

**PENGARUH *BOTTOM ASH* SEBAGAI BAHAN PENGGANTI  
SEJUMLAH PASIR TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK LENTUR  
DAN MODULUS ELASTISITAS PADA BETON MUTU TINGGI**

**(Skripsi)**

**Oleh :**

**Sholahuddin Triwidinata**

**1215011103**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2017**

## **ABSTRAK**

### **PENGARUH *BOTTOM ASH* SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEJUMLAH PASIR TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK LENTUR DAN MODULUS ELASTISITAS PADA BETON MUTU TINGGI**

**Oleh**

**SHOLAHUDDIN TRIWIDINATA**

Seiring berjalannya waktu produksi beton mutu tinggi semakin lama akan semakin meningkat dan sebaliknya akan mengakibatkan berkurangnya sumber daya alam. Salah satunya ialah pasir sebagai bahan baku beton. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diperlukan suatu material lain yang dapat menggantikan sebagian sumber daya alam tersebut. *Bottom ash* merupakan salah satu material dari limbah hasil proses pembakaran batubara pada sektor pembangkit listrik, umumnya memiliki ukuran partikel atau butiran yang halus seperti pasir.

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan penggunaan variasi pasir dan *bottom ash* yang baik bagi beton mutu tinggi. Pengujian berupa uji kuat tekan dengan silinder beton 10x20 cm, uji kuat lentur dengan balok 10x10x40 cm dan modulus elastisitas beton dengan silinder beton 15x30 cm. Komposisi penggantian pasir dengan *bottom ash* sebanyak 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%.

Hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur optimum diperoleh pada variasi 80% *bottom ash*. Nilai kuat tekan sebesar 39,68 MPa (umur 7 hari) dan 45,41

MPa (umur 28 hari). Nilai kuat lentur sebesar 4,62 MPa (umur 7 hari) dan 5,53 MPa (umur 28 hari). Nilai modulus elastisitas beton optimum diperoleh pada variasi 20% dan 80% *bottom ash* yaitu sebesar 60625,67 MPa dan 59441,67 MPa (umur 28 hari).

---

Kata kunci: beton mutu tinggi, *bottom ash*, kuat tekan, kuat tarik lentur, modulus elastisitas beton.

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF BOTTOM ASH AS A SUBSTITUTION MATERIAL TO A NUMBER OF SAND FOR COMPRESSIVE STRENGTH, FLEXURAL STRENGTH, AND MODULUS OF ELASTICITY ON HIGH STRENGTH CONCRETE**

**By**

**SHOLAHUDDIN TRIWIDINATA**

Over time the production of high strength concrete it will increase more and more and otherwise it will decrease the natural resources. One of them is sand as concrete material. Based on the problem, it will be required another material, that can replace a number of the sand. Bottom ash is one of material from waste coal plant, generally have particle size or fine granule like as sand.

This research is used to determine the variation of sand and bottom ash for high strength concrete. The testing are compressive strength with cylinder concrete 10x20 cm, flexural strength with beam concrete 10x10x40 cm, and modulus of elasticity concrete with cylinder concrete 15x30 cm. The compositions of the bottom ash for substitution the sand are 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100%.

The results of the compressive strength and flexural strength optimum testing are showed on variation 80% of bottom ash. Compressive strength values are 39,68 MPa (7 days age) and 45,41 MPa (28 days age). Flexural strength values are 4,62 MPa (7 days age) and 5,53 MPa (28 days age). Modulus of elasticity concrete

optimum are showed on variation 20% and 80% of bottom ash with 60625,67 MPa and 59441,67 MPa (28 days age).

---

Key words: high strength concrete, bottom ash, compressive strength, flexural strength, modulus of elasticity concrete.

**PENGARUH *BOTTOM ASH* SEBAGAI BAHAN PENGGANTI  
SEJUMLAH PASIR TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK LENTUR  
DAN MODULUS ELASTISITAS PADA BETON MUTU TINGGI**

**Oleh**

**Sholahuddin Triwidinata**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA TEKNIK**

Pada

Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

**Judul Skripsi : PENGARUH BOTTOM ASH SEBAGAI BAHAN  
PENGANTI SEJUMLAH PASIR TERHADAP  
KUAT TEKAN, KUAT TARIK LENTUR DAN  
MODULUS ELASTISITAS PADA BETON  
MUTU TINGGI**

**Nama Mahasiswa : Sholahuddin Triwidinata**

**Nomor Pokok Mahasiswa : 1215011103**

**Jurusan : Teknik Sipil**

**Fakultas : Teknik**

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

**Ir. Surya Sebayang, M.T.**  
NIP 19580124 198703 1 001

**Ir. Laksmi Irianti, M.T.**  
NIP 19620408 198903 2 001

**2. Ketua Jurusan**

**Gatot Eko S, S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19700915 199503 1 006

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Ir. Surya Sebayang, M.T.**

**Sekretaris : Ir. Laksmi Irianti, M.T.**

**Penguji  
Bukan Pembimbing : Andi Kusnadi, S.T., M.T., M.M.**

**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Dr. Suharno, M.Sc.**

**NIP 19620717 198703 1 002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Mei 2017**



## **SURAT PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul "*Pengaruh Bottom Ash sebagai Bahan Pengganti Sejumlah Pasir Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Lentur dan Modulus Elastisitas pada Beton Mutu Tinggi*" adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula, bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Mei 2017

Sholahuddin Triwidinata

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 19 September 1994, sebagai anak ketiga dari lima bersaudara, dari Orang tua Bernama, Ibu Toati dan Ayah Drs. M. Junaidi.

Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) ditempuh di TK Satria Sukarame, Bandar Lampung diselsaikan tahun 2000. Sekolah Dasar (SD) ditempuh di SD Negeri 1 Sukarame, Bandar Lampung pada tahun 2000 – 2006. Sekolah Menengah Pertama (SMP) ditempuh di MTs Negeri 2 Bandar Lampung pada tahun 2006 – 2009. Dan Sekolah Menengah Atas (SMA) ditempuh di SMA Negeri 9 Bandar Lampung pada tahun 2009 – 2012.

Tahun 2012, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) jalur tertulis. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS UNILA) sebagai anggota divisi Media Informasi dan UKM-F FOSSI FT sebagai ketua departemen Media Informasi. Pada tahun 2014 penulis mengikuti kegiatan Workshop Kemedian dan mendapatkan penghargaan sebagai videografer terbaik yang diselenggarakan oleh Dewan Perwakilan Wilayah Lampung di Bandar Lampung. Pada tahun 2015 penulis melakukan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan Jembatan Layang (*fly over*) pada jalan Ki

Maja dan Ratu Dibalau, Bandar Lampung selama 3 bulan. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Pekon Menggala, Kecamatan Kota Agung Timur, Kabupaten Tanggamus selama 60 hari pada periode I, Januari – Maret 2016. Pada bulan Agustus 2016 penulis mengikuti perlombaan *Fabricated House Competition* yang diselenggarakan oleh PT. Semen Tiga Roda dalam perayaan Indocement Awards dan berkesempatan menjadi finalis lomba. Dan selanjutnya pada bulan November – Desember 2016 penulis ditunjuk sebagai asisten pemateri dalam program pelatihan Sekolah Tukang Semen Tiga Roda yang diselenggarakan oleh PT. Semen Tiga Roda bekerjasama dengan Politeknik Negeri Bandung (POLBAN) yang dilaksanakan di Balai Pelatihan Pertanian (BPP) Lampung, Kabupaten Lampung Selatan. Selama masa perkuliahan di semester 9 penulis diangkat menjadi Asisten Praktikum Teknologi Bahan.

## MOTTO HIDUP

*“Bukankah Kami telah melapangkan untukmu dadamu?, dan Kami telah menghilangkan daripadamu bebanmu, yang memberatkan punggungmu? Dan Kami tinggikan bagimu sebutan (nama)mu, Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.”*

(Q.S. Al-Insyirah: 1-8)

*“Jangan takut jatuh, karena yang tidak pernah memanjatlah yang tidak pernah jatuh. Jangan takut gagal, karena yang tidak pernah gagal hanyalah orang-orang yang tidak pernah melangkah. Jangan takut salah, karena dengan kesalahan yang pertama kita dapat menambah pengetahuan untuk mencari jalan yang benar pada langkah kedua.”*

(Buya Hamka)

*“Jangan pernah mengungkit masa lalu karena ia tak kan pernah kembali, cukup jadikan ia kenangan yang berarti untuk masa depan nanti.”*

(Sholahuddin Triwidinata)

Ku persembahkan karya tulis ini untuk:

Kedua Orangtuaku yang telah banyak  
memberikan kasih-sayanganya selama ini untuk  
masa depanku...

Saudara<sup>2</sup> dan Teman<sup>2</sup> Terbaikku yang telah  
memberi bantuan, dukungan dan motivasi...

Dan seorang wanita sholeha yang secara tidak  
langsung telah memberikan semangatku untuk  
memperjuangkannya...

Serta Almamaterku tercinta...

## SANWACANA

Segala puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi dengan judul “*Pengaruh Bottom Ash sebagai Bahan Pengganti Sejumlah Pasir Terhadap Kuat Tekan, Kuat Lentur dan Modulus Elastisitas pada Beton Mutu Tinggi*” yang merupakan bagian penelitian dari Ir. Surya Sebayang, M.T. dan Ir. Laksmi Irianti, M.T. adalah salah satu syarat bagi penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
2. Gatot Eko S, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
3. Ir. Surya Sebayang, M.T., selaku Pembimbing Utama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, ide-ide dan saran serta kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Pembimbing Kedua atas kesediaan memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;

5. Andi Kusnadi, S.T., M.T., MM., selaku Penguji Utama yang telah memberikan kritik dan saran pemikiran dalam penyempurnaan skripsi;
6. Dyah Indriana Kusumastuti, S.T. selaku Pembimbing Akademik;
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
8. Seluruh teknisi dan karyawan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah memberikan bantuan dan bimbingan selama penulis melakukan penelitian;
9. Kepala PLTU Tarahan beserta staff yang telah banyak membantu terkait pemberian bantuan material abu batubara;
10. Orang tua terkasih, Ibu Toati dan Bapak Drs. M. Junaidi yang sangat sabar dalam doanya dan pengertian dalam memberikan dukungan, nasehat dan motivasi dalam menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
11. Saudara-saudaraku tercinta yang turut memberikan semangat dalam menyelesaikan perkuliahan;
12. Teman terbaik seperjuangan Andriyana, Kevin Lincolen dan Robby Chandra Hasyim yang telah berbagi cerita suka dan duka selama menjalani perkuliahan;
13. Seseorang wanita sholeha yang akan menjadi jodoh dan sahabat sejutiku di masa depan kelak, terima kasih telah menunggu dalam penantianmu;

14. Saudara-saudara Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2012 yang berjuang bersama serta berbagi kenangan, pengalaman dan membuat kesan yang tak terlupakan, terimakasih atas kebersamaan kalian;
15. Semua pihak yang telah membantu tanpa pamrih yang tidak dapat disebutkan secara keseluruhan satu per satu, semoga kita semua berhasil menggapai impian.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, Mei 2017

