

**PENGARUH PENGGUNAAN *BOTTOM ASH* (KERAK) LIMBAH  
PEMBAKARAN BATUBARA SEBAGAI AGREGAT HALUS PADA  
CAMPURAN BATAKO TERHADAP KUAT TEKAN BATAKO**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



Disusun oleh :

**IKA PRAVITASARI (0410610039)**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JURUSAN SIPIL**

**MALANG**

**2009**

**PENGARUH PENGARUH PENGGUNAAN *BOTTOM ASH*  
(KERAK) LIMBAH PEMBAKARAN BATUBARA SEBAGAI  
AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN BATAKO  
TERHADAP KUAT TEKAN BATAKO**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**IKA PRAVITASARI**

**(0410610039)**

**DOSEN PEMBIMBING:**

Ir. Edhi Wahyuni S., MT  
NIP. 131 574 844

Ir. Siti Nurlina, MT  
NIP. 131 879 036

**PENGARUH PENGARUH PENGGUNAAN *BOTTOM ASH*  
(KERAK) LIMBAH PEMBAKARAN BATUBARA SEBAGAI  
AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN BATAKO  
TERHADAP KUAT TEKAN BATAKO**

Disusun oleh :

**IKA PRAVITASARI**

**(0410610039)**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada:

Tanggal 7 Januari 2009

**DOSEN PENGUJI,**

Ir. Ristinah Samsyoeddin, MT

NIP. 130 531 843

Ir. Edhi Wahyuni S., MT

NIP. 131 574 844

Ir. Siti Nurlina, MT

NIP. 131 879 036

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir. As'ad Munawir, MT

NIP. 131 574 850

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya, di dalam naskah SKRIPSI ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah SKRIPSI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia SKRIPSI ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003 Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70).



Malang, 18 Februari 2009  
Mahasiswa,

Nama : IKA PRAVITASARI  
NIM : 0410610039  
Jurusan : TEKNIK SIPIL

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT. atas limpahan Karunia, Rahmat serta Hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Dalam penyusunan skripsi ini tentunya tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari pihak-pihak terkait, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu kami sampaikan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Yang terhormat Ibu Ir. Edhi Wahyini S., MT., selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk serta bimbingan, sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Yang terhormat Ibu Ir. Siti Nurlina, MT, selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk serta bimbingan, sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Yang terhormat Ibu Ir. Ristinah, MT., selaku ketua majelis penguji yang telah memberikan masukan dan saran, sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Yang terhormat Bapak Ir.Asad Munawir, MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
5. Yang terhormat Ibu saya Suharningsih , Bapak Samsul Hudaya dan ketiga adik Adek Ardi, Adek Daffa, dan Adek Pipit saya tercinta yang telah memberikan dorongan, semangat dan doanya.
6. Teman-teman seangkatan, Sipil 2004, terutama GengGongGank dan Richo Rirobi atas segala bantuan, dukungan dan perhatiannya.
7. Teman-teman dikosan Mbak Mbot, Susi, Mbak Henny, Blanka, Dini dan Febi atas segala dukungan dan doanya.
8. Keluarga besar Bapak Bambang atas doa dan perhatiannya selama saya berada dimalang.
9. Yang tersayang “Pak lek” Dave yang nun jauh disana atas perhatian dan kasih sayangnya.

10. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, atas segala perhatian dan bantuannya.

Sangat saya sadari bahwa dalam skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan akibat keterbatasan ilmu saya selaku manusia biasa. Oleh karena itu segala saran dan kritik saya terima sehingga untuk selanjutnya tercapai hasil yang lebih baik lagi.

Akhirnya, harapan saya sebagai penyusun, semoga skripsi ini dapat memberikan suatu manfaat dan masukan positif bagi kita bersama, khususnya dalam bidang keilmuan Teknik Sipil.

Malang, Desember 2009

Penyusun



**DAFTAR ISI**

Halaman

**HALAMAN JUDUL**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI**

**KATA PENGANTAR ..... i**

**DAFTAR ISI ..... iii**

**DAFTAR ISI TABEL ..... vi**

**DAFTAR ISI GAMBAR ..... viii**

**RINGKASAN ..... ix**

**BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang Masalah .....01

1.2 Rumusan Masalah .....02

1.3 Batasan Masalah .....02

1.4 Tujuan Penelitian .....03

1.5 Manfaat Penelitian .....03

**BAB II KAJIAN PUSTAKA**

2.1 Kerak Hasil pembakaran Batubara (*Bottom Ash*) .....04

2.1.1 Sifat Fisik .....05

2.1.2 Sifat Kimia .....05

2.1.3 Sifat Mekanis .....06

2.2 Penggunaan *Bottom Ash* dibidang Kontruksi .....07

2.3 Batako .....08

2.3.1 Deskripsi .....08

2.3.2 Agregat halus .....10

2.3.3 Semen .....13

2.2.4 Air .....14

2.2.5 *Bottom Ash* sebagai Agregat Halus .....15

2.4 Karakteristik batako .....15

2.3.1 Kuat tekan Batako .....15



2.3.2	Absorpsi Batako .....	17
2.3.3	Berat Volume Batako .....	18
2.5	Hipotesis .....	18

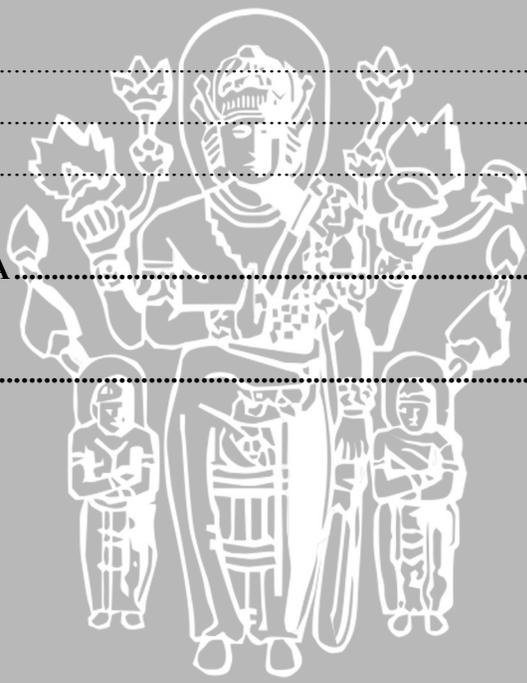
### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian .....	19
3.2.	Alat dan Bahan .....	19
3.3.	Analisa Bahan yang Digunakan .....	20
3.3.1	Analisa Gradasi Agregat halus .....	20
3.3.2	Analisa Berat jenis dan Penyerapan Agregat .....	21
3.3.3	Analisa berat volume Agregat Halus .....	24
3.3.4	Analisa kadar Air Agregat Halus .....	25
3.4.	Perlakuan Terhadap Bahan yang Digunakan .....	26
3.5.	Rancangan Penelitian .....	27
3.6.	Variabel Penelitian .....	29
3.7.	Metode Pengambilan Data .....	30
3.7.1	Kuat Tekan batako .....	30
3.7.2	Berat Batako .....	31
3.8.	Analisis Kuat Tekan Batako .....	31
3.9.	Analisis Data penelitian .....	32
3.10.	Diagram Alir Penelitian .....	34

### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1	Hasil pengujian Agregat Halus .....	36
4.1.1	Analisa Gradasi Agregat halus .....	36
4.1.2	Analisa Berat jenis dan penyerapan Agregat Halus .....	38
4.1.3	Analisa Berat Volume Agregat Halus .....	41
4.1.4	Analisa Kadar Air Agregat Halus .....	43
4.2	Pengujian Batako .....	44
4.2.1	Pengujian Sifat Mekanik .....	44
4.2.1.1	Pengujian Kuat Tekan Batako .....	44
4.2.2	Pengujian Sifat Fisik .....	50

4.2.2.1	Pengujian Berat Batako.....	50
4.3	Analisis Data.....	52
4.3.1	Pengaruh Variasi Penambahan Bottom Ash Terhadap Kuat Tekan Batako .....	52
4.3.2	Pengaruh Variasi Penambahan Bottom Ash Terhadap Berat Batako .....	54
4.4	Pembahasan.....	56
4.4.1	Pembahasan Pengaruh Penambahan Bottom Ash Terhadap Kuat Tekan Batako .....	56
4.4.2	Pembahasan Pengaruh Penambahan Bottom Ash Terhadap Berat Batako .....	58
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>61</b>
5.1	Kesimpulan .....	61
5.2	Saran .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>x</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>xi</b>



DAFTAR ISI TABEL

Tabel 2-1	Senyawa Kimia pada <i>Bottom Ash</i> .....	06
Tabel 2-2	Sifat-Sifat Mekanis pada <i>Bottom Ash</i> .....	06
Tabel 2-3	Dimensi Batako dan Toleransinya .....	09
Tabel 2-4	Prosentase Kadar Senyawa yang Terkandung pada Semen .....	13
Tabel 2-5	Syarat-Syarat Fisis Bata beton Pejal .....	16
Tabel 3-1	Data Analisa BJ dan Penyerapan pada Agregat Halus .....	23
Tabel 3-2	Data Analisa Kadar Air pada Agregat Halus .....	26
Tabel 3-3	Variasi Komposisi <i>Bottom Ash</i> -Pasir .....	27
Tabel 3-4	Berat Bahan untuk berbagai Variasi Kadar <i>Bottom Ash</i> .....	28
Tabel 3-5	Analisa Keragaman .....	32
Tabel 4-1	Data Analisa Gradasi pada <i>Bottom Ash</i> .....	36
Tabel 4-2	Data Analisa Gradasi pada Pasir .....	37
Tabel 4-3	Data Analisa BJ dan Penyerapan pada <i>Bottom Ash</i> .....	38
Tabel 4-4	Data Analisa BJ dan Penyerapan pada Pasir .....	39
Tabel 4-5	Data Analisa Berat Isi pada <i>Bottom Ash</i> .....	41
Tabel 4-6	Data Analisa Berat Isi pada Pasir .....	42
Tabel 4-7	Data Analisa Kadar Air pada <i>Bottom Ash</i> .....	43
Tabel 4-8	Data Analisa Kadar Air pada Pasir .....	43
Tabel 4-9	Data Pengujian Kuat Tekan dengan Komposisi BA 0% .....	44
Tabel 4-10	Data Pengujian Kuat Tekan dengan Komposisi BA 10% .....	44
Tabel 4-11	Data Pengujian Kuat Tekan dengan Komposisi BA 20% .....	45
Tabel 4-12	Data Pengujian Kuat Tekan dengan Komposisi BA 30% .....	45
Tabel 4-13	Data Pengujian Kuat Tekan dengan Komposisi BA 40% .....	45
Tabel 4-14	Data Pengujian Kuat Tekan dengan Komposisi BA 50% .....	45
Tabel 4-15	Data Pengujian Kuat Tekan dengan Komposisi BA 60% .....	46
Tabel 4-16	Data Pengujian Kuat Tekan dengan Komposisi BA 70% .....	46
Tabel 4-17	Data Pengujian Kuat Tekan dengan Komposisi BA 80% .....	46
Tabel 4-18	Data Pengujian Kuat Tekan dengan Komposisi BA 90% .....	47
Tabel 4-19	Data Pengujian Kuat Tekan dengan Komposisi BA 100% .....	47

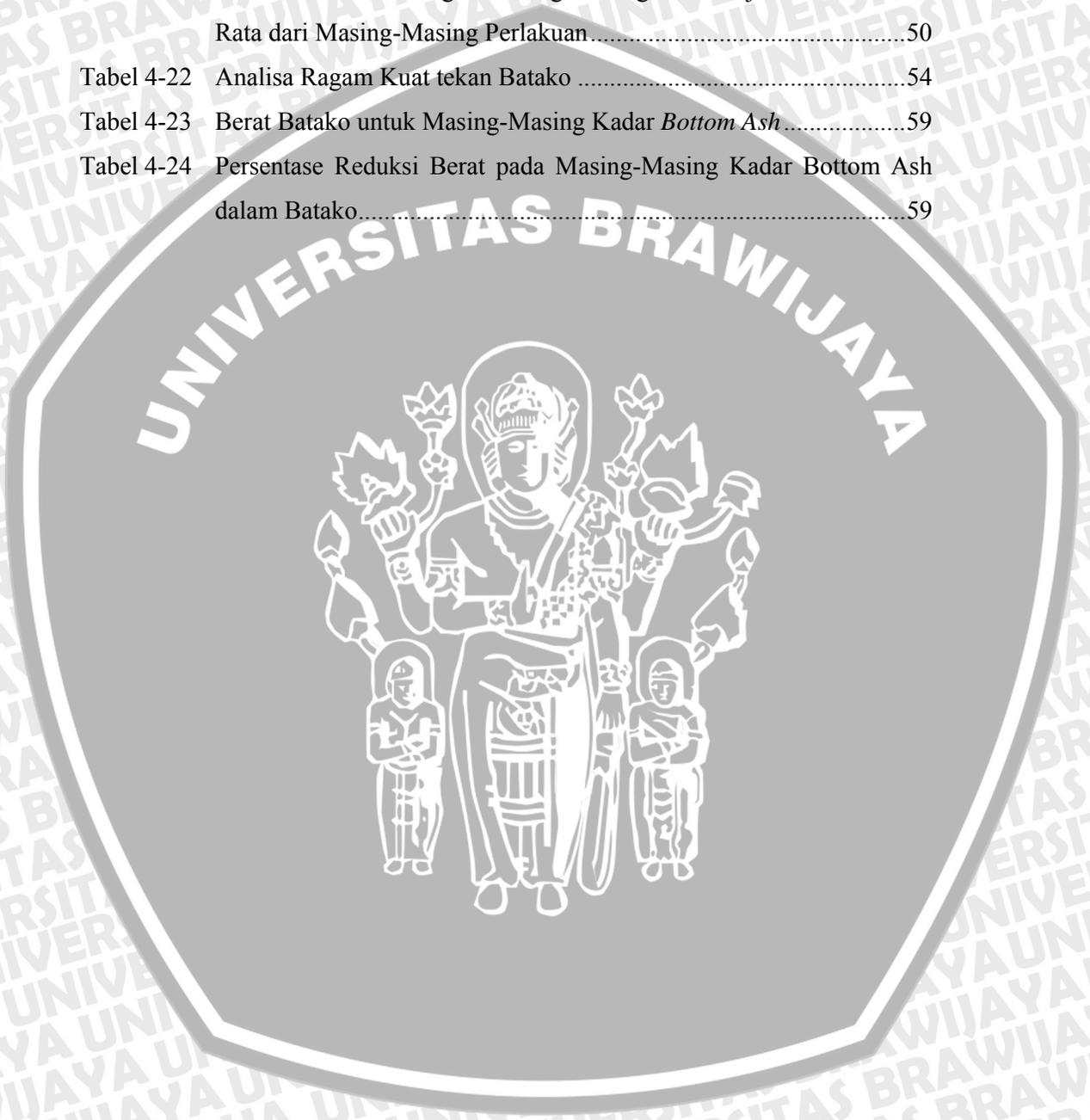
Tabel 4-20 Data Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Tekan Rata-Rata pada Masing-Masing Perlakuan .....46

Tabel 4-21 Data Hasil Penimbangan Masing-Masing Benda Uji dan Berat Rata-Rata dari Masing-Masing Perlakuan.....50

Tabel 4-22 Analisa Ragam Kuat tekan Batako ..... 54

Tabel 4-23 Berat Batako untuk Masing-Masing Kadar *Bottom Ash* .....59

Tabel 4-24 Persentase Reduksi Berat pada Masing-Masing Kadar *Bottom Ash* dalam Batako.....59



