapat (dense graded), gradasi terbuka (open graded) dan gradasi seragam (uniform graded), yang dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.2 Gradasi rapat (bermacam-macam ukuran)



Gambar 2.3 Gradasi terbuka (ada ukuran yang tidak ada)



Gambar 2.4. Gradasi seragam (ukuran butirnya serupa)

Seluruh agregat kasar untuk pembuatan beton harus bersifat sebagai batuan yang dapat bertahan lama dan bebas dari lapisan – lapisan material pengganggu yang tidak diinginkan. Persentase dari substansi yang dapat mengganggu propertinya tidak boleh melampaui nilai pada tabel dibawah ini, dan jumlah dari persentase total , khusus untuk item nomor 5 dan 6 ,tidak boleh melampaui 6,0 %. Untuk agregat yang diperoleh dengan memecahkan batuan persentase pemakaian tidak boleh melampaui 50% saat diuji sesuai dengan AASHTO T 96.<sup>iii</sup>

---

<sup>iii</sup> AASHTO T 96

Tabel 2.4 Persentase nilai maksimum Material Pengganggu dalam Agregat Kasar

No	Deleterious Material	Percent by Weight (Mass)
1	Deleterious Rock	6
2	Shale	1
3	Chert in Limestone	4
4	Other foreign Material	0,5
Material Passing No.200 (75 µm) Sieve		
5.	Coarse Fraction, Limestone Gradation A	2
6.	Fine Fraction, Limestone, Gradation A	3
7.	Limestone, Gradation B, D, & E	2,5
8.	Limestone, Gradation F	3
9.	Other Aggregates	1
10	Thin or Elongated Pieces	5

Sumber : AASHTO T 96

Secara alami agregat beton merupakan campuran dari batuan dan mineral

– mineral diantaranya :

- Mineral
  - Silica (misalnya Quartz)
  - Silicates (misalnya Clay)
  - Carbonate (misalnya Calcite, dolomite)
- Batuan beku
  - Granite
  - Basalt
- Batuan sedimen
  - Sandstone
  - Limestone
  - Shale

- Batuan metamorf
  - Marble
  - Slate

**Kekuatan Abrasi.** Kekuatan yang menggambarkan ketahanan agregat akibat penghancuran dengan simulasi mesin Los Angeles. Dari nilai ini terlihat gambaran kekuatan benturan, kekuatan akan kekekalan bentuk agregat, bila terkena gaya.

**Berat Jenis dan Absorpsi.** Berat jenis dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan kondisinya. Kondisi tersebut adalah kering oven (*oven dry*), kering permukaan (*saturated surface dry*), kering udara dan kondisi basah. Biasanya pada pekerjaan beton digunakan kondisi kering permukaan karena pada saat pencampuran pasta semen akan diserap masuk oleh permukaan agregat, namun karena bagian dalam agregat terisi air maka penyerapan air tidak berlebihan. Hal ini akan memperkuat ikatan antar agregat.

#### **Karakteristik dan uji agregat halus**

Dalam penelitian ini pengujian agregat yang digunakan meliputi uji sieve analysis dan specific gravity dari agregat yang akan dipakai sebagai bahan campuran beton. Agregat halus yang akan digunakan adalah kerikil dan agregat halusnya terdiri dari pasir dan campuran pasir dengan bottom ash dengan persentase campuran 50% : 50%.

Kadar organik adalah nilai yang menggambarkan jumlah material organik yang tercampur pada material agregat halus. Material organik dapat merusak beton oleh karena itu, kadar material organik harus dibatasi.

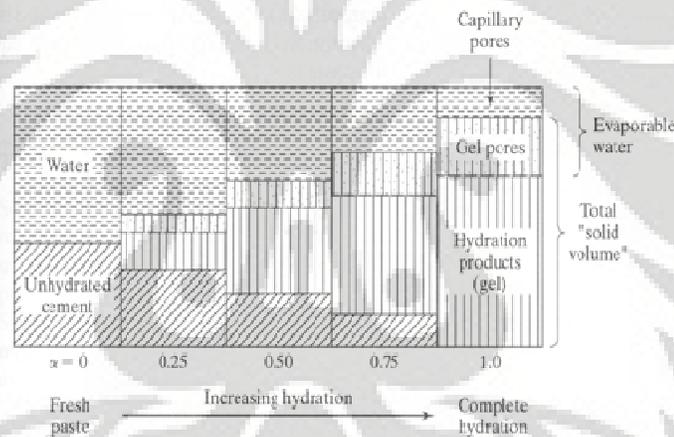
#### **Perbandingan air terhadap semen**

Perbandingan air terhadap semen merupakan parameter terpenting yang perlu diperhatikan dalam pembuatan beton dan sangat menentukan kekuatannya. Secara teoritis perbandingan sekitar 0,22 sampai dengan 0,25 diperlukan untuk menyelesaikan proses hidrasi. Pada kenyataannya kisaran perbandingan yang

sering digunakan adalah sekitar 0,33<sup>iv</sup>. Mengurangi kadar air dalam hal ini akan membuat partikel – partikel semen semakin berdekatan sehingga pasta semen yang terbentuk akan memiliki kerapatan ( density ) yang lebih tinggi. Dengan kata lain pengurangan air dalam jumlah yang lebih sedikit akan meningkatkan kekuatan beton dan menurunkan permeabilitasnya. Namun pembuatan beton akan menjadi lebih sulit. Perbandingan air terhadap semen dan derajat hidrasinya akan menentukan sifat – sifat dari beton.

Kekuatan, ketahanan, dan stabilitas volume beton sangat dipengaruhi oleh pori – pori dalam pasta semen yang sudah mengalami reaksi hidrasi. Reaksi hidrasi merupakan reaksi antara air dengan semen membentuk pasta semen.

Secara umum prosesnya dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.5 Proses pembentukan pori – pori dalam pasta semen

Sesaat setelah air dan semen dicampurkan, keduanya akan mengalami hidrasi membentuk pasta semen, dengan mengaduk – aduk campuran air dan semen derajat hidrasi akan semakin tinggi sehingga reaksi dapat berjalan sempurna sampai semua semen habis bereaksi. Hasil reaksi hidrasi akan berubah menjadi padatan. Biasanya terdapat kelebihan air didalam proses ini dan kelebihan air ini akan menguap karena pengaruh suhu sehingga terdapat rongga didalam beton yang disebut capillary pores.

<sup>iv</sup> Sumber : asian journal of civil engineering (building and housing)

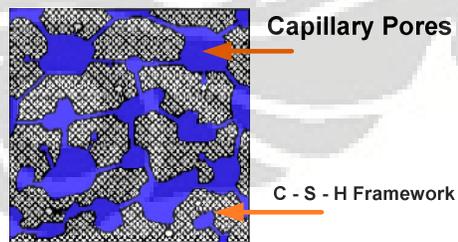
Terdapat dua jenis pori yang terbentuk dalam pasta semen yang terhidrasi yaitu :

- Gel pores

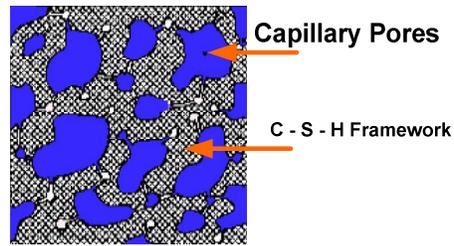
Gel pores merupakan ruang antar lapisan Kalsium Silikat Hidrat ( C-S-H ) dengan ketebalan antara 0,5 sampai dengan 2,5 nm meliputi ruang didalam lapisan, micropores, dan sedikit capillary pores yang terisolasi. Gel pores dapat mencapai sekitar 28 % dari porositas pasta semen. Pengaruhnya terhadap kekuatan dan permeabilitas beton kecil namun dapat mempengaruhi shrinkage dan creep dari beton.

- Capillary pores

Capillary pores tergantung pada pemisahan awal partikel – partikel semen, yang ditentukan oleh perbandingan air dengan semen w/c. Diperkirakan bahwa setiap 1 cm<sup>3</sup> semen Portland yang tidak terhidrasi memerlukan 2 cm<sup>3</sup> ruang untuk mengakomodasi hasil reaksi hidrasi. Ruangan yang tidak diisi oleh hasil reaksi hidrasi dinamakan capillary pores. Dalam hal ini ukurannya sekitar 10 sampai dengan 50 nm, walaupun sebenarnya nilai ini lebih besar untuk nilai w/c yang lebih besar ( sekitar 3 sampai 5 mm ). Rongga yang lebih besar akan mempengaruhi kekuatan dan permeabilitas, sedangkan rongga yang lebih kecil akan mempengaruhi shrinkage.



Gambar 2.6 Capillary pores saling berhubungan (Permeabilitas tinggi)



Gambar 2.7 Capillary pores terpisah (Permeabilitas rendah)

Klasifikasi dari dua jenis void ini berdasarkan ukuran pori yang terbentuk dalam pasta semen yang terhidrasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini :<sup>v</sup>

Tabel 2.5 Perbandingan Capillary Pores dengan Gel Pores

Jenis pori	Diameter	Keterangan
Capillary Pores	(10.000 – 50) nm	Capillary besar (Macropores)
	(50 – 10 ) nm	Capillary sedang ( Large mesopores)
Gel Pores	(10 – 2,5)nm	Capillary kecil terisolasi (small mesopores)
	(2,5 – 0,5)	Pori mikro
	≤ 0,5 nm	Interlayer spaces

Sumber : Sumber : mindess, young, and darwin, 2004

<sup>v</sup> Sumber : mindess, young, and darwin, 2004

### II.3 BOTTOM ASH

Polutan konvensional dari hasil pembakaran batubara yang selama ini diketahui oleh masyarakat adalah gas-gas berupa CO (karbon monoksida), NO<sub>x</sub> (oksida-oksida nitrogen), SO<sub>x</sub> (oksida-oksida belerang) dan juga partikel-partikel yang terhambur ke udara sebagai bahan pencemar udara yaitu fly ash dan bottom ash. Kandungan fly ash dan bottom ash adalah sebagai berikut :

- a. Karbon
- b. SiO<sub>2</sub>
- c. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- d. Oksida-oksida besi (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> atau Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)

Partikel-partikel tersebut dapat menimbulkan dampak pencemaran lingkungan, selain timbulnya hujan asam maupun efek rumah kaca yang disebabkan oleh gas-gas hasil pembakaran batubara seperti tersebut di atas. *Bottom ash* adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga listrik yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *fly ash*, sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan konstruksi.

*Bottom ash* dikategorikan menjadi *dry bottom ash* dan *wet bottom ash/boiler slag* berdasarkan jenis tungkunya yaitu *dry bottom boiler* yang menghasilkan *dry bottom ash* dan *slag-tap boiler* serta *cyclone boiler* yang menghasilkan *wet bottom ash (boiler slag)*. Sifat dari *bottom ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya.

Beberapa sifat fisis, kimia, dan mekanis yang penting dari *bottom ash* adalah sebagai berikut:

### Sifat fisik

Sifat fisik *bottom ash* berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, *specific gravity*, *dry unit weight* dan penyerapan dari *wet* dan *dry bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 2.6 Sifat Fisik Bottom Ash

Sifat Fisik Bottom Ash	Basah	Kering
Bentuk	Angular / Bersiku	Berbutir Kecil / Granular
Warna	Hitam	Abu - abu gelap
Tampilan	Keras, Mengkilap	Seperti Pasir halus, sangat berpori
Ukuran ( % Lolos Ayakan )	No.4 (90-100)%	1,5 s.d 3/4 in (100%)
	No.10 (40-60)%	No.4 (50-90%)
	No.40 (10%)	N0.10 (10-60%)
	No.200 (5%)	No.40 (0-10%)
Specific Grafity	2,3 - 2,9	2,1 - 2,7
Dry Unit	960 - 1440 kg/m <sup>3</sup>	720 - 1600 kg/m <sup>3</sup>
Penyerapan	0,3 - 1,1%	0,8 - 2,0 %

### Sifat kimia

Komposisi kimia dari *bottom ash* sebagian besar tersusun dari unsur-unsur Si, Al, Fe, Ca, serta Mg, S, Na dan unsur kimia yang lain Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Moulton, didapat bahwa kandungan garam dan pH yang rendah dari *bottom ash* dapat menimbulkan sifat korosi pada struktur baja yang bersentuhan dengan campuran yang mengandung *bottom ash*. Selain itu rendahnya nilai pH yang ditunjukkan oleh tingginya kandungan sulfat yang terlarut menunjukkan adanya kandungan *pyrite (iron sulfide)* yang Besar.

Dibawah ini adalah persentase unsur – unsur kimia yang terkandung pada bottom ash berdasarkan hasil uji XRF

Tabel 2.7. Persentase senyawa kimia yang terdapat dalam bottom ash

No	Rumus Kimia	Berat ( % )
1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,8845
2	SiO <sub>2</sub>	61,5212
3	K <sub>2</sub> O	0,7838
4	CaO	4,1764
5	TiO <sub>2</sub>	1,6913
6	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,135
7	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	15,6455
8	ZrO <sub>2</sub>	0,1623

Sumber : Hasil uji X-Ray Fluorescence laboratorium FISIKA FMIPA UI

#### Sifat mekanis

Besarnya nilai kehilangan pada test keausan dengan sodium sulfat menunjukkan adanya kandungan *pyrite* yang ditunjukkan dari kandungan sulfat terlarut yang berlebihan dalam *bottom ash*. Pada tabel.8 dapat dilihat sifat – sifat mekanis dari bottom ash.