Penulis

Sholahuddin Triwidinata



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xiii
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	3
C. Perumusan Masalah .....	3
D. Pembatasan Masalah .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
A. Beton .....	6
B. Beton Mutu Tinggi.....	8
C. Semen .....	9
D. Agregat .....	11
1. Agregat halus .....	11
2. Agregat kasar .....	12
E. Air .....	13
F. <i>Admixture</i> .....	14
G. Abu Batubara .....	15
H. <i>Bottom Ash</i> (Abu Dasar) .....	16
I. Kuat Tekan Beton .....	20
J. Kuat Tarik Lentur Beton.....	22
K. Modulus Elastisitas Beton.....	24
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	27
A. Bahan .....	27
B. Peralatan .....	28
C. Variabel Penelitian .....	30
D. Pelaksanaan Penelitian .....	31
1. Pengadaan bahan dan peralatan .....	31
2. Pemeriksaan bahan dan peralatan .....	31
3. Perencanaan campuran beton .....	35

4.	Pelaksanaan pengecoran campuran beton .....	40
5.	Perawatan beton ( <i>curing</i> ) .....	44
6.	Pengujian beton .....	44
E.	Analisis Hasil Penelitian .....	47
F.	Bagan Alir Penelitian .....	49
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>50</b>
A.	Hasil Pengujian Material .....	50
1.	Pengujian agregat halus .....	50
2.	Pengujian agregat kasar .....	51
3.	Pengujian <i>bottom ash</i> .....	52
B.	Kebutuhan Material .....	52
C.	Hasil Pengujian <i>Slump</i> .....	53
D.	Berat Volume Beton .....	54
E.	Pengujian Benda Uji .....	55
1.	Kuat tekan beton .....	55
2.	Kuat tarik lentur beton .....	57
3.	Modulus elastisitas beton.....	59
F.	Pembahasan.....	63
1.	Pengujian material .....	63
2.	Kebutuhan material.....	63
3.	Pengujian <i>slump test</i> .....	64
4.	Berat volume beton.....	64
5.	Pengujian benda uji.....	65
<b>V.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>76</b>
A.	Kesimpulan .....	76
B.	Saran .....	77
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>78</b>
	<b>LAMPIRAN A .....</b>	<b>80</b>
	<b>LAMPIRAN B .....</b>	<b>91</b>
	<b>LAMPIRAN C.....</b>	<b>109</b>
	<b>LAMPIRAN D.....</b>	<b>117</b>
	<b>LAMPIRAN E.....</b>	<b>136</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Beberapa Jenis Beton Berdasarkan Kuat Tekannya .....	6
2. Gradasi Standar Agregat Halus ASTM C 33 .....	12
3. Gradasi Standar Agregat Kasar ASTM C 33 .....	13
4. Sifat Fisik dari <i>Dry</i> dan <i>Wet Bottom Ash</i> .....	17
5. Komposisi Kimia <i>Bottom Ash</i> dari Penelitian Terdahulu .....	18
6. Sifat Mekanis dari <i>Dry</i> dan <i>Wet Bottom Ash</i> .....	18
7. Variabel Penelitian .....	30
8. Nilai <i>Slump</i> Untuk Berbagai Jenis Konstruksi .....	35
9. Ukuran Maksimum Agregat Kasar .....	36
10. Volume Agregat Kasar per Satuan Volume Beton .....	37
11. Perkiraan Jumlah Air dan Udara Terperangkap .....	37
12. Rasio $\frac{W}{C+P}$ Beton Tanpa HRWR .....	38
13. Rasio $\frac{W}{C+P}$ Beton dengan HRWR .....	39
14. Hasil Pengujian Agregat Halus .....	51
15. Hasil Pengujian Agregat Kasar .....	51
16. Hasil Pengujian <i>Bottom Ash</i> .....	52
17. Kebutuhan Material pada Tiap Variasi <i>Bottom Ash</i> per m <sup>3</sup> .....	53
18. Hasil Pengukuran Nilai <i>Slump</i> .....	54
19. Hasil Berat Volume Rata-rata Beton .....	55

20. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari .....	56
21. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari .....	57
22. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Umur 7 Hari.....	58
23. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Umur 28 Hari .....	59
24. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Umur 28 Hari.....	62
25. Perubahan Kuat Tekan Beton pada Variasi <i>Bottom ash</i> .....	65
26. Peningkatan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur .....	66
27. Perubahan Kuat Lentur pada Variasi <i>Bottom Ash</i> .....	68
28. Perubahan Kuat Lentur Berdasarkan Umur .....	69
29. Perubahan Nilai Modulus Elastisitas Beton.....	70
30. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur .....	72
31. Hubungan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas .....	74
32. Hasil Pemeriksaan Gradasi Pasir .....	82
33. Hasil Pemeriksaan Gradasi <i>Bottom Ash</i> .....	83
34. Hasil Pemeriksaan Gradasi Batu Pecah .....	84
35. Volume Campuran Beton untuk Variasi 0% <i>Bottom Ash</i> .....	92
36. Volume Campuran Beton untuk Variasi 20% <i>Bottom Ash</i> .....	95
37. Volume Campuran Beton untuk Variasi 40% <i>Bottom Ash</i> .....	98
38. Volume Campuran Beton untuk Variasi 60% <i>Bottom Ash</i> .....	101
39. Volume Campuran Beton untuk Variasi 80% <i>Bottom Ash</i> .....	104
40. Volume Campuran Beton untuk Variasi 100% <i>Bottom Ash</i> .....	107
41. Hasil Berat Volume Beton Umur 7 Hari.....	108
42. Hasil Berat Volume Beton Umur 28 Hari.....	109
43. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	111

44. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton .....	112
45. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton .....	114

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Alat <i>Compression Testing Machine</i> .....	21
2. Jenis Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton .....	23
3. Skema Pembebanan Uji Kuat Lentur .....	23
4. Contoh Diagram Tegangan-regangan Beton.....	25
5. Bagan Alir Penelitian .....	49
6. Hasil Pengujian <i>Slump</i> .....	54
7. Grafik Hubungan Tegangan Regangan Benda Uji (B0-1).....	61
8. Hubungan Kuat Tekan Beton dan Kadar <i>Bottom Ash</i> .....	66
9. Grafik Kuat Lentur pada Variasi <i>Bottom Ash</i> .....	69
10. Grafik Nilai Modulus Elastisitas Beton .....	71
11. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur .....	73
12. Hubungan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas .....	75
13. Grafik Hasil Pemeriksaan Gradasi Pasir .....	83
14. Grafik Hasil Pemeriksaan Gradasi <i>Bottom Ash</i> .....	84
15. Grafik Hasil Pemeriksaan Gradasi Batu Pecah.....	85
16. Semen PCC Merek Tiga Roda .....	116
17. Agregat Kasar Batu Pecah .....	116
18. Agregat Halus Pasir .....	117
19. Air .....	117

20. <i>Bottom Ash</i> .....	118
21. <i>Admixture HRWR (superplasticizer)</i> .....	118
22. <i>Concrete Mixer</i> .....	119
23. Timbangan Digital .....	119
24. Saringan Agregat .....	120
25. Oven.....	120
26. Mesin <i>Los Angeles Test</i> .....	120
27. Bola-bola Baja .....	121
28. Alat Uji Kuat Tekan.....	121
29. Alat Uji Kuat Lentur .....	122
30. Alat <i>Extensometer</i> .....	122
31. Alat <i>Proffing Dial</i> .....	123
32. Memasukan Material ke dalam <i>Concrete Mixer</i> .....	123
33. Proses Pengadukan Material Penyusun Beton .....	124
34. Pengujian Nilai <i>Slump</i> .....	124
35. Proses Pencetakan Benda Uji.....	125
36. Proses Pematatan Benda Uji Beton dengan <i>Vibrator</i> .....	125
37. Perawatan Beton dengan Air ( <i>Curing</i> ).....	126
38. Menimbang Benda Uji Silinder Kecil.....	126
39. <i>Capping</i> Benda Uji .....	127
40. Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Alat CTM .....	127
41. Benda Uji Setelah Pengujian .....	128
42. Menimbang Benda Uji Balok .....	128
43. Meletakkan Benda Uji pada Tumpuan.....	129

44. Pemasangan Besi Silinder sebagai Beban Terpusat.....	129
45. Pemasangan <i>Proffing Ring</i> sebagai <i>Dial</i> untuk Pembacaan Beban .....	130
46. Proses Pengujian Kuat Lentur Beton .....	130
47. Benda Uji Setelah Pengujian .....	131
48. Menimbang Benda Uji Silinder Besar .....	131
49. Proses <i>Capping</i> Benda Uji .....	132
50. Pemasangan Alat <i>Extensometer</i> sebagai <i>Dial</i> .....	132
51. Meletakkan Benda Uji pada Alat CTM .....	133
52. Proses Pengujian Modulus Elastisitas Beton .....	133
53. Pencatatan Nilai Perpendekan Benda Uji .....	134



## DAFTAR NOTASI

- A = Luas penampang silinder
- ACI = *American Concrete Institute*
- ASTM = *American Society for Testing and Material*
- CTM = *Compression Testing Machine*
- D = Diameter silinder beton
- $E_c$  = Nilai modulus elastisitas (*Elasticity of Concrete*)
- HRWR= High Range Water Reducing
- L = Panjang benda uji
- MPa = *Mega Pascal*
- N = *Newton*
- P = Beban
- PCC = *Portland Composite Cement*
- PLTU = Pembangkit Listrik Tenaga Uap
- PU = Pekerjaan Umum
- SNI = Standar Nasional Indonesia
- SP = *Superplasticizer*
- SSD = *Saturated Surface Dry*
- UTM = *Universal Testing Machine*
- $W_c$  = Berat volume beton (*Weight of Concrete*)
- b = Lebar benda uji

cm	= Centimeter
h	= Tinggi benda uji
in	= inchi
kg	= kilogram
kN	= Kilo <i>Newton</i>
m <sup>3</sup>	= Meter kubik
mm	= Milimeter
L	= Penurunan arah longitudinal
	= Regangan
	= Konstanta ( <i>pi</i> )
	= Tegangan
<i>f<sub>c</sub></i>	= Kuat tekan beton ( <i>Force of Compressed</i> )
<i>f<sub>r</sub></i>	= Kuat lentur beton ( <i>Force of Ruptured</i> )

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Dalam sebuah negara pembangunan merupakan suatu bukti bahwa negara tersebut mengalami perkembangan kemajuan, baik di bidang infrastruktur maupun non-infrastruktur. Pembangunan infrastruktur meliputi pembuatan gedung, jembatan, bendungan, dan bangunan lainnya yang bermanfaat bagi kemakmuran dan kesejahteraan rakyat. Dalam beberapa jenis struktur yang ada telah banyak digunakan beton mutu tinggi sebagai penyokongnya, sehingga mengharuskan pabrik produsen beton (*precast producer*) untuk bisa memproduksi lebih banyak beton mutu tinggi dengan material yang ada. Bahan material yang umum digunakan untuk beton mutu tinggi diantaranya semen, dengan atau tanpa *admixture* dan sumber daya alam berupa agregat halus (pasir), agregat kasar (batu pecah) serta air. Namun dengan kebutuhan beton yang semakin meningkat, seorang *engineer* dituntut pula untuk tetap menjaga lingkungan sekitar dengan tidak merusak maupun menghabiskan sumber daya alam.