DAFTAR ISI GAMBAR

Gambar 2.1 *Dry Bottom Ash*.....05

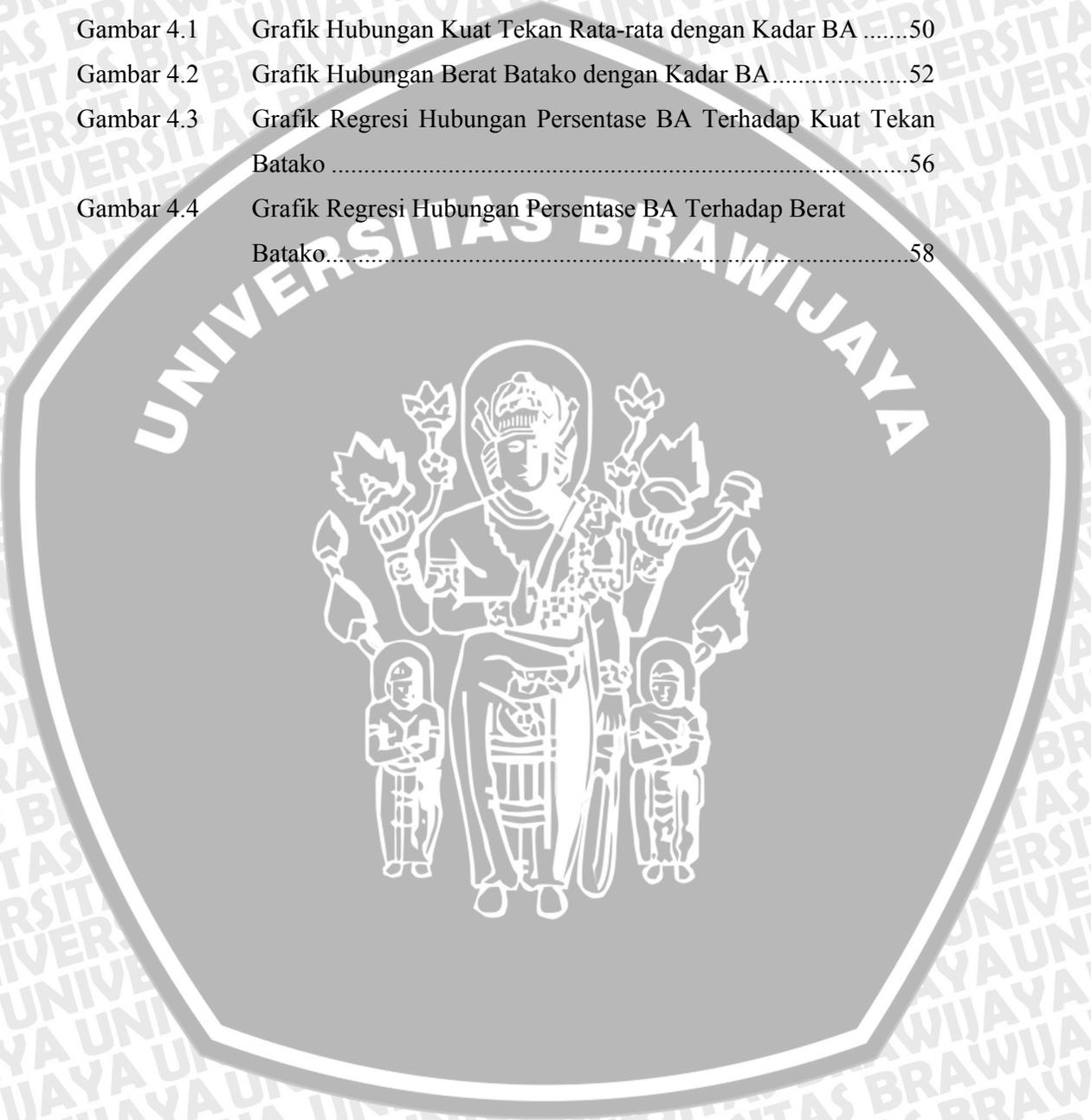
Gambar 3.1 Posisi batako pada saat Diuji tekan.....30

Gambar 4.1 Grafik Hubungan Kuat Tekan Rata-rata dengan Kadar BA .....50

Gambar 4.2 Grafik Hubungan Berat Batako dengan Kadar BA.....52

Gambar 4.3 Grafik Regresi Hubungan Persentase BA Terhadap Kuat Tekan Batako .....56

Gambar 4.4 Grafik Regresi Hubungan Persentase BA Terhadap Berat Batako.....58



## RINGKASAN

**Ika Pravitasari**, Jurusan Sipil Fakultas teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2008, *PENGARUH PENGGUNAAN BOTTOM ASH (KERAK) LIMBAH PEMBAKARAN BATUBARA SEBAGAI AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN BATAKO TERHADAP KUAT TEKAN BATAKO*, **Dosen Pembimbing : Ir. Edi Wahyuni S., MT., Ir. Siti Nurlina ,MT.**

Dengan seiring perkembangan zaman, teknologi juga berkembang semakin pesat, demikian juga dengan teknologi dibidang konstruksi di Indonesia. Indonesia sebagai negara berkembang terus menerus melakukan pengembangan teknologi dibidang konstruksi. Salah satu cara dalam mengembangkan teknologi adalah pengelolaan limbah industri untuk digunakan sebagai bahan baku atau material bangunan, misalkan *bottom ash*. *Bottom ash* adalah kerak limbah hasil pembakaran batubara pada ketel uap. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *bottom ash* terhadap kuat tekan dan berat batako.

Dalam penelitian ini *bottom ash* digunakan sebagai bahan pengganti pasir pada batako. Penelitian ini menggunakan 55 buah benda uji dengan persentase *bottom ash* didalamnya sebesar 0%, 10%, 20% 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100% untuk masing-masing perlakuan dibuat 5 benda uji. Benda uji ini setelah mencapai umur 28 hari akan diuji tekan dan kemudian dicatat besar beban yang bisa ditahan oleh batako tersebut, yang kemudian akan dihitung besarnya kuat tekan rata-rata batako untuk masing-masing perlakuan. Setiap benda uji dari masing-masing perlakuan juga akan ditimbang, untuk mengetahui pengaruh penambahan *bottom ash* pada berat batako.

Dari data hasil uji tekan dan hasil analisa didapatkan bahwa *bottom ash* secara keseluruhan menurunkan nilai kuat tekan batako tetapi nilai kuat tekan batako rata-rata yang dihasilkan masih memenuhi standar minimum yang digunakan. Kadar *bottom ash* dalam batako juga mereduksi berat batako hingga 41,704%, sehingga dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa *bottom ash* dapat digunakan sebagai alternatif bahan pengganti pasir pada pembuatan batako.

**Kata kunci** : *bottom ash*, batako, kuat tekan.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dengan seiring perkembangan zaman, teknologi juga berkembang semakin pesat, demikian juga dengan teknologi dibidang konstruksi di Indonesia. Indonesia sebagai negara berkembang terus menerus melakukan pengembangan teknologi dibidang konstruksi, hal ini ditandai dengan meningkatnya pembangunan sarana dan prasarana khususnya berupa gedung-gedung bertingkat. Selain itu teknologi yang banyak berkembang saat ini adalah pengelolaan limbah industri untuk digunakan sebagai bahan baku atau material bangunan.

Penemuan inovasi-inovasi bahan ini diharapkan dapat menggantikan material bahan bangunan yang umumnya didapatkan dari alam seperti pasir, kapur sebagai bahan baku semen, tanah liat, dan batu alam. Penemuan berbagai inovasi material bahan bangunan ini didasarkan atas kesadaran akan ekologi dan keterbatasan sumberdaya material pada alam yang semakin menipis hari demi hari.

Salah satu contoh inovasi dari bahan bangunan yaitu batako. Umumnya batako terbuat dari bahan semen dan pasir dengan persyaratan dan perbandingan tertentu. Batako ini umumnya digunakan untuk dinding sebagai pengganti batu merah, karena batako terbuat dari semen, dan pasir, tentunya kita tidak bisa terus menerus mengambil bahan material batako dari alam khususnya pasir. Pasir yang terdapat dialam sudah semakin menipis dengan banyaknya pembangunan yang terjadi, sehingga diperlukan bahan lain atau alternatif material lain sebagai pengganti pasir untuk campuran agregat dalam campuran batako.

*Bottom ash* atau kerak (limbah) hasil pembakaran batubara pada ketel uap merupakan limbah yang belum banyak digunakan dalam pembuatan bahan bangunan, tidak seperti *fly ash* yang sudah digunakan dan diketahui manfaatnya sebagai salah satu bahan baku pembuatan bahan konstruksi. *Bottom ash* dewasa ini baru dikenal sebagai salah satu alternatif *filler* yang

digunakan dalam pembuatan aspal beton. Dari penelitian tersebut dapat diketahui bahwa *bottom ash* ini memiliki kandungan silika dan kadar oksida yang merupakan mineral dasar yang dapat digunakan untuk membuat campuran semen.

Pada penelitian ini *bottom ash* akan digunakan sebagai bahan penambahan sebagai pengganti agregat halus pasir pada campuran batako. Diharapkan *bottom ash* yang digunakan ini akan menambah nilai kuat tekan batako.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas maka dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Apa pengaruh penambahan *bottom ash* dengan berbagai variasi komposisi sebagai pengganti dari agregat halus terhadap kuat tekan batako ?
2. Berapa kuat tekan optimal yang dihasilkan oleh batako yang menggunakan *bottom ash* sebagai bahan pengganti dalam agregat halus ?
3. Apa pengaruh penambahan *bottom ash* dengan berbagai variasi komposisi sebagai pengganti dari agregat halus terhadap berat batako ?

### 1.3 Batasan Masalah

1. Bottom ash yang digunakan adalah *dry bottom ash* atau *bottom ash* kering yang didapatkan dari PT.Tjiwi Kimia Mojokerto
2. Kandungan kimia bottom ash tidak dibahas secara khusus.
3. Proses kimia pada campuran batako dengan penambahan *bottom ash* didalam agregat halus batako, tidak dibahas secara khusus.
4. Pengaruh lingkungan dan kelembapan suhu dianggap sama.
5. Keseluruhan mortar dengan berbagai variasi komposisi *bottom ash* menggunakan air dengan FAS 0,4.
6. Perbandingan komposisi penambahan *bottom ash* menggunakan presentase 10%, 20% 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100%.
7. Penelitian hanya dilakukan untuk meneliti kuat tekan batako, penelitian ini tidak meneliti besarnya absorsi yang terjadi pada batako.

8. Kelas kuat tekan yang dituju yaitu kelas I, dengan nilai kuat tekan sebesar 10 Mpa atau 100 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggantian pasir dengan bottom ash sebagai agregat halus terhadap kuat tekan batako dan pemanfaatan bottom ash sebagai bahan alternatif untuk pembuatan batako, sehingga diharapkan masyarakat bisa menggunakan bahan bottom ash ini untuk pembuatan batako. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui apakah kuat tekan batako memenuhi standar yang digunakan untuk pasangan dinding atukah kuat tekannya lebih kecil dari standar yang telah ditetapkan.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain :

1. Pemanfaatan limbah batubara sebagai bahan baku konstruksi.
2. Penggunaan bottom ash sebagai bahan alternatif pengganti agregat halus atau pengganti pasir sebagai salah satu bahan baku pembuatan batako.
3. Memberikan pengetahuan pengaruh penggunaan bottom ash terhadap kuat tekan dan berat batako.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Kerak Hasil Pembakaran Batubara (*Bottom Ash*)

*Bottom ash* adalah bahan buangan dari proses pembakaran batubara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari *fly ash*, sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan (Indriani Santoso, et. al. Dimensi Teknik Sipil Vol.5 : 76 ).

*Bottom ash* dikategorikan menjadi dua yaitu *wet bottom ash* dan *dry bottom ash* pengkategorian ini didasarkan dari jenis tungkunya, debu yang berada dalam keadaan solid dan padat didasar tungku disebut dengan *dry bottom ash*. Debu yang berada dalam keadaan cair atau meleleh ketika jatuh kedalam air yang berada di *ash hopper*, dimana air tersebut akan mengkristal dan membentuk butiran-butiran yang disebut *wet bottom ash* atau *boiler slag* (Coal bottom Ash/ Boiler Slag material Description, 2000).

Baik sifat mekanis, fisik maupun sifat kimia dari *bottom ash* ini dipengaruhi oleh jenis batubara dan sistem pembakaran yang dilakukan.

Dari 100 % limbah yang dihasilkan pada proses pembakaran pembangkit tenaga pada tanur tinggi, dihasilkan 10-20 % *bottom ash*. 80-90 % sisanya berupa limbah abu atau yang biasanya disebut dengan *fly ash*. Dalam pemanfaatan limbah *bottom ash* masih jarang digunakan dibidang konstruksi, lain halnya dengan *fly ash* yang sudah banyak digunakan sebagai bahan konstruksi mulai dari beton hingga *paving block*. *Fly ash* memiliki sifat pozzolan yang sama dengan sifat semen. Dewasa ini *bottom ash* yang digunakan merupakan jenis *bottom ash* kering atau *dry bottom ash*.

*Bottom ash* memiliki beberapa sifat yang harus diperhatikan antara lain:

### 2.1.1 Sifat Fisik

*Dry bottom ash* merupakan material yang berbutir kecil ( granular), mempunyai berat yang lebih ringan daripada *boiler slag* atau *wet bottom ash*, mwmiliki warna abu-abu gelap dan tampak seperti pasir halus, serta memiliki permukaan yang sangat berpori. Ukuran partikel *dry bottom ash* ini berada diantara kerikil halus sampai pasir halus dengan sejumlah kecil berukuran lempung lunak. *Dry bottom ash* pada umumnya bergradasi 50 - 90 % lolos ayakan No.4, 10 - 60 % lolos ayakan No.40, 0 - 10 % lolos ayakan No.200, dan ukuran terbesarnya berkisar antara 19 mm sampai dengan 38,1 mm (Coal bottom Ash/ Boiler Slag material Description, 2000, Harvey, 1998, dan Waller, 1993)

Bentuk dan warna dari *bottom ash* dapat dilihat dari gambar dibawah ini,



Gambar 2.1 Dry bottom ash

Sehingga dalam penggunaannya dalam penelitian ini dry bottom ash ini harus melalui beberapa proses dahulu hingga bisa digunakan sebagai agregat halus yang memenuhi standar yang ditentukan.

### 2.1.2 Sifat Kimia

*Bottom ash* memiliki beberapa unsur kimia antara lain Si, Al, Fe, Ca serta Mg, S, Na dan beberapa unsur kimia yang lain. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Moulton *bottom ash* dapat menimbulkan sifat korosi pada tulangan baja karena *bottom ash* memiliki nilai pH yang cukup rendah. Selain itu rendahnya nilai pH yang ditunjukkan dengan tingginya nilai kandungan sulfat yang terlarut menunjukkan adanya kandungan iron sulfide yang besar.

Kandungan iron sulfide yang tinggi ini harus dihilangkan dengan elektromagnet sebelum digunakan.

Beberapa senyawa kimia yang terkandung dalam *bottom ash* akan tercantum ditabel dibawah ini :

**Tabel 2-1 Senyawa kimia pada *Bottom Ash***

Senyawa Kimia	Persentase
SiO <sub>2</sub>	29,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39,4
Fe <sup>5</sup> O <sub>3</sub>	10,62
CaO	0,63
MgO	0,56
Na <sub>2</sub> O	0,15
SO <sub>3</sub>	0,59

Sumber : Balai Penelitian Pengembangan Industri Surabaya

### 2.1.3 Sifat Mekanis

**Tabel 2-2 Sifat-sifat mekanis pada *Bottom Ash***

Sifat Mekanis	<i>Dry Bottom Ash</i>
Max Dry Density	1210 – 1620 kg/m <sup>3</sup>
Kelembapan Optimum	12 – 24 % (umumnya <20)
Tes Abrasi LA (% kehilangan)	30 - 50
Sodium Sulfat Soundness (% kehilangan)	1,5 - 10
Kuat Geser ( sudut geser)	38 - 42° 38 - 45° (Ukuran butir <9,5 mm)
Koefisien Permeabilitas	10 <sup>-2</sup> – 10 <sup>-3</sup> cm/det
CBR (%)	40 - 70
Friable partikel	ada

Sumber: Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000 [1]

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Moulton (1973), Majizadeh (1979) dan Lovell (1991), nilai maksimum *dry density* dari *dry bottom ash* umumnya lebih rendah 10 - 25 % dibandingkan material granular biasa seperti

pasir, tetapi kelembapan optimumnya lebih besar daripada materi granular lainnya.

Besarnya nilai kandungan pyrite yang ditunjukkan dari kandungan sulfat terlarut yang berlebihan dalam *bottom ash*, hal ini juga ditunjukkan dari besarnya nilai kehilangan pada test keausan dengan sodium sulfat. Pyrite yang ada harus dihilangkan dengan menggunakan elektromagnet sebelum digunakan, dan pyrite merupakan partikel yang ekspansif.

Hal penting yang perlu diperhatikan pula adalah adanya *friable* partikel (umumnya pada *dry bottom ash*), yaitu pada kerak batu bata yang berbentuk seperti kembang (popcorn partikel). Partikel ini mudah hancur dan sangat berpori sehingga akan banyak menyerap air, dimana hal itu akan meningkatkan jumlah air yang digunakan.

## 2.2 Penggunaan *Bottom Ash* Dibidang Konstruksi

Pada bidang konstruksi *bottom ash* banyak digunakan sebagai salah satu alternatif agregat halus pada perkerasan jalan. Sebagai contoh di daerah West Virginia, Amerika Serikat, pemakaian *dry bottom ash* pada campuran aspal emulsi dingin sebesar enam sampai tujuh persen terhadap berat aspal emulsi pada jalan kelas dua dengan volume lalu lintas sedang menunjukkan hasil yang memuaskan sepanjang tahun.