Tabel 2.8 Sifat mekanis dari dry dan wet Bottom Ash

Sifat Fisik Bottom Ash	Basah	Kering
Max. Dry Density	1210 - 1620	
Tes Abrasi LA (%)	30 -50	
Sodium Sulfat Soundness test	1,5 - 10	
Kuat Geser (Sudut Geser)	38 - 42°	38 - 42°
	38 -45° (ukuran	39 -46° (ukuran
CBR (%)	40 -70	40 -70
Koefisien Permeabilitas	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> cm/det	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> cm/det
partikel rapuh (kerak batu	Ada	Tidak ada

Sumber: Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description.

## II.4 SIFAT-SIFAT BETON

### 1. Kuat Tekan

Kuat tekan dipengaruhi oleh faktor air semen, yaitu perbandingan antara berat air dengan berat semen. Selain itu kekuatan agregat juga sangat menentukan mutu beton. Untuk menentukan mutu beton menurut SK SNI dibuat berbentuk silinder 15 cm dan tinggi 30 cm.

Dalam perencanaan pembuatan beton, mutu beton yang akan dibuat harus diketahui terlebih dahulu. Mutu beton berdasarkan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 dibagi menjadi tiga kelas, seperti tabel dibawah ini :

Tabel 2.9. Kelas dan Mutu Beton

Kelas	Mutu	$\sigma'$ bk kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma'$ bk (s=46) kg/cm <sup>2</sup>	Tujuan	Pengawasan Terhadap	
					Mutu Agregat	Kuat Tekan
I	Bo	-	-	Non Struktural	Ringan	Tanpa
					Sedang	Kontinu
II	B1	-	-	Struktural	Sedang	Kontinu
	K-125	125	200	Struktural	Ketat	Kontinu
	K-175	175	250	Struktural	Ketat	Kontinu
	K-225	225	300	Struktural	Ketat	Kontinu
III	K>225	>225	>300	Struktural	Ketat	Kontinu

Kuat tekan beton merupakan besaran mekanik yang sangat penting karena besaran ini digunakan sebagai acuan dasar dalam perencanaan struktur bangunan sipil. Besarnya kuat tekan beton pada umur tertentu dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

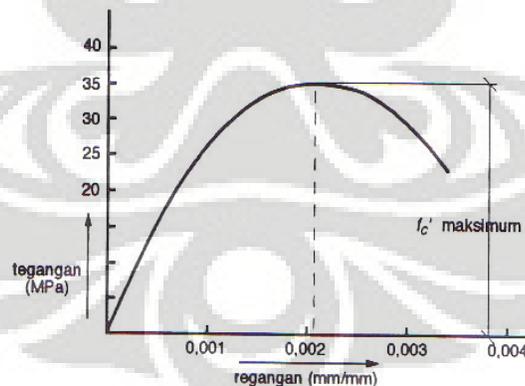
Dimana :

$f_c'$  = kuat tekan beton pada umur rencana (Mpa)

P = beban uniaksial tekan maksimum (N)

A = luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )

Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi ( $f_c'$ ) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. Tegangan  $f_c'$  bukanlah tegangan yang timbul pada saat benda uji hancur melainkan tegangan maksimum pada saat regangan beton ( $\epsilon_b$ ) mencapai nilai  $\pm 0,002$ .



Gambar 2.8. Tegangan Tekan Benda Uji Beton

Dengan mengamati bermacam kurva tegangan-regangan kuat beton berbeda, tampak bahwa umumnya kuat tekan maksimum tercapai pada saat nilai satuan regangan tekan  $\epsilon'$  mencapai  $\pm 0,002$ . Selanjutnya nilai tegangan

$f_c'$  akan turun dengan bertambahnya nilai regangan sampai benda uji hancur pada nilai  $\epsilon'$  mencapai 0,003-0,005. Beton kuat tinggi lebih getas dan akan hancur pada nilai regangan maksimum yang lebih rendah dibandingkan dengan beton kuat rendah.

## 2. *Modulus Elastisitas*

Modulus elastisitas adalah rasio antara tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan yang bersangkutan, dibawah batas proporsional dari material. F.L.Moreadith menyajikan suatu kurva tegangan-regangan untuk beton yang memperlihatkan modulus awal, modulus tangen dan modulus sekan. Biasanya modulus sekan pada 25 sampai 50% dari kekuatan tekan  $f_c'$  diambil sebagai modulus elastisitas. Untuk selama bertahun-tahun modulus elastisitas didekati dengan harga  $1000 f_c'$  oleh peraturan ACI, akan tetapi dengan penggunaan dari beton ringan yang maju pesat, maka variabel kerapatan (*density*) perlu diikutkan.

Sebagai suatu hasil dari analisa statistik atas data-data yang tersedia, maka rumus empiris yang diberikan oleh ACI-8.5.1., adalah  $E_c = 33w_c^{1.5}\sqrt{f_c'}$  dan dipandang sebagai modulus sekan untuk suatu tegangan tekan pada tingkatan beban kerja. Kemudian dikembangkan oleh Aas-Jakobsen, bahwa untuk harga-harga dari  $w_c$  di antara 90-155 lb/ft<sup>3</sup> Sedangkan untuk beton normal yang berbobot 145 lb/ft<sup>3</sup>, rumus di atas memberikan  $E_c = 57.600 \sqrt{f_c'}$ . Untuk beton yang berbobot normal ACI-8.5.1 menyarankan  $E_c = 57.000 \sqrt{f_c'}$ .

Dimana :

$E_c$  = Modulus Elastisitas (Mpa)

$f_c'$  = kuat tekan beton pada umur rencana (Mpa)

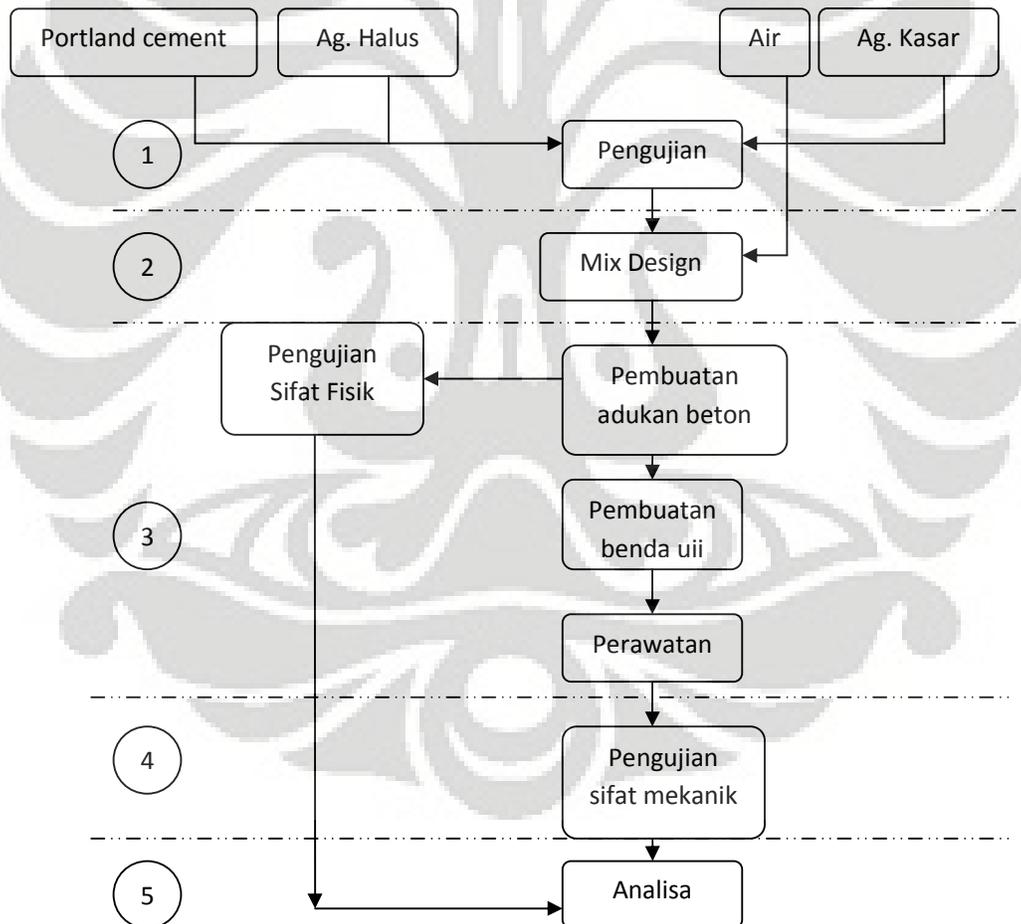
# BAB III

## METODE PENELITIAN

### III.1. SISTEMATIKA PENELITIAN

Metode penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pengujian di laboratorium sesuai dengan standar yang berlaku, baik standart Indonesia SNI maupun standart asing seperti ASTM, dan AASHTO.

Langkah – langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Flow chart* penelitian

Keterangan tahapan-tahapan pada *flow chart*, diatas :

Tahap 1 : Pengujian material dasar pembentuk campuran beton. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir dan bottom ash dengan variasi perbandingan pasir : bottom ash ( 50 % - 50 % )

Tahap 2 : Mix Design

Tahap 3 : Pembuatan adukan beton, Pengujian sifat fisik, pembuatan benda uji, dan perawatan.

Tahap 4 : Pengujian sifat mekanik beton

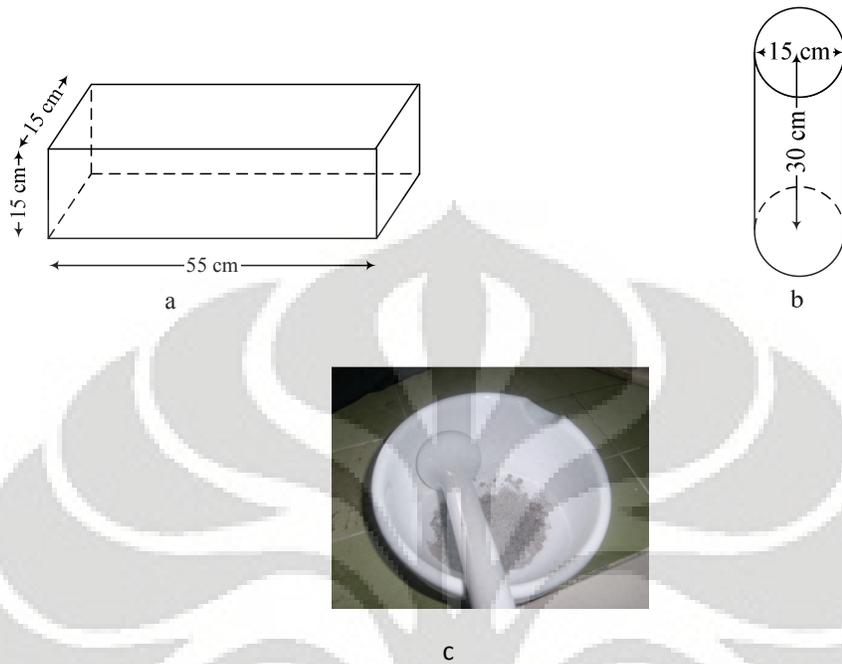
Tahap 5 : Analisa hasil pengujian

Dalam tahap 3 dilakukan penggantian pasir seluruhnya oleh bottom ash sebanyak 50 %.

Benda uji yang akan dibuat untuk penelitian adalah :

Tabel 3.1 Benda Uji

No.	Jenis Pengetesan	Bentuk Benda Uji	Ukuran Benda Uji	Jumlah (buah)
1	Tes Kuat Tekan	Silinder	Ø 15x30 cm	15
2	Tes Kuat Tarik	Balok	15 x 15 x 55 cm <sup>3</sup>	15
3	Leaching Test ( Analisa untuk kandungan Si, Al dan Fe	Serbuk	-	-



Gambar 3.2 a. Benda uji balok b. Benda uji Silinder c. Benda uji serbuk

## III.2. PENGUJIAN AGREGAT

### III.2.1. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air

Standar : Agregat Kasar : SK SNI M-09-1989-F

Agregat Halus : SK SNI M-10-1989-F

Tujuan : Untuk menentukan berat jenis dan persentase air yang dapat diserap oleh agregat.

#### III.2.1.1 Pengujian Agregat Kasar

Alat :

1. Keranjang kawat ukuran 3,35 mm atau 2,36 mm dengan kapasitas 5 kg
2. Tempat air dengan kapasitas dan bentuk sesuai dengan pengujian.

3. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr kapasitas 5 kg yang dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
4. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu
5. Alat pemisah contoh
6. Saringan no.4 (4,75 mm)

Bahan :

Benda uji adalah agregat yang tertahan saringan no.4 (4,75 mm) diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat, sebanyak kurang lebih 5 kg.

Prosedur Pengujian :

1. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 jam.
2. Keluarkan benda uji dari air lalu di lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (jenuh permukaan kering), untuk butir yang besar pengeringan harus dilakukan satu persatu.
3. Timbang benda uji dalam keadaan jenuh (BJ).
4. Letakan benda uji di dalam keranjang lalu digoyangkan batunya untuk mengeluarkan gelembung udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (BA).  
Ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan pada suhu standart 25° C.
5. Masukkan benda uji kedalam oven pada suhu  $(110 \pm 5) ^\circ \text{C}$  sampai berat tetap.

Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama satu sampai tiga jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (BK).

### *III.2.1.2 Pengujian Agregat Halus*

Alat :

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram mempunyai kapasitas 5 kg
2. Plenometer dengan kapasitas 500 ml
3. Kerucut terpancung
4. Batang penumbuk
5. Saringan 4 mm
6. Oven
7. Pengukur suhu dengan ketelitian 1° C.
8. Talam
9. Bejana tempat air
10. Pompa hampa udara
11. Air suling
12. Desikator

Bahan :

Benda uji adalah agregat yang lewat ayakan no.4 (4,75 mm) diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak 1000 gram.