Oleh karena itu, diperlukan suatu material lain yang dapat menggantikan sebagian sumber daya alam tersebut. *Bottom ash* (abu dasar) merupakan suatu material dari limbah hasil proses pembakaran batubara pada sektor pembangkit listrik, umumnya memiliki ukuran partikel atau butiran yang

halus seperti pasir dan memiliki sifat *pozzolan* yaitu mengandung senyawa silika dan alumunium. Partikel yang mengandung senyawa kimia ini apabila dibuang begitu saja di lingkungan terbuka, maka tidak dapat dipungkiri limbah tersebut akan mengakibatkan pencemaran lingkungan yang dapat membahayakan jiwa makhluk hidup lainnya.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tarahan adalah salah satu dari Sektor Pembangkit Listrik Sumatera Bagian Selatan yang memanfaatkan Teknologi Boiler CFB (*Circulating Fluidized Bed*) dengan kapasitas produksi uap per unit 350 ton/jam untuk memutar turbin generator pada pembebanan 100 MW. Sehingga memungkinkan dapat mengkonsumsi batubara per unit sebanyak 50 ton/jam dengan kandungan abu batubara (*Ash content*) sebesar 5% atau sekitar 2,5 ton/jam. Dengan kata lain dalam sehari akan menghasilkan sekitar 60 ton abu batubara, dengan jumlah limbah yang begitu besar tersebut tanpa adanya pengolahan ataupun daur ulang yang berkelanjutan, tidak menutup kemungkinan lingkungan sekitarnya akan mudah terkena polusi akibat limbah tersebut.

Berdasarkan permasalahan di atas maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh *bottom ash* sebagai bahan pengganti sejumlah agregat halus (pasir) untuk campuran beton mutu tinggi dengan tujuan meminimalisir penggunaan sumber daya alam dan menjaga lingkungan dari pencemaran limbah batubara tersebut.

## B. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yaitu:

- Untuk mengetahui apakah *bottom ash* dapat difungsikan sebagai pengganti agregat halus (pasir) dalam pembuatan beton mutu tinggi.
- Untuk menentukan kisaran persentase penggunaan *bottom ash* yang baik pada beton mutu tinggi.

Sedangkan manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, yaitu:

- Memberikan informasi kepada produsen beton tentang manfaat dari penggunaan *bottom ash* sebagai bahan pengganti sejumlah agregat halus (pasir) pada beton mutu tinggi.
- Sebagai upaya untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah *bottom ash* yang ada.
- Mencoba memberikan alternatif pilihan bagi masyarakat dan produsen beton untuk memanfaatkan bahan-bahan limbah sehingga diharapkan dapat menekan harga beton yang tinggi dengan tetap memperhatikan aspek kualitas dari beton tersebut.
- Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

## C. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh penggantian sejumlah agregat halus (pasir) dengan *bottom ash* pada beton mutu tinggi. Dengan rumusan masalah sebagai berikut:

- Apakah dengan adanya penggantian agregat halus (pasir) oleh *bottom ash* dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik lentur pada beton mutu tinggi?
- Pada persentase berapakah penggunaan antara *bottom ash* dan agregat halus (pasir) akan memiliki nilai kuat tekan dan kuat tarik lentur tertinggi?
- Bagaimanakah nilai rata-rata modulus elastisitas beton yang didapatkan dari masing-masing variasi *bottom ash*?

#### **D. Pembatasan Masalah**

Untuk membatasi permasalahan yang diteliti agar penelitian dapat terarah sesuai tujuan yang diharapkan, maka digunakan asumsi dasar sebagai berikut:

- Jenis beton mutu tinggi dengan campuran *bottom ash*.
- Ukuran agregat maksimum 25 mm.
- Variasi penggunaan *bottom ash* yang digunakan yaitu: 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% dari jumlah pasir.
- Benda uji berupa silinder 10x20 cm untuk uji kuat tekan, silinder 15x30 cm untuk uji modulus elastisitas beton dan benda uji berupa balok 10x10x40 cm untuk uji kuat tarik lentur.
- Pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik lentur dilakukan pada umur 7 dan 28 hari serta pengujian modulus elastisitas beton dilakukan pada umur 28 hari.

- Jumlah benda uji sebanyak 3 buah untuk masing-masing umur pengujian pada tiap-tiap variasi *bottom ash* dalam beton.
- Kuat tekan rencana yang ditetapkan ( $f'c$ ) 50 MPa pada umur 28 hari.
- Perencanaan campuran beton (*mix design*) menggunakan metode ACI 211.4R-93 dengan penambahan *admixture* berupa *High-Range Water Reducing* (HRWR) seperti *superplasticizer*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Beton

Berdasarkan SNI 2847:2013 beton (*concrete*) merupakan campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*). Beton mempunyai sifat getas (*brittle*) sehingga mempunyai kuat tekan yang tinggi tetapi kuat tariknya rendah. Berdasarkan kuat tekannya, beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis.

Tabel 1. Beberapa Jenis Beton Berdasarkan Kuat Tekannya.

Jenis Beton	Kuat Tekan
Beton Sederhana	sampai 10 MPa
Beton Normal	15 - 30 MPa
Beton Pra Tegang	30 - 40 MPa
Beton Kuat Tekan Tinggi	40 - 80 MPa
Beton Kuat Tekan Sangat Tinggi	> 80 MPa

Sumber : Tjokrodimuljo, 2012.

Untuk keperluan perancangan dan pelaksanaan struktur beton, maka pengetahuan tentang sifat-sifat adukan beton maupun sifat-sifat beton setelah mengeras perlu diketahui. Sifat-sifat tersebut antara lain (Sebayang, Surya; 2000):



- *Durability* (Keawetan)  
Merupakan kemampuan beton bertahan seperti kondisi yang direncanakan tanpa terjadi korosi dalam jangka waktu yang direncanakan. Dalam hal ini perlu pembatasan nilai faktor air semen maksimum maupun pembatasan dosis semen minimum yang digunakan sesuai dengan kondisi lingkungan
- Kuat tekan  
Kuat tekan beton ditentukan berdasarkan pembebanan uniaksial benda uji silinder beton diameter 150 mm, tinggi 300 mm dengan satuan MPa ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ). Benda uji silinder juga digunakan pada standar ACI sedangkan *British* Standar benda uji yang digunakan adalah kubus dengan sisi ukuran 150 mm. Benda uji dengan ukuran berbeda dapat juga dipakai namun perlu dikoreksi terhadap *size effect*.
- Kuat tarik  
Kuat tarik beton jauh lebih kecil dari kuat tekannya, yaitu sekitar 10-15% dari kuat tekannya. Kuat tarik beton merupakan sifat yang penting untuk memprediksi retak dan defleksi balok.
- Modulus elastisitas  
Modulus elastisitas beton adalah perbandingan antara kuat tekan beton dengan regangan beton biasanya ditentukan pada 25-50% dari kuat tekan beton.
- Rangkak (*Creep*)  
Merupakan salah satu sifat beton dimana beton mengalami deformasi terus menerus menurut waktu di bawah beban yang dipikul.

- Susut (*Shrinkage*)

Merupakan perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebanan.

- Keleccakan (*Workability*)

*Workability* adalah sifat-sifat adukan beton atau mortar yang ditentukan oleh kemudahan dalam pencampuran, pengangkutan, pengecoran, pemadatan, dan finishing. Atau merupakan besarnya kemudahan kerja yang dibutuhkan untuk menghasilkan kompaksi penuh.

## **B. Beton Mutu Tinggi**

Secara umum beton mutu tinggi merupakan beton yang mempunyai kuat tekan maksimum yang lebih besar dari beton mutu normal. Berdasarkan ACI 21.4R-93 (ACI *Committee*:1996) beton mutu normal adalah beton yang mempunyai nilai kuat tekan kurang dari 41 MPa, dan menurut ACI *Committee* 363R-92, beton mutu tinggi adalah beton yang mempunyai batasan minimum untuk nilai kuat tekan 41 MPa atau 6000 psi. Sedangkan menurut SNI Pd-T-04-2004-C beton mutu tinggi adalah beton dengan kuat tekan yang disyaratkan  $f'c$  40 MPa – 80 MPa, dengan benda uji standar silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Keuntungan dari pemakaian beton mutu tinggi antara lain sebagai berikut:

1. Pada gedung bertingkat.

- 1.1 Memperkecil dimensi kolom dan balok, dengan sendirinya mengurangi berat gedung secara keseluruhan.

- 1.2 Memberikan sistem pondasi yang lebih ekonomis sebagai akibat dari berkurangnya berat struktur secara keseluruhan.
- 1.3 Memberikan penghematan ruang sebagai akibat dari penggunaan penampang (dimensi) kolom dan balok yang lebih kecil.
2. Pada struktur jembatan beton pratekan.
  - 2.1 Meningkatkan modulus elastisitas beton, sehingga memperkecil lendutan balok.
  - 2.2 Mengurangi penggunaan baja pratekan.
  - 2.3 Mengurangi dimensi penampang balok.
3. Pada beton pracetak, mengurangi kemungkinan terjadinya *cracking* dan kerusakan pada beton waktu pengangkutan dan pemasangan.

Penggunaan beton mutu tinggi pada suatu struktur teknik sipil juga mempunyai beberapa kelemahan. Kelemahan tersebut ditinjau dari segi pembiayaan, tenaga, dan waktu pelaksanaan konstruksi. Kelemahan penggunaan beton mutu tinggi adalah sebagai berikut:

- Pembuatan beton mutu tinggi memerlukan bahan-bahan dengan mutu yang sangat baik (*high quality*) yang kadang-kadang sukar diperoleh pada lokasi pekerjaan dan harganya relatif mahal.
- Dalam pembuatannya diperlukan ketelitian dan pengawasan yang ketat.
- Pekerjaan yang teliti menuntut waktu pekerjaan yang relatif lama.

### C. Semen

Semen *portland* merupakan bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembuatan beton. Berdasarkan SNI 15-2049:2004, semen *portland*

adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Semen berfungsi sebagai bahan perekat untuk menyatukan agregat kasar dan agregat halus menjadi satu massa yang kompak dan padat dengan proses hidrasi. Semen akan berfungsi sebagai perekat apabila diberi air, sehingga semen tergolong bahan pengikat hidrolis.

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya semen *portland* dibagi menjadi 5 (lima) tipe, yaitu:

- Tipe I, semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus
- Tipe II, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- Tipe III, semen *portland* yang dalam penggunaannya menuntut kekuatan awal yang tinggi.
- Tipe IV, semen *portland* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi rendah.
- Tipe V, semen *portland* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan.

## D. Agregat

Berdasarkan SNI 2847:2013 agregat (*aggregate*) merupakan bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan *slag* tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60% - 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang berukuran besar. Sifat yang terpenting dari agregat adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang mempunyai pengaruh terhadap ikatan dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan pada musim dingin dan ketahanan terhadap penyusutan.

Berdasarkan ukuran butiran, agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

### 1. Agregat halus

Agregat halus untuk beton adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butir maksimum 5 mm. Agregat halus memiliki fungsi mengisi pori-pori yang ada di antara agregat kasar, sehingga diharapkan dapat meminimalkan kandungan udara dalam beton yang dapat menurunkan kekuatan beton.

Tabel 2. Gradasi Standar Agregat Halus ASTM C 33.