Menurut penelitian didapatkan hasil, bahwa penggunaan *bottom ash* sebagai agregat halus sebesar 10 % sampai 100 % menghasilkan nilai stabilitas, *void in mineral* dan *marshall quotient* yang memenuhi persyaratan lapis aspal beton untuk lalu lintas berat. Nilai *flow* yang dihasilkan juga memenuhi persyaratan, kecuali pada penggunaan *bottom ash* sebesar 50 % – 60 %. Nilai persentase *air void* 7,05 % - 17,64 %, sedangkan persyaratannya adalah 3 % - 5 %. Pada penggantian sepuluh persen penggantian agregat halus diperoleh *air void* yang paling mendekati persyaratan yaitu 7,05 % (Indriani Santoso, et. al. Dimensi Teknik Sipil Vol.5 : 76 ).

Scotash FBA merupakan salah satu produk dari perusahaan beton Scotash UK, pada perusahaan ini pembuatan *concrete block* atau batako sudah menggunakan *bottom ash* atau *furnace bottom ash* sebagai pengganti agregat

halusnya. Perusahaan ini sudah membuktikan bahwa ada keuntungan menggunakan FBA sebagai agregat halus pada batako, antara lain berat batako yang lebih ringan daripada berat batako normal yang menggunakan pasir.

## **2.3 Batako**

### **2.3.1 Deskripsi**

Batako adalah bata bangunan yang terbuat dari tanah stabilisasi kapur atau semen, bata kapur tras, dan bata semen portland ditambah dengan pasir yang tidak mengalami proses pembakaran. Tras disini adalah sejenis tanah baik buatan maupun dari alam yang apabila dicampur dengan kapur padam dan air, akan mengeras dan hasil pengerasannya tidak larut dalam air. Tras sendiri tanpa kapur tidak dapat mengeras dengan air, oleh karena itu tras bukan bahan perekat hidrolis melainkan bahan tambah hidrolis.

Terdapat dua jenis batako yaitu batako berlubang dan batako pejal. Batako digunakan sebagai dinding yang merupakan bangunan nonstruktural yang tidak memikul beban secara langsung. Batako banyak digunakan sebagai dinding pengisi, dan dinding pemikul. Batako dilihat dari sisi pemakaiannya bila dibandingkan dengan batu merah memiliki beberapa keunggulan antara lain yaitu, dalam hal efisiensi pemakaian, dibandingkan dengan batu merah memiliki penghematan dari beberapa segi. Misalkan untuk 1 m<sup>2</sup> luas dinding jumlah batako yang diperlukan lebih sedikit daripada jumlah batu bata yang dipakai. Terdapat pula penghematan dalam pemakaian adukan sampai 75 %. Berat tembok diperingan sampai dengan 50 %. Bentuk batako yang bermacam-macam memungkinkan variasi yang cukup banyak, dan jika kualitas batako baik, maka tembok tersebut tidak usah diplester sudah cukup menarik. Batako juga dapat dibuat dengan mudah dengan menggunakan mesin sederhana, dan tidak perlu dibakar. Dengan demikian menghemat energi sekitar 80 %.

Pembuatan batako , mulai dari pengerjaan dan pengadukan campuran sampai pada pembentukan batako dapat dikerjakan dengan manual atau seluruhnya dikerjakan secara mekanik. Dimensi batako baik berlubang maupun tidak berlubang dapat dilihat dari tabel dibawah ini.

Tabel 2-3 Dimensi batako dan toleransinya

Jenis Batako	Ukuran			Tebal dinding Sekatan Lobang minimum	
	Panjang	Lebar	tebal	Luar	Dalam
1. Pejal	390 + 3 — 5	390 + 3 — 5	100 ± 2	-	-
2. Berlobang					
a. Kecil	390 + 3 — 5	190 + 3 — 5	100 ± 2	20	15
b. Besar	390 + 3 — 5	190 + 3 — 5	200 ± 2	25	20

Sumber : SNI 03-6861.1-2002, Spesifikasi bahan bangunan bagian A : bahan bangunan bukan logam.

Dalam penelitian ini yang digunakan sebagai benda uji adalah batako pejal. Batako pejal memiliki beberapa klasifikasi dalam penggunaannya, didalam SNI 03-6861.1-2002 bata beton pejal diklasifikasikan pemakaiannya menurut mutu kuat tekan batako yaitu:

1. Bata beton pejal mutu I, adalah bata beton pejal yang digunakan untuk konstruksi yang memikul beban dan bisa digunakan juga untuk konstruksi yang tidak terlindung (untuk konstruksi diluar atap).
2. Bata beton pejal mutu II adalah bata beton yang digunakan untuk konstruksi yang memikul beban tapi penggunaannya hanya untuk konstruksi yang terlindung dari cuaca luar (untuk konstruksi dibawah atap).
3. Bata beton pejal mutu III adalah bata beton yang digunakan hanya untuk konstruksi yang tersebut dimutu IV, hanya permukaan dinding konstruksi dari bata beton pejal tersebut boleh tidak dipleser.
4. Bata beton pejal mutu IV adalah bata beton pejal yang hanya digunakan untuk konstruksi yang tidak memikul beban, dinding penyekat dan lain-lain serta konstruksi yang terlindung dari cuaca luar.

Menurut R. Soegihardjo dan Pr. Soediby (1977) batako dibedakan menjadi 6 tipe yang terdiri dari batako pejal ataupun batako berlobang. Masing-masing tipe ini memiliki kegunaan dan ukuran tersendiri. Macam-macam tipe batako tersebut adalah sebagai berikut :

1. Tipe A, batako berlubang dengan ukuran  $20 \times 20 \times 40 \text{ cm}^3$  digunakan untuk dinding pemikul dengan tebal 20 cm.
2. Tipe B, batako berlubang dengan ukuran  $20 \times 20 \times 40 \text{ cm}^3$  digunakan untuk dinding dengan tebal 20 cm, sebagai batu penutup pada sudut-sudut dan pertemuan-pertemuan.
3. Tipe C, batako berlubang dengan ukuran  $10 \times 20 \times 40 \text{ cm}^3$  digunakan untuk dinding pengisi dengan tebal 10 cm.
4. Tipe D, batako berlubang dengan ukuran  $10 \times 20 \times 40 \text{ cm}^3$  digunakan untuk dinding pengisi dan pemisah dengan tebal 10 cm.
5. Tipe E, batako tidak berlubang dengan ukuran  $10 \times 20 \times 40 \text{ cm}^3$  digunakan untuk dinding dengan tebal 10 cm. Digunakan sebagai dinding pengisi ataupun dinding pemikul dan digunakan sebagai hubungan-hubungan sudut dan pertemuan.
6. Tipe F, batako berlubang dengan ukuran  $8 \times 20 \times 40 \text{ cm}^3$  digunakan untuk dinding pengisi.

Pembuatan batako cukup mudah untuk dilakukan, pembuatan batako memiliki beberapa proses (Heinz Frick, 1999) sebagai berikut :

1. Persiapan bahan penyusun batako yaitu kapur dan tras.
2. Adukan kering yang terdiri dari komposisi antara tras (pasir) dan kapur diberi air secukupnya, kadar adukan diusahakan baik, sehingga mudah dicetak.
3. Pencetakan batako dapat dengan tenaga manusia, cetakan dengan mesin bermotor kecil, dan dengan mesin bermotor besar yang dapat dipindah.
4. Batako yang baru dicetak diletakkan ditempat yang teduh terhindar dari matahari maupun hujan.

Batako dibuat dari tiga bahan utama yaitu agregat halus yang berupa tras atau pasir, semen dan air. Dibawah ini merupakan penjelasan dari masing-masing bahan baku untuk membuat batako.

### 2.3.2 Agregat Halus

Suatu agregat dikatakan agregat halus bila ukuran butirannya tidak lebih besar dari 4,75 mm. Agregat halus ini dapat berupa pasir dari alam atau

natural sand yang berasal dari hasil desintegrasi dari batu-batuan. Selain pasir alam juga terdapat pasir buatan yang diperoleh dari alat-alet pemecah batuan yang disebut sebagai abu batu.

Dalam ASTM C 33 juga disebutkan bahwa agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir olehan atau buatan ataupun pasir dari gabungan kedua pasir tersebut, menurut ASTM C 33 agregat halus harus memiliki persyaratan sebagai berikut:

1. Kadar lumpur atau bagian butir yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan No.200) dalam persen berat, maksimum digunakan untuk beton yang mengalami abrasi sebanyak 3 dan untuk jenis beton lain 5.
2. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah direpihkan, maksimum 3 %.
3. kandungan arang dan lignit yang diijinkan untuk permukaan beton yang dianggap penting kandungan maksimum 0,5 % dan untuk jenis beton lainnya 0,1 %.
4. Agregat halus harus terbebas dari zat organik yang merugikan beton. Karena zat organik ini akan menghambat perkerasan semen. Sampah organik ini sebagai contoh adalah sisa tumbuh-tumbuhan (Indra Cahya, 1981: 10) dan tidak berwarna lebih tua dari standar.
5. Agregat halus yang mengalami basah dan lembab yang terus menerus atau yang berhubungan dengan tanah basah tidak diperbolehkan mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen yang jumlahnya cukup untuk membuat pemuaihan yang berlebihan dalam mortar atau beton.

Menurut SNI 03-6861.1-2002 agregat halus memiliki persyaratan sebagai berikut:

1. Agregat halus harus berupa butir-butir yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan  $\leq 2,2$  ;
2. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal artinya tidak pernah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
3. Sifat kekal apabila diuji dengan garam sulfat sebagai berikut:
  - a. Jika dipakai Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12 %.

- b. Jika dipakai Magnesium Sulfat bagian hancurnya maksimum 10 %.
4. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % (ditentukan terhadap berat keringnya). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,06 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5 % maka agregat harus dicuci.
5. agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Herder. Untuk itu harus direndam dengan larutan 3 % NaOH, cairan diatas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding. Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan diatas juga bisa dipakai, asalkan kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak boleh dibawah 95 % dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3 % NaOH yang kemudian dicuci dengan air pada umur yang sama.
6. Susunan besar butir agregat halus memiliki modulus kehalusan antara 1,5 – 3,8 dan harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zone 1, 2, 3, atau 4 (SKBI/BS.882) dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:
  - a. Sisa diatas ayakan 4,8 mm harus maksimum 2 % dari berat.
  - b. Sisa diatas ayakan 1,2 mm harus maksimum 10 % dari berat.
  - c. Sisa diatas ayakan 0,3 mm harus maksimum 15 % dari berat.
7. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi , reaksi pasir alkali harus negatif.
8. Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua mutu beton kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari badan pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.
9. Agregat halus yang digunakan untuk spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan diatas.

### 2.3.3 Semen

Semen adalah komponen beton yang berfungsi sebagai bahan pengikat anorganik secara umum sifatnya adalah mengikat dengan adanya air dan mengeras secara hidrolik. Semen Portland adalah bahan bubuk halus dengan butiran sekitar 0,05 mm dan pada hakekatnya terdiri dari hablur-hablur senyawa yang kompleks.

Semen terdiri dari beberapa senyawa dengan perbandingan tertentu. Macam senyawa dan perbandingannya terdapat pada tabel dibawah ini,

**Tabel 2-4 Prosentase kadar senyawa yang terkandung pada semen**

Senyawa Kimia	Persentase Kadar
Batu Kapur (CaO)	60-70 %
Pasir Silikat (SiO <sub>2</sub> )	19-24 %
Tanah liat (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4-3 %
Bijih Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2-6 %

Juga senyawa-senyawa seperti MgO lebih kurang sebesar 4,5 % dan SO<sub>3</sub> lebih kurang 3 %.

Semen portland memiliki beberapa tipe yaitu :

1. Semen Portland biasa  
Semen yang digunakan untuk berbagai dasar tipe konstruksi, dimana sifat-sifat khas dari tipe-tipe yang lain tidak diperlukan.
2. Semen Portland yang cepat mengeras  
Semen jenis ini pencapaian kekuatan akhirnya hanya berlangsung dalam waktu singkat yaitu hanya dalam 3 - 7 hari, sedangkan pada semen portland biasa pencapaian kekuatan biasanya terjadi pada 7 - 28 hari dengan faktor air semen yang sama banyaknya.
3. Semen Portland panas rendah  
Panas yang timbul kira-kira 40 - 50 lebih rendah dari semen biasa. Semen jenis ini memiliki harga yang lebih mahal dan biasanya digunakan oleh konstruksi bangunan yang besar dan luas seperti bendungan beton, tetapi semen ini memiliki keuntungan yaitu tahan terhadap retak-retak pada beton.
4. Semen Portland putih  
Semen ini merupakan variasi dari semen portland biasa yang kekuatan yang dihasilkan lebih rendah dari semen portland biasa tetapi semen ini

memiliki harga yang lebih mahal. Semen ini biasanya dipakai untuk pekerjaan sanitair.

5. Semen Portland yang tahan terhadap sulfat

Semen ini semen jenis khusus yang memiliki panas hanya 30 - 40 lebih rendah dari semen biasa dan hanya digunakan oleh bangunan konstruksi yang mengalami pengaruh sulfat, dan bagus digunakan untuk pondasi dalam tanah yang banyak mengandung air.

6. Semen Portland kedap air

Semen ini merupakan campuran dari semen biasa dengan semen yang cepat mengeras dengan persentase kecil jumlah unsur-unsur kalium dan aluminat. Semen ini lebih tahan terhadap rembesan air dan minyak daripada jenis semen biasa.

#### 2.3.4 Air

Pada pembuatan batako ini salah satu bahan yang paling utama adalah air, air merupakan syarat utama pembuatan segala bentuk bahan bangunan untuk beton karena air merupakan sebagai pencampuran antara agregat halus yaitu pasir dan semen. Tanpa air semen tidak bisa berfungsi sebagai perekat. Adapun beberapa persyaratan yang ditentukan dalam PBI 1971 N.I - 2 dan SNI 03-2847-2002, adalah sebagai berikut:

1. Air yang digunakan dalam campuran beton harus air bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung asam, oli, alkali, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merusak terhadap beton dan tulangan.
2. Air pencampur yang digunakan pada beton pratekan atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan dalam pembuatan beton kecuali ketentuan berikut terpenuhi:
  - a. Pemilihan proporsi beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.

- b. Hasil pengujian benda uji pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji yang dibuat dari air yang tidak dapat diminum tadi harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90 % dari kekuatan benda uji minimum yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan “ Metode Uji Kuat Tekan Untuk Mortar Semen Hidrolis (menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm)” (ASTM C 109).

### 2.3.5 *Bottom Ash* Sebagai Agregat Halus

Dalam campuran batako digunakan pasir dengan komposisi tertentu dan gradasi tertentu, dalam hal ini *bottom ash* digunakan sebagai bahan pengganti pasir disebabkan *bottom ash* memiliki beberapa kesamaan dalam gradasi butirannya serta sifat kimia yang terkandung didalamnya dapat memberikan pengaruh kekuatan tekan pada batako . Menurut Gan Kien Siong & Assoc. Professor Chui Peng Cheong School of Civil and Environmental Engineering, Nanyang Technological University mengemukakan bahwa *bottom ash* berpotensi digunakan sebagai pengganti agregat, khususnya pasir dalam campuran batako, *pavement block* dan *kerbs* dalam penggunaannya *bottom ash* harus dilakukan pengayakan terlebih dahulu untuk menyaring *bottom ash* dengan gradasi yang lolos ayakan no.4.

## 2.4 Karakteristik Batako

### 2.4.1 Kuat Tekan Batako

Kuat tekan merupakan hal utama yang dilihat dari sifat batako sehubungan dengan penggunaannya dalam berbagai keperluan pembangunan. Kuat tekan adalah kemampuan suatu penampang untuk menahan beban atau kemampuan maksimum penampang dalam menahan beban yang menyediakan kehancuran. Kuat tekan ini diperoleh dengan cara mengukur kekuatan batako pejal dengan ukuran 39 cm x 19 cm x 10 cm. sifat-sifat lain batako ini tercermin dari hasil

kuat tekan benda uji ini, maka hasil pengujian ini memadai dan dianggap memberikan informasi yang cukup.

Menurut SNI 03-6861.1-2002 kuat tekan batako dan penyerapan air yang diijinkan adalah seperti yang tercantum pada tabel dibawah ini :

**Tabel 2-5. Syarat-syarat fisis bata beton pejal**

Syarat Fisis	Satuan	Mutu I	Mutu II	Mutu III	Mutu IV
Kuat tekan bruto rata-rata minimum	MPa	10	7	4	2.5
Kuat tekan bruto masing-masing benda uji minimum	Mpa	9	6.5	3.5	2.1
Penyerapan air rata-rata maksimal	%	25	35	-	-

*Sumber : SNI 03-6861.1-2002, Spesifikasi bahan bangunan bagian A : bahan bangunan bukan logam.*

Dalam pelaksanaannya pengukuran batako ini dilaksanakan dengan meletakkan batako diatas alat uji tekan yang dibuat sedemikian rupa sehingga kedua sisi batako dapat bertumpu pada plat yang telah disiapkan.