Prosedur Pengujian :

1. Keringkan benda uji di dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5) ^\circ \text{C}$  sampai berat tetap. Dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air pada suhu ruang selama 24 jam.
2. Buang air perendam hati-hati jangan ada butiran yang hilang tebarkan agregat diatas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik-balikan benda uji. Lakukan pengeringan sampai tercapai Jenuh Permukaan Kering (JPK).
3. Periksa keadaan JPK dengan mengisi benda uji ke dalam kerucut terpancung, padatkan sebanyak 25 kali, angkat kerucut. Keadaan JPK tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.

4. Setelah tercapai keadaan JPK, ambil benda uji sebanyak 500 gram (*B<sub>ssd</sub>*) masukan kedalam picnometer, masukan air suling sebanyak 90% dari isi picnometer, putar sambil digoyangkan sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya. Untuk mempercepat dapat digunakan pompa hampa udara atau dengan cara merebus picnometer.
5. Rendam picnometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standart 25° C.
6. Tambahkan air sampai pada batas tertentu.
7. Timbang picnometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (*BT*).
8. Keluarkan benda uji lalu keringkan dalam oven pada suhu (110 ± 5)° C sampai berat tetap kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
9. Setelah benda uji dingin lalu timbang (*BK*).
10. Tentukan berat picnometer berisi air penuh dan ukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standart 25° C.

Perhitungan :

A. Agregat Kasar

1. Berat Jenis =  $\frac{BK}{BJ - BA}$
2. Berat Jenis ssd (JPK) =  $\frac{BJ}{BJ - BA}$
3. Berat Jenis semu =  $\frac{BK}{BK - BA}$
4. Penyerapan air =  $\frac{BJ - BK}{BK} \times 100\%$

B. Agregat Halus

1. Berat Jenis =  $\frac{BK}{B + B_{ssd} - BT}$
2. Berat Jenis ssd (JPK) =  $\frac{B_{ssd}}{B + B_{ssd} - BT}$

$$3. \text{ Berat Jenis semu} = \frac{BK}{B + BK - BT}$$

$$4. \text{ Penyerapan air} = \frac{B_{ssd} - BK}{BK} \times 100\%$$

### III.2.2. Pengujian Analisa Ayak

Standart : ASTM C – 136 – 76

Tujuan : Untuk menentukan pembagian butiran (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan.

Alat :

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram.
2. Satu set ayakan untuk agregat halus, terdiri atas:  
Ø 9,50 mm (3/8"); Ø 4,75 mm (no. 4); Ø 2,36 mm (no. 8); Ø 1,18 mm (no.16); Ø 0,6 mm; Ø 0,3 mm; Ø 0,3 mm; Ø 0,15 mm (no. 100); pan.
3. Satu set ayakan untuk agregat kasar, terdiri atas:  
Ø 38,1 mm (1 ½ "); Ø 25 mm (1"); Ø 19 mm (3/4"); Ø 12,5 mm (1/2");  
; Ø 9,5 mm (3/8"); Ø 4,75 mm (no.4); Ø 2,36 mm (no.8); pan.
4. Alat Pengayakan (mesin getar).
5. Talam
6. Sikat halus / kuas / sikat saringan.
7. Oven untuk memanasi.
8. Sendok dan alat-alat lainnya.

Bahan :

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat

Prosedur Pengujian :

1. Susun ayakan dari diameter terbesar sampai pan, lalu letakkan dibawah mesin ayakan.
2. Timbang 1000 gram pasir kering (setelah dikeringkan dalam oven pengering), lalu masukkan ke ayakan Ø 9,5 mm, lalu ayakan teratas ditutup.
3. Ayakan diguncangkan dengan mesin penguncang selama 10 – 15 menit.
4. Timbang berat agregat yang terdapat pada masing-masing ayakan.

Perhitungan :

Hitung persentase berat benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

$$FM = \frac{\sum \% \text{ tertahan kumulatif di atas ayakan } 0,15 \text{ mm.}}{100}$$

100

### III.2.3. Pengujian Kadar Air Agregat

Standart : SK SNI M-11-1989-F

Tujuan : Untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang terkandung oleh agregat.

Alat :

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr
2. Oven
3. Talam dari logam anti karat

Bahan :

Benda uji banyaknya tergantung pada ukuran pada butir maksimum

Prosedur Pengujian :

1. Timbang dan catat berat talam (W1)
2. Masukkan benda uji kedalam talam lalu timbang dan catat beratnya (W2).
3. Hitung berat benda uji (W3=W2-W1)
4. Keringkan benda uji beserta talam dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ} C$  sampai berat tetap.
5. Setelah kering timbang dan catat berat benda uji beserta talam (W4)
6. Hitung berat benda uji kering (W5=W4-W3)

Perhitungan :

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\%$$

### III.3. RANCANG CAMPUR (MIX DESIGN)

Prosedur Perancangan Campuran beton

1. Menentukan slump, ukuran agregat maksimum dan water cement ratio menurut workability, durability, dan strength yang diperlukan.
2. Berdasarkan ukuran agregat maksimum ditentukan berat satuan air dan persentase pasir terhadap agregat (S/A).
3. Menentukan berat satuan semen ( C ) dengan membagi berat satuan air dengan water-cement ratio (W/C) yaitu  $C = \frac{W}{\left(\frac{W}{C}\right)}$
4. Kandungan total Agregat dicari dengan  $Ag = 1 - W - \frac{C}{g} - A$  dimana g = specific gravity semen
5. Menentukan volume pasir dengan menentukan perbandingan agregat kasar dan agregat halus.
6. Untuk perhitungan mix desain dengan menggunakan pasir sebagai agregat halus dilakukan sama seperti step satu sampai dengan lima dengan menggunakan data – data pengujian bottom ash.

### III.4. PENGUJIAN SIFAT FISIK BETON

#### III.4.1. Uji Slump (*Slump Test*)

Standar : ASTM C – 148 -70

Tujuan : Untuk mengetahui konsistensi (kekentalan adukan beton).

Alat:

1. Kerucut Abrams berbentuk kerucut terpancung.  
Diameter bawah = 203 mm ( 8").  
Diameter atas = 102 mm ( 4").  
Tinggi = 305 mm ( 12").  
Tebal kerucut minimum 1,6 mm.
2. Pelat baja ukuran 50 cm x 50 cm untuk alas tempat kerucut berdiri.
3. Batang baja diameter 16 mm panjang 600 mm, salah satu ujungnya dibulatkan.
4. Mistar ukur .

Bahan:

Beton segar sebanyak sama dengan cetakan.

Prosedur :

1. Adukan beton dimasukkan kedalam kerucut Abrams mula-mula sebanyak 1/3 tinggi kerucut. Lalu ditusuk-tusuk dengan batang baja  $\varnothing$  16 mm (ujung bulat berada dibawah, batang harus dalam posisi vertikal). Sebanyak 25 kali pada tempat yang berlainan.
2. Tambahkan lagi 1/3 tinggi berikutnya, lalu ulangi lagi langkah ke 1.

3. Tambahkan lagi 1/3 tinggi kerucut terakhir, lakukan seperti seperti 1), lalu permukaan atas diratakan dengan bibir atas kerucut.
4. Selubung kerucut diangkat keatas (pada saat itu posisi kaki dipindahkan, tak menginjak lagi kaki kerucut), adukan beton akan turun. Besarnya penurunan ini diukur dengan alat ukur tinggi slump. Turunnya puncak kerucut adukan beton disebut slump.

### III.4.2. Waktu Ikut Awal Dengan Cara Penetrasi

Standart : - ASTM C 403 – 80

- ASTM Standard 1982. Part 14

Tujuan : Untuk menentukan waktu ikat awal yang terjadi pada beton segar.

Alat :

1. Saringan logam 4,75 mm (no. 4).
2. Cawan dari logam.
3. Sendok aduk, sarung tangan karet yang tidak menyerap air.
4. Penetrometer
5. Cetakan beton berbentuk kubus 15 x 15 x 15 cm.

Bahan :

Beton segar yang diambil langsung dari mesin pengaduk beton.

Prosedur

1. Persiapkan alat dan bahan yang diperlukan. Lumasi cetakan dengan minyak pelumas.

2. Ambil beton segar dan ayak dengan saringan 4,75 mm diatas kubus yang telah dipersiapkan hingga mencapai ketinggian sekitar 2 cm dibawah batas atas cetakan kubus.
3. Ketuk-ketuk bagian samping cetakan sehingga tidak ada lagi udara yang terperangkap dan untuk meratakan permukaannya.
4. Letakkan benda uji diruang lembab sampai mortar cukup keras.
5. Tekan batang penetrometer menggunakan ujung dengan ukuran terbesar sampai mencapai batas tanda yang terdapat dalam batang tersebut.
6. Ulangi lagi penekanan dengan interval waktu yang semakin dekat.
7. Penekanan selesai jika tekanan telah mencapai 500 psi, jika mencapai harga ini maka beton dinyatakan mencapai pengikatan awal.

#### **III.4.3. Berat Isi Beton**

Standart : - ASTM C – 136 – 71T

- SK SNI M – 1989 – F

Tujuan : Untuk menentukan berat isi beton, yaitu perbandingan antara berat beton per satuan isi.

Alat:

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,3 % dari berat contoh.
- b. Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm, panjang 60 cm, ujung dibulatkan dan sebaiknya dari baja anti karat.
- c. Alat perata.
- d. Takaran

Bahan:

Beton segar langsung dari mesin pengaduk sebanyak kapasitas takaran.

Prosedur

1. Isilah takaran dengan benda uji dalam tiga lapis.
2. Tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata pada pemadatan lapis pertama, tongkat tidak boleh mengenai dasar takaran pada pemadatan lapis kedua dan ketiga, tongkat boleh masuk sampai kira-kira 2,5 cm dibawah lapisan sebelumnya.
3. Setelah selesai pemadatan, ketuk-ketuklah sisi takaran perlahan-lahan sampai tidak tampak gelembung-gelembung udara pada permukaan serta rongga-rongga bekas tusukan tertutup.
4. Ratakan permukaan benda uji dan tentukan beratnya.

Perhitungan

$$\text{Berat isi beton} = \frac{\text{Berat benda uji (kg)}}{\text{Isi takaran (liter)}}$$

$$\text{Koreksi} = \frac{\text{Berat isi beton perencanaan}}{\text{Berat isi beton pelaksanaan}}$$

$$\text{Berat isi perencanaan} = \frac{\text{Total Berat Material Mix Design}}{\text{Total Volume Material}}$$

$$\text{Berat isi Pelaksanaan} = \frac{\text{Berat beton dalam bejana - berat bejana}}{\text{Volume Bejana}}$$

### III.5. PENGUJIAN SIFAT MEKANIK BETON

#### III.5.1. Kuat Tekan Beton

Standar : SK SNI M-14-1989-F

Tujuan : Untuk mengetahui kuat tekan benda uji disesuaikan dengan kuat tekan rencana

Alat :

1. Cetakan kubus ukuran 15x15x15 cm atau silinder 15 cm tinggi 30 cm
2. Batang penumbuk diameter 16 cm, panjang 60 cm dengan ujung dibulatkan atau penggetar batang
3. Sendok beton
4. Mesin uji tekan
5. Mesin Pengaduk
6. Alat perata

Bahan :

Benda uji kubus atau silinder

Prosedur Pengujian :

1. Pembuatan benda uji
  - a. Isilah dengan adukan beton dalam tiga lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata. Pada saat pemadatan lapisan pertama, tongkat pemadat tidak boleh mengenai dasar cetakan, pada saat pemadatan lapisan kedua dan ketiga tongkat pemadat boleh masuk kira-kira 4 mm kedalam lapisan dibawahnya.
  - b. Setelah selesai pemadatan, ketuk sisi cetakan perlahan-lahan sampai tidak ada gelembung udara pada permukaan serta rongga-rongga bekas tusukan tertutup. Ratakan permukaan beton dan tutup segera bahan yang kedap air

serta tahan karat, kemudian biarkan beton dalam cetakan 24 jam dan letakan pada tempat yang bebas dari getaran

- c. Setelah 24 jam buka cetakan dan keluarkan benda uji, rendam benda uji dalam bak perendam berisi air selama waktu yang dikehendaki (28 hari)

## 2. Persiapan Pengujian

- a. Ambil benda uji dari bak perendam kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lembab.
- b. Tentukan berat dan ukuran benda uji
- c. Lapisi permukaan atas dan bawah benda uji dengan mortar belerang
- d. Benda uji siap ditekan

## 3. Cara Pengujian

- a. Letakan benda uji pada mesin tekan secara sentris.
- b. Operasikan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2-4 kg/cm<sup>2</sup> per detik.
- c. Lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catat beban maksimum yang terjadi.

Perhitungan :

$$\text{Kuat tekan } (\sigma_b) = \frac{P}{A}$$

Dimana :  $\sigma_b$  = Kuat tekan (kg/cm<sup>2</sup>)

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas Penampang (cm<sup>2</sup>)

### III.5.2. Modulus Elastisitas

Standar : ASTM C 469-83

Tujuan : Untuk memeriksa modulus elastisitas statis beton

Alat :

1. Mesin tekan beton
2. *Length Compressometer* lengkap dengan mikrometer

Bahan :

Beton silinder dengan diameter 15 cm tinggi 30 cm

Prosedur pengujian :

1. Tentukan diameter benda uji dengan ketelitian sampai 0,01 mm. Tentukan tinggi *compressometer*.
2. Tempatkan benda uji pada *compressometer* dan datarkan kedudukannya. Tempatkan *dial gauge* pada *compressometer* ke skala 0.
3. Tempatkan benda uji ke *compressometer* pada mesin tekan. Jalankan mesin dengan kecepatan  $241 \pm 36$  kN/m<sup>2</sup>, ketika perubahan panjang mencapai  $1,27 \mu\text{m} / 25,4 \text{ mm}$  catat beban yang terjadi (P1) tanpa menghentikan jalannya mesin. Ketika beban maksimum, catat perubahan panjang maksimumnya.