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos
No. (9,5)	100
No. 4 (4,75)	95 – 100
No. 8 (2,36)	80 – 100
No. 16 (1,18)	50 – 85
No. 30 (0,6)	25 – 60
No. 50 (0,3)	5 – 30
No. 100 (0,15)	0 – 10
Pan	

Sumber: ASTM C 33

Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No. 200, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak beton.

## 2. Agregat kasar

Agregat kasar untuk beton adalah agregat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu, dan mempunyai ukuran butir antara 5 sampai 40 mm. Besar butir maksimum yang diizinkan tergantung pada maksud pemakaian. Ukuran agregat sangat mempengaruhi kekuatan tekan beton. Semakin besar agregat yang digunakan, semakin berkurang kekuatan beton hal ini disebabkan ruang antar agregat yang dihasilkan juga semakin besar sehingga kemungkinan adanya rongga udara akan semakin tinggi dan menyebabkan kuat tekan yang kecil.

Tabel 3. Gradasi Standar Agregat Kasar ASTM C 33.

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Berat Butir Lolos		
	37,5 – 4,75	25 – 2,36	19 – 2,36
No.2 (50,0)	100		
No.1 ½ (37,5)	95 – 100	100	
No.1 (25,0)		95 – 100	100
No. ¾ (19,0)	35 – 70		90 – 100
No. ½ (12,5)		25 – 60	
No. (9,5)	10 – 30		20 – 55
No.4 (4,75)	0 – 5	10 – 30	0 – 10
No.8 (2,36)	0	0 – 5	0 – 5

Sumber: ASTM C 33

#### E. Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting. Untuk bereaksi dengan semen *portland*, air yang diperlukan hanya sekitar 25% - 30% dari berat semen. Dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut:

- Air harus bersih.
- Kandungan lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya tidak boleh lebih dari 2 gram/liter.
- Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton lebih dari 15 gram/liter.
- Tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gram/liter.

Kualitas beton akan berkurang jika air mengandung kotoran. Lumpur yang terdapat di dalam air di atas 2 gram/liter dapat mengurangi kekuatan beton. Air yang berlumpur terlalu banyak dapat diendapkan dulu sebelum dipakai, dalam kolam pengendap (Tjokrodinuljo, 2012).

## F. *Admixture*

Secara umum ada dua jenis bahan tambah yaitu bahan tambah yang berupa mineral (*additive*) dan bahan tambah kimiawi (*chimical admixture*). Bahan tambah *admixture* ditambahkan pada saat pengadukan atau pada saat pengecoran. Sedangkan bahan tambah *additive* ditambahkan pada saat pengadukan. Bahan tambah *admixture* biasanya dimaksudkan untuk mengubah perilaku beton pada saat pelaksanaan atau untuk meningkatkan kinerja beton pada saat pelaksanaan. Untuk bahan tambah *additive* lebih banyak bersifat penyemenan sehingga digunakan dengan tujuan perbaikan kinerja kekuatannya. Menurut ASTM C 494, jenis bahan *admixture* dibedakan menjadi tujuh tipe bahan tambah:

- Tipe A “*Water-Reducing Admixtures*”

*Water-Reducing Admixtures* adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

- Tipe B “*Retarding Admixtures*”

*Retarding Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Penggunaannya untuk menunda waktu waktu pengikatan beton (*setting time*).

- Tipe C “*Accelerating Admixtures*”

*Accelerating Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. Bahan ini digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan (hidrasi) dan mempercepat pencapaian kekuatan pada beton.



- Tipe D “*Water Reducing and Retarding Admixtures*”

*Water Reducing and Retarding Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

- Tipe E “*Water Reducing and Accelerating Admixtures*”

*Water Reducing and Accelerating Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

- Tipe F “*Water Reducing, High Range Admixtures*”

*Water Reducing, High Range Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

- Tipe G “*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*”

*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan juga untuk menghambat pengikatan beton.

## **G. Abu Batubara**

Abu batubara merupakan bagian dari sisa pembakaran batubara pada *boiler* pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus dan merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses

pembakaran. Abu batubara bersifat *pozzolan*, yakni bahan yang mengandung senyawa silika dan alumunium. Pada dasarnya, abu batubara tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun karena ukurannya yang halus dan adanya air, oksida silika yang terkandung dalam abu batubara akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen, sehingga akan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Abu batubara dapat digunakan pada beton sebagai material terpisah atau sebagai bahan dalam campuran semen dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat beton.

Fungsi abu batubara sebagai bahan aditif dalam beton bisa sebagai pengisi (*filler*) yang akan menambah *internal* kohesi dan mengurangi porositas daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam beton, sehingga beton menjadi lebih kuat. Pada umur sampai dengan 7 hari, perubahan fisik abu batubara akan memberikan kontribusi terhadap perubahan kekuatan yang terjadi pada beton, sedangkan pada umur 7 sampai dengan 28 hari, penambahan kekuatan beton merupakan akibat dari kombinasi antara hidrasi semen dan reaksi *pozzolan*. (Jackson, 1977)

#### **H. *Bottom Ash* (Abu Dasar)**

*Bottom ash* merupakan material yang tidak terbakar dengan sempurna dari pembakaran suatu material, seperti pada pembakaran batubara. *Bottom ash* ini diperoleh setelah pembakaran selesai. Biasanya *bottom ash* menempel pada bagian bawah atau dinding dari tungku pembakaran tersebut. Dengan kata lain *bottom ash* adalah limbah dari proses pembakaran batubara

pada pembangkit tenaga dan mempunyai ukuran partikel lebih besar serta lebih berat dari *fly ash*, sehingga memungkinkan *bottom ash* dapat jatuh ke dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*).

Adapun karakteristik *bottom ash* diantaranya:

- o Karakteristik fisik

*Bottom ash* mempunyai butiran partikel sangat berpori pada permukaannya. Partikel *bottom ash* mempunyai batasan ukuran dari kerikil sampai pasir. *Bottom ash* merupakan material dengan gradasi yang baik, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda dan lebih mendekati ukuran pasir.

Sifat fisik *bottom ash* berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, *specific gravity*, *dry unit weight* dan penyerapan dari *wet* dan *dry bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Sifat Fisik dari *Dry* dan *Wet Bottom Ash*

Sifat Fisik <i>Bottom Ash</i>	<i>Wet</i>	<i>Dry</i>
Bentuk	Angular/bersiku	Berbutir kecil
Warna Hitam	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, Sangat berpori
Ukuran (% lolos ayakan)	No. 4 (90 - 100%)	1,5 s/d ¾ in (100%)
	No. 10 (40 - 60%)	No. 4 (50 - 90%)
	No. 40 ( 10%)	No. 10 (10 - 60%)
	No. 200 ( 5%)	No. 40 (0 - 10%)
<i>Specific gravity</i>	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
<i>Dry unit weight</i>	960 – 1440 kg/m <sup>3</sup>	720 – 1600 kg/m <sup>3</sup>
Penyerapan	0,3 – 1,1 %	0,8 – 2,0 %

Sumber : Indriani Santoso, dkk, 2003

- Karakteristik kimia

Komposisi kimia dari *bottom ash* sebagian besar terdiri dari silika (Si), aluminium (Al) dan besi (Fe) dengan sedikit magnesium (Mg), kalsium (Ca), sulfat (S), natrium (Na) dan unsur kimia lain.

Tabel 5. Komposisi Kimia *Bottom Ash* dari Penelitian Terdahulu.

Komposisi Kimia	Persentase (%)				
	Pando dan Hwang, (2006)	Ksemchaisiri dan Tangtersirikul, (2008)	Abdullahi, (2009)	Rifai, (2009)	Muhardi, (2010)
SiO <sub>2</sub>	30,83	38,64	50,15 - 54,7	64,67	42,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,2	21,15	5,2 - 7,3	13,43	23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,95	11,96	6,7 - 18,34	11,41	17
CaO	36,02	13,83	3,18 - 11,21	5,46	9,8
K <sub>2</sub> O	0,66	2,06	1,55 - 1,74	1,03	0,96
TiO <sub>2</sub>	0,57	-	0,39 - 0,63	-	1,64
MgO	1,58	2,75	0,16 - 0,59	2,46	1,54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,37	-	-	-	1,04
Na <sub>2</sub> O	0,55	0,9	0,41 - 0,93	-	0,29
SO <sub>3</sub>	12,82	0,61	0,14 - 0,9	-	1,22
BaO	0,27	-	-	-	0,19
SrO	0,15	-	-	-	-
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,03	-	0,03 - 0,07	-	-

- Karakteristik mekanis

Tabel 6. Sifat Mekanis dari *Dry* dan *Wet Bottom Ash*.

Sifat Mekanis	<i>Dry Bottom Ash</i>	<i>Boiler Slag</i>
<i>Max. Dry Density</i>	1210 - 1620 kg/m <sup>3</sup>	961 - 1440 kg/m <sup>3</sup>
Kelembaban Optimum	12 - 24% (umumnya < 20%)	8 - 20%
Test Abrasi LA (% kehilangan)	30 - 50	24 - 48
Sodium Sulfat <i>Soundness tess</i> (% kehilangan)	1,5 - 10	1 - 9

Tabel 6. (lanjutan).

Sifat Mekanis	<i>Dry Bottom Ash</i>	<i>Boiler Slag</i>
Kuat geser (sudut geser)	38° – 42° 38° – 45° (ukuran butir < 9,5 mm)	38° – 46° 38° – 45° (ukuran butir < 9,5 mm)
CBR (%)	40 – 70	40 – 70
Koefisien Permeabilitas	10 <sup>-2</sup> – 10 <sup>-3</sup> cm/det	10 <sup>-2</sup> – 10 <sup>-3</sup> cm/det
<i>Friable</i> partikel	Ada	Tidak ada

Sumber : Indriani Santoso, dkk, 2003

Hal lain yang perlu diperhatikan yaitu adanya *friable* partikel (mudah pecah), umumnya pada *dry bottom ash* yaitu kerak batu bara yang berbentuk seperti kembang (*pop corn* partikel), partikel ini mudah hancur akibat pemadatan dan sangat berpori. Secara umum ukuran abu dasar dapat langsung dimanfaatkan di pabrik semen sebagai substitusi batuan *trass* dengan memasukkannya pada *cement mill* menggunakan udara tekan (*pneumatic system*). Disamping dimanfaatkan di industri semen, abu dasar dapat juga dimanfaatkan menjadi campuran *asphalt (ready mix)*, campuran beton (*concrete*) dan dicetak menjadi paving block/batako.

Berdasarkan komposisi yang terkandung dalam *bottom ash* maka ada beberapa kemungkinan kegunaan dari *bottom ash* antara lain:

- Sebagai *filler* atau pengisi pada campuran aspal dan beton.
- Sebagai lapisan *base* dan *sub base* pada perkerasan jalan.
- Sebagai bahan filtrasi.
- Sebagai agregat dalam semen dan beton ringan.

Ada beberapa keuntungan yang dapat diperoleh, jika menggunakan *bottom ash* antara lain:

- Bagi pembeli/pengguna, *bottom ash* lebih murah.
- Bagi perusahaan/industri, penggunaan limbah batubara sebagai bahan yang bermanfaat akan mengurangi pencemaran lingkungan dan menekan biaya penggunaan lahan untuk menampung limbah tersebut.
- Bagi masyarakat, penggunaan limbah batubara merupakan solusi yang tepat untuk mengurangi permasalahan lingkungan akibat pencemaran limbah sehingga lingkungan menjadi lebih nyaman.