Kuat tekan batako ini dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

1. Jenis dan kualitas dari semen dan pasir.
2. Perbandingan jumlah semen dan pasir.
3. Suhu pengerasan batako.
4. Perbandingan berat air dan semen.
5. Pemasakan yang dilakukan.

Untuk mengetahui kuat tekan batako pada tiap kelompok benda uji, maka perlu dilakukan pengamatan dan perhitungan sebagai berikut:

1. Semua benda uji dalam setiap kelompok dan setiap variasi campuran diuji dengan menggunakan compression testing machine untuk mengetahui besar gaya tekan yang dibutuhkan hingga batako tersebut hancur, misalnya sebesar P kg.

2. Kuat tekan batako

$$\delta_{bi} = \frac{P}{A} \text{ kg / cm}^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

A = luas permukaan penampang benda uji

3. Menentukan persentase reduksi berat dan kuat tekan batako.
4. Kuat tekan batako rata-rata

$$\delta'_{bm} = \frac{\sum_{i=1}^N \delta'_{bi}}{N} \text{ kg / cm}^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

N = Jumlah benda uji

5. Menghitung standar deviasi (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta'_{bi} - \delta'_{bm})^2}{N - 1}} \text{ kg / cm}^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

6. Menghitung kuat tekan batako karakteristik ( $\delta'_{bk}$ ) dengan jumlah sampel  $\geq 20$  buah.

$$\delta'_{bk} = \delta'_{bm} - 1.64 S \text{ (kg / cm}^2) \dots\dots\dots (2.4)$$

Sumber : PBI '71 : 40

Kuat tekan batako karakteristik ini adalah kuat tekan batako yang mewakili semua benda uji.

**2.4.2 Absorbsi batako**

Absorbsi atau penyerapan adalah suatu proses pemasukan suatu cairan kedalam pori-pori suatu benda padat, dalam hal ini benda padat tersebut adalah batako.

Absorbsi yang terjadi bisa mengakibatkan penambahan berat pada berat batako sendiri, penambahan berat pada absorbsi dinyatakan sebagai persentase berat dari berat kering bahan.

Absorpsi dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A - B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :



A = berat batako setelah direndam

B = berat batako sebelum direndam

Dari rumus tersebut akan didapatkan berapa nilai penyerapan atau nilai absorpsi yang terdapat pada batako.

#### 2.4.3 Berat Volume Batako

Berat volume adalah perbandingan antara berat bata sebelum direndam dengan berat bata jenuh air setelah direndam selama 24 jam dikurangi dengan berat bata ditambah berat air dimana bata tersebut direndam.

Berat isi batako dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Berat isi} = \frac{B}{A - C} \text{ kg/cm}^3 \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan:

B = berat batako sebelum direndam

A = berat batako jenuh air/ setelah direndam selama 24 jam

C = berat batako dalam air ( ditimbang dalam air)

#### 2.5 Hipotesis

Setelah mempelajari dari tinjauan pustaka dan beberapa permasalahan yang telah diuraikan diatas, maka dapat diambil hipotesis penelitian bahwa, "Penambahan *bottom ash* (limbah kerak pembakaran batubara) pada campuran batako akan berpengaruh terhadap nilai kuat tekan batako dan berat batako, *bottom ash* akan meningkatkan kuat tekan batako dan mereduksi berat batako sehingga berat batako lebih ringan".

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, dan industri rumah tangga batu bata di Malang. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Juli sampai selesai.

### 3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian peralatan dan material yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### b. Peralatan yang digunakan :

- Alat ukur (mistar, jangka sorong)
- Timbangan
- Cetakan batako ukuran 39 cm x 19 cm x 10 cm
- Mesin uji tekan (*compression testing machine*)
- Ayakan dengan berbagai ukuran
- Oven
- Sendok
- Palu dari kayu untuk memadatkan batako secara manual.
- Cetok
- Sekop
- Mesin pengaduk atau pencampur agregat (*molen*)

#### b. Bahan yang digunakan :

- *Bottom ash*

*Bottom ash* (kerak limbah pembakaran batubara) yang digunakan berasal dari PT.Tjiwi Kimia Mojokerto.

- Pasir

Pasir yang digunakan adalah pasir kali biasa yang didapatkan dari Malang.

- Semen

Semen yang digunakan adalah Semen Gresik Type I

- Air bersih

Air yang digunakan merupakan air bersih biasa dari PDAM yang tidak mengandung zat aditif apapun.

### 3.3 Analisa Bahan yang Digunakan

Pengujian bahan yang digunakan diprioritaskan pada agregat halus yaitu *bottom ash* dan pasir. Karena pasir merupakan bahan bentukan alam yang mempunyai karakteristik yang tidak dapat diprediksi. Begitu juga dengan *bottom ash* yang merupakan limbah yang memiliki sifat dan karakteristik yang harus diteliti terlebih dahulu sebelum digunakan pada penelitian ini.

Pasir yang digunakan merupakan pasir yang berasal dari Malang, Jawa Timur. Semen yang digunakan adalah semen Gresik Tipe I, dan *bottom ash* yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari limbah pembakaran bahan bakar produksi PT. Tjiwi Kimia.

Pengujian agregat halus ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik masing-masing bahan atau baik pada pasir dan *bottom ash*. Pengujian ini meliputi antara lain:

#### 3.3.1 Analisa Gradasi Agregat halus

Analisa gradasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui dapat tidaknya pembagian butir pasir atau *bottom ash* sebagai agregat, harus memenuhi ASTM dan SK SNI T-15-1990-03 dalam campuran mortar, dan juga untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus.

Adapun bahan yang digunakan adalah *bottom ash* dan pasir alam dengan berat *bottom ash* 500 gr dikarenakan berat *bottom ash* yang ringan dan keterbatasan peralatan sehingga untuk analisa ini *bottom ash* yang digunakan sebesar 500 gr separuh dari berat yang ditentukan, sedangkan berat pasir yang digunakan sebesar 1000 gr. Peralatan yang digunakan pada analisa ini adalah :

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 2 % terhadap benda uji.
2. Satu set saringan : 4,75 mm (no.4) ; 1,18 mm (no.8) ; 2,36 mm (no.16) ; 0,6 mm (no.30) ; 0,3 mm (no.50) ; 0,15 mm (no.100) ; 0,075 mm (no.200).
3. Mesin pengguncang saringan (shaker).

#### 4. Talam-talam dan kuas.

Dalam pelaksanaannya bahan yang sudah ditimbang dimasukkan kedalam ayakan yang sudah disusun dengan urutan seperti diatas dan ayakan diguncang dengan shaker selama 3 menit. Bahan yang tertinggal diatas masing-masing ayakan ditimbang.

Setelah bahan yang tertinggal masing-masing dicatat pada tabel dan grafik yang telah disediakan, selanjutnya dilakukan penghitungan. Dari hasil perhitungan, selanjutnya ditentukan batas gradasi agregat halus dengan menggunakan grafik daerah gradasi. Data yang dimasukkan dalam grafik meliputi ukuran mata ayakan sebagai sumbu x, dan % yang lewat ayakan (lolos ayakan).

Setelah penentuan gradasi agregat halus, langkah selanjutnya adalah menghitung besarnya modulus kehalusan. Modulus kehalusan adalah suatu faktor empiris yang didapat dengan menjumlahkan agregat yang tertahan oleh tiap-tiap saringan pada suatu seri saringan tertentu, kemudian membagi jumlah ini dengan 100.

Setelah modulus halus dan sisa ayakan diperoleh, maka dilakukan analisis sesuai dengan standar yang digunakan. Standar yang digunakan antara lain:

- a. ASTM C 35 – 37, disyaratkan standar modulus halus (fitness modulus) agregat halus berkisar antara 2,3 – 3,1.
- b. SK SNI T-15 1990-03, gradasi pasir dibedakan menjadi 4 zona, yaitu : Zona 1 < pasir kasar>, Zona 2 < pasir agak kasar>, Zona 3 < pasir agak halus>, Zona 4 < pasir halus>.

### 3.3.2 Analisa Berat Jenis dan penyerapan Agregat

Berat jenis (Specific Gravity) adalah perbandingan antara berat kering udara dengan berat air yang berat volumenya sama dengan volume sample pada suhu atau temperature yang sama. Bahan yang digunakan adalah pasir 500 gr dan bottom ash sebanyak 250 gr yang telah lolos saringan no.

4. Untuk mendapatkan Specific Gravity pasir dan bottom ash adalah dengan cara memasukkan pasir dan bottom ash dalam kondisi SSD

(Saturated Surface Dry) ke dalam piknometer. Untuk mengetahui apakah pasir dan bottom ash dalam kondisi SSD, dapat dilakukan percobaan dengan memasukkan pasir dan bottom ash ke dalam cetakan khusus atau saturated dry sand conical mould yang ditumbuk dengan tongkat sebanyak 25 kali pukulan.

Jika cetakan diangkat, bentuk pasir ataupun bottom ash berubah dan ketinggian bahan menurun sepertiganya, maka bahan tersebut dalam kondisi SSD. Kemudian piknometer dikocok sampai isinya tercampur rata dan rongga udaranya hilang. Volume bahan diukur setelah ditambahkan air sebanyak 500 cc lagi. Kemudian bahan dikeringkan dan setelah itu berat piknometer dan bahannya ditimbang.

Penyerapan air pada agregat halus adalah banyaknya air dalam bahan itu. Untuk standart penyerapan agregat halus khususnya pasir adalah lebih kecil dari 3,1 %.

Adapun maksud dan tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan penyerapan air pada agregat halus dan untuk mengetahui kondisi pasir apakah dapat dipakai sebagai campuran beton atau tidak, sesuai dengan syarat-syarat atau standart yang terdapat dalam ASTM 128-77.

Peralatan yang digunakan adalah:

1. Timbangan yang mempunyai kapasitas lebih dari 1 kg dengan ketelitian 0,1 gram
2. Piknometer kapasitas 500 ml
3. Kerucut terpancung diameter atas (40+3) mm, diameter bawah (90+3) mm dan tinggi (75+3) mm dibuat dari logam dengan tebal 0.8 mm.
4. Batang penumbuk dengan bidang penumbuk rata, berat (340+15) gram dan diameter (25+3) mm
5. Saringan no. 4 (4,475 mm)
6. Oven pengatur suhu kapasitas (110+5) °C
7. Desikator

Pelaksanaan yang lebih rinci dari analisa ini adalah sebagai berikut :

1. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu  $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$  sampai beratnya tetap. Dinginkan pada suhu ruang lalu rendam dalam air selama  $(24\pm 4)$  jam.
2. Buang air perendam lalu tebarkan agregat di atas talam, keringkan di udara dengan cara membalik-balikkan benda uji. Lakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh (ssd).
3. Periksa SSD dengan mengisi benda uji ke dalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali lalu angkat kerucut. Keadaan SSD tercapai bila benda uji runtuh tetapi masih dalam keadaan tercetak.
4. Setelah SSD lalu masukkan 500 gram benda uji ke dalam piknometer, masukkan air suling sampai 90% isi piknometer putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.
5. Rendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian hitungan pada suhu standart  $25^{\circ}\text{C}$ .
6. Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
7. Timbang piknometer berisi air dan benda uji sampai dengan ketelitian  $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap, lalu dinginkan dengan ketelitian 0,1 gr (Bt).
8. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu  $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap, lalu dinginkan dengan benda uji dalam desikator setelah dingin lalu ditimbang (Bk).
9. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standart  $25^{\circ}\text{C}$  (B).

Dari percobaan diatas diperoleh hasil dengan data sebagai berikut dari pasir dan bottom ash.

**Tabel 3–1 Data Analisa BJ dan Penyerapan pada Agregat Halus**

No.Contoh	BtA
Berat benda Uji Kering permukaan jenuh	Ba gr
Berat benda Uji Kering Oven	Bk gr
Berat Piknometer Diisi Air	B gr
Berat Piknometer+Benda Uji SSD+Air pada suhu kamar	Bt gr

No.Contoh		BtA
Berat jenis curah	$Bk / (B+ Ba-Bt)$	
Berat jenis Kering permukaan Jenuh	$Ba / (B+ Ba-Bt)$	
Berat jenis Semu	$Bk / (B+Bk-Bt)$	
Penyerapan	$((Ba-Bk) / Bk) \times 100\%$	

Bk = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

Ba = berat benda uji dalam keadaan SSD (gram)

Setelah dihitung, akan dibandingkan apakah agregat halus tersebut memiliki berat jenis kering permukaan jenuh (Bulk Specific Gravity) yang memenuhi standar dibawah ini :

a. AM.Neville “PROPERTIES OF CONCRETE”

Bulk Specific Gravity (berat jenis kering permukaan jenuh) berkisar antara 2,50 – 3,00.

b. SKSNI T-15 1990-03

Pada Bab IV Pengerjaan Perencanaan Campuran Beton penyerapan air agregat halus untuk pasir (halus tidak pecah) < 3.10 %, dan pasir (kasar tidak pecah) < 4.20 %.

### 3.3.3 Analisa Berat Volume Agregat Halus

Berat isi agregat adalah perbandingan antara berat agregat dengan volume alat ukur. *Unit Weight* atau berat isi diperoleh dengan memasukkan agregat dalam keadaan SSD ke dalam alat pengukur yang telah diketahui volumenya, sehingga berat agregat dapat diketahui.

Jika agregat yang dimasukkan ke dalam ember didapatkan sebanyak 25 kali dengan tongkat tusuk, maka ini dinamakan Rodding. Dan jika agregat dimasukkan langsung dalam ember tanpa efek pemadatan, maka metode ini dinamakan Shovelling. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui berat volume atau berat isi agregat halus. Analisa ini digunakan pada agregat halus yaitu pasir dan bottom ash, adapun peralatan yang digunakan pada

analisa ini antara lain timbangan kapasitas lebih dari 1 kg dengan ketelitian 0,1 gram ; tongkat tusuk panjang baja kurang lebih 600 mm dan diameter tongkat 16 mm ; kotak takar atau ember takar.

Pelaksanaan analisa ini dapat diurutkan seperti langkah-langkah dibawah ini:

- a. Agregat SSD direndam selama 24 jam lalu permukaannya disapu dengan lap basah.
- b. Timbang kotak takar kosong
- c. Timbang kotak takar berisi air penuh
- d. Isi masing-masing kotak takar dengan benda uji dalam 3 lapisan sama dengan dilakukan penumbukan sebanyak 25 kali disetiap lapisan. Cara ini disebut dengan cara *Rodding*.
- e. Ratakan muka bahannya dengan tangan atau mistar
- f. Timbang kotak takar dan isi lagi dengan benda uji
- g. Kosongkan kotak takar dan isi lagi dengan benda uji yang dimasukkan dengan singkup dan tinggi tidak lebih dari 5 cm (2") di atas kotak takar. Cara ini disebut *Shovelling*.
- h. Ratakan muka benda ujiannya dengan tangan atau mistar
- i. Timbang kotak takar yang berisi benda uji

Setelah didapatkan data-data yang diperlukan dihitung berat isi agregat halus baik dengan cara *Shovelling* ataupun *Rodding* lalu bandingkan cara manakah yang lebih besar dan lebih sesuai digunakan dilapangan.

### 3.3.4 Analisa Kadar Air Agregat Halus

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dengan berat kering agregat yang dinyatakan dalam prosentase. Kadar air agregat sangat menentukan mutu beton yang akan dihasilkan. Pada analisa agregat ini diperlukan beberapa peralatan antara lain :

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat benda uji
- b. Oven pengatur suhu kapasitas  $(110 \pm 5) ^\circ \text{C}$
- c. Talam

Pelaksanaan analisa ini adalah :

- Bahan ditimbang seberat 100 gram pasir dan 500 gram kerikil dimasukkan ke dalam oven dengan suhu  $110^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap.
- Keluarkan dari oven lalu didinginkan dan menggunakan alat pemisah untuk mendapatkan benda uji yang acak.
- Pasir ditimbang untuk benda uji masing-masing 100 gram, dan kerikil ditimbang untuk benda uji masing-masing 500 gram.
- Bahan yang tertinggal di atas masing-masing ayakan ditimbang.
- Data yang didapatkan dicatat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 3–2 Data Analisa kadar Air pada Agregat Halus**

Nomor Talam		1.2	2.2
1. Berat talam + Contoh Basah	gr		
2. Berat Talam + Contoh Kering	gr		
3. Berat Air = 1 - 2	gr		
4. Berat talam	gr		
5. Berat Contoh Kering	gr		
6. Kadar Air = $(3 / 5) \times 100\%$	%		
7. Kadar air rata-rata	%		

Setelah didapatkan kadar air agregat maka dianalisis apakah kadar air agregat memenuhi standar ASTM C33-78, bahwa kadar air agregat halus  $> 2,3\%$ .