Perhitungan :

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon - 0,00005}$$

$$\varepsilon = 40\% \text{ reg. Maksimum} = 40\% (\Delta L_{\text{maks}}/L)$$

Dimana : E = Modulus Elastisitas

S1 = tegangan awal = P1/A

S2 = 40% (Pmaks/A)

P1 = beban ketika perubahan panjang  $1,27 \mu\text{m} / 25,4 \text{ mm}$

### 3.5.3. Kuat Lentur Beton

Standar : ASTM C 78-02

Tujuan : Untuk menentukan kuat lentur beton sesuai yang direncanakan.

Alat :

1. Mesin uji tekan beton
2. Peralatan uji lentur lengkap dengan plat besi untuk beban kuat lentur

Bahan :

Balok ukuran 15 x 15 x 55 cm

Prosedur Pengujian :

1. Siapkan benda uji kemudian keringkan hingga kering udara
2. Ukur luas bidang yang akan ditekan
3. Tempatkan benda uji pada peralatan uji lentur, tempatkan plat besi pada bagian atas benda uji sebagai beban
4. Letakan pada mesin tekan dan beri beban hingga maksimum 40

Perhitungan :

Hitung kuat lentur beton tersebut dengan rumus :

$$f_{cr} = \frac{P.L}{b.d^2} \text{ MPa}$$

Dimana :  $f_{cr}$  = kuat lentur beton (MPa)  
 $P$  = Beban (kN)  
 $L$  = jarak tumpuan benda uji (cm)  
 $b$  = lebar benda uji (cm)  
 $d$  = tinggi benda uji (cm)

### III.6 PENGUJIAN LEACHING

Tujuan : Untuk mengetahui kadar Fe yang terlarut dalam air sehingga dapat diketahui unsur yang terlarut tersebut apabila bercampur dengan air tanah aman terhadap lingkungan.

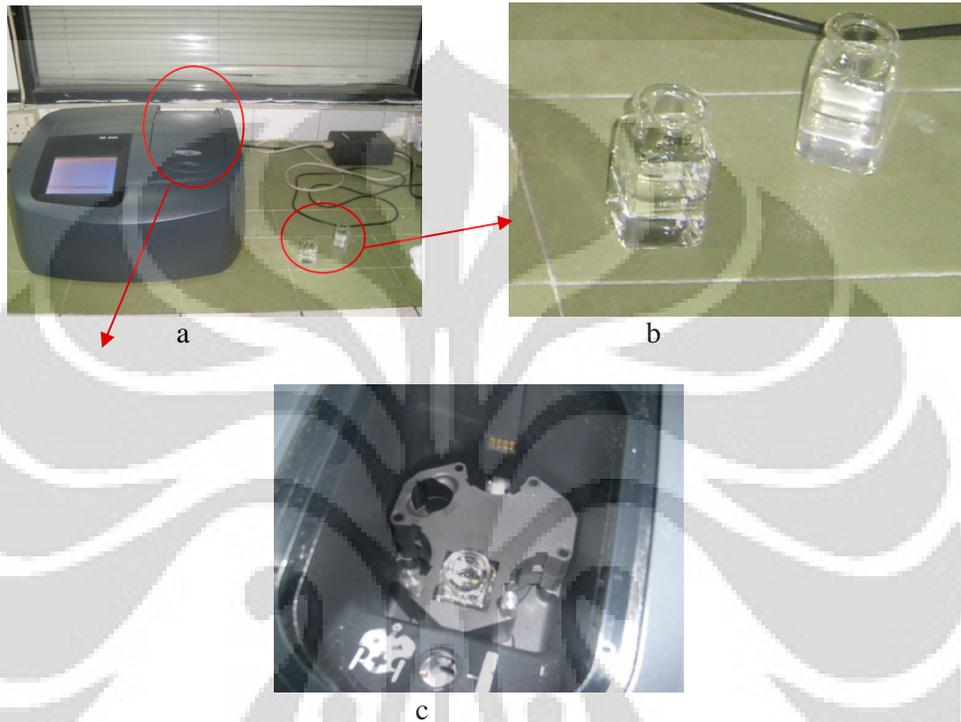
Prosedur Pengujian :

1. Ambil pecahan benda uji tanpa agregat kasar.
2. Kemudian pecahan tersebut dihaluskan menjadi serbuk.
3. Timbang serbuk beton tersebut.
4. Siapkan wadah penampung, dengan berisikan larutan asam dengan  $\text{pH} < 5,6$  ( merupakan simulasi hujan asam ) yang telah ditimbang.
5. Masukkan serbuk beton yang telah ditimbang ke wadah berisi larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  100 mL dan ke dalam aquades 100 mL
6. Kocok wadah tersebut, kemudian diamkan selama 24 jam.



Gambar 3.3 Larutan serbuk beton BBA dan BGT dalam 100 mL aquades dan 100 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$

7. Setelah 24 jam diambil air dari kedua wadah tersebut secukupnya untuk dianalisa dengan (*Absorpstion Spektrophotometer*).
8. Didapat kadar Fe dari larutan serbuk campuran beton berbahan dasar agregat halus *bottom ash*.



Gambar 3.3 a. Alat spektrofotometer b. Larutan 10 mL yang akan diuji kadar Fe didalamnya c. Detail alat spektrofotometer

## **BAB IV**

### **HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN**

#### **4.1 PENDAHULUAN**

Dalam bab ini akan diuraikan mengenai hasil – hasil pengujian yang telah dilakukan selama penelitian ini. Selain itu desain beton yang dibuat dan analisa tentang hasil yang didapatkan juga diberikan dalam bab ini. Adapun pengujian yang dilakukan selama penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Uji sieve analysis, berat Jenis dan penyerapan dari material – material yang digunakan, antara lain :
  - a. Pasir putih ( Standard yang digunakan ASTM C-136 – 76, SK SNI M-10-1989-F dan SK SNI M-11-1989-F)
  - b. Bottom Ash ( Standard yang digunakan sama dengan point a )
  - c. Agregat Kasar (Standard yang digunakan ASTM C-136, SK SNI M-09-1989-F)

2. Tes Slump

Dalam penelitian ini sampel beton yang dibuat adalah beton dengan slump 10 cm.

3. Uji kekuatan beton yang meliputi :
  - a. Uji kekuatan tekan beton untuk beton usia 3,7,14 dan 28 hari dengan menggunakan standard SK SNI M-14-1989-F
  - b. Uji lentur untuk mengetahui kekuatan tarik beton. Pengujian ini hanya dilakukan pada beton usia 28 hari.

4. Leaching Tes

Pengujian ini dilakukan untuk meneliti dampak negative yang mungkin ditimbulkan oleh beton yang dihasilkan dalam penelitian ini. Hal ini dilakukan karena salah satu material penyusunnya adalah limbah B3 yaitu abu dasar ( bottom ash ) yang berasal dari pembakaran batu bara.

## 4.2 HASIL PENGUJIAN MATERIAL

### 4.2.1 Hasil Pengujian Agregat halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir putih yang diambil dari PT BETACONCRETE MIXERINDO dan bottom ash yang diambil dari PLTU Suralaya PT. Indonesia Power. Seperti telah diuraikan dalam bab III, benda uji yang dibuat adalah benda uji dengan komposisi aggregate halus 50 % bottom ash dan 50 % pasir putih. Pada awalnya akan dilakukan pengujian dengan menggunakan 100 % bottom ash sebagai aggregate halus, namun hasil uji sieve analysis dari bottom ash tidak memenuhi standard ASTM C-33 sehingga dilakukan pencampuran dengan pasir putih untuk memenuhi standard tersebut.

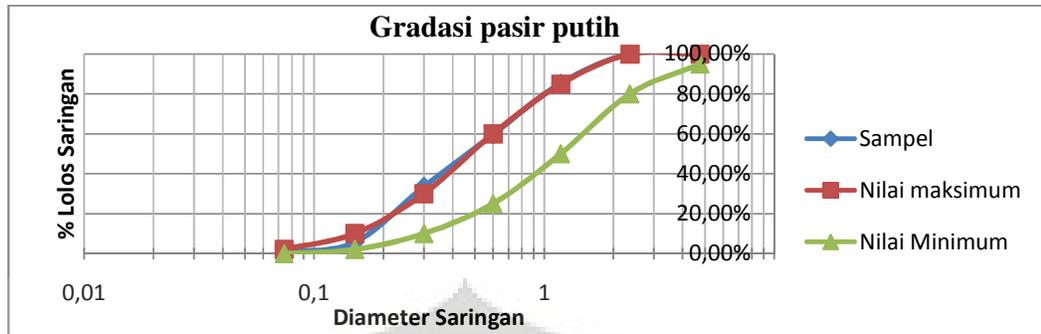
#### 4.2.1.a Hasil pengujian pasir putih

##### 1. Hasil uji sieve analysis

Tabel 4.1 Hasil uji Sieve analysis Pasir putih

No Saringan	Diameter (mm)	Berat Tertahan	% Berat Tertahan	% Berat Lolos Saringan	% Kumulatif tertahan saringan	Standard ASTM	
						Min	Maks
4	4,75	0	0,00%	100,00%	0,00%	95,00%	100,00%
8	2,36	1	0,11%	99,89%	0,11%	80,00%	100,00%
16	1,18	137	14,47%	85,43%	14,57%	50,00%	85,00%
30	0,6	245	25,87%	59,56%	40,44%	25,00%	60,00%
50	0,3	247	26,08%	33,47%	66,53%	10,00%	30,00%
100	0,15	264	27,88%	5,60%	94,40%	2,00%	10,00%
200	0,074	49	5,17%	0,42%	99,58%	0,00%	2,00%
Pan	0	4	0,42%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%
FM						2,16	

Hasil uji sieve analysis ini kemudian disajikan dalam bentuk grafik dibawah ini dengan diameter saringan sebagai axis (dalam skala logaritmik) dan % berat lolos saringan sebagai ordinat.



Gambar 4.1 Grafik gradasi pasir putih

## 2. Hasil uji specific gravity dan penyerapan

Tabel 4.2 Hasil uji specific gravity dan penyerapan Pasir putih

Deskripsi		Sampel		Satuan
		I	II	
Berat Sampel (Kondisi kering oven)	A	495	496	gram
Berat piknometer dan air	B	672	674	gram
Berat piknometer dengan sampel dan air	C	978	981	gram
Bulk Specific Gravity	$\frac{A}{B + 500 - C}$	2,551546	2,569948	
Rata - rata		2,560747289		
Bulk Specific Gravity SSD	$\frac{500}{B + 500 - C}$	2,57732	2,590674	
Rata - rata		2,583996581		
Apparent Specific Gravity	$\frac{A}{A + B + 500}$	2,619048	2,624339	
Rata - rata		2,621693122		
Penyerapan	$\frac{500 - A}{A} \times 100\%$	1,01%	0,81%	%
Rata - rata		0,91%		%

Untuk desain beton K-350 yang dibuat dalam penelitian ini digunakan nilai Bulk Specific Gravity SSD.

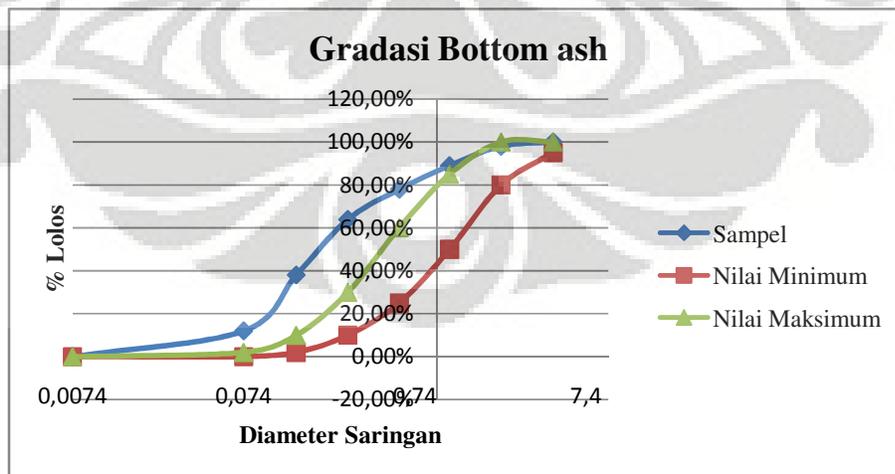
4.2..1.b Hasil pengujian bottom ash

1. Hasil uji sieve analysis

Tabel 4.3 Hasil uji Sieve analysis Bottom ash

No Saringan	Diameter (mm)	Berat Tertahan	% Berat Tertahan	% Berat Lolos Saringan	% Kumulative tertahan saringan	Standard ASTM	
						Min	Maks
4	4,75	0	0,00%	100,00%	0,00%	95,00%	100,00%
8	2,36	10	2,00%	98,00%	2,00%	80,00%	100,00%
16	1,18	45	9,02%	88,98%	11,02%	50,00%	85,00%
30	0,6	55	11,02%	77,96%	22,04%	25,00%	60,00%
50	0,3	70	14,03%	63,93%	36,07%	10,00%	30,00%
100	0,15	129	25,85%	38,08%	61,92%	2,00%	10,00%
200	0,074	130	26,05%	12,02%	87,98%	0,00%	2,00%
Pan	0,00E+00	60	12,02%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%
FM						1,33	

Hasil uji sieve analysis ini kemudian disajikan dalam bentuk grafik dibawah ini dengan diameter saringan sebagai axis (dalam skala logaritmik) dan % berat lolos saringan sebagai ordinat.