## **I. Kuat Tekan Beton**

SNI 03-1974-1990 mengemukakan bahwa kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan. Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan maksimum  $f'c$  dengan satuan  $N/mm^2$  atau MPa (*Mega Pascal*). Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menekan benda uji silinder 150 mm x 300 mm untuk standar ACI dan SNI. Namun untuk standar *British* menggunakan benda uji kubus 150 mm x 150 mm. Benda uji yang lebih kecil dapat juga dipakai akan tetapi harus dikaitkan dengan ukuran agregat maksimum yang akan digunakan. Umumnya ukuran terkecil cetakan minimal 4 kali diameter agregat maksimumnya. Sebelum dilakukannya pengujian maka permukaan tekan benda uji silinder harus rata agar tegangan terdistribusi secara merata pada penampang benda uji. Dalam hal ini permukaan benda uji silinder harus di-*capping*, yaitu dengan memberi lapisan belerang setebal 1,5 mm – 3 mm pada permukaan tekan benda uji silinder. Atau dengan cara alternatif lain menggunakan pasta semen.

Pengujian dilakukan dengan alat *Compression Testing Machine* seperti pada Gambar 1. dengan kecepatan pembebanan antara 0,15 MPa/detik sampai 0,34 MPa/detik.



Gambar 1. Alat *Compression Testing Machine*.

Kuat tekan silinder beton normal rata-rata 0,83 kali kuat tekan kubus, namun angka sebenarnya tergantung dari mutu beton yang diuji. Semakin tinggi kuat tekan beton maka rasio kuat tekan silinder terhadap kubus akan mendekati satu. Pengaruh ukuran benda uji (*size effect*) terhadap kuat tekan beton pada beton mutu tinggi sangat kecil dibandingkan dengan beton normal. Menurut SNI 03-6815-2002, maksud pengujian kekuatan beton adalah untuk menentukan terpenuhinya spesifikasi kekuatan dan mengukur variabilitas beton. Besarnya variasi kekuatan contoh uji beton tergantung pada mutu material, pembuatan, dan kontrol dalam pengujiannya. Perbedaan kekuatan dapat ditemukan dari dua penyebab utama yang berbeda, yaitu:

- Perbedaan dalam perilaku kekuatan yang terbentuk dari campuran beton dan bahan penyusunnya.

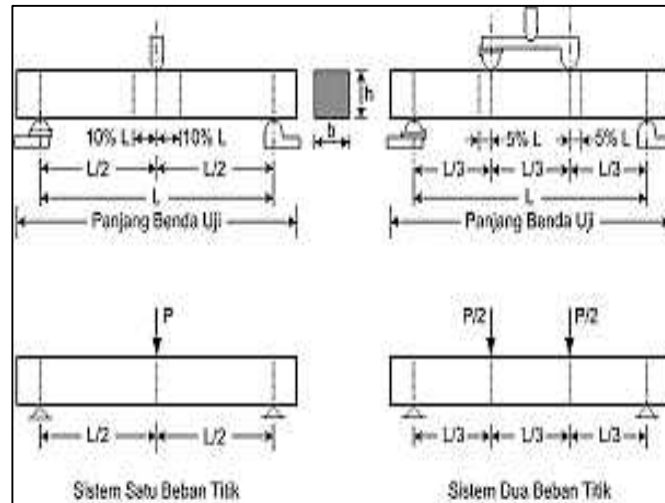
- Perbedaan jelas dalam kekuatan yang disebabkan oleh perpaduan variasi dalam pengujian.

## **J. Kuat Tarik Lentur Beton**

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu yang diberikan padanya sampai balok beton patah dan dinyatakan dalam *Mega Pascal* (MPa). Kuat tarik dalam lentur dikenal sebagai modulus runtuh (*Modulus of Rupture*). (Murdock dan K.M. Brook, 1999). Menurut SNI 4431-2011, kuat tarik lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakkan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah, dinyatakan dalam *Mega Pascal* (MPa) gaya per satuan luas.

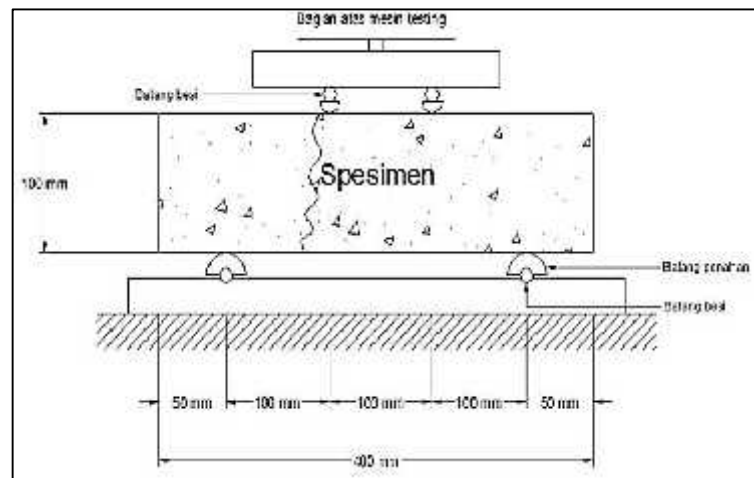
Ada dua jenis pengujian kuat tarik lentur beton, yaitu pengujian sistem satu beban titik (ASTM C 293) dan pengujian sistem dua beban titik (ASTM C 78). Pada pengujian sistem satu beban titik, beban sepenuhnya dikerahkan pada bagian tengah benda uji, sedangkan pada pengujian sistem dua beban titik, beban dibagi dua yang dikerahkan masing-masing pada bagian ujung dari sepertiga panjang benda uji bagian tengah. Nilai  $f_r$  yang didapat dari pengujian sistem satu beban titik lebih besar dari pengujian sistem dua beban titik.





Gambar 2. Jenis Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton.

Dalam penelitian ini digunakan pengujian sistem dua beban titik, seperti pada skema Gambar 3.



Gambar 3. Skema Pembebanan Uji Kuat Lentur.

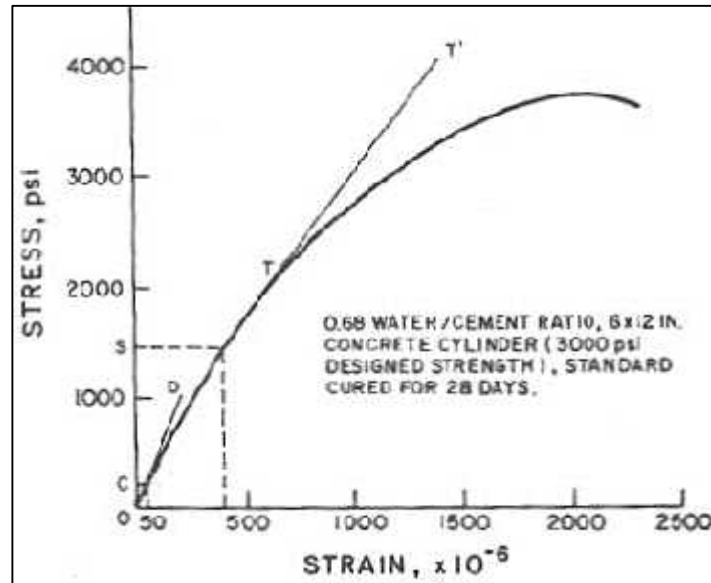
Kekuatan beton ini tergantung beberapa faktor, seperti proporsi campuran maupun kondisi kelembaban tempat dimana beton akan mengeras. Untuk memperoleh kuat tekan maupun kuat lentur yang diinginkan maka beton yang masih muda perlu dilakukan proses perawatan (*curing*), dengan tujuan

agar proses hidrasi semen berjalan dengan sempurna. Pada proses hidrasi semen dibutuhkan kelembaban tertentu. Apabila beton cepat mengering maka akan timbul retak pada permukaannya yang menyebabkan kekuatan beton menurun. Dalam *Diktat Konstruksi Beton I* (Pratikto, 2009) disebutkan beberapa cara yang dapat dilakukan untuk perawatan beton, antara lain :

- Beton dibasahi dengan air secara terus menerus.
- Beton direndam dalam air.
- Beton ditutup dengan karung basah.
- Dengan menggunakan perawatan gabungan acuan membran cair untuk mempertahankan uap air semula beton basah.
- Perawatan uap untuk beton yang dihasilkan dari kondisi pabrik, seperti balok pracetak, tiang, girder pratekan, dll. Temperatur perawatan sekitar 150°F.

#### **K. Modulus Elastisitas Beton**

Modulus elastisitas atau modulus *Young* adalah ukuran kekerasan (*stiffness*) dari suatu bahan tertentu. Modulus ini dalam aplikasi rekayasa didefinisikan sebagai perbandingan tegangan yang bekerja pada sebuah benda dengan regangan yang dihasilkan. Secara detailnya, modulus ini adalah suatu angka limit untuk regangan-regangan kecil yang terjadi pada bahan yang proporsional dengan penambahan tegangan. Dan, secara eksperimental, modulus ini dapat ditentukan dari perhitungan atau pengukuran kemiringan (*slope*) kurva tegangan-regangan (*stress-strain*) yang dihasilkan dalam uji tekan suatu sampel atau spesimen. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Contoh Diagram Tegangan-regangan Beton.

Berdasarkan teori elastisitas, secara umum kemiringan kurva pada tahap awal atau pada jangkauan proporsional elastis menggambarkan angka modulus elastisitas beton. Angka modulus elastisitas dipengaruhi oleh umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Modulus elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan menahan tegangan yang cukup besar dalam kondisi regangan yang masih kecil, artinya bahwa beton tersebut mempunyai kemampuan menahan tegangan yang cukup besar akibat beban-beban yang terjadi pada suatu regangan (kemungkinan terjadi retak) yang kecil.

Dikarenakan beton memperlihatkan deformasi yang tetap (permanen) sekalipun dengan beban yang kecil, ada beberapa macam definisi untuk modulus elastisitas. Dengan menggunakan Gambar 4., dapat diperlihatkan modulus awal, modulus tangen (*tangent modulus*), dan modulus sekan (*secant modulus*). Biasanya modulus sekan berkisar antara 25% sampai 50%

dari kuat tekan betonnya. Batas-batas proporsional elastis menurut ASTM C 469 adalah 40% dari kuat tekan beton ( $f'c$ ). Dalam estimasi atau perhitungan angka modulus sangat penting, sebab sifat bahan beton yang sebenarnya adalah non linear atau *elasto-plastic*, dimana akibat dari suatu pembebanan tetap yang sangat kecil sekalipun, disamping memperlihatkan kemampuan elastis beton juga menunjukkan deformasi permanen. Angka modulus elastis yang didasarkan atas ketahanan bahan terhadap deformasi (uji kuat tekan) disebut modulus elastis statik.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- Semen PCC yang tergolong Tipe III merek Tiga Roda, didapatkan dari toko bahan bangunan dalam kondisi baik dengan satuan 50 kg/sak.
- Pasir yang berasal dari daerah Gunung Sugih, Lampung Tengah.
- Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah berasal dari PT. Sumber Batu Berkah, Kabupaten Tanjung, Lampung Selatan, yang merupakan hasil produksi *stone crusher* dengan diameter maksimum 25 mm.
- Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memenuhi persyaratan air bersih.
- Abu batubara berupa *Bottom ash* (abu dasar) berasal dari PLTU Tarahan, Lampung Selatan. *Bottom ash* ini berfungsi sebagai bahan pengganti sejumlah agregat halus (pasir).