### 3.4 Perlakuan Terhadap Bahan yang Digunakan

Perlakuan pada bahan yang digunakan hanya dilakukan pada bottom ash saja, sedangkan untuk pasir dan semen tidak perlu dilakukan perlakuan khusus. Bottom ash yang berasal dari PT. Tjiwi Kimia kita lakukan penggilingan dengan mesin giling dan diayak terlebih dahulu sehingga mendapatkan gradasi agregat yang sama dengan agregat halus yaitu pasir. Melalui proses diatas *bottom ash* yang masih berupa bongkahan siap sebagai bahan campuran dari batako pasir dan semen.

### 3.5 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menguji kuat tekan batako yang terbuat dari dengan komposisi agregat yang normal ataupun dengan penambahan *bottom ash*. Komposisi penambahan *bottom ash* dalam penelitian ini memiliki nilai yang berbeda-beda pada tiap perlakuan. Perbedaan ini dilakukan untuk mendapatkan komposisi optimal, campuran antara semen, air dan *bottom ash* sehingga dapat menghasilkan nilai kuat tekan lebih besar dibandingkan dengan benda uji yang normal. Perbandingan antara ketiga bahan tersebut dilakukan berdasarkan perbandingan berat, dimana berat rata-rata benda uji normal yaitu tanpa penambahan *bottom ash* adalah 14,6 kg dengan perbandingan berat untuk masing-masing adalah 1 (semen) : 3 (pasir) : 0,4 (air). Berikut persentase penambahan *bottom ash*, jumlah benda uji tiap perlakuan, dan tabel variasi komposisi pasir dengan *bottom ash*:

- Persentase penambahan *bottom ash* pada campuran batako masing-masing perlakuan adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 30%.
- Jumlah benda uji untuk setiap perlakuan sebanyak 5 buah benda uji sehingga jumlah keseluruhan benda uji 55 buah.

**Tabel 3-3 Variasi komposisi *Bottom Ash*-pasir**

Perlakuan	Persentase (%)	
	Bottom ash	Pasir
I	0	100
II	10	90
III	20	80
IV	30	70
V	40	60
VI	50	50
VII	60	40
VIII	70	30
IX	80	20
X	90	10
XI	100	0

Pembuatan benda uji diawali dengan menimbang berat bahan yang diperlukan sesuai dengan perhitungan perencanaan, dengan asumsi berat satu benda uji adalah 17,6 kg, karena pembuatan benda uji tidak hanya satu buah maka berat batako asli dinaikkan dengan tujuan dalam penelitian tidak terjadi kekurangan bahan. Dalam pembuatan benda uji normal (100% pasir + air + semen) masing-masing berat bahan adalah pasir 12 kg, semen 4 kg, dan air 1.6 kg, sehingga dalam penelitian ini berat air dan semen yang digunakan sama untuk berbagai variasi bottom ash hanya berat pasir yang mengalami perubahan karena sebagian diganti dengan *bottom ash* sesuai dengan persentase kadar *bottom ash*.

Perencanaan jumlah air, semen, pasir dan *bottom ash* untuk perlakuan II dengan jumlah benda uji sebanyak 5 buah dan penambahan *bottom ash* sebanyak 10% adalah sebagai berikut :

$$\text{Jumlah semen} = 4 \times 5 = 20 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah air} = 1,6 \times 5 = 8 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah pasir + } \textit{bottom ash} = 12 \times 5 = 60 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah pasir} = \frac{90}{100} \times 60 \text{ kg} = 54 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah } \textit{bottom ash} = \frac{10}{100} \times 60 \text{ kg} = 6 \text{ kg}$$

Dengan cara yang sama dilakukan pada semua perlakuan, maka didapat data kebutuhan bahan sebagai berikut :

**Tabel 3-4 Berat bahan untuk berbagai variasi kadar bottom ash**

Persentase	Semen (kg)	Pasir (kg)	Bottom Ash (kg)	Air (kg)
0%	20	60	0	8
10%	20	54	6	8
20%	20	48	12	8
30%	20	42	18	8
40%	20	36	24	8
50%	20	30	30	8
60%	20	24	36	8
70%	20	18	42	8

Persentase	Semen (kg)	Pasir (kg)	Bottom Ash (kg)	Air (kg)
80%	20	12	48	8
90%	20	6	54	8
100%	20	0	60	8

Sumber : hasil perhitungan

Setelah penimbangan bahan kemudian dilakukan pencampuran. Proses pencampuran dilakukan dalam keadaan kering agar antara pasir, semen dan *bottom ash* dapat tercampur secara merata. Pencampuran dilakukan dengan menggunakan *molen*. Setelah bahan tercampur secara merata kemudian ditambahkan air dengan tujuan pasir, semen dan *bottom ash* yang awalnya dalam keadaan kering dapat saling mengikat sehingga mudah dicetak dan kemudian didiamkan beberapa saat agar air terserap oleh seluruh pori-pori agregat. Selanjutnya campuran atau mortar dituang dan dilakukan pencetakan dengan cetakan batako yang terbuat dari besi dan berukuran standart yang ditentukan dalam SNI 03-6861.1-2002 yaitu 39 cm x 19 cm x 10 cm. Ketika akan dilakukan pencetakan terlebih dahulu permukaan cetakan dilapisi dengan oli supaya benda uji batako tidak menempel pada cetaknya dan mudah dilepas. Pada saat pencetakan batako dipadatkan dengan palu dari kayu yang berfungsi sebagai alat tumbuk. Seluruh permukaan batako ditumbuk dengan tujuan agar batako tersebut padat dan semua cetakan batako terisi dengan agregat sehingga tidak ada ruang atau rongga. Setelah itu batako yang sudah tercetak dilepas dari cetaknya dan didiamkan selama 28 hari dengan dilakukan penyiraman (*curing*) setiap hari.

### 3.6 Variabel Penelitian

Variabel yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah variabel bebas dan variabel tak bebas.

1. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang perubahannya bebas ditentukan peneliti. Dalam penelitian ini, yang merupakan variabel bebas adalah variasi persentase penambahan *bottom ash* pada agregat halus batako.

2. Variabel tak bebas (*dependent variable*)

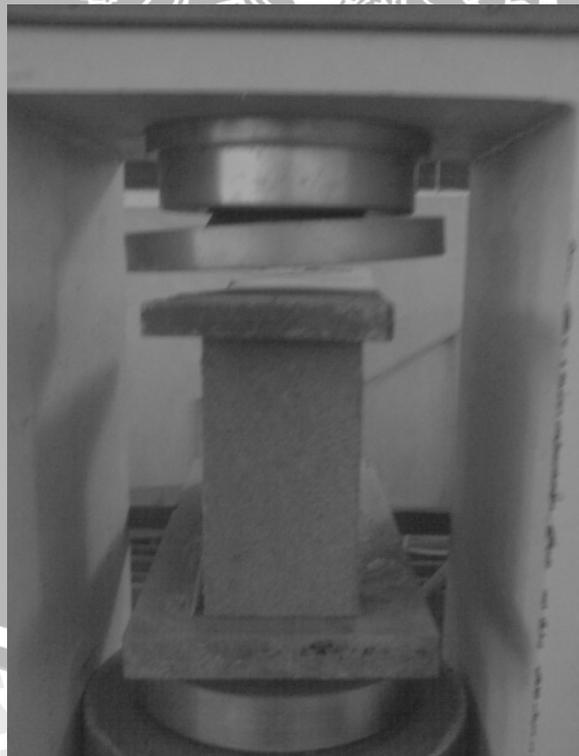
Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel bebas. Dalam penelitian ini, yang merupakan variabel tak bebas adalah hasil uji tekan.

### 3.7 Metode Pengambilan Data

#### 3.7.1 Kuat Tekan Batako

Pengujian kuat tekan batako dilakukan menurut SNI 03-0349-1889 yang menyebutkan bahwa arah tekanan disesuaikan dengan arah tekanan beban didalam pemakaian. Pada pemakaiannya batako pejal dengan ukuran  $40 \times 20 \times 10 \text{ cm}^3$  digunakan sebagai dinding pemikul atau dinding pengisi dengan tebal 10 cm (R. Soegihardjo dan Pr. Soediby, 1977 : 64) .

Pengujian dilakukan pada 5 buah benda uji yang diambil secara acak. Kecepatan penekanan dari mulai pemberian beban sampai benda uji hancur tidak kurang dari 1 menit dan tidak lebih dari 2 menit.



Gambar 3.1 Posisi batako saat diuji tekan

Setelah itu dilakukan pembacaan pada jarum penunjuk nilai kuat tekan hingga benda uji hancur atau retak dan jarum sudah dalam keadaan diam atau turun. Besarnya beban yang mampu ditahan oleh benda uji akan dicatat.

**3.7.2 Berat Batako**

Lima buah batako utuh yang diambil secara acak dari jumlah contoh, masing masing ditimbang beratnya dengan ketelitian sampai 10 gram. Penimbangan dilakukan dalam ruang pengujian dan hasil penimbangan dihitung rata-rata.

**3.8 Analisis Kuat Tekan Batako**

Untuk mengetahui kuat tekan batako pada benda uji yang menggunakan agregat halus berupa *bottom ash* dan kuat tekan batako yang menggunakan agregat halus berupa pasir atau batako normal maka perlu dilakukan pengamatan dan analisis sebagai berikut:

1. Setiap benda uji dari masing-masing kelompok diuji tekan dengan menggunakan mesin uji tekan atau *compression testing machine*. Untuk mengetahui besarnya kuat tekan yang dimiliki oleh masing-masing benda uji hingga benda uji tersebut hancur. Misalkan batako dari masing-masing benda uji hancur pada saat kuat tekannya sebesar P kg.

2. Perhitungan kuat tekan batako ( $\delta^2_{bi}$ )

$$\delta^2_{bi} = \frac{P}{A} \text{ kg / cm}^2 \dots\dots\dots (3.1)$$

A = Luas permukaan penampang benda uji

3. Menentukan presentase reduksi berat dan kuat tekan batako kelompok A terhadap kelompok B.

4. Perhitungan kuat tekan batako rata-rata ( $\delta^2_{bm}$ )

$$\delta^2_{bm} = \frac{\sum_1^N \delta^2_{bi}}{N} \text{ kg / cm}^2 \dots\dots\dots (3.2)$$

N = Jumlah benda uji

5. Menghitung standar deviasi (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^N (\delta'_{bi} - \delta'_{bm})^2}{N-1}} \text{ kg / cm}^2 \dots\dots\dots (3.3)$$

6. Menghitung kuat tekan batako karakteristik ( $\delta'_{bk}$ ) dengan jumlah sampel  $\geq 20$  buah.

$$\delta'_{bk} = \delta'_{bm} - 1.64 S \text{ (kg / cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (3.4)$$

**3.9 Analisis Data Penelitian**

Untuk mengetahui adanya pengaruh variasi penambahan *bottom ash* terhadap kuat tekan batako, maka perlu diadakan uji hipotesis penelitian. Analisa hipotesis ini dilakukan dengan analisa varian satu arah dimana secara statistik dapat dijelaskan sebagai berikut :

- 1.  $H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = 0$
- 2.  $H_1 : \tau_1 \neq \tau_2 \neq \tau_3 \neq \tau_4 \neq \tau_5 \neq \tau_6 \neq 0$

Dimana :

- $\tau_1$  : Pengaruh perlakuan ke -i
- $H_0$  : Tidak ada pengaruh penggunaan *bottom ash*
- $H_1$  : Ada pengaruh penggunaan *bottom ash*

**Tabel 3 – 5 Analisa Keragaman**

SK	db	JK	KT	F Hitung	F Tabel
PerlakuanGalat	t-1	JKP	$\frac{JKP}{t-1}$		
	t(r-1)	JKG	$\frac{JKS}{t(r-1)}$		
Total	rt-1	JKT			

Keterangan :

- SK : Sumber Keragaman
- JKP : Jumlah Kuadrat Perlakuan

JKG : Jumlah Kuadrat Galat  
 JKT : Jumlah Kuadrat Total  
 KTP : Kuadrat Tengah Perlakuan  
 t : Total banyaknya perlakuan  
 r : total banyaknya ulangan  
 n : Total banyaknya pengamatan

$$\text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{Y^2}{rt} = \frac{\left(\sum_{i,j} Y_{ij}\right)^2}{rt}$$

$$\text{JK total (JKT)} = \sum_{i,j} Y_{ij}^2 - FK$$

$$\text{JK Perlakuan (JKP)} = \frac{Y_1^2 + \dots + Y_r^2}{r} - FK$$

$$= \sum \frac{(\text{total perlakuan})^2}{r} - FK$$

$$\text{JK Galat (JKG)} = \text{JK Total} - \text{JK Perlakuan}$$

$$\text{KT Perlakuan (KTP)} = \frac{\text{JK Perlakuan}}{t-1}$$

$$\text{KT Galat (KTG)} = \frac{\text{JK Galat}}{t(r-1)}$$

F Hitung  $\geq$  F Tabel, maka tolak  $H_0$

F Hitung  $<$  F Tabel, maka terima  $H_0$

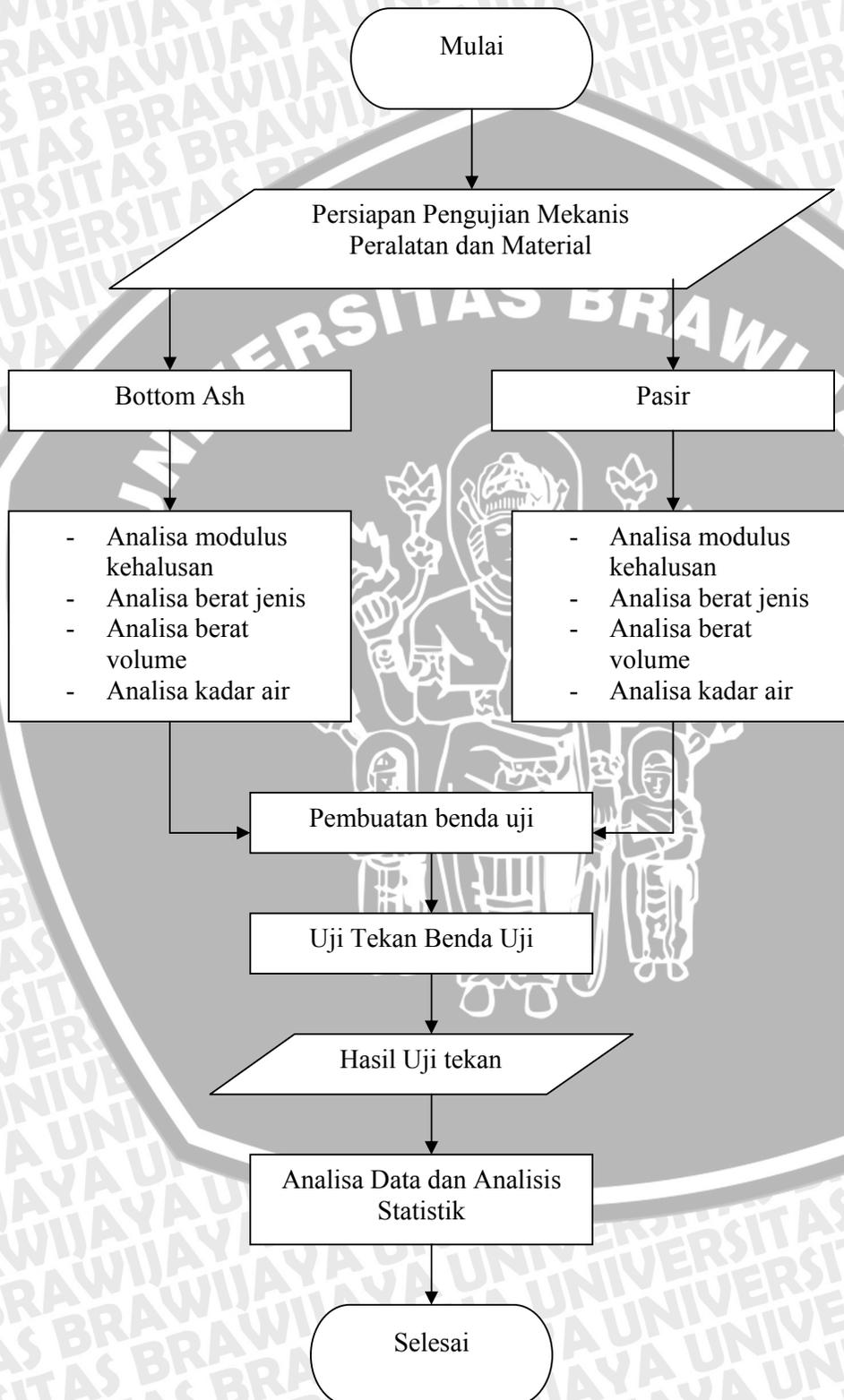
Untuk mengetahui sampai seberapa jauh ketepatan atau kecocokan garis regresi yang terbentuk dalam mewakili kelompok data hasil penelitian, maka perlu dilihat sampai seberapa jauh model yang terbentuk dapat menerangkan kondisi sebenarnya. Dalam analisa regresi dikenal suatu ukuran yang dapat dipergunakan untuk keperluan tersebut, yang dikenal dengan nama koefisien determinasi ( $R^2$ ). Adapun kegunaan koefisien determinasi adalah :

1. Sebagai ukuran ketepatan/kecocokan garis regresi yang dibuat dari hasil pendugaan terhadap sekelompok data hasil penelitian. Makin besar nilai  $R^2$ , semakin bagus garis regresi yang terbentuk. Sebaliknya, makin kecil nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) makin tidak tepat garis regresi tersebut mewakili data hasil penelitian.