Gambar 4.2 Grafik gradasi bottom ash

Dari grafik diatas tampak bahwa gradasi bottom ash tidak memenuhi standard ASTM C-33 sehingga material ini tidak dapat digunakan langsung sebagai aggregate halus dalam pembuatan beton. Fraksi butiran halus bottom ash terlalu banyak. Agar memenuhi standard, material ini dicampur dengan pasir putih dengan perbandingan 50 % : 50 % ( perbandingan berat )

## 2. Hasil uji specific gravity dan penyerapan

Tabel 4.4 Hasil uji specific gravity dan penyerapan Bottom ash

Deskripsi		Sampel		Satuan
		I	II	
Berat Sampel (Kondisi kering oven)	A	487	489	gram
Berat piknometer dan air	B	668	670	gram
Berat piknometer dengan sampel dan air	C	945	945	gram
Bulk Specific Gravity		2,183857	2,173333	
Rata - rata		2,178594918		
Bulk Specific Gravity SSD		2,242152	2,222222	
Rata - rata		2,232187344		
Apparent Specific Gravity		2,319048	2,285047	
Rata - rata		2,302047174		
Penyerapan		2,67%	2,25%	%
Rata - rata		2,46%		%

Untuk desain beton K-350 yang dibuat dalam penelitian ini digunakan nilai Bulk Specific Gravity SSD.

4.2.1.c Hasil pengujian campuran pasir putih dan bottom ash ( 50% : 50% )

Tabel 4.5 Hasil uji Sieve analysis Campuran pasir putih dan bottom ash

Sampel : 50 % pasir putih : 50 % Bottom ash					Standard ASTM	
No Saringan	Diameter	Berat Tertahan	Berat Lolos	% Lolos	Minimum	Maksimum
4	4,75	0	497	99,80	95,00	100,00
8	2,36	1,5	495,5	99,50	80,00	100,00
16	1,18	52,75	442,75	88,91	50,00	85,00
30	0,6	83	359,75	72,24	25,00	65,00
50	0,3	147	212,75	42,72	10,00	37,00
100	0,15	140,5	72,25	14,51	2,00	10,00
200	0,074	61,25	11	2,21	0,00	2,00
Pan	0	10,5	0,5	0,10	0,00	0,00
FM					1,82	

Hasil uji sieve analysis ini kemudian disajikan dalam bentuk grafik dibawah ini dengan diameter saringan sebagai axis (dalam skala logaritmik) dan % berat lolos saringan sebagai ordinat.



Gambar 4.3 Grafik gradasi campuran 50 % pasir putih dan 50 % bottom ash

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa campuran pasir putih dengan bottom ash diatas masih belum memenuhi standard ASTM, namun jika dibandingkan dengan gradasi butiran bottom ash material campuran ini memiliki gradasi yang lebih baik. Oleh karena itu campuran ini tetap digunakan sebagai fine aggregate dalam

pembuatan beton. Untuk berat jenis dan penyerapan dari material campuran ini dihitung dengan merata – ratakan data – data sebelumnya.

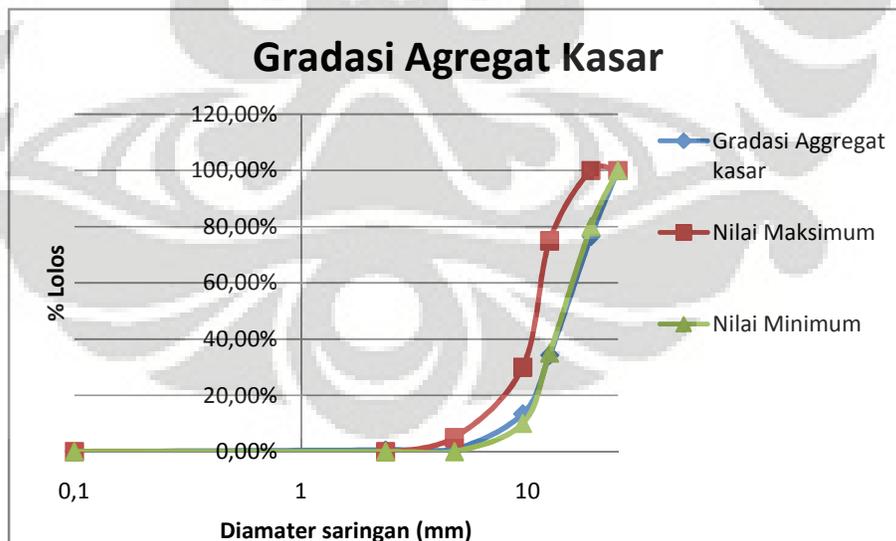
#### 4.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari PT BETACONCRETE MIXERINDO. Data – data hasil pengujiannya adalah sebagai berikut :

##### 1. Hasil uji sieve analysis

Tabel 4.6 Hasil uji Sieve analysis aggregate kasar

No Saringan	Diameter (mm)	Berat Tertahan ( gram )	% Berat Tertahan	% Berat Lolos Saringan	% Kumulatif tertahan saringan	Standard ASTM	
						Minimum	Maksimum
1	25	0	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%
3/4"	19	490	23,44%	76,56%	23,44%	80,00%	100,00%
1/2"	12,5	884	42,30%	34,26%	65,74%	35,00%	75,00%
3/8"	9,5	436	20,86%	13,40%	86,60%	10,00%	30,00%
No.4	4,75	262	12,54%	0,86%	99,14%	0,00%	5,00%
No.8	2,36	5	0,24%	0,62%	99,38%	0,00%	0,00%
Pan	0	13	0,62%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%



Gambar 4.4 Grafik gradasi aggregate kasar

## 2. Hasil uji specific gravity dan penyerapan

Tabel 4.7. Hasil uji specific gravity dan penyerapan aggregate kasar

Deskripsi		Data	Satuan
Berat Sampel Dalam Air	C	3036	gram
Berat Sampel dalam Kondisi SSD	B	5000	gram
Berat Sampel dalam Kondisi kering oven	A	4855	gram
Berat Jenis (Kondisi SSD)	$B/(B-C)$	2,5458248	
Berat Jenis	$A/(B-C)$	2,4719959	
Berat Jenis Semu	$A/(A-C)$	2,6690489	
Absorpsi	$((B-A)/A) \times 100\%$	2,99%	%

Dengan data – data percobaan diatas dibuat sampel beton dengan komposisi untuk volume 1 m<sup>3</sup> sebagai berikut :

1. Sampel 1 ( Kode BBA )

Semen	: 462,39 kg
Air	: 189,58
Bottom ash	: 321,735 kg
Pasir	: 321,735 kg
Kerikil	: 1212.6 kg

2. Sampel 2 ( Kode BP )

Semen	: 469,27 kg
Air	: 192,4 kg
Pasir	: 714,66 kg
Kerikil	: 977,9 kg

Kedua buah sampel didesain untuk mendapatkan kualitas beton K-350 dimana target kekuatan tekannya adalah 350 kg/cm<sup>2</sup>. Perhitungan desain kedua buah sampel dapat dilihat pada lampiran.

### **Tes Slump**

Pengujian slump dilakukan pada beton segar dengan menggunakan kerucut Abrams sesuai dengan mengikuti standard ASTM C-143-05. Dalam penelitian ini beton yang dibuat dengan slump 10 cm. Namun pada saat pembuatan beton nilai slump yang didapatkan tidak selalu sama dengan perhitungan. Oleh karena itu ada toleransi untuk nilai slump yang diinginkan sebesar  $\pm 2$  cm.

### **4.2.3 Hasil uji kekuatan beton**

Dalam sub bab ini ditampilkan juga hasil penelitian sebelumnya tentang pembuatan beton geopolimer dimana residu dari pembakaran batubara dijadikan sebagai material pengikat dalam beton.

4.2.3.a Hasil uji kekuatan tekan

i. Beton BBA

Tabel 4.8 Hasil uji kekuatan tekan beton BBA

NO	Kode	Tanggal		Umur	Slump	Tegangan kg/cm <sup>2</sup>	Tegangan Rata - rata (kg/cm <sup>2</sup> )
		Dicor	Ditest				
1	BBA1-21-05-08	21/05/2008	18/06/2008	28	10	413,85	403,85
2	BBA1-21-05-08	21/05/2008	18/06/2008	28	10	402,26	
3	BBA1-21-05-08	21/05/2008	18/06/2008	28	10	395,44	
4	BBA1-22-05-08	22/05/2008	05/06/2008	14	10	326,9379	319,04
5	BBA1-22-05-08	22/05/2008	05/06/2008	14	10	317,7815	
6	BBA1-22-05-08	22/05/2008	05/06/2008	14	10	312,3954	
7	BBA1-24-06-08	24/06/2008	01/07/2008	7	10	289,6918	282,69
8	BBA1-24-06-08	24/06/2008	01/07/2008	7	10	281,5785	
9	BBA1-24-06-08	24/06/2008	01/07/2008	7	10	276,806	
10	BBA1-24-06-08	24/06/2008	27/06/2008	3	10	201,1275	192,04
11	BBA1-24-06-08	24/06/2008	27/06/2008	3	10	190,9007	
12	BBA1-24-06-08	24/06/2008	27/06/2008	3	10	184,0828	

ii. Beton BP

Tabel 4.9 Hasil uji kekuatan tekan beton BP

NO	Kode	Tanggal		Umur	Slump	Tegangan kg/cm <sup>2</sup>	Tegangan Rata - rata (kg/cm <sup>2</sup> )
		Dicor	Ditest				
1	BP1-22-05-08	22/05/2008	19/06/2008	28	10	340,89	347,53
2	BP1-22-05-08	22/05/2008	19/06/2008	28	10	347,17	
3	BP1-22-05-08	22/05/2008	19/06/2008	28	10	354,53	
4	BP1-28-05-08	28/05/2008	11/06/2008	14	10	289,7565	295,40
5	BP1-28-05-08	28/05/2008	11/06/2008	14	10	295,0945	
6	BP1-28-05-08	28/05/2008	11/06/2008	14	10	301,3505	
7	BP1-25-05-08	24/06/2008	01/07/2008	7	10	238,623	243,27
8	BP1-25-05-08	24/06/2008	01/07/2008	7	10	243,019	
9	BP1-25-05-08	24/06/2008	01/07/2008	7	10	248,171	
10	BP1-25-05-08	24/06/2008	27/06/2008	3	10	146,5845	149,99
11	BP1-25-05-08	24/06/2008	27/06/2008	3	10	153,4024	
12	BP1-25-05-08	24/06/2008	27/06/2008	3	10	149,9934	

iii. Beton Geopolimer 1

Komposisi pasta geopolimer :

*Fly ash* = 20 gram → 53,732 %

NaOH = 2,055 gram → 5,521 %

*Waterglass* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) = 10,667 gram → 28,658 %

$\text{H}_2\text{O}$  = 4,5 gram → 12,090 %

Komposisi campuran 1 m<sup>3</sup> beton :

Semen (C) = 477 kg

Air (W) = 198 kg

Pasir (S) = 572 kg

Agregat kasar (CA) = 944 kg

Hasil uji kekuatan tekan dari beton geopolimer ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.10 Hasil uji kekuatan tekan beton geopolimer

No	Kode	Umur [hari]	Gaya [kg]	Luas [cm <sup>2</sup> ]	Tegangan [kg/cm <sup>2</sup> ]	Tegangan Rata-rata [kg/cm <sup>2</sup> ]
1	BGBK-03-01	3	99500	225	442,22	451,11
2	BGBK-03-02	3	105000	225	466,67	
3	BGBK-03-03	3	100000	225	444,44	
4	BGBS-03-04	3	61000	176,79	345,05	349,76
5	BGBS-03-05	3	62500	176,79	353,54	
6	BGBS-03-06	3	62000	176,79	350,71	
7	BGPK-03-07	3	102500	225	455,56	452,59
8	BGPK-03-08	3	100000	225	444,44	
9	BGPK-03-09	3	105000	225	466,67	
10	BGPS-03-10	3	63000	176,79	356,36	353,54
11	BGPS-03-11	3	62000	176,79	350,71	
12	BGPS-03-12	3	62500	176,79	353,54	

Sumber : Skripsi M Fajar Hermansyah “Pembuatan dan Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang Dengan Abu Dasar Sebagai Agregat Halus”

iv. Beton Geopolimer 2 :

Komposisi pasta geopolimer :

Bottom Ash = 49.9 %

NaOH = 7 %

$\text{Na}_2\text{SiO}_3$  = 34.1 %

$\text{H}_2\text{O}$  = 9 %

Komposisi campuran 1 m<sup>3</sup> beton :

Semen [C] = 461.62 Kg

Air [W] = 191.57 Kg

Pasir [S] = 596.92 Kg

Agregat Kasar [Ca] = 991.15 Kg

Hasil uji kekuatan tekan dari beton geopolimer ini adalah sebagai berikut :