## B. Peralatan

Dalam penelitian ini, alat-alat yang digunakan antara lain sebagai berikut:

- Satu set saringan  
Alat ini berguna untuk mengetahui gradasi agregat sehingga dapat ditentukan nilai modulus kehalusan butir agregat kasar dan agregat halus.
- Timbangan  
Timbangan berkapasitas maksimum 12 kg dan 50 kg digunakan untuk menimbang berat masing-masing komposisi campuran beton, benda uji betonnya dan pemeriksaan seluruh material.
- *Picnometer*  
Alat ini digunakan dalam pemeriksaan berat jenis SSD, berat jenis kering, berat jenis jenuh dan penyerapan untuk pasir dan *bottom ash*.
- Bejana silinder  
Alat ini digunakan dalam pemeriksaan berat volume pasir, *bottom ash*, dan kerikil.
- Botol *Le Chatelier* (*Le Chatelier Flask* kapasitas 250 mL)  
Alat ini digunakan untuk pemeriksaan berat jenis semen.
- Oven  
Alat ini digunakan untuk mengeringkan bahan-bahan pada saat pengujian material yang membutuhkan kondisi kering.

- Cetakan beton

Cetakan beton silinder dengan ukuran 10 x 20 cm dan 15 x 30 cm serta cetakan balok ukuran 10 x 10 x 40 cm yang digunakan untuk mencetak benda uji.

- Mesin pengaduk beton (*Concrete mixer*)

*Concrete mixer* yang digunakan memiliki kapasitas 0,125 m<sup>3</sup> dengan kecepatan 20-30 putaran per menit yang digerakkan dengan menggunakan diesel. Alat ini digunakan untuk mengaduk bahan campuran beton.

- Mesin getar dalam (*Internal vibrator*)

*Internal vibrator* digunakan untuk memadatkan adukan beton pada saat memasukkan adukan beton ke dalam cetakan. Tujuannya untuk menghilangkan rongga-rongga udara dan untuk mendapatkan kepadatan yang maksimal serta menjamin suatu perekatan antara material penyusun beton.

- Kerucut *Abrams*

Kerucut *Abrams* beserta landasan pelat baja dan tongkat besi digunakan untuk mengukur konsistensi atau secara sederhana *workability* adukan dengan percobaan *slump test*. Ukuran kerucut *Abrams* adalah diameter bawah 200 mm dan diameter bagian atas 100 mm dengan tinggi 300 mm.

- Mesin uji beton

*Compression Testing Machine* (CTM) alat ini digunakan untuk menguji kuat tekan dan modulus elastisitas beton serta *Universal Testing Machine* (UTM) untuk menguji kuat tarik lentur.

- Alat bantu

Alat bantu yang digunakan diantaranya adalah sendok semen, mistar, tongkat pemadat, *container*, alat *extensometer*, dan *profing dial*.

### C. Variabel Penelitian

Perencanaan campuran beton (*mix design*) dilakukan dengan menggunakan metode ACI. Adapun variabel penelitian pada tiap pengujian seperti tercantum pada Tabel 7.

Tabel 7. Variabel Penelitian.

Kode Benda Uji	Variasi <i>Bottom ash</i> (%)	Uji Kuat Tekan Beton (buah)		Uji Kuat Tarik Lentur (buah)		Uji Modulus Elastisitas Beton (buah)
		7 hari	28 hari	7 hari	28 hari	28 hari
B0	0	3	3	3	3	3
B2	20	3	3	3	3	3
B4	40	3	3	3	3	3
B6	60	3	3	3	3	3
B8	80	3	3	3	3	3
B10	100	3	3	3	3	3
Jumlah Total		18	18	18	18	18



## D. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang dibagi dalam beberapa tahapan, yaitu: pengadaan bahan dan peralatan, pemeriksaan bahan dan peralatan, perencanaan campuran beton, pembuatan beton, perawatan beton (*curing*), pengujian beton, dan analisis hasil penelitian.

### 1. Pengadaan bahan dan peralatan

Sebelum penelitian dilakukan, terlebih dahulu mempersiapkan bahan dan peralatan yang diperlukan. Bahan-bahan untuk pembuatan beton, antara lain semen, pasir, batu pecah/*split*, *bottom ash* (abu dasar), *admixture* dan air bersih.

### 2. Pemeriksaan bahan dan peralatan

Bahan dan peralatan yang tersedia harus dalam kondisi baik dan sesuai standar yang ditetapkan agar dihasilkan beton dengan kualitas yang baik. Oleh karena itu, dilakukan pemeriksaan terhadap bahan tersebut.

Pemeriksaan yang dilakukan antara lain:

#### 2.1 Semen

Pemeriksaan terhadap semen dilakukan dengan cara:

2.1.1 Pemeriksaan tanggal produksi untuk mengetahui lama penyimpanan semen sebelum diterima proyek.

2.1.2 Tidak ada gumpalan atau semen padat yang berarti kemasan telah terpengaruh kelembaban sehingga semen sudah bereaksi.

2.1.3 Jika tangan dimasukkan ke dalam bubuk semen yang masih baik akan terasa dingin.

2.1.4 Jika semen yang masih baik ditabur di atas air, maka akan mengambang/mengapung sejenak sebelum mengendap.

2.1.5 Jika adukan pasta semen yang masih baik ditaruh di dalam gelas atau cawan, dan dimasukkan ke dalam air, tidak akan larut dan akan mengeras sesuai bentuk cetakan pastinya walaupun terendam air.

2.1.6 Pengujian berat jenis semen sesuai standar ASTM C 188. Apabila semen yang tersedia belum digunakan, terlebih dahulu semen disimpan di tempat yang baik. Cara penyimpanan yang baik adalah dengan memperhatikan hal-hal berikut:

2.1.6.1 Tempat penyimpanan semen harus kedap air dan tidak boleh ada lubang antara tembok dan genting.

2.1.6.2 Lantai harus dinaikkan di atas tanah untuk menjaga agar supaya tidak terjadi penyerapan air.

2.1.6.3 Kantong-kantong semen harus disimpan berimpit sedemikian rupa sehingga tidak terjadi perputaran udara diantaranya, juga tidak boleh berimpit

dengan tembok, serta harus ditutupi dengan kain terpal.

2.1.6.4 Unsur semen yang dapat digunakan pada konstruksi beton boleh melebihi 3 bulan.

## 2.2 Agregat halus (Pasir)

Hal-hal yang dapat dilakukan dalam pemeriksaan agregat halus yaitu:

2.2.1 Pemeriksaan secara visual, yakni pasir harus terdiri dari butir-butir tajam dan keras yang bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.

2.2.2 Pengujian agregat halus, antara lain :

2.2.2.1 Kadar air (ASTM C 566).

2.2.2.2 Berat jenis dan penyerapan agregat halus (ASTM C 128).

2.2.2.3 Analisis saringan/gradasi agregat halus (ASTM C 136).

2.2.2.4 Kadar lumpur (ASTM C 117).

2.2.2.5 Kandungan zat organis dalam pasir (ASTM C 40).

2.2.2.6 Berat volume agregat halus (ASTM C 29/C 29M).

## 2.3 *Bottom ash* (Abu dasar)

Pemeriksaan terhadap *bottom ash* dilakukan dengan cara visual yaitu *bottom ash* yang berwarna abu-abu gelap, serta dilakukan pengujian kadar air, berat jenis dan penyerapan, analisis saringan atau gradasi, dan berat volume.

## 2.4 Agregat kasar (Batu pecah)

Pemeriksaan pada agregat kasar, antara lain sebagai berikut:

2.4.1 Pemeriksaan secara visual, seperti agregat kasar harus terdiri dari batuan keras, tidak berpori dan memiliki sudut-sudut pada sisi-sisinya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.

2.4.2 Pengujian agregat kasar, seperti :

2.4.2.1 Kadar air (ASTM C 556).

2.4.2.2 Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (ASTM C 127).

2.4.2.3 Analisis saringan/gradasi agregat kasar (ASTM C 136).

2.4.2.4 Berat volume agregat kasar (ASTM C 29/C 29M).

2.4.2.5 Uji *Los Angeles Test* (ASTM C 131)

## 2.5 Air

Pemeriksaan secara visual yaitu dengan melihat bahwa air tampak jernih, tidak berwarna, dan tidak berbau sesuai dengan persyaratan untuk minum.

## 2.6 Peralatan

Peralatan yang akan digunakan harus berfungsi dengan baik dan tidak rusak.

### 3. Perencanaan campuran beton

Pada penelitian ini rencana komposisi campuran beton mutu tinggi (*mix design*) mengacu pada peraturan ACI 211.4R-93. Kuat tekan beton yang direncanakan 50 MPa dengan *slump* rencana 50 mm. Ukuran agregat maksimum adalah 25 mm. *Bottom ash* (abu dasar) digunakan sebagai bahan pengganti sejumlah agregat halus (pasir) pada beton mutu tinggi.

Langkah-langkah pembuatan rencana campuran beton dengan menggunakan metode ACI 211.4R-93 adalah sebagai berikut:

3.1 Menentukan kuat tekan rencana.

3.2 Menetapkan nilai *slump*

Nilai *slump* yang dianjurkan untuk beton seperti pada Tabel 8. Nilai *slump* awal dimulai dari 25 mm sampai 50 mm sebelum penambahan *high-range water reducing* (HRWR) seperti *superplasticizer*, hal ini menjamin air campuran yang cukup supaya *superplasticizer* efektif.

Tabel 8. Nilai *Slump* Untuk Berbagai Jenis Konstruksi.

Beton dengan HRWR	
<i>Slump</i> sebelum penambahan HRWR	25 mm - 50 mm
Beton tanpa HRWR	
<i>Slump</i>	50 mm – 100 mm

Dengan penambahan HRWR seperti *superplasticizer* nilai *slump* dari beton akan bertambah besar dan *superplasticizer* dapat mengurangi jumlah kebutuhan air pada campuran beton. Untuk

beton tanpa HRWR diharapkan mempunyai nilai *slump* minimum 50 mm untuk kemudahan pekerjaan.

### 3.3 Pemilihan ukuran maksimum agregat kasar

Syarat pemilihan ukuran agregat kasar maksimum berdasarkan anjuran dari ACI 318, sesuai dengan kegunaan struktur. Untuk beton mutu tinggi disarankan penggunaan maksimum ukuran agregat seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Ukuran Maksimum Agregat Kasar.

Kekuatan Tekan Beton (MPa)	Ukuran Maksimum Agregat Kasar (mm)
< 62	19 sampai 25
> 62	9,5 sampai 12,5*

\*saat menggunakan HRWR untuk menentukan agregat kasar, kekuatan beton 62 MPa sampai 83 MPa dapat dicapai dengan menggunakan ukuran agregat lebih besar dari 12,5 mm.

### 3.4 Perhitungan volume agregat kasar

Dari ukuran maksimum agregat kasar dan modulus kehalusan agregat halus didapat volume agregat kasar persatuan volume beton unntuk kondisi kering (lihat Tabel 10.) Untuk beton mutu tinggi modulus kehalusan tidak begitu penting dalam penentuan volume agregat kasar persatuan volume beton, karena beton mutu tinggi menggunakan semen yang cukup banyak.