2. Untuk mengukur proporsi (persentase) dari jumlah ragam Y yang diterangkan oleh model regresi atau untuk mengukur besar sumbangan dari peubah penjelas X terhadap ragam peubah respon Y.



### 3.10 Diagram Alir Penelitian



## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

#### 4.1.1 Analisa Gradasi Agregat halus

##### a. *Bottom Ash*

Dari hasil analisa didapatkan bahwa modulus kehalusan *bottom ash* sebesar 3,18 dengan persentase jumlah tertahan yang paling tinggi pada saringan no. 50 ( 0,3 mm). Menurut ASTM C 35-37 standar modulus lembut agregat halus adalah 2,3 – 3,1, karena dalam perhitungan modulus kehalusan *bottom ash* sebesar 3,18 maka gradasi agregat ini tidak termasuk dalam standar ASTM C 35-37 maka agregat tersebut agak kasar.

Jika berdasarkan SK SNI T-15 1990-03 gradasi agregat diatas digolongkan dalam zona 3 untuk jenis pasir agak halus.

Data uji saringan dan ayakan tercantum seperti dibawah ini:

**Tabel 4 – 1 Data analisa gradasi pada *Bottom Ash*.**

Lubang Saringan		<i>Bottom Ash</i>			
		Tertinggal		Komulatif	
no.	mm	Gram	%	Tertinggal %	Lolos %
3 "	76,2	-	-	-	-
2.5"	63,5	-	-	-	-
2"	50,8	-	-	-	-
1.5"	38,1	-	-	-	-
1"	25,4	-	-	-	-
3/4"	19,1	-	-	-	-
1/2"	12,7	-	-	-	-
3/8"	9,5	-	-	-	100
4	4,76	2,1	0,424	0,424	99,574
8	2,38	4,5	0,906	1,332	98,667
16	1,19	26,7	5,388	6,72	93,278
30	0,59	138,3	27,911	34,631	65,367
50	0,297	225,6	45,529	80,16	19,339
100	0,149	76,8	15,499	95,659	4,339

Lubang Saringan		Bottom Ash			
		Tertinggal		Komulatif	
200	0,075	21,5	4,339	100	0
pan		0,6	0,004	0	0
		496,1	100	318.926	

Sumber : Hasil penelitian

Dengan kehilangan berat agregat = ( 500 – 496,1) gr = 3,9 gr

$$\text{Modulus halus bottom ash} = \frac{318,926}{100} = 3,189$$

b. Pasir

Dari hasil analisa didapatkan bahwa modulus kehalusan Pasir sebesar 4,0069 dengan persentase jumlah tertahan yang paling tinggi pada saringan no. 30 ( 0,59 mm). Menurut ASTM C 35-37 standar modulus lembut agregat halus adalah 2,3 – 3,1, karena dalam perhitungan modulus kehalusan pasir sebesar 4,0069 maka gradasi agregat ini tidak termasuk dalam standar ASTM C 35-37 maka agregat tersebut agak kasar.

Jika berdasarkan SK SNI T-15 1990-03 gradasi agregat diatas digolongkan dalam zona 3 untuk jenis pasir agak halus.

Data uji saringan dan ayakan tercantum seperti dibawah ini:

Tabel 4 –2 Data Analisa Gradasi pada Pasir

Lubang Saringan		Pasir			
		Tertinggal		Komulatif	
no.	mm	Gram	%	Tertinggal %	Lolos %
3 "	76,2	-	-	-	-
2.5"	63,5	-	-	-	-
2"	50,8	-	-	-	-
1.5"	38,1	-	-	-	-
1"	25,4	-	-	-	-
3/4"	19,1	-	-	-	-
1/2"	12,7	-	-	-	-
3/8"	9,5	-	-	-	100

Lubang Saringan		Pasir			
		Tertinggal		Kumulatif	
4	4,76	34,2	3,45	3,55	96,45
8	2,38	103	10,38	13,83	88,43
16	1,19	206,8	20,84	34,67	70,65
30	0,59	299,2	30,16	64,83	45,28
50	0,297	228,8	23,06	87,89	17,13
100	0,149	79,8	8,04	95,93	6,62
200	0,075	40,4	4,07	100	0
pan		7	0	0	0
		999,2	100	400,7	

Sumber : Hasil penelitian

Kehilangan ( angka koreksi ) = 1000 gram – 999 gram = 0,8 gram

$$\text{Modulus halus pasir} = \frac{400,69}{100} = 4,0069$$

#### 4.1.2 Analisa Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Dari analisa berat jenis dan penyerapan agregat yang dilakukan pada masing-masing agregat halus yaitu *bottom ash* dan pasir didapatkan data sebagai berikut :

##### a. *Bottom Ash*

Tabel 4 –3 Data Analisa BJ dan Penyerapan pada *Bottom Ash*

No.Contoh		BtA
Berat benda Uji Kering permukaan jenuh	250 gr	250
Berat benda Uji Kering Oven	Bk gr	229
Berat Piknometer Diisi Air	B gr	1121,2
Berat Piknometer+Benda Uji SSD+Air pada suhu kamar	Bt gr	1237,6

No.Contoh		BtA
Berat jenis curah ( <i>Bulk Specific of Gravity</i> )	$Bk / (B+250-Bt)$	1,714
Berat jenis Kering permukaan Jenuh ( <i>Bulk Specific of Gravity Saturated Surface Dry</i> )	$250 / (B+250-Bt)$	1,871

No.Contoh		BtA
Berat jenis Semu ( <i>Apparent Specific Gravity</i> )	$Bk / (B+Bk-Bt)$	2,033
Penyerapan ( <i>Absorbtion</i> )	$((250-Bk) / Bk) \times 100\%$	9,10

Sumber : Hasil penelitian

- Bk = berat benda uji kering oven (gram)
- B = berat piknometer berisi air (gram)
- Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)
- 500 = berat benda uji dalam keadaan SSD (gram)

Dari data dan perhitungan rumus diatas didapatkan hasil analisa sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan berat jenis agregat halus, dapat disimpulkan bahwa contoh agregat tidak memenuhi syarat A.M. Neville (ACI) "PROPERTIES OF CONCRETE" karena berat jenis kering permukaan jenuh agregat sebesar 1,8, berat jenis kering permukaan jenuh agregat kurang dan tidak berada diantara 2,50 – 3,00.
2. Sedangkan penyerapan agregat tidak memenuhi syarat SK SNI T-15 1990-03 pada Bab IV Pengerjaan Perencanaan Campuran Beton, karena presentase penyerapan agregatnya adalah 9,1% > 4,20 %.
3. Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa bottom ash memiliki penyerapan air yang tinggi sehingga jika digunakan dalam pembuatan campuran mortar beton membutuhkan campuran dan kadar air yang tinggi, dalam pembuatan campura bisa menggunakan kadar air sebanyak dua kali lipat penggunaan air dari penggunaan pasir biasa dalam pembuatan mortar beton. Hal ini dikarenakan bottom ash memiliki permukaan yang sangat berpori sehingga sangat dimungkinkan peyerapan air yang dilakukan juga semakin tinggi.

b. Pasir

Tabel 4 –4 Data Analisa BJ dan Penyerapan pada Pasir

No. Contoh		Pasir
Berat benda uji kering permukaan jenuh	500 (gr)	500,0
Berat benda uji kering oven	Bk (gr)	493,7

No. Contoh		Pasir
Berat piknimeter diisi air	B (gr)	620,2
Berat piknometer + benda uji (SSD) + air pada (suhu kamar)	Bt (gr)	929

No. Contoh		Pasir
Berat jenis curah (Bulk Specific of Gravity)	$Bk / (B+500-Bt)$	2,5821
Berat jenis kering permukaan jenuh (Bulk Specific of Gravity Saturated Surface Dry)	$500 / (B+500-Bt)$	2,6151
Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)	$Bk / (B+Bk-Bt)$	2,6701
Penyerapan (%) (Absorbtion)	$(500-Bk)/Bk *$ 100%	1,276

Sumber : Hasil penelitian

- Bk = berat benda uji kering oven (gram)
- B = berat piknometer berisi air (gram)
- Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)
- 500 = berat benda uji dalam keadaan SSD (gram)

Dari data dan perhitungan rumus diatas didapatkan hasil analisa sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan berat jenis agregat halus, dapat disimpulkan bahwa contoh agregat memenuhi syarat A.M. Neville (ACI) "PROPERTIES OF CONCRETE" karena berat jenis kering permukaan jenuh agregat sebesar 2,6151, karena berat jenis kering permukaan jenuh agregat berada diantara 2,50 – 3,00
2. Sedangkan penyerapan agregat memenuhi syarat SK SNI T-15 1990-03 pada Bab IV Pengerjaan Perencanaan Campuran Beton, karena presentase penyerapan agregat halus sebesar  $1,276\% < 4,20\%$ .
3. Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa pasir yang digunakan memiliki penyerapan air yang normal sehingga jika digunakan dalam pembuatan campuran mortar beton tidak membutuhkan campuran dan kadar air yang tinggi, dalam pembuatan campuran.

### 4.1.3 Analisa Berat Volume Agregat Halus

Analisa berat isi agregat halus ini dilakukan ketika agregat halus dalam keadaan SSD, dan dari percobaan yang dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut:

a. **Bottom Ash**

Perhitungan berat isi agregat halus

$$\begin{aligned} \text{Berat air} &= (\text{berat takaran} + \text{air}) - \text{berat takaran} \\ &= 3074 - 1050,8 = 2023,2 \text{ gr} \end{aligned}$$

Cara shoveled :

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat halus} &= (\text{berat takaran} + \text{bahan}) - \text{berat takaran} \\ &= 2442 - 1050,8 = 1397,2 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat isi agregat halus } (\gamma) &= \frac{\text{berat benda uji}}{\text{volume air}} \\ &= \frac{1397,2}{2032,2} = 0,68 \text{ gr / cm}^3 \end{aligned}$$

Cara Rodded :

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat halus} &= (\text{berat takaran} + \text{bahan}) - \text{berat takaran} \\ &= 2530 - 1050,8 = 1479,2 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat isi agregat halus } (\gamma) &= \frac{\text{berat benda uji}}{\text{volume air}} \\ &= \frac{1479,2}{2032,2} = 0,73 \text{ gr / cm}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan diatas didapatkan dari data dibawah ini :

**Tabel 4 –5 Data Analisa Berat Isi pada Bottom Ash**

Berat Takaran	1050,8 gr
Cara Shovel	
Berat Takaran + Bahan	2442 gr
Cara Rodden	
Berat Takaran + Bahan	2530 gr
Berat Takaran + Air	3074 gr

Sumber : Hasil penelitian

b. Pasir

$$\text{Berat air} = (\text{berat takaran} + \text{air}) - \text{berat takaran}$$

$$= 3068 - 1062 = 2006 \text{ gr}$$

Cara shoveled :

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat halus} &= (\text{berat takaran} + \text{bahan}) - \text{berat takaran} \\ &= 4130 - 1060 = 3068 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat isi agregat halus } (\gamma) &= \frac{\text{berat benda uji}}{\text{volume air}} \\ &= \frac{3068}{2006} = 1,529 \text{ gr / cm}^3 \end{aligned}$$

Cara Rodded :

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat halus} &= (\text{berat takaran} + \text{bahan}) - \text{berat takaran} \\ &= 4390 - 1062 = 3328 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat isi agregat halus } (\gamma) &= \frac{\text{berat benda uji}}{\text{volume air}} \\ &= \frac{3328}{2006} = 1,659 \text{ gr / cm}^3 \end{aligned}$$

**Tabel 4 –6 Data Analisa Berat Isi pada Pasir**

Berat Takaran	1062 gr
Cara Shovel	
Berat Takaran + Bahan	4130 gr
Cara Rodden	
Berat Takaran + Bahan	4390 gr
Berat Takaran + Air	3068 gr

Sumber : Hasil penelitian

Dari perhitungan kedua jenis agregat halus diketahui bahwa berat isi dengan menggunakan cara *Rodding* lebih besar daripada cara *Shovelling*, karena usaha pemadatan dengan adanya tusukan-tusukan pada cara *Rodding*. Dengan adanya tusukan-tusukan tersebut maka isi menjadi lebih padat sehingga berat jenis menjadi lebih besar. Selain itu, berat isi juga dipengaruhi oleh gradasi butiran. Bentuk butiran agregat yang bulat mengakibatkan gesekan kecil, sehingga berat isi menjadi lebih besar, sedangkan butiran agregat yang pecah-pecah mempunyai berat isi yang kecil.

#### 4.1.4 Analisa Kadar Air Agregat Halus

Dari percobaan analisa kadar air agregat halus didapatkan hasil percobaan sebagai berikut :

a. *Bottom ash*

**Tabel 4–7 Data Analisa kadar Air pada *Bottom Ash***

Nomor Talam		1.2	2.2
1. Berat talam + Contoh Basah	gr	82	95,6
2. Berat Talam + Contoh Kering	gr	68,5	78,5
3. Berat Air = 1 - 2	gr	13,5	17,1
4. Berat talam	gr	35	35
5. Berat Contoh Kering	gr	33,5	43,5
6. Kadar Air = $(3 / 5) \times 100\%$	%	40,3	39,3
7. Kadar air rata-rata	%	39,8	

*Sumber : Hasil penelitian*

b. Pasir

**Tabel 4–8 Data Analisa Berat Isi pada Pasir**

Nomor Talam		1.1	2.1
1. Berat talam + Contoh Basah	gr	121,7	122,7
2. Berat Talam + Contoh Kering	gr	111,5	111,9
3. Berat Air = 1 - 2	gr	10,2	10,8
4. Berat talam	gr	33,1	31
5. Berat Contoh Kering	gr	78,4	80,9
6. Kadar Air = $(3 / 5) \times 100\%$	%	13,1	13,35
7. Kadar air rata-rata	%	13,18	

*Sumber : Hasil penelitian*

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa kadar air agregat halus baik pada bottom ash maupun pada pasir memenuhi standar ASTM C33-78 . kadar air *bottom ash* 39,8 % > 2,3% dan kadar air pasir 13,18% > 2,3%.

Sehingga kadar air yang terkandung pada agregat halus baik bottom ash maupun pasir dapat digunakan untuk pembuatan campuran mortar beton.

## 4.2 Pengujian Batako

Pada penelitian kali ini, pengujian dilakukan terhadap sifat fisis dan mekanik dari batako. Pengujian terhadap sifat fisik anatara lain pengujian tampak luar, dan pengujian berat. Sedangkan pengujian terhadap sifat mekanik dengan cara melakukan pengujian kekuatan tekan.