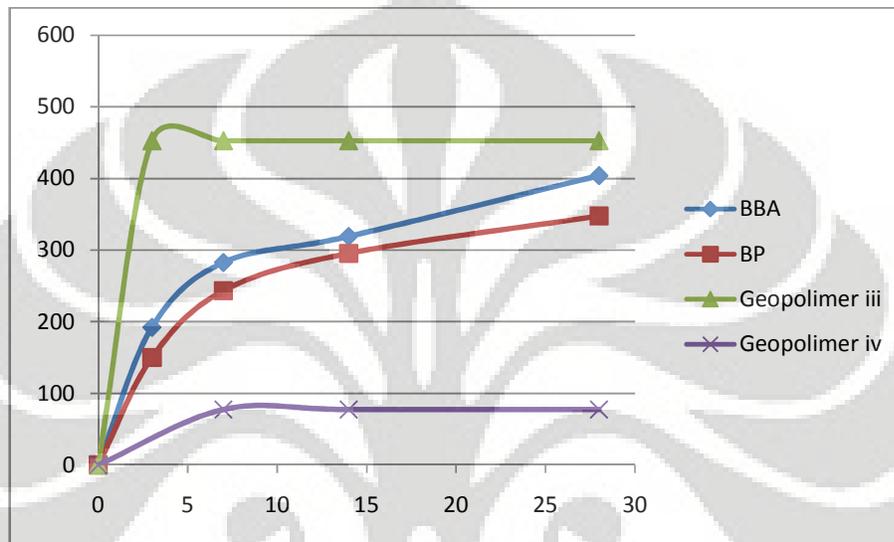
Tabel 4.10 Hasil uji kekuatan tekan beton geopolimer

No.	KODE	TANGGAL		UMUR (HARI)	SLUMP (CM)	TEGANGAN (KG/CM <sup>2</sup> )	STANDAR DEVIASI	TEGANGAN RATA- RATA
		DICOR	DITEST					
1	BST1-03-01	01/03/06	04/03/06	3	9	156.031	36.883	160.111
2	BST1-03-02	01/03/06	04/03/06	3	9	125.437		
3	BST1-03-03	01/03/06	04/03/06	3	9	198.864		
4	BST1-07-01	01/03/06	08/03/06	7	9	238.636	17.034	235.577
5	BST1-07-02	01/03/06	08/03/06	7	9	250.874		
6	BST1-07-03	01/03/06	08/03/06	7	9	217.220		
7	BST1-14-01	01/03/06	15/03/06	14	9	305.944	3.059	305.944
8	BST1-14-02	01/03/06	15/03/06	14	9	309.003		
9	BST1-14-03	01/03/06	15/03/06	14	9	302.885		
10	BST1-28-01	01/03/06	29/03/06	28	9	342.657	7.699	350.816
11	BST1-28-02	01/03/06	29/03/06	28	9	357.955		
12	BST1-28-03	01/03/06	29/03/06	28	9	351.836		
13	BGT1-02-01	7/6/06	9/6/2006	2	2	18.88889	0.370	18.519
14	BGT1-02-02	7/6/06	9/6/2006	2	2	18.51852		
15	BGT1-02-03	7/6/06	9/6/2006	2	2	18.14815		
22	BGT2-07-01	12/6/06	19/06/06	7	2	77.77778	2.528	77.346
23	BGT2-07-02	12/6/06	19/06/06	7	2	79.62963		
24	BGT2-07-03	12/6/06	19/06/06	7	2	74.62963		
25	BGT3-07-01	12/6/06	19/06/06	7	4	55.55556	2.829	56.173
26	BGT3-07-02	12/6/06	19/06/06	7	4	59.25926		
27	BGT3-07-03	12/6/06	19/06/06	7	4	53.7037		

Sumber : Skripsi Abdul Hadi “Pembuatan dan Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Abu Dasar”

Pada beton Geopolimer kekuatan beton cenderung konstan setelah 3 hari sampai minggu ke – empat dan untuk beton geopolimer pada point iii dan setelah hari ke – 7 pada beton geopolimer pada point iv.

Keempat data hasil pengujian kekuatan tekan tersebut diplot dalam grafik dibawah ini :



Gambar 4.6 Grafik hasil uji tekan Beton BBA, BP dan Geopolimer.

#### 4.2.3.b Hasil uji kekuatan tarik

##### i. Beton BBA

tabel 4.10 Hasil uji kekuatan lentur beton BBA

NO	Kode	Tanggal		Umur	Slump	Tegangan kg/cm <sup>2</sup>	Tegangan Rata - rata (kg/cm <sup>2</sup> )
		Dicor	Ditest				
1	BBA2-21-05-08	21/05/2008	18/06/2008	28	10	54,67	54,21
2	BBA2-21-05-08	21/05/2008	18/06/2008	28	10	53,30	
3	BBA2-21-05-08	21/05/2008	18/06/2008	28	10	54,67	

ii. Beton BP

tabel 4.11 Hasil uji kekuatan lentur beton BP

NO	Kode	Tanggal		Umur	Slump	Tegangan kg/cm <sup>2</sup>	Tegangan Rata - rata (kg/cm <sup>2</sup> )
		Dicor	Ditest				
1	BP2-29-05-08	29/05/2008	26/06/2008	28	10	45,33333	45,556
2	BP2-29-05-08	29/05/2008	26/06/2008	28	10	44,66667	
3	BP2-29-05-08	29/05/2008	26/06/2008	28	10	46,66667	

iii. Beton Geopolimer 1

Komposisi dari beton tersebut sama dengan komposisi beton geopolimer iii pada sub bab hasil pengujian tekan. Hasil uji kekuatan tarik beton ini adalah sebagai berikut :

No	Kode	Umur [hari]	W [cm <sup>3</sup> ]	M [kgcm]	Tegangan [kg/cm <sup>2</sup> ]	Keterangan
1	BGU5-03-01	3	562,5	23625	42	Bottom Ash
2	BGU5-03-02	3	562,5	26250	46,67	Pasir

Sumber : Skripsi M Fajar Hermansyah “Pembuatan dan Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang Dengan Abu Dasar Sebagai Agregat Halus”

iv. Beton Geopolimer 2

Komposisi dari beton tersebut sama dengan komposisi beton point iii pada sub bab hasil pengujian tekan.

No.	KODE	TANGGAL		UMUR (HARI)	TEGANGAN LENTUR (M/W) (kg/cm <sup>2</sup> )	STANDAR DEVIASI	TEGANGAN RATA- RATA
		DICOR	DITEST				
1	BGL3-07-01	13/06/06	19/06/06	6	108.027	1.667	108.05333
2	BGL3-07-02	13/06/06	19/06/06	6	106.400		
3	BGL3-07-03	13/06/06	19/06/06	6	109.733		
4	BSL1-03-01	01/03/06	04/03/06	3	29.222	0.680	29.901461
5	BSL1-03-02	01/03/06	04/03/06	3	30.581		
6	BSL1-03-03	01/03/06	04/03/06	3	29.901		
7	BSL1-28-01	03/03/06	03/04/06	28	34.659	1.415	36.244195
8	BSL1-28-02	03/03/06	03/04/06	28	36.697		
9	BSL1-28-03	03/03/06	03/04/06	28	37.377		

Sumber : Skripsi Abdul Hadi “Pembuatan dan Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Abu Dasar”

#### 4.2.4 Hasil Leaching Test

Sebagaimana telah disebutkan pada bab – bab sebelumnya bahwa dalam penelitian ini salah satu bahan dasar penyusun beton adalah limbah B3. Oleh karena itu perlu diuji komposisi material yang terkandung dalam beton ini. Pengujian leaching bertujuan untuk mengetahui jumlah besi yang mungkin terlarut jika beton terendam dalam air tanah atau terkena hujan asam (Hujan asam memiliki  $P^H = 5,6$  ). Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan terhadap beton geopolimer yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya dengan parameter kelarutan besi dalam aquades dan larutan  $H_2SO_4$  ( $P^H=5,6$ ). Beton yang dibuat dalam penelitian ini selanjutnya disebut BBA dan beton pembandingnya disebut BGT.

Hasil uji laboratorium dari kedua sampel tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4.12 Hasil uji leaching

Kode	BBA		BGT	
	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Serbuk Beton (gram)	2	2	2	2
Volume Larutan (mL)	100	100	100	100
Kelarutan Besi (mg/L)	0,5	0,99	0,19	0,05

Setelah dilakukan pengolahan data ( terlampir ), didapatkan jumlah besi yang akan terlarut dalam setiap 1 m<sup>3</sup> beton sebagai berikut :

Tabel 4.13 Jumlah maksimum besi terlarut dari 1 m<sup>3</sup> beton

Kode	BBA		BGT	
	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Jumlah Fe yang akan larut dalam 1m3 beton (gram)	27	53	11	2,87

### **1.3 ANALISA HASIL PENGUJIAN**

#### **4.3.1 Analisa Material**

Sebagaimana telah disebutkan pada bab – bab sebelumnya bahwa material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

- a. Semen
- b. Air
- c. Agregat Kasar
- d. Bottom Ash
- e. Pasir putih

dan variasi sampel benda uji dilakukan untuk material e dan d sebagai fine aggregate dalam beton. Berdasarkan hasil uji sieve analysis, bottom ash memiliki gradasi yang tidak memenuhi standard ASTM, dimana fraksi halus nya terlalu besar. Dari tabel dan grafik sieve analysis dapat dilihat bahwa untuk rentang saringan no 16 sampai dengan 200 persentase bottom ash yang lolos melebihi nilai maksimum yang diperbolehkan dalam ASTM C-33. Oleh karena itu, bottom ash perlu dicampur dengan material lain yang lebih kasar untuk memperbaiki gradasinya. Dalam hal ini material campurannya adalah pasir putih dengan perbandingan campuran pasir putih : bottom ash adalah 50 % : 50 %. Selanjutnya setelah dilakukan uji sieve analysis untuk material campuran ini diperoleh gradasi yang lebih mendekati standard gradasi ASTM. Dari grafik dan tabel hasil dari uji sieve analysis untuk material campuran ini dapat kita lihat bahwa gradasinya masih belum memenuhi standard ASTM, namun selisihnya tidak terlalu besar.

#### **4.3.2 Analisa Proses Pembuatan Benda Uji**

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium bahan Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Sampel dibuat untuk mendapatkan beton K-350 dengan target kekuatan tekan 35 MPa. Proporsi campuran dihitung mengikuti prosedur perhitungan mix design (dapat dilihat pada lampiran).

Secara umum kondisi peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji dapat dikatakan baik sehingga diharapkan dapat dihasilkan benda uji sesuai dengan desain.

### **1.3.3 Analisa Hasil Uji Kekuatan Beton**

#### *4.3.3.a Hasil uji kekuatan tekan*

Dari data hasil pengujian tekan dapat dilihat bahwa beton dengan bottom ash sebagai pengganti sebagian dari fine aggregate memiliki kekuatan tekan rata – rata 40,385 MPa pada usia 28 hari dimana target desainnya adalah 35 MPa. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa beton yang dibuat dalam penelitian ini memenuhi target kekuatan tekan yang diinginkan.

Dari hasil uji XRF dapat dilihat bahwa bottom ash mengandung senyawa seperti  $Al_2O_3$  sebesar 15,8845 % dan  $SiO_2$  sebesar 61,5212 % yang merupakan bahan pembentuk utama dari semen portland. Hal inilah yang sangat mungkin menjadi faktor penyebab utama meningkatnya kualitas beton ketika bottom ash digunakan sebagai pengganti 50 % dari fine aggregate.

#### *4.3.3.b Hasil uji kekuatan lentur*

Pada usia 28 hari beton ini memiliki kekuatan rata – rata sebesar 5,421 MPa dimana beton pembandingnya dengan desain yang sama memiliki kekuatan sebesar 4,5 Mpa. Jadi dengan mensubstitusi sebagian pasir dengan bottom ash didapatkan kekuatan lentur beton yang lebih baik.

Berdasarkan uji kekuatan beton dapat dikatakan bahwa penggunaan bottom ash sebagai campuran aggregate halus dapat memenuhi target kekuatan beton yang diinginkan. Namun demikian bottom ash adalah material limbah B3 yang memiliki potensi bahaya bagi lingkungan sehingga selain uji kekuatan, kita perlu melakukan pengujian lain untuk mendeteksi potensi bahaya terhadap lingkungan yang mungkin ditimbulkan oleh penggunaan material limbah ini.

### **4.3.4 Analisa Hasil Leaching Test**

Kelarutan besi dari beton BBA lebih besar daripada kelarutannya didalam beton BGT. Hal ini terjadi karena dalam beton BBA material pembawa unsur besi, yaitu bottom ash, hanya berfungsi sebagai fine aggregate ( pengisi ruang kosong dari beton ). Dalam beton BGT, material pembawa unsur besi, yaitu

bottom ash dan fly ash terikat kuat dalam ikatan kimia berupa pasta beton yang kemudian berubah menjadi batu setelah beton kering<sup>1</sup>.

Dalam beton BBA kelarutan besi lebih besar dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dibandingkan dalam H<sub>2</sub>O. Hal ini sejalan dengan asumsi bahwa asam merupakan senyawa yang bersifat korosif terhadap beton. Namun dalam beton BGT yang fenomena yang terjadi adalah sebaliknya. Kelarutan besi lebih kecil dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dibandingkan dalam H<sub>2</sub>O.