Tabel 10. Volume Agregat Kasar per Satuan Volume Beton.

Ukuran Agregat Maksimum (mm)	Volume Agregat Kasar Kondisi Kering Padat
9,5	0,65
12,5	0,68
19,0	0,72
25,0	0,75

Berat agregat kasar kering (*oven-dry*) = Volume agregat kasar dikalikan berat volume kering agregat kasar.

### 3.5 Pemilihan jumlah air dan udara terperangkap.

Jumlah air tiap satuan volume beton tergantung dari ukuran maksimum agregat, bentuk partikel, kualitas semen dan tipe HRWR.

Tabel 11. Perkiraan Jumlah Air dan Udara Terperangkap.

Slump	Campuran Air (kg/m <sup>3</sup> )			
	Ukuran Agregat Kasar (mm)			
	9,5	12,5	19	25
25-50	184	175	169	166
50-75	190	184	175	172
75-100	196	190	181	178
Udara (%)	3	2,5	2	1,5
Udara *(%)	2,5	2,0	1,5	1,0

\*dengan menggunakan HRWR

Dari Tabel 11. didapat jumlah air yang dibutuhkan untuk pasir dengan kadar udara 35% sehingga void agregat halus adalah:

$$V = 1 - \frac{\text{Berat Volume Kering Oven Agregat Halus}}{\text{Bulk Specific Gravity Dry}} \times 100\%$$

$$\text{Penambahan jumlah air} = (V - 35) \times 4,75 \text{ kg/m}^3$$

Jumlah total air yang dibutuhkan adalah jumlah air dari Tabel 11. ditambah dengan penambahan jumlah air.

### 3.6 Pemilihan Rasio Air-Semen Ditambah Bahan Tambahan ( $\frac{W}{C+P}$ )

Rasio air-semen merupakan fungsi dari kekuatan beton dan ukuran maksimum agregat kasar (lihat Tabel 12 dan 13).

Perhitungan tekan rata-rata adalah:

$$f'_{cr} = f'c + 10 \text{ MPa}$$

$$f'_{cr} = \text{kuat tekan rata-rata}$$

$$f'c = \text{kuat tekan rencana}$$

Tabel 12. Rasio  $\frac{W}{C+P}$  Beton Tanpa HRWR.

Kuat Tekan Rata-rata $f'c$ (MPa)		$\frac{W}{C+P}$			
		Ukuran Maks. Agregat Kasar (mm)			
		9,5	12,5	19	25
48	28 hari	0,42	0,41	0,40	0,39
	56 hari	0,46	0,45	0,44	0,43
55	28 hari	0,35	0,34	0,33	0,33
	56 hari	0,38	0,37	0,36	0,35
62	28 hari	0,30	0,29	0,29	0,28
	56 hari	0,33	0,32	0,31	0,30
69	28 hari	0,26	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,29	0,28	0,27	0,26



Tabel 13. Rasio  $\frac{W}{C+P}$  Beton dengan HRWR.

Kuat Tekan Rata-rata $f'_c$ (MPa)		$\frac{W}{C+P}$			
		Ukuran Maks. Agregat Kasar (mm)			
		9,5	12,5	19	25
48	28 hari	0,52	0,48	0,45	0,43
	56 hari	0,55	0,52	0,48	0,46
55	28 hari	0,44	0,42	0,40	0,38
	56 hari	0,48	0,45	0,42	0,40
62	28 hari	0,38	0,36	0,35	0,34
	56 hari	0,42	0,39	0,37	0,36
69	28 hari	0,33	0,32	0,31	0,30
	56 hari	0,37	0,35	0,33	0,32
76	28 hari	0,30	0,29	0,27	0,27
	56 hari	0,33	0,31	0,29	0,29
83	28 hari	0,27	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,30	0,28	0,27	0,26

3.7 Menghitung jumlah semen dengan cara membagi jumlah air dengan faktor rasio air-semen

3.8 Menghitung komposisi campuran beton tanpa bahan tambahan untuk per- $m^3$  kondisi kering oven

Menghitung volume agregat halus dengan cara volume absolut yakni satu dikurangi volume total semen, air, udara dan agregat kasar. Berat agregat halus adalah volume agregat halus dikalikan berat volume kering.

3.9 Koreksi kandungan air pada agregat

Perhitungan sampai dengan langkah h. didapat agregat untuk kondisi kering (*oven-dry*). Pada umumnya di lapangan agregat tidak dalam kondisi *oven-dry* sehingga perlu dikoreksi.

Koreksi jumlah air sesuai kondisi di lapangan:

- Tambahan air untuk agregat kasar adalah kadar air agregat kasar dikurangi absorpsi agregat kasar dikalikan dengan berat agregat kasar kondisi kering oven.
- Tambahan air untuk agregat halus adalah kadar air agregat halus dikurangi absorpsi agregat halus dikalikan dengan berat agregat halus kondisi kering oven.

Koreksi agregat kondisi lapangan:

- Agregat kasar kondisi lapangan adalah  $(1 + \text{kadar air})$  dikalikan dengan berat agregat kasar kering oven.
- Agregat halus kondisi lapangan adalah  $(1 + \text{kadar air})$  dikalikan berat agregat halus kering oven.

### 3.10 Perhitungan *superplasticizer* (SP)

Persentase *superplasticizer* tergantung dari merk dan jenis yang direkomendasikan. Banyaknya *superplasticizer* sama dengan persentase SP dikalikan berat semen dibagi berat jenis SP. Jumlah air dan SP sangat tergantung pada kondisi saat pengecoran beton.

## 4. Pelaksanaan pengecoran campuran beton

Langkah-langkah pembuatan beton, yaitu:

### 4.1 Penakaran (Penimbangan) bahan-bahan

Menimbang bahan-bahan untuk pembuatan beton, seperti semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (batu pecah), *bottom ash*, dan

air serta *superplasticizer* sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan dari hasil rancangan campuran beton (*mix design*). Agregat kasar diayak terlebih dahulu dengan menggunakan ayakan diameter 25 mm sedangkan *bottom ash* dan pasir dengan menggunakan ayakan 4,75 mm. Takaran bahan dapat ditentukan menurut perbandingan berat atau perbandingan volume. Baik penakaran dengan ukuran berat maupun dengan volume, penakaran harus dilakukan dengan cermat. Takaran yang tidak tepat dapat mengakibatkan kualitas beton yang dihasilkan kurang memenuhi syarat mutu. Terutama takaran yang berkaitan dengan banyaknya air pengaduk, atau banyaknya semen, sebab jika faktor air semen tidak tepat maka akan sangat mempengaruhi kualitas betonnya. Makin besar faktor air semen pada komposisi beton bahan yang sama akan makin kecil kekuatan beton yang dihasilkan.

#### 4.2 Pengadukan beton

Proses pencampuran antara bahan-bahan dasar beton yaitu diawali dengan memasukkan agregat kasar (batu pecah) dan sebagian air yang sudah dicampur *superplasticizer* ke dalam mesin molen, lalu diputar beberapa kali putaran kemudian memasukkan semen *portland*, pasir, *bottom ash* dan sisa air ke dalam molen lalu diputar beberapa menit hingga bahan tercampur rata. Pengadukan dilakukan sedemikian rupa sampai adukan beton benar-benar homogen, warnanya tampak rata, kelecakan

cukup (tidak terlalu cair dan tidak terlalu kental), dan tidak tampak adanya pemisah butir (segregasi). Adukan yang homogen akan dapat menghasilkan beton dengan kualitas baik.

#### 4.3 Pengujian *slump*

Sebelum proses pencetakan beton dilakukan, terlebih dahulu dilakukan *slump test* dengan mengacu pada peraturan ASTM C 143. Tujuan dari pengukuran *slump* adalah untuk mengetahui konsistensi (kekentalan adukan beton) pada campuran beton yang masih segar (adukan beton). Peralatan yang dipakai adalah cetakan kerucut dengan tinggi 30 cm, diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm, batang baja penumbuk ukuran 16 mm dengan panjang 60 cm, dasar yang kedap air sekitar 45 cm persegi, sekop kecil, sendok semen, dan penggaris.

Cara kerja pengujian nilai *slump* adalah dengan meletakkan kerucut pada alasnya. Adukan beton dimasukkan dengan menggunakan sekop kecil, setelah tinggi adukan mencapai  $\frac{1}{3}$  bagian kerucut lalu ditusuk-tusuk dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, kemudian ditambah 2 lapisan lagi masing-masing dengan cara yang sama. Permukaan atas diratakan dengan sendok semen. Setelah 30 detik, kerucut diangkat ke atas secara perlahan-lahan. Setelah itu kerucut dibalik, dan diletakkan disamping adukan, lalu batang penumbuk direbahkan di atasnya. Ukuran perbedaan tinggi antara kerucut dengan

campuran disebut tinggi *slump*. Pada penelitian ini nilai *slump* direncanakan sebesar 50 mm.

#### 4.4 Pencetakan beton

Setelah pengujian *slump*, campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan benda uji yang telah dipersiapkan. Proses memasukkan campuran ke dalam cetakan dibagi ke dalam tiga lapisan masing-masing setinggi 1/3 tinggi cetakan, lalu dilakukan pemadatan.

#### 4.5 Pemadatan beton

Proses pemadatan beton dilakukan dengan dua tahapan, yaitu menggunakan alat getar internal (*internal vibrator*) dan getaran eksternal. Pertama dilakukan pemadatan dengan menggunakan alat getar internal berupa tongkat penggetar yang dimasukkan ke dalam adukan beton, tanpa harus menyebabkan *bleeding*. Setelah itu, dilakukan pemadatan eksternal dengan cara menggetarkan cetakan beton secara manual, yaitu dengan memukul-mukul sisi luar cetakan beton dengan palu karet secara kontinyu. Hal ini dilakukan agar mendapatkan beton yang tidak berongga (keropos) sehingga mutu beton yang diinginkan tercapai. Setelah selesai dicetak dan dipadatkan, beton dibiarkan selama  $\pm 24$  jam dan cetakan dapat dibuka. Setelah itu, beton dapat diangkat, diberi kode sampel, dan diletakkan di area penyimpanan serta perawatan sebelum dilakukan pengujian.

## 5. Perawatan beton (*Curing*)

Selama proses pengerasan, beton akan mengalami reaksi kimia yaitu proses hidrasi, proses hidrasi membutuhkan air dalam jumlah yang cukup, sehingga dihindari terjadinya penguapan, sebab akan menghentikan proses hidrasi akibat kehilangan air. Penguapan selain menghentikan proses hidrasi juga menyebabkan penyusutan kering secara tepat, yang mengakibatkan beton menjadi retak-retak. Oleh karena itu, dilakukan proses perawatan beton agar permukaannya selalu basah untuk menjaga kelembapan beton dan mencegah penguapan serta penyusutan awal. Perawatan yang teratur dan terjaga akan memperbaiki kualitas beton itu sendiri yaitu membuat beton tahan terhadap reaksi kimia. Perawatan benda uji dilakukan dengan cara perendaman. Adapun cara perendamannya adalah sebagai berikut:

- 5.1 Setelah dicetak dan dibiarkan 24 jam selanjutnya cetakan beton silinder dibuka, lalu beton tersebut direndam di dalam air.
- 5.2 Perendaman dilakukan sampai sebelum proses pengujian beton pada umur 7 dan 28 hari.
- 5.3 Sebelum beton direndam terlebih dahulu diberi nama pada permukaannya (kode sampel).

## 6. Pengujian beton

### 6.1 Pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan terhadap benda uji silinder ukuran 10x20 cm dengan menggunakan mesin uji kuat

tekan *Compression Testing Machine* (CTM) sesuai dengan ASTM C 39/C 39M. Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah beton mencapai umur 7 dan 28 hari. Pertama-tama mengambil dan menimbang benda uji beton. Lalu, dilanjutkan dengan pelaksanaan *capping* menggunakan bahan belerang pada permukaan atas silinder beton yang bertujuan untuk meratakan permukaan beton agar saat dilakukan uji kuat tekan diperoleh hasil yang maksimal. Setelah itu menyiapkan mesin uji tekan beton. Kemudian, meletakkan benda uji pada mesin uji tekan secara sentris kemudian menghidupkan mesin uji dengan kecepatan penambahan beban yang konstan berkisar antara 0,15 - 0,34 MPa per detik.

Melakukan pembacaan pembebanan pada kondisi beton hancur (dalam satuan kN). Hasil kuat tekan benda uji dicatat saat jarum penunjuk kuat tekan mencapai nilai tertinggi. Berikut ini adalah cara untuk mencari besarnya kuat tekan beton sesuai dengan SNI 03-1974-1990, yaitu dengan menggunakan rumus:

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Dimana:  $f'c$  = kuat tekan silinder/kubus (MPa)

$P$  = beban yang dipikul pada saat runtuh (N)

$A$  = luas penampang silinder/kubus (mm<sup>2</sup>)

## 6.2 Pengujian kuat tarik lentur

Pengujian kuat tarik lentur beton dilakukan terhadap balok di atas dua perletakkan dan dibebani dengan dua beban terpusat yang simetris. Pada serat bawah antara dua titik pembebanan akan terjadi kuat tarik maksimum yang merata. Pada pengujian kuat tarik lentur balok pada umur 7 dan 28 hari, benda uji yang digunakan berukuran 10x10x40 cm dibebani dengan kecepatan pembebanan antara 0,0143 sampai 0,020 MPa/detik. Menurut ASTM C 78 dan SNI 4431-2011 kuat tarik lentur beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$f_r = \frac{P.L}{b.h^2}$$

Dimana:

$f_r$  = *Force of Ruptured*/ Kuat lentur (MPa)

P = Beban runtuh (N)

L = Panjang benda uji antar tumpuan (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

h = Tinggi benda uji (mm)

## 6.3 Pengujian modulus elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan terhadap benda uji silinder ukuran 15x30 cm pada umur 28 hari. Proses pengujian modulus elastisitas beton ini menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM) dan dilengkapi dengan alat *extensometer* untuk menunjukkan nilai penurunan atau perpendekan dimensi silinder pada arah longitudinal. Tahapan yang dilakukan sama



seperti pengujian kuat tekan silinder pada umumnya, namun ditambah dengan proses pemasangan *dial* (alat *extensometer*) pada benda uji. Lalu setelah benda uji siap, dilanjutkan dengan proses pembebanan benda uji. Kemudian catat nilai penurunannya yang ditunjukkan pada *dial* untuk kuat tekan tertentu. Berdasarkan rekomendasi ASTM C 469, perhitungan modulus elastisitas beton yang digunakan adalah *modulus chord*, adapun perhitungan modulus elastisitas ( $E_c$ ):

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - 0,00005}$$

Dimana:

$E_c$  = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

$\sigma_2$  = Tegangan pada 40% tegangan runtuh  $f'_{cr}$  (MPa)

$\sigma_1$  = Tegangan yang terjadi pada regangan 0,00005 (MPa)

$\epsilon_2$  = Regangan longitudinal akibat  $\sigma_2$

## E. Analisis Hasil Penelitian

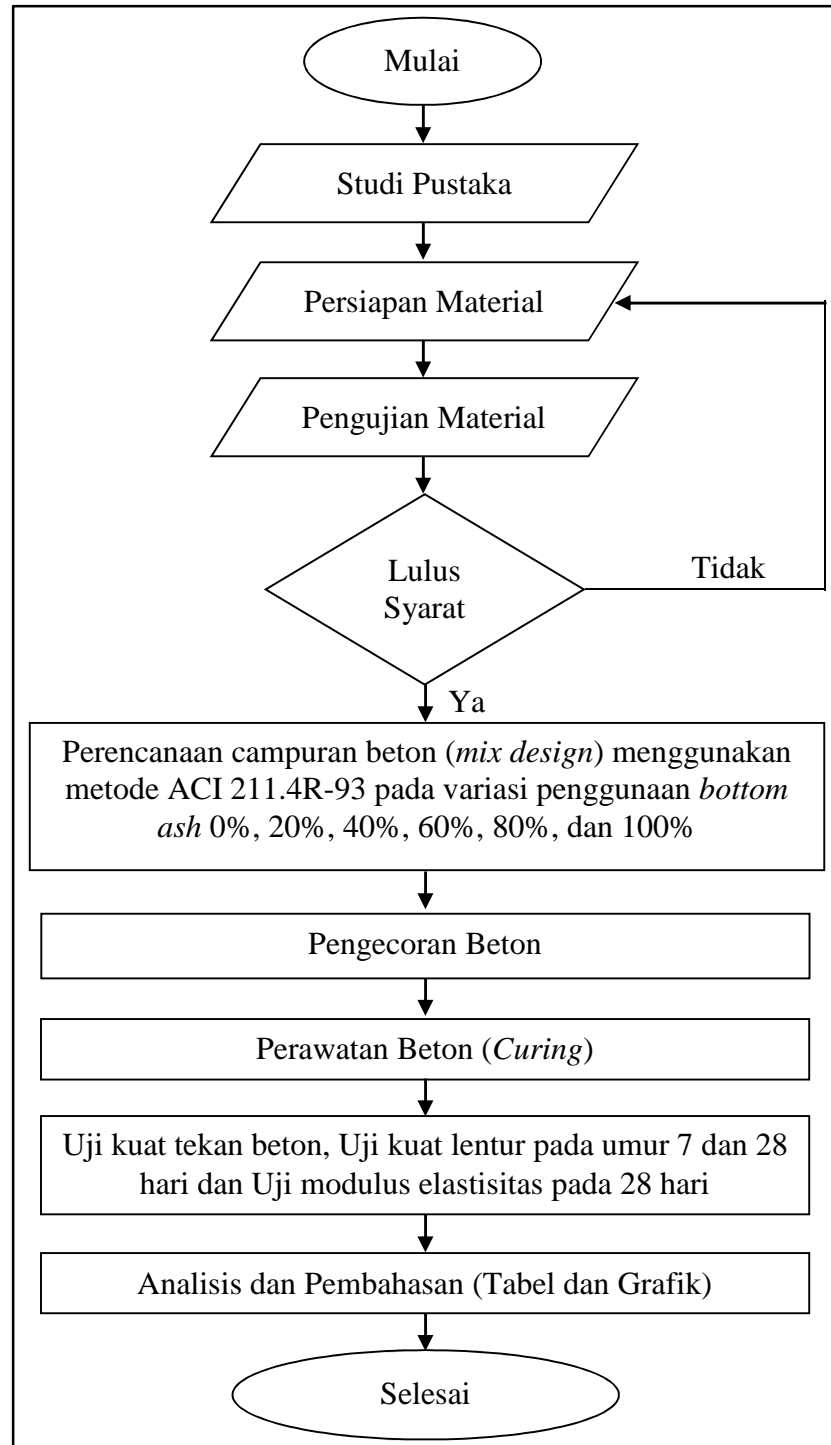
Analisis hasil dari penelitian ini dilakukan dengan cara:

- Menghitung kuat tekan beton, kuat tarik lentur beton dan modulus elastisitas beton dengan menggunakan rumus yang ada lalu disajikan dalam bentuk tabel.
- Mengetahui ada tidaknya pengaruh dari variabel yang digunakan terhadap hubungan kuat tekan dan kuat tarik lentur serta modulus elastisitas dengan komposisi material *bottom ash* yang bervariasi dan disajikan dalam bentuk grafik.

- Mengetahui ada tidaknya pengaruh dari variabel yang digunakan terhadap hubungan antara perkembangan kekuatan beton pada umur 7 dan 28 hari dengan penggantian sebagian agregat halus (pasir) dengan *bottom ash* di dalamnya.

## F. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini secara keseluruhan, yaitu:



Gambar 5. Bagan Alir Penelitian.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Bottom ash* merupakan material limbah berbahaya, namun peranannya dalam menggantikan komposisi pasir dalam adukan beton dapat memberikan manfaat bagi produsen dan konsumen bahan bangunan.
2. Semakin banyak jumlah kadar penggunaan *bottom ash* yang digunakan maka tingkat kelecakan beton (*workability*) akan semakin tinggi dan menyebabkan nilai *slump* juga semakin besar.
3. Beton dengan kandungan *bottom ash* memiliki berat volume lebih besar dibandingkan beton tanpa kandungan *bottom ash*.
4. Penggantian sebagian pasir dengan *bottom ash* akan meningkatkan kuat tekan, kuat lentur dan modulus elastisitas beton. Kuat tekan beton tertinggi terjadi pada beton dengan kadar *bottom ash* 80%, yaitu sebesar 39,68 MPa pada umur 7 hari dan sebesar 45,41 MPa pada umur 28 hari, kuat lentur beton tertinggi terjadi pada beton dengan kadar *bottom ash* 80%, yaitu sebesar 4,62 MPa pada umur 7 hari dan sebesar 5,53 MPa pada umur 28 hari dan nilai modulus elastisitas

terbesar terjadi pada kadar *bottom ash* 20% dan *bottom ash* 80% sebesar 60625,67 MPa dan 59441,67 MPa.

5. Pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan campuran pada beton berdampak positif untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan menguntungkan secara ekonomis dan berdasarkan hasil penelitian dapat direkomendasikan untuk pekerjaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) karena menghasilkan nilai kuat lentur dan modulus elastisitas yang tinggi.

## **B. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian, hal yang dapat disarankan untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. Pada saat persiapan material sebaiknya dilakukan seleksi yang akurat terhadap material yang akan digunakan. Agar proses penelitian tidak terjadi kegagalan berulang kali.
2. Pada tahap pengecoran sebaiknya dilakukan dengan menggunakan molen yang berkapasitas besar agar proses pengecoran dengan volume adukan yang besar dapat dilakukan satu kali pekerjaan.
3. Pada proses pelaksanaan ada baiknya menggunakan alat K3 (Kesehatan dan Keselamatan Kerja) yang lengkap dikarenakan limbah *bottom ash* masih tergolong material yang beracun.
4. Perlu ketelitian yang baik saat proses perawatan beton (*curing*) agar kekuatan betonpun terjaga dengan baik.

# **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committe 211. 1993. *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*. Reapproved 1998, Detroit. 13 hlm.
- ACI Committe 318. 1995. *Building Code Requirements For Reinforced Concrete Institute*. Farmington Hills. 373 hlm.
- ACI Committe 363. 1992. *State of The Art Report on High-Strength Concrete*. Reapproved 1997, Detroit. 55 hlm