### 4.2.1 Pengujian Sifat Mekanik

#### 4.2.1.1 Pengujian Kuat Tekan Batako

Pengujian kuat tekan benda uji batako dilakukan di Laboratorium Universitas Brawijaya. Pengujian kuat tekan ini dilakukan menggunakan *Commprasion Testing Mechine*. Uji kuat tekan dilakukan dengan meletakkan benda uji tersebut secara horizontal dan diberi tekanan hingga benda uji tersebut hancur. Kemudian dilakukan pembacaan besarnya beban yang menyebabkan benda uji tersebut hancur. Dari pengujian kuat tekan didapatkan data yang dicantumkan dalam tabel berikut :

**Tabel 4 -9 Data Pengujian Kuat Tekan Dengan Komposisi BA 0%**

Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Beban Hancur (kg)
1.1	10	19,5	39	53000
1.2	10	19,2	39	42000
1.3	9,9	19,2	39	39000
1.4	10	19	39	46000
1.5	10	19,3	39	52000

Sumber : Hasil Penelitian

**Tabel 4 -10 Data Pengujian Kuat Tekan Dengan Komposisi BA 10%**

Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Beban Hancur (kg)
2.1	10	19,2	39	41000
2.2	10	19	39	41000
2.3	9,8	19,5	39,1	58000
2.4	9,7	19,3	38,9	51000
2.5	9,8	19,5	39	37000

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4 -11 Data Pengujian Kuat Tekan Dengan Komposisi BA 20%

Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Beban Hancur (kg)
3.1	10	19,2	39	16000
3.2	10	19,2	39	22000
3.3	9,7	19,3	39	34000
3.4	9,8	19	39	25000
3.5	9,8	19	39	38000

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4 -12 Data Pengujian Kuat Tekan Dengan Komposisi BA 30%

Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Beban Hancur (kg)
4.1	9,8	19	39	48000
4.2	9,7	19	39	14000
4.3	9,9	19	39	21000
4.4	9,9	19	38,6	6000
4.5	9,8	19	38,8	16000

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4 -13 Data Pengujian Kuat Tekan Dengan Komposisi BA 40%

Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Beban Hancur (kg)
5.1	9,8	19	39	23000
5.2	9,9	19	39	26000
5.3	9,9	18,9	39	17000
5.4	10	19,2	39	20000
5.5	10	19	39	18000

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4 -14 Data Pengujian Kuat Tekan Dengan Komposisi BA 50%

Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Beban Hancur (kg)
6.1	9,8	19	38,9	19000
6.2	9,8	19	38,9	16000
6.3	9,8	19	38,9	19000
6.4	10	19	38,9	20000

Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Beban Hancur (kg)
6.5	9,8	19	39	15000

Sumber : Hasil Penelitian

**Tabel 4 -15 Data Pengujian Kuat Tekan Dengan Komposisi BA 60%**

Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Beban Hancur (kg)
7.1	10	19	39	13000
7.2	10,1	19	39	12000
7.3	9,9	19	39	15000
7.4	9,8	19	38,9	29000
7.5	9,7	19	39	19000

Sumber : Hasil Penelitian

**Tabel 4 -16 Data Pengujian Kuat Tekan Dengan Komposisi BA 70%**

Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Beban Hancur (kg)
8.1	9,7	19	39	14000
8.2	9,8	19	39	14000
8.3	9,7	19	39	20000
8.4	9,9	19	39	20000
8.5	9,9	19	39	18000

Sumber : Hasil Penelitian

**Tabel 4 -17 Data Pengujian Kuat Tekan Dengan Komposisi BA 80%**

Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Beban Hancur (kg)
9.1	9,9	19	39	20000
9.2	9,8	19	39	19000
9.3	9,7	19	39	16000
9.4	9,8	19	39	15000
9.5	9,8	19	39	12000

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4 -18 Data Pengujian Kuat Tekan Dengan Komposisi BA 90%

Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Beban Hancur (kg)
10.1	9,8	19	39	14000
10.2	9,7	19	39	19500
10.3	9,9	19	39	13500
10.4	10	19	39	13000
10.5	10	19	39	11000

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4 -19 Data Pengujian Kuat Tekan Dengan Komposisi BA 100%

Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Beban Hancur (kg)
11.1	10	19	39	13000
11.2	10	19	39	9000
11.3	10	19	39	16000
11.4	9,9	19	39	14000
11.5	10	19	39	14000

Sumber : Hasil Penelitian

Dari data hasil uji tekan diatas akan dilakukan penghitungan besarnya kuat tekan yang dimiliki oleh masing-masing benda uji dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$\delta'_{bi} = \frac{P}{A} \text{ kg / cm}^2 \dots\dots\dots (4.1)$$

A = Luas permukaan benda yang diuji (cm<sup>2</sup>)

P = Beban Hancur (kg)

Setelah mengetahui besarnya kuat tekan masing-masing benda uji, selanjutnya akan dihitung besarnya kuat tekan rata-rata pada masing-masing perlakuan. Menghitung kuat tekan rata-rata digunakan rumus sebagai berikut :

$$\delta'_{bm} = \frac{\sum \delta'_{bi}}{N} \text{ kg / cm}^2 \dots\dots\dots (4.2)$$

N = Jumlah benda uji

Sebagai contoh perhitungan kuat tekan batako pada benda uji ke-2 dari kelompok benda uji yang berkadar *bottom ash* sebesar 10 % dengan data yang diperoleh sebagai berikut :

$$P = 41000 \text{ kg}$$

$$A = 39 \times 10 = 390 \text{ cm}^2$$

$$\delta'_{bi} = \frac{41000}{390} = 105,202851 \text{ kg/cm}^2$$

Perhitungan diatas dilakukan pada semua data yang didapatkan dari hasil uji tekan pada semua benda uji. Kemudian dicari kuat tekan rata-rata dari batako yang memiliki kandungan *bottom ash* sebanyak 10 % tersebut dengan menggunakan rumus diatas. Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\delta'_{bm} = \frac{105,128 + 105,128 + 151,365 + 135,160 + 96,808}{5}$$

$$= 118,7078925 \text{ kg/cm}^2$$

Perhitungan diatas dilakukan pada semua data yang diperoleh sehingga dapat diperoleh data seperti dibawah ini :

**Tabel 4 -20 Data hasil kuat tekan dan kuat tekan rata-rata pada masing-masing perlakuan**

Sampel	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )		
	I	II	III
	0% BA + 100 %Psr	10% BA + 90 %Psr	20% BA + 80 %Psr
1	135,8974359	105,1282051	41,02564103
2	107,6923077	105,1282051	56,41025641
3	101,010101	151,3648938	89,87575998
4	117,9487179	135,1602046	65,4107797
5	133,3333333	96,80795395	99,42438514
<b>Σ</b>	595,8818959	593,5894626	352,1468222
<b>Rata-rata</b>	119,1763792	118,7178925	70,42936445

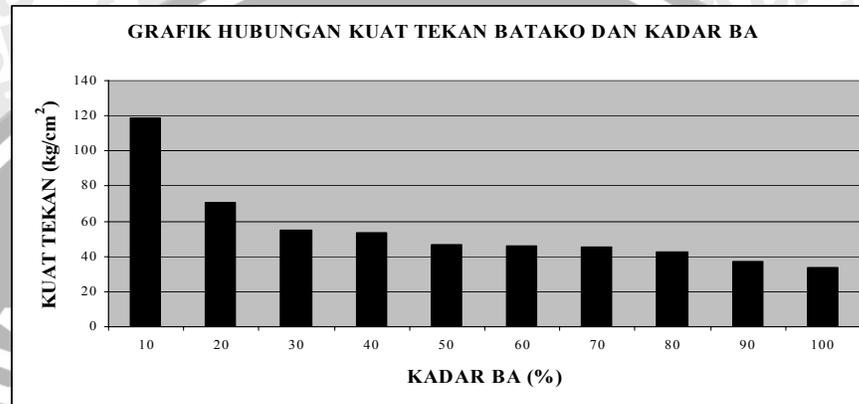
Sampel	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )		
	IV	V	VI
	30% BA + 70 %Psr	40% BA + 60 %Psr	50% BA +50 %Psr
1	125,588697	60,17791732	49,83998741
2	37,00766587	67,34006734	41,97051571
3	54,39005439	44,03004403	49,83998741
4	15,70105197	51,28205128	51,41388175
5	42,07868714	46,15384615	39,24646782
$\Sigma$	274,7661564	268,9839261	232,3108401
<b>Rata-rata</b>	54,95323128	53,79678523	46,46216802

Sampel	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )		
	VII	VIII	IX
	60% BA + 40 %Psr	70% BA + 30 %Psr	80% BA +20 %Psr
1	33,33333333	37,00766587	51,8000518
2	30,46458492	36,63003663	49,71219257
3	38,85003885	52,86809411	42,29447528
4	76,07155973	51,8000518	39,24646782
5	50,2246894	46,62004662	31,39717425
$\Sigma$	228,9442062	224,925895	214,4503617
<b>Rata-rata</b>	45,78884125	44,98517901	42,89007235

Sampel	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	
	X	XI
	90% BA + 10 %Psr	100% BA + 0 %Psr
1	36,63003663	33,33333333
2	51,54639175	23,07692308
3	34,96503497	41,02564103
4	33,33333333	36,26003626
5	28,20512821	35,8974359
$\Sigma$	184,6799249	169,5933696
<b>Rata-rata</b>	36,93598498	33,91867392

Sumber :hasil perhitungan

Dari data diatas dapat diketahui besarnya kuat tekan masing-masing benda uji dan kuat tekan rata-rata dari masing-masing kelompok benda uji yang mengalami perlakuan. Kemudian dari data diatas digambarkan grafik hubungan antara kadar bottom ash dalam batako dengan besarnya kuat tekan rata-rata pada masing-masing perlakuan, hubungan tersebut digambarkan pada gambar 4.1 seperti dibawah ini:



Gambar 4.1 Grafik hubungan kuat tekan rata-rata dengan kadar BA

#### 4.2.2 Pengujian Sifat Fisik

##### 4.2.2.1 Pengujian Berat Batako

Pengujian berat batako ini dilakukan dengan mengambil benda uji secara acak dari masing-masing kelompok perlakuan dan benda uji yang ditimbang sebanyak 5 buah dari masing-masing kelompok, sehingga secara keseluruhan atau total benda uji yang ditimbang sebanyak 55 buah. Dibawah ini adalah data hasil penimbangan benda uji dan berat rata-rata dari masing-masing kelompok perlakuan :

Tabel 4 -21 Data hasil penimbangan masing-masing benda uji dan berat rata-rata dari masing-masing perlakuan

Sampel	Berat (kg)		
	I	II	III
	0% BA + 100 %Psr	10% BA + 90 %Psr	20% BA + 80 %Psr
1	14.458	14.01	13.28
2	14.61	14.11	12.89
3	14.895	14.125	13.92

Sampel	Berat (kg)		
	I	II	III
	0% BA + 100 %Psr	10% BA + 90 %Psr	20% BA + 80 %Psr
4	15.498	13.742	13.925
5	14.462	14.225	13.69
Σ	73.923	70.212	67.705
Rata-rata	14.7846	14.0424	13.541

Sampel	Berat (kg)		
	IV	V	VI
	30% BA + 70 %Psr	40% BA + 60 %Psr	50% BA + 50 %Psr
1	13.575	12.036	10.138
2	11.658	12.104	10.248
3	12.395	11.703	10.237
4	10.527	11.735	11.231
5	11.965	11.965	10.4
Σ	60.12	59.543	52.254
Rata-rata	12.024	11.9086	10.4508

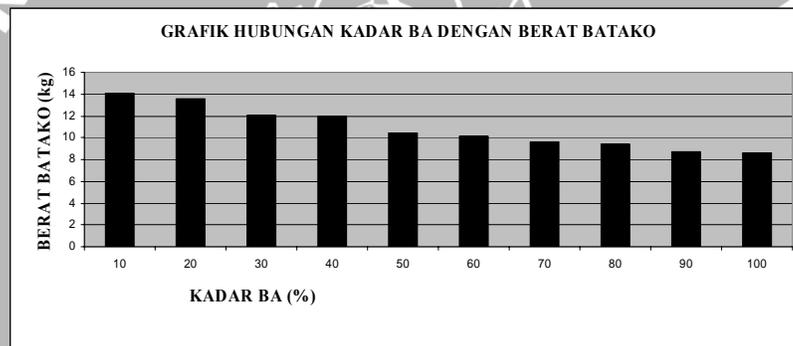
Sampel	Berat (kg)		
	VII	VIII	IX
	60% BA + 40 %Psr	70% BA + 30S %Psr	80% BA + 20 %Psr
1	10.459	9.585	9.019
2	9.83	9.843	9.07
3	10.193	9.9	9.636
4	10.284	9.528	9.482
5	9.891	9.175	9.787
Σ	50.657	48.031	46.994
Rata-rata	10.1314	9.6062	9.3988

Sampel	Berat (kg)	
	X	XI
	90% BA + 10 %Psr	100% BA + 0 %Psr
1	8.492	8.674
2	8.048	8.68

Sampel	Berat (kg)	
	X	XI
	90% BA + 10 %Psr	100% BA + 0 %Psr
3	8.788	8.628
4	9.677	8.412
5	8.67	8.7
$\Sigma$	43.675	43.094
Rata-rata	8.735	8.6188

Sumber :hasil perhitungan

Dengan menggunakan berat rata-rata dapat dibuat grafik hubungan dari berat batako dengan kadar bottom ash yang terkandung alam batako seperti gambar dibawah ini :



Gambar 4.2 Grafik hubungan berat batako dan kadar *bottom ash*

### 4.3 Analisis Data

#### 4.3.1 Pengaruh variasi penambahan bottom ash terhadap nilai kuat tekan batako.

Pengujian Anova untuk data kuat tekan batako bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *bottom ash* yang telah dirumuskan dalam model percobaan dapat diterima atau tidak. Pengujian kuat tekan benda uji dilakukan di laboratorium dengan jumlah benda uji sebanyak 5 buah untuk setiap komposisi. Pada penelitian kali ini dibuat 11 buah komposisi sehingga total jumlah benda uji adalah 55 buah.

Hipotesis nol ( $H_0$ ) adalah tidak ada pengaruh penggunaan *bottom ash* terhadap kuat tekan batako. Hipotesis alternatif ( $H_1$ ) ada pengaruh penggunaan *bottom ash* terhadap kuat tekan batako.

- Derajat bebas (db)

$$db_{total} = \text{total banyaknya pengamatan} - 1 = 55 - 1 = 54$$

$$db_{perlakuan} = \text{total banyaknya perlakuan} - 1 = 11 - 1 = 10$$

$$db_{galat} = db_{total} - db_{perlakuan} = 54 - 10 = 44$$

- Jumlah Kuadrat

$$\begin{aligned} \text{Faktor Koreksi (FK)} &= \frac{Y^2}{rt} = \frac{\left(\sum_{i,j} Y_{ij}\right)^2}{rt} = \frac{(3337,9387)^2}{55} \\ &= 202578,8183 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum_{i,j} Y_{ij}^2 - FK \\ &= [(105,13)^2 + (105,13)^2 + \dots + (30,769)^2] - 202578,8183 \\ &= 263907,5 - 202578,8183 \\ &= 61328,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Perlakuan (JKP)} &= \frac{Y_1^2 + \dots + Y_t^2}{r} - FK \\ &= \sum \frac{(\text{total perlakuan})^2}{r} - FK \\ &= \frac{(586,1176)^2 + \dots + (210,6449)^2}{5} - 202578,81 \\ &= 248803,04 - 202578,81 \\ &= 46224,231 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Galat (JKG)} &= \text{JK Total} - \text{JK Perlakuan} \\ &= 61328,698 - 46224,231 \\ &= 15104,467 \end{aligned}$$

- Kuadrat Tengah

$$\begin{aligned} \text{KT Perlakuan (KTP)} &= \frac{JK \text{ Perlakuan}}{t-1} = \frac{46224,231}{11-1} \\ &= 4622,4221 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KT Galat (KTG)} &= \frac{JK \text{ Galat}}{t(r-1)} = \frac{15104,467}{44} \\
 &= 343,28335
 \end{aligned}$$

- Nilai  $F_{hitung}$

$$F_{hitung} = \frac{KT \text{ perlakuan}}{KT \text{ galat}} = \frac{4622,4221}{343,28335} = 13,465$$

**Tabel 4-22 Analisa Ragam Kuat Tekan Batako**

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhitung	F tabel	
					1%	5%
Perlakuan	11	46224,231	4662,4221	13,465	2,658	4,15
Galat	44	15104,467	343,28335			
Total	55	61328,7				

Sumber: Hasil perhitungan

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh  $F_{hitung} > F_{tabel}$  maka dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  ditolak, artinya penambahan bottom ash atau kerak hasil pembakaran batubara berpengaruh terhadap kuat tekan batako. Pengaruh tersebut bersifat buruk karena cenderung menurunkan kuat tekan batako dengan penambahan bottom ash dibanding dengan batako tanpa penambahan bottom ash.

#### 4.3.2 Pengaruh variasi penambahan bottom ash terhadap berat batako.

Pengujian Anova untuk data berat batako bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *bottom ash* yang telah dirumuskan dalam model percobaan dapat diterima atau tidak. Pengujian berat benda uji dilakukan di laboratorium dengan jumlah benda uji sebanyak 5 buah untuk setiap komposisi. Pada penelitian kali ini dibuat 11 buah komposisi sehingga total jumlah benda uji adalah 55 buah.

Hipotesis nol ( $H_0$ ) adalah tidak ada pengaruh penggunaan *bottom ash* terhadap berat batako. Hipotesis alternatif ( $H_1$ ) ada pengaruh penggunaan *bottom ash* terhadap berat batako.