#### 4.3.5 Analisa Biaya

Tabel 4.14 Analisa biaya pembuatan 1m<sup>3</sup> beton BBA

No	Material	Satuan	Jumlah	Harga Satuan	Harga
1	Semen	kg	462,39	1000	462390
3	Bottom Ash	m <sup>3</sup>	0,144153	0	Rp0,00
4	Pasir Putih	m <sup>3</sup>	0,124709	150000	Rp18.706,40
5	Aggregat Kasar	m <sup>3</sup>	0,476277	150000	Rp71.441,48
6	Air	kg	189,58	0	Rp0,00
Jumlah					Rp552.537,87

Tabel 4.15 Analisa biaya pembuatan 1m<sup>3</sup> beton Pembanding

No	Material	Satuan	Jumlah	Harga Satuan	Harga
1	Semen	kg	469,27	1000	469270
3	Bottom Ash	m <sup>3</sup>	0	0	Rp0,00
4	Pasir Putih	m <sup>3</sup>	0,277	150000	Rp41.550,00
5	Aggregat Kasar	m <sup>3</sup>	0,385	150000	Rp57.750,00
6	Air	kg	189,58	0	Rp0,00
Jumlah					Rp568.570,00

Dari kedua tabel diatas dapat dilihat bahwa biaya pembuatan beton BBA lebih murah dibandingkan beton pembanding dengan selisih sebesar Rp.16.033,00. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pembuatan beton dengan menggunakan bottom ash sebanyak 50 % akan mereduksi biaya pembuatan beton

<sup>1</sup> Komposisi BGT dan BBA dapat dilihat pada lampiran

sebesar 2,82 % . Reduksi biaya ini relative kecil, namun jika digunakan untuk produksi beton dalam skala besar akan didapatkan penghematan yang cukup besar pula.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil uji XRF diperoleh kandungan senyawa kimia pada bottom ash yang dinyatakan dalam persen.

No	Rumus Kimia	Berat ( % )
1	$\text{Al}_2\text{O}_3$	15,8845
2	$\text{SiO}_2$	61,5212
3	$\text{K}_2\text{O}$	0,7838
4	$\text{CaO}$	4,1764
5	$\text{TiO}_2$	1,6913
6	$\text{Mn}_3\text{O}_4$	0,135
7	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	15,6455
8	$\text{ZrO}_2$	0,1623

2. Dalam penelitian ini dilakukan uji kelarutan logam berat dengan kelarutan besi yang dipilih sebagai parameter yang terikat secara kimia dalam senyawa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .
3. Karena keterbatasan material, bottom ash, dalam penelitian ini hanya dilakukan variasi fine agregat 50 % bottom ash dan 50 % pasir putih.
4. Gradasi butiran bottom ash tidak memenuhi standard ASTM C-33 untuk batas minimum dan maksimum gradasi butiran aggregate, Oleh karena itu perlu dicampur dengan material yang lebih kasar untuk memenuhi standard tersebut.
5. Berdasarkan data – data teknis yang didapatkan dari hasil uji sieve analysis, uji penyerapan dan specific gravity dan berdasarkan hasil perhitungan mix design untuk mendapatkan 1 m<sup>3</sup> beton K-350 digunakan proporsi material sebagai berikut :

- a. *Semen* : 462,39 kg
- b. *Air* : 189,58 kg
- c. *Bottom ash* : 321,75 kg

- d. *Pasir putih* : 321,735 kg  
e. *Aggregat Kasar* : 1212,6 kg

6. Berdasarkan hasil pengujian kekuatan beton dengan proporsi campuran diatas memiliki kekutan tekan sebesar 40,385 MPa dan kekuatan tarik sebesar 5,421 MPa.
7. Berdasarkan hasil perbandingan dengan hasil penelitian sebelumnya tentang pemanfaatan limbah B3 ini, hasil terbaik didapatkan dari sampel pembuatan beton geopolimer dimana campuran pasta semennya berbahan dasar fly ash dan fine aggregatnya bottom ash. Namun, biaya pembuatannya masih mahal.
8. Hasil uji Leaching menunjukkan bahwa dalam setiap 1 m<sup>3</sup> beton yang diproduksi dengan komposisi diatas logam berat yang terlarut dalam H<sub>2</sub>O tidak akan melebihi 27 gram dan dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tidak akan melebihi 53 gram
9. Berdasarkan analisa biaya dengan membandingkan pembuatan beton menggunakan 50 % bottom ash sebagai fine aggregate dan pembuatan beton tanpa bottom ash didapatkan penghematan sebesar 2,82 %.

## 5.2 SARAN

1. Dalam penelitian ini hanya dilakukan variasi campuran 50 % bottom ash : 50 % pasir putih. Sebaiknya dibuat juga persentase campuran 40 % : 60 % agar gradasinya bisa memenuhi standard ASTM.
2. Untuk memenuhi standard gradasi yang ditetapkan ASTM sebaiknya material campuran dari fine agregat memiliki gradasi yang lebih kasar supaya persentase bottom ash yang digunakan dalam beton lebih besar. Semakin banyak botom ash yang digunakan berarti semakin banyak pula limbah yang kita manfaatkan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. MacGregor James G. 1988. Reinforced Concrete Mechanics and Design.
2. SNI-03-2847-2002, *Tata Cara Perancangan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Bandung, Desember 2002
3. Hujan asam - Wikipedia Indonesia, ensiklopedia bebas berbahasa Indonesia.htm
4. Murdock, L J; Brook, K M. (1979). *Bahan dan Praktek Beton* . Erlangga: Jakarta.
5. A. Gunawan Y, Yacob Yunizar, *Penuntun Praktis Praktikum pada Laboratorium Teknik Sipil*, Jakarta, Intermedia, 1987.
6. WHO. *Regional guidelines for health care waste management in developing countries (draft)*. Kuala Lumpur: World Health Organization, Western Pacific Regional Environmental Centre; 1994
7. Achmad Djedjen, *Pemanfaatan Limbah Beton sebagai Agregat Kasar Untuk Campuran Beton Mutu Rendah*, Universitas Indonesia, Depok, 1997
8. Hari Amanto dan Daryanto, 1999, *Ilmu Bahan*, Bumi Aksara, Jakarta.
9. Tata Surdia dan Saito Shinroku, 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta
10. Prihadi Setyo Darmanto, *Laporan akhir penelitian, Optimasi Sistem Pembakaran PLTU Suralaya Unit-6*, Institut Semen dan Beton Indonesia, Cibubur, Indonesia 2006.
11. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia, Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 1971.*



**HASIL UJI KEKUATAN TEKAN BETON**

## 1. Beton BBA

NO	Kode	Tanggal		Umur	Gaya Tekan ( kg )	Tekanan (kg/cm <sup>2</sup> )	Tekanan setelah dikonversi (kN/m <sup>2</sup> )
		Dicor	Ditest				
1	BBA1-25-05-08	22/05/2008	19/06/2008	28	60700	343,491735	413,85
2	BBA1-25-05-08	22/05/2008	19/06/2008	28	59000	333,871703	402,26
3	BBA1-25-05-08	22/05/2008	19/06/2008	28	58000	328,21286	395,44
4	BBA1-23-05-08	22/05/2008	05/06/2008	14	47953	271,358471	326,9379164
5	BBA1-23-05-08	22/05/2008	05/06/2008	14	46610	263,758645	317,7815003
6	BBA1-23-05-08	22/05/2008	05/06/2008	14	45820	259,28816	312,3953732
7	BBA1-24-05-08	24/06/2008	01/07/2008	7	42490	240,444214	289,6918247
8	BBA1-24-05-08	24/06/2008	01/07/2008	7	41300	233,710192	281,5785446
9	BBA1-24-05-08	24/06/2008	01/07/2008	7	40600	229,749002	276,8060269
10	BBA1-24-05-08	24/06/2008	27/06/2008	3	29500	166,935851	201,1275318
11	BBA1-24-05-08	24/06/2008	27/06/2008	3	28000	158,447588	190,9007082
12	BBA1-24-05-08	24/06/2008	27/06/2008	3	27000	152,788745	184,0828257

## 2. Beton BP

NO	Kode	Tanggal		Umur	Gaya Tekan ( kg )	Tekanan (kg/cm <sup>2</sup> )	Tekanan setelah dikonversi (kN/m <sup>2</sup> )
		Dicor	Ditest				
1	BP1-22-05-08	22/05/2008	19/06/2008	28	50000	282,94	340,89
2	BP1-22-05-08	22/05/2008	19/06/2008	28	50900	288,04	347,03
3	BP1-22-05-08	22/05/2008	19/06/2008	28	52000	294,26	354,53
4	BP1-28-05-08	28/05/2008	11/06/2008	14	42500	240,50	289,76
5	BP1-28-05-08	28/05/2008	11/06/2008	14	43280	244,91	295,08
6	BP1-28-05-08	28/05/2008	11/06/2008	14	44200	250,12	301,35
7	BP1-25-05-08	24/06/2008	01/07/2008	7	35000	198,06	238,63
8	BP1-25-05-08	24/06/2008	01/07/2008	7	35640	201,68	242,99
9	BP1-25-05-08	24/06/2008	01/07/2008	7	36400	205,98	248,17
10	BP1-25-05-08	24/06/2008	27/06/2008	3	21500	121,67	146,58
11	BP1-25-05-08	24/06/2008	27/06/2008	3	22500	127,32	153,40
12	BP1-25-05-08	24/06/2008	27/06/2008	3	22000	124,49	149,99



**HASIL UJI KEKUATAN LENTUR BETON**

1. Beton BBA

No	Tanggal		Umur (Hari)	Kode	Luas penampang (cm <sup>2</sup> )	Bentang (L)(cm)	Dimensi		Beban (P) (kN)	W (1/6 b.h <sup>2</sup> ) (cm <sup>3</sup> )	M (1/6.P.L) (kN.cm)	Tegangan Lentur (M/W) (kN/cm <sup>2</sup> )	Tegangan Lentur rata-rata (MPa)
	Dicor	Dites					b (cm)	h (cm)					
1	BBA2-21-05-08	21/05/2008	18/06/2008	28	225	45	15	15	41	562,5	307,5	0,546667	5,422222
2	BBA2-21-05-08	21/05/2008	18/06/2008	28	225	45	15	15	40	562,5	300	0,533333	
3	BBA2-21-05-08	21/05/2008	18/06/2008	28	225	45	15	15	41	562,5	307,5	0,546667	

## 2. Beton BP

No	Tanggal		Umur (Hari)	Kode	Luas penampang (cm <sup>2</sup> )	Bentan g ( L ) (cm )	Dimensi		Beba n (P) (kN)	W (1/6 b.h <sup>2</sup> ) (cm <sup>3</sup> )	M (1/6.P.L ) (kN.cm)	Teganga n Lentur (M/W) (kN/cm <sup>2</sup> )	Teganga n Lentur rata-rata (MPa)
	Dicor	Dites					b (cm)	h (cm)					
1	29/05/2008	26/06/2008	28	BP2-29- 05-08	225	45	15	15	34	562,5	255	0,4533	4,556
2	29/05/2008	26/06/2008	28	BP2-29- 05-08	225	45	15	15	33,5	562,5	251,25	0,4467	
3	29/05/2008	26/06/2008	28	BP2-29- 05-08	225	45	15	15	35	562,5	262,5	0,4667	



**HASIL UJI LEACHING**

**Kode : BBA<sup>1</sup>**

Berat sampel : 2 gram

Bentuk sampel : serbuk

Volume larutan : 100 mL

Fe terlarut : 0,5 mg/L **dalam Pelarut H<sub>2</sub>O**

: 0,99 mg/L **dalam Pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

Material yang digunakan dalam 1m<sup>3</sup> beton

Material	Berat (kg)
Bottom ash	321,75
Pasir putih	321,75
Semen	462,39
Air	189,58
Aggregat Kasar	1016

Massa jenis beton : 2281,771 kg/m<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> BBA : Beton dengan komposisi aggregate halus 50 % pasir dan 50 % Bottom ash

**Kode : BGT<sup>2</sup>**

Berat sampel : 2 gram

Bentuk sampel : Serbuk

Volume larutan : 100 mL

Kadar Fe dalam larutan BGT 100 mL :

Fe terlarut : 0,19 mg/L **dalam Pelarut H<sub>2</sub>O**

: 0,05 mg/L **dalam Pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

Material yang digunakan dalam 1m<sup>3</sup> beton :

Material	Berat (kg)
Fly ash	362,691
Bottom ash	572
H <sub>2</sub> O	30,375
NaOH	13,87125
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	193,4415
Aggregat Kasar	944

---

<sup>2</sup>BGT : Beton Geopolimer dengan fly ash sebagai pengganti semen dan Bottom ash sebagai aggregate halus

## Pengolahan data Leaching Test BBA :

1. Persentase Bottom ash dalam 1 m<sup>3</sup> beton

$$\% BA = \frac{321,75}{2085,171} \times 100\% = 15,43\%$$

2. Persentase Bottom ash dalam 1 m<sup>3</sup> beton tanpa Agregat kasar

$$\% BA = \frac{321,735}{2085,171 - 1016} \times 100\% = 30,09\%$$

3. Jumlah Bottom ash dalam 2 gram sampel serbuk beton

$$30,09\% \times 2 \text{ gram} = 0,6018 \text{ gram}$$

4. Massa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dalam 2 gram sampel serbuk beton berdasarkan uji XRF

$$15,6455\% \times \text{massa BA} = 15,6455\% \times 0,6018 \text{ gram} = 0,0941 \text{ gram}$$

5. Massa Molar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> = (3 × 56) + (4 × 16) = 232 gram/mol

6. Jumlah Fe dalam 2 gram sampel serbuk beton

$$\frac{3(Ar \rightarrow Fe)}{Mr \rightarrow Fe_3O_4} \times 100\% = \frac{3 \times 56}{232} \times 100\% = 72,41\%$$

$$\therefore Fe = 72,41\% \times 0,0941 = 0,0681 \text{ gram}$$

7. Berdasarkan uji kelarutan dengan spektrofotometer

Fe terlarut	: 0,5 mg/L	<b>dalam Pelarut H<sub>2</sub>O</b>
	: 0,99 mg/L	<b>dalam Pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>

8. Banyaknya Fe terlarut dalam 100 mL larutan serbuk beton

$$\frac{0,5}{1000} \times 100 = 0,05 \text{ mg} = 5 \times 10^{-5} \text{ gram ( dalam pelarut H}_2\text{O )}$$

$$\frac{0,99}{1000} \times 100 = 0,099 \text{ mg} = 9,9 \times 10^{-5} \text{ gram ( dalam Pelarut H}_2\text{SO}_4 \text{ )}$$

9. Persentase Fe terlarut larutan serbuk beton 2 gram adalah

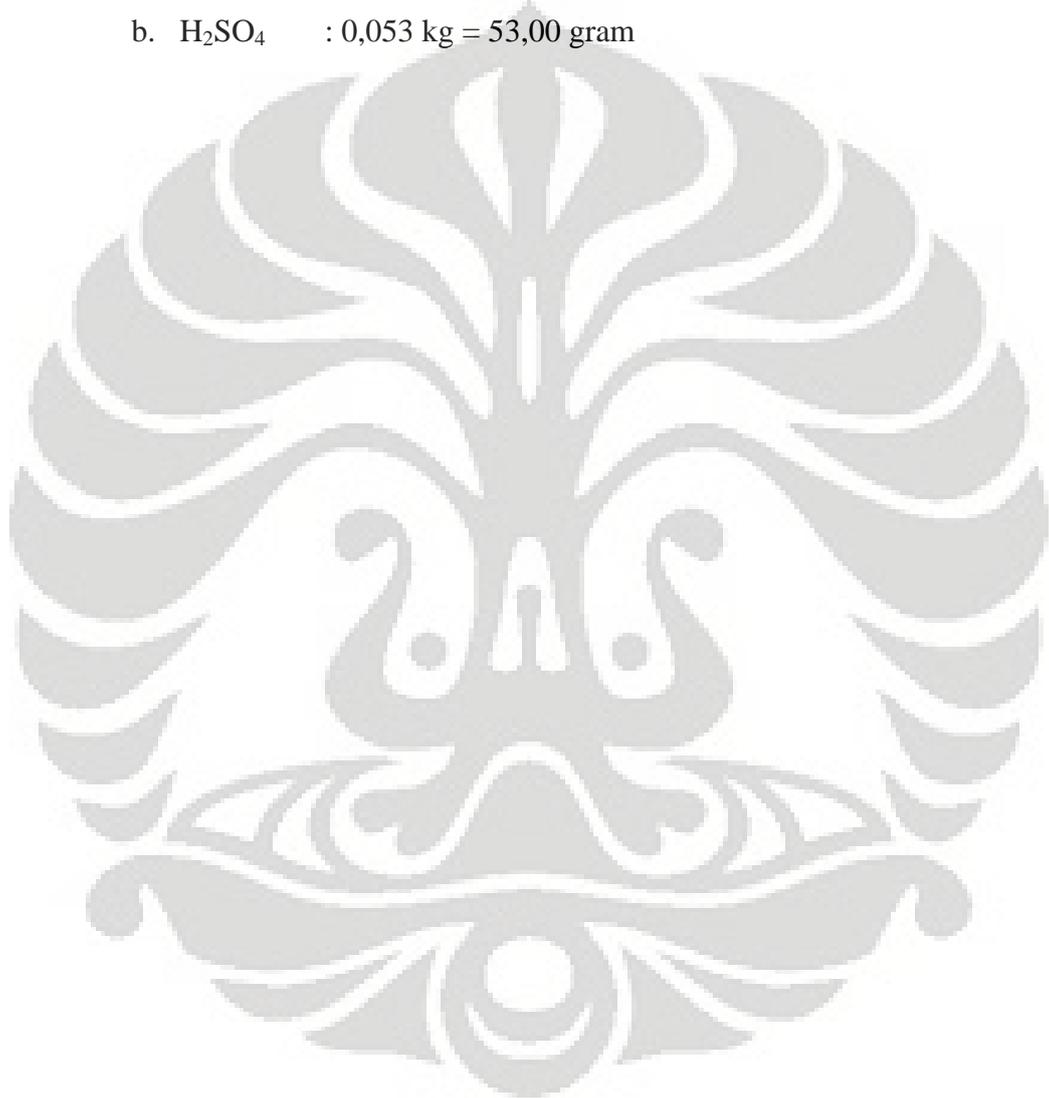
$$\frac{5 \times 10^{-5} \text{ gram}}{0,0681 \text{ gram}} \times 100\% = 0,0734\% \rightarrow \text{ dalam H}_2\text{O}$$

$$\frac{9,9 \times 10^{-5} \text{ gram}}{0,0681 \text{ gram}} \times 100\% = 0,145\% \rightarrow \text{ dalam H}_2\text{SO}_4$$

Jadi dalam 2 gram serbuk beton tersebut terdapat 0,6018 gram Bottom ash. Dalam 0,6018 gram bottom ash terdapat 0,0941 gram Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Dalam Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> terdapat 0,0681 gram besi. Dalam air unsur besi tersebut akan larut

sebanyak  $5 \times 10^{-5}$  gram dan dalam sulfat akan larut sebanyak  $9,9 \times 10^{-5}$  gram.

10. Dalam  $1 \text{ m}^3$  beton BBA terdapat Bottom ash sebanyak 321,75 kg.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang terdapat didalamnya sebesar 50,34 kg. Unsur besi yang ada dalam senyawa ini adalah 36,45 kg dan yang akan terlarut didalam :
- Air : 0,027 kg = 27,00 gram
  - $\text{H}_2\text{SO}_4$  : 0,053 kg = 53,00 gram



## Pengolahan data Leaching Test BGT :

1. Persentase Bottom ash dan fly ash dalam 1 m<sup>3</sup> beton

$$\% BA = \frac{572}{2116,3788} \times 100\% = 27,03\%$$

$$\% FA = \frac{362,691}{2116,3788} \times 100\% = 17,17\%$$

2. Persentase Bottom ash dan fly ash dalam 1 m<sup>3</sup> beton tanpa Agregat kasar

$$\% BA = \frac{572}{2116,3788 - 944} \times 100\% = 48,79\%$$

$$\% FA = \frac{362,691}{2116,3788 - 944} \times 100\% = 30,94\%$$

3. Jumlah Bottom ash dan Fly ash dalam 2 gram sampel serbuk beton

$$BA = 48,79\% \times 2 = 0,9758 \text{ gram}$$

$$FA = 30,94\% \times 2 = 0,6188 \text{ gram}$$

4. Massa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dalam 2 gram sampel serbuk Beton berdasarkan uji XRF

$$15,6455\% \times 0,9758 \text{ gram} = 0,153 \text{ gram} \rightarrow \text{Dalam Bottom Ash}$$

$$19,0896\% \times 0,6188 \text{ gram} = 0,118 \text{ gram} \rightarrow \text{Dalam Fly Ash}$$

$$0,271 \text{ gram} \rightarrow \text{Jumlah senyawa Fe}_3\text{O}_4 \text{ dalam 2 gram sampel}$$

5. Massa Molar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> = (3 × 56) + (4 × 16) = 232 gram/mol

6. Jumlah Fe dalam 2 gram sampel serbuk beton

$$\frac{3(Ar \rightarrow Fe)}{Mr \rightarrow Fe_3O_4} \times 100\% = \frac{3 \times 56}{232} \times 100\% = 72,41\%$$

$$\therefore Fe = 72,41\% \times 0,271 = 0,196 \text{ gram}$$

7. Berdasarkan uji kelarutan dengan spektrofotometer

Fe terlarut : 0,19 mg/L **dalam Pelarut H<sub>2</sub>O**

: 0,05 mg/L **dalam Pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

8. Banyaknya Fe terlarut dalam 100 mL larutan serbuk beton

$$\frac{0,5}{1000} \times 100 = 0,05 \text{ mg} = 1,9 \times 10^{-5} \text{ gram} \text{ ( dalam pelarut H}_2\text{O )}$$

$$\frac{0,99}{1000} \times 100 = 0,099 \text{ mg} = 5 \times 10^{-6} \text{ gram} \text{ (dalam Pelarut H}_2\text{SO}_4 \text{ )}$$

9. Persentase Fe terlarut larutan serbuk beton 2 gram adalah

$$\frac{1,9 \times 10^{-5} \text{ gram}}{0,196 \text{ gram}} \times 100\% = 0,0097\% \rightarrow \text{dalam } H_2O$$

$$\frac{5 \times 10^{-6} \text{ gram}}{0,196 \text{ gram}} \times 100\% = 0,0025\% \rightarrow \text{dalam } H_2SO_4$$

Jadi dalam 2 gram serbuk beton tersebut terdapat 0,9758 gram Bottom ash dan 0,6188 gram. Dalam kedua material tersebut terdapat 0,271 gram  $Fe_3O_4$ . Dalam  $Fe_3O_4$  terdapat 0,196 gram besi. Dalam 1 Liter air unsur besi tersebut akan larut sebanyak  $1,9 \times 10^{-5} \text{ gram}$  dan dalam sulfat akan larut sebanyak  $5 \times 10^{-6} \text{ gram}$ .

10. Dalam 1 m<sup>3</sup> beton BGT terdapat Bottom ash sebanyak 572 kg dan Fly ash 362,691.

$Fe_3O_4$  yang terdapat didalamnya sebesar 158,73 kg. Unsur besi yang ada dalam senyawa ini adalah 114,935 kg dan yang akan terlarut didalam :

c. Air : 0,011 kg = 11,00 gram

d.  $H_2SO_4$  : 0,00287 kg = 2,87 gram



**PERHITUNGAN MIX DESIGN K-350**

## PERHITUNGAN BETON K-350

1. Compressive Strength : 350 kg/cm<sup>2</sup>
2. Ukuran Agregat Maksimum : 25 mm
3. Kandungan Udara : 5,0 %
4. Slump : 10 cm
5. Berat Jenis Semen : 3,23
6. Berat Jenis Pasir putih : 2,58
7. Berat Jenis Bottom Ash : 2,237
8. Berat Jenis campuran pasir dan Bottom Ash : 2,41
9. Berat Jenis Agregat Kasar : 2,54
10. Fine Modulus Pasir : 2,16
11. Fine Modulus 50 % pasir : 50 % Bottom ash : 1,82
12. Target strength

$$\sigma_{ts} = \frac{\sigma_{cs}}{1 - (t \times v)} = \frac{350}{1 - (0,883 \times 0,15)} = 403,43 \text{ kg / cm}^2$$

13. Water/Cement Standard  
Japan Cement Association

$$\sigma_{28} = -113 + 214 \frac{C}{W}$$

$$403,43 = -113 + 214 \frac{C}{W}$$

$$\frac{C}{W} = 2,41 \text{ atau}$$

$$\frac{W}{C} = 0,41$$

14. Jumlah (W/C) dan S/A

- |                 |          |
|-----------------|----------|
| Kandungan Udara | : 5,0 %  |
| S/A             | : 41 %   |
| A               | : 1,5 %  |
| Air Adukan      | : 175 kg |

Tabel Penyesuaian untuk beton BP

Faktor Penyesuaian	Koreksi pada S/A dan Air	
	S/A (%)	W (kg)
	41	175
F.M = 2,16	41 + $0.5 \frac{2.0 \cdot 2.16}{0.1} = 37,8$	Tidak ada koreksi
Slump 10	Tidak ada koreksi	$185 + \left(\frac{1.2}{100} (10 - 8) \times 175\right) = 179,2$
Crushstone	$37,8 + 4 + 2,4 = 41,8$	$179,2 + 12 = 191,2$
S/A	Tidak ada koreksi	$191,2 + ((41,8 - 41) \cdot 1,5) = 192,4$

$$W = 192,4 \text{ kg}$$

$$\frac{W}{C} = 0,41$$

$$\text{Semen} = 469,27 \text{ kg}$$

$$\text{S/A} = 41,8$$

$$A_g = 1 - 0,1924 - \frac{469,27}{3,23 \times 1000} = 0,662 \text{ m}^3$$

$$\text{Kerikil} = 0,385 \text{ m}^3 = 830,58 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 0,277 \text{ m}^3 = 714,66 \text{ kg}$$

Jadi Komposisi BP adalah sebagai berikut :

Pasir : 714,66 kg

Kerikil : 977,9 kg

Semen : 469.27 kg

Air : 192.4 kg

Tabel Penyesuaian untuk beton BBA

Faktor Penyesuaian	Koreksi pada S/A dan Air	
	S/A (%)	W (kg)
	41	175
F.M = 1,82	41 - $0.5 \frac{2.0 - 1.00}{0.1} = 36,1$	Tidak ada koreksi
Slump 10	Tidak ada koreksi	$175 + \left(\frac{1.2}{100} (10 - 8) \times 175\right) = 179,2$
Crushstone	$36,1 + 4 = 40,1$	$179,2 + 12 = 191,2$
S/A	Tidak ada koreksi	$191,2 + ((40,1 - 41)1,5) = 189,85$

$$W = 189,58$$

$$\frac{W}{C} = 0,41$$

$$\text{Cement} = 462,39 \text{ kg}$$

$$S/A = 40,1$$

$$A_g = 1 - 0,18958 - \frac{462,39}{3,28 \times 1000} = 0,667 \text{ m}^3$$

$$\text{Kerikil} = 0,4 \text{ m}^3 = 1016 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir \& BA} = 0,267 \text{ m}^3 = 621,735 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 321,735 \text{ kg}$$

$$\text{BA} = 321,735 \text{ kg}$$

Jadi Komposisi Beton BBA adalah sebagai berikut :

Pasir : 321,735 kg

BA : 321,735 kg

Kerikil : 1016 kg

Semen : 462,39 kg

Air : 189,58



ASTM