- Derajat bebas (db)

$$db_{total} = \text{total banyaknya pengamatan} - 1 = 55 - 1 = 54$$

$$db_{perlakuan} = \text{total banyaknya perlakuan} - 1 = 11 - 1 = 10$$

$$db_{\text{galat}} = db_{\text{total}} - db_{\text{perlakuan}} = 54 - 10 = 44$$

- Jumlah Kuadrat

$$\begin{aligned} \text{Faktor Koreksi (FK)} &= \frac{Y^2 \dots}{rt} = \frac{\left(\sum_{i,j} Y_{ij}\right)^2}{rt} = \frac{(616,208)^2}{55} \\ &= 6903,86 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum_{i,j} Y_{ij}^2 - FK \\ &= [(13,742)^2 + (14,225)^2 + \dots + (8,7)^2] - 6903,86 \\ &= 7153,06 - 6903,86 \\ &= 249,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Perlakuan (JKP)} &= \frac{Y_1^2 + \dots + Y_t^2}{r} - FK \\ &= \sum \frac{(\text{total perlakuan})^2}{r} - FK \\ &= \frac{(73,923)^2 + \dots + (43,094)^2}{5} - 6903,86 \\ &= 7142,942 - 6903,86 \\ &= 239,082 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Galat (JKG)} &= \text{JK Total} - \text{JK Perlakuan} \\ &= 249,2 - 239,082 \\ &= 10,118 \end{aligned}$$

- Kuadrat Tengah

$$\begin{aligned} \text{KT Perlakuan (KTP)} &= \frac{JK \text{ Perlakuan}}{t-1} = \frac{239,082}{11-1} \\ &= 23,9082 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KT Galat (KTG)} &= \frac{JK \text{ Galat}}{t(r-1)} = \frac{10,118}{44} \\ &= 0,229 \end{aligned}$$

- Nilai F<sub>hitung</sub>

$$F_{\text{hitung}} = \frac{KT \text{ perlakuan}}{KT \text{ galat}} = \frac{23,9082}{0,229} = 104,4026$$

Tabel 4-22 Analisa Ragam Kuat Tekan Batako

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhitung	F tabel	
					1%	5%
Perlakuan	11	239,082	23,9082	249,2	2,658	4,15
Galat	44	10,118	0,229			
Total	55	249,2				

Sumber: Hasil perhitungan

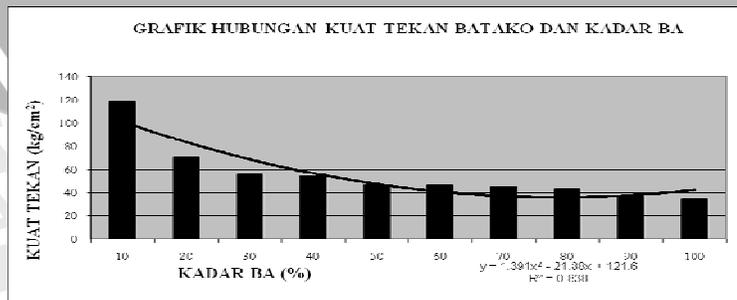
Dari hasil perhitungan di atas diperoleh  $F_{hitung} > F_{tabel}$  maka dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  ditolak, artinya penambahan bottom ash atau kerak hasil pembakaran batubara berpengaruh terhadap berat batako. Pengaruh tersebut bersifat baik karena cenderung menurunkan berat batako dengan penambahan bottom ash dibanding dengan batako tanpa penambahan bottom ash. Sehingga batako dengan campuran bottom ash didalamnya lebih ringan daripada batako normal.

#### 4.4 Pembahasan

##### 4.4.1 Pembahasan pengaruh penambahan bottom ash terhadap kuat tekan batako

Dari analisa hipotesis varian satu arah diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan bottom ash secara nyata dapat mempengaruhi kuat tekan batako.

Untuk mengetahui sampai seberapa jauh ketepatan atau kecocokan garis regresi yang terbentuk dalam mewakili kelompok data penelitian, maka perlu dilihat sampai seberapa jauh model yang terbentuk dapat menerangkan kondisi sebenarnya. Oleh karena itu dalam analisis regresi perlu diperoleh koefisien determinasi ( $R^2$ ).



Gambar 4.3 Garis Regresi Hubungan Persentasi BA Terhadap Kuat Tekan Batako

Berdasarkan grafik diatas dapat diperoleh  $R^2 = 0,838$  yang berarti bahwa penambahan *bottom ash* dapat mempengaruhi kuat tekan batako sebesar 83,8% .Sedangkan yang sebesar 16,2% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak masuk dalam penelitian.

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa secara umum penambahan bottom ash menurunkan nilai kuat tekan batako jika dibandingkan dengan batako yang tidak menggunakan *bottom ash*. Dari hasil penelitian didapatkan masing-masing kuat tekan dari benda uji dengan berbagai variasi Kadar bottom ash mulai dari 10% sampai 100% adalah sebagai berikut, 118,72 kg/cm<sup>2</sup>; 70,43 kg/cm<sup>2</sup>; 54,95 kg/cm<sup>2</sup>; 53,797 kg/cm<sup>2</sup>; 46,46 kg/cm<sup>2</sup>; 45,79 kg/cm<sup>2</sup>; 44,985 kg/cm<sup>2</sup>; 42,89 kg/cm<sup>2</sup>; 36,94 kg/cm<sup>2</sup> dan 33,92 kg/cm<sup>2</sup>. Dari hasil perhitungan kuat tekan rata-rata dari berbagai persentase kadar bottom ash memang nilai kuat tekannya mengalami penurunan jika dibandingkan dengan batako yang tidak memakai bottom ash dalam campuran mortarnya, kuat tekan benda uji batako yang tidak menggunakan bottom ash sama sekali yaitu 119,176 kg/cm<sup>2</sup>.

Meskipun kuat tekan rata-rata dari batako dengan berbagai persentase mengalami penurunan dari kuat tekan batako tanpa menggunakan *bottom ash*, kuat tekan rata-rata dari berbagai persentase ini masih memenuhi persyaratan kuat tekan minimum batako dari SNI 03-6861.1-2002 yaitu 2,5 Mpa atau 25 kg/cm<sup>2</sup>. Dari data diatas bahkan diperoleh bahwa kuat tekan batako rata-rata dengan kadar *bottom ash* 10% dapat digunakan sebagai batako mutu I karena kuat tekannya memenuhi persyaratan SNI 03-6861.1-2002 untuk batako mutu I dengan kuat tekan 10 Mpa atau 100 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan untuk benda uji dengan kadar *bottom ash* 20% memenuhi persyaratan SNI 03-6861.1-2002 sebagai batako mutu II dengan kuat tekan 70,43 kg/cm<sup>2</sup>, benda uji dengan kadar *bottom ash* 30% - 80% kuat tekan rata-ratanya memenuhi persyaratan SNI 03-6861.1-2002 sebagai batako mutu III dengan kuat tekan 4 Mpa, dan batako dengan kadar *bottom ash* 100 % tanpa ada pasir memenuhi persyaratan sebagai batako mutu IV atau mutu batako paling kecil pada SNI 03-6861.1-2002 dengan kekuatan tekan sebesar 2,5 Mpa atau sama dengan 25 kg/cm<sup>2</sup>.

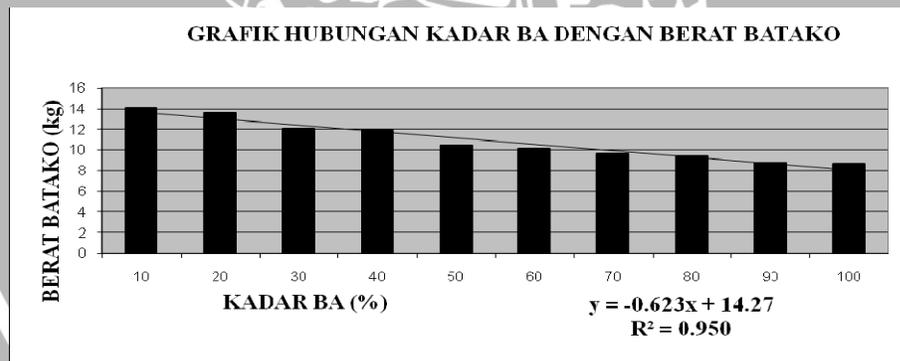
Dari data dan hasil perhitungan didapatkan kekuatan optimal batako pada benda uji dengan penambahan *bottom ash* sebesar 10% yang memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 118,72 kg/cm<sup>2</sup>.

Sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan *bottom ash* pada batako memang menurunkan kuat tekan batako tetapi kuat tekan yang dihasilkan oleh batako yang memiliki komposisi *bottom ash* pada mortar atau bahan bakunya masih memenuhi kuat tekan minimum yang terdapat pada SNI 03-6861.1-2002.

Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada *bottom ash* terdapat kandungan silika dan alumina yang cukup tinggi, dan kandungan silika dan alumina ini sama dengan kandungan yang dimiliki oleh agregat halus pasir dan semen.

#### 4.4.2 Pembahasan pengaruh penambahan *bottom ash* terhadap berat batako

Berdasarkan grafik dibawah dapat diperoleh  $R^2 = 0,950$  yang berarti bahwa penambahan *bottom ash* dapat mempengaruhi berat batako sebesar 95% .Sedangkan yang sebesar 5% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak masuk dalam penelitian.



Gambar 4.4 Garis Regresi Hubungan Persentase BA Terhadap Berat Batako

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa penambahan *bottom ash* mempengaruhi berat batako. Berat batako normal yang juga dibuat dalam penelitian ini atau batako yang tidak menggunakan *bottom ash* sama sekali adalah sebesar 14,785 kg sedangkan untuk batako dengan kadar *bottom ash*

mulai dari 10% berurutan sampai dengan 100% ditampilkan pada tabel sebagai berikut:

**Tabel 4-23 Berat Batako Untuk Masing-Masing Kadar *Bottom Ash***

Kadar BA	Berat (kg)
10	14.0424
20	13.541
30	12.024
40	11.9086
50	10.4508
60	10.1314
70	9.6062
80	9.3988
90	8.735
100	8.6188

Dari data diatas dapat dihitung besarnya persentase penurunan berat atau persentase reduksi berat yang terjadi pada batako dengan bottom ash didalamnya dan didapatkan bahwa untuk batako dengan kadar bottom ash 10% sampai dengan 100% mengalami penurunan atau reduksi berat. Reduksi dapat dihitung dengan mengalikan selisih berat batako normal dengan berat batako yang memiliki kadar bottom ash didalamnya dibagi dengan kadar bottom ash normal dan dikalikan dengan 100%, seperti rumus dibawah ini :

$$\text{Persentase reduksi berat batako} = \frac{(\text{Berat Normal} - \text{Berat Batako BA})}{\text{Berat Normal}} \times 100\%$$

Sehingga didapatkan persentase reduksi berat batako seperti yang tercantum pada tabel berikut ini:

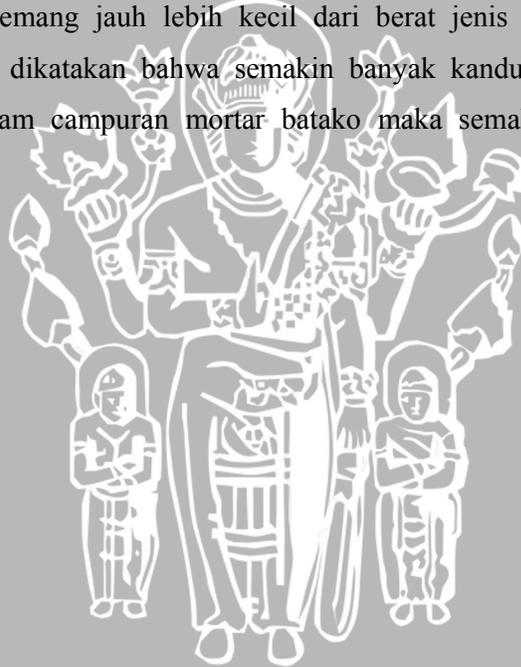
**Tabel 4-23 Persentase Reduksi Berat pada Masing-Masing Kadar *Bottom Ash* dalam Batako**

Kadar BA	Persentase reduksi berat (%)
10	5,02
20	8,41
30	18,672

Kadar BA	Persentase reduksi berat (%)
40	19,453
50	29,313
60	31,47
70	35,026
80	36,428
90	40,918
100	41,706

Sehingga hipotesis diatas yang menyatakan bahwa kandungan *bottom ash* dalam batako mempengaruhi berat batako adalah benar.

Hal ini dikarenakan bentuk fisik *bottom ash* yang *friable* atau mudah pecah karena banyak terdapat rongga, dan juga karena berat jenis *bottom ash* sendiri yang memang jauh lebih kecil dari berat jenis pasir kali biasa. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin banyak kandungan atau kadar *bottom ash* dalam campuran mortar batako maka semakin ringan berat batako tersebut.



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang tercantum pada Bab IV diatas dapat disimpulkan bahwa :

1. Secara keseluruhan penambahan *bottom ash* pada pembuatan batako berpengaruh terhadap nilai kuat tekannya dan berat batako.
2. Jika dibandingkan dengan batako normal yaitu tanpa penambahan *bottom ash*, maka batako dengan penambahan *bottom ash* secara keseluruhan menurunkan nilai kuat tekan batako.
3. Pada kuat tekan batako dengan penambahan *bottom ash* didapatkan nilai kuat tekan optimal pada batako dengan penambahan *bottom ash* sebesar 10% yang memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 118,72 kg/cm<sup>2</sup>.
4. Pada penelitian ini nilai kuat tekan batako secara keseluruhan berada diatas nilai standar minimum kuat tekan batako menurut SNI 03-6861.1-2002 (2,5 Mpa atau 25 kg/cm<sup>2</sup>).
3. Jika diklasifikasikan batako dengan penambahan *bottom ash* 10% memenuhi standar SNI 03-6861.1-2002 untuk mutu I (10 Mpa atau 100 kg/cm<sup>2</sup>), penambahan *bottom ash* sebesar 20% memenuhi standar mutu II (7 Mpa atau 70 kg/cm<sup>2</sup>), penambahan *bottom ash* 30-80% memenuhi standar mutu III (4 Mpa atau 40 kg/cm<sup>2</sup>), dan penggunaan 100% *bottom ash* pada batako memenuhi standar mutu IV (2,5 Mpa atau 25 kg/cm<sup>2</sup>).
4. Penambahan *bottom ash* dalam batako memberikan pengaruh yang positif pada berat batako. Jika dibandingkan dengan batako normal, batako dengan penambahan *bottom ash* memiliki berat yang lebih ringan.
5. Dengan berat batako normal sebesar 14,785 kg batako yang menggunakan *bottom ash* dalam campuran mortarnya bisa mereduksi berat batako hingga 41,704%.
6. Persentase penurunan berat batako untuk perlakuan II hingga XI dapat dilihat pada tabel 4-24. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa semakin

banyak *bottom ash* yang digunakan maka semakin besar pula persentase reduksi beratnya.

7. Secara keseluruhan, *bottom ash* bisa digunakan sebagai alternatif pengganti pasir pada pembuatan batako karena selain kuat tekan yang dihasilkan memenuhi standar SNI 03-6861.1-2002 untuk kuat tekan minimum juga mereduksi berat batako normal.
8. Pada batako yang menggunakan *bottom ash* ini terdapat kelemahan yaitu batako yang menggunakan *bottom ash* ini memiliki kemampuan menyerap air yang sangat besar dikarenakan sifat *bottom ash* yang friable dan memiliki banyak pori.

## 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lagi dengan persentase *bottom ash* yang lebih kecil misalkan dengan perbedaan persentase sebesar 5% sehingga bisa didapatkan hasil yang lebih detail.
2. Perlu dilakukan penelitian lagi untuk pengaruh penambahan *bottom ash* pada batako terhadap daya absorpsi batako.
3. Untuk penelitian selanjutnya faktor-faktor yang tidak diperhitungkan dalam penelitian ini lebih diperhatikan misalnya besar tekanan yang diberikan pada saat pemadatan.
4. Untuk penelitian selanjutnya pemadatan yang dilakukan pada batako lebih baik menggunakan mesin dan tidak menggunakan pemadatan manual, karena pemadatan menggunakan mesin bisa diset dengan gaya sebesar yang diinginkan sedangkan jika menggunakan manual tidak dapat mengetahui gaya yang diberikan pada saat pemadatan.
5. Proses pengujian di Laboratorium sebaiknya dilakukan dengan penuh kecermatan.

Lampiran 1

Form untuk mencatat hasil kuat tekan

Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	P (kg)	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )
1.1						
1.2						
1.3						
1.4						
1.5						
2.1						
2.2						
2.3						
2.4						
2.5						
3.1						
3.2						
3.3						
3.4						
3.5						
4.1						
4.2						
4.3						
4.4						
4.5						
5.1						
5.2						
5.3						
5.4						
5.5						
6.1						
6.2						
6.3						
6.4						
6.5						
7.1						
7.2						
7.3						
7.4						
7.5						



Sampel	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	P (kg)	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )
8.1						
8.2						
8.3						
8.4						
8.5						
9.1						
9.2						
9.3						
9.4						
9.5						
10.1						
10.2						
10.3						
10.4						
10.5						
11.1						
11.2						
11.3						
11.4						
11.5						



Lampiran 2

*Gambar-gambar bottom ash, peralatan yang digunakan dalam membuat batako dan batako*



Bottom ash dalam karung



Cetakan batako ukuran 39cm x 19 cm x 10 cm



Batako yang telah dicetak



Perbedaan warna pada batako yang terdapat kandungan bottom ash dan batako normal tanpa bottom ash



Pengujian pada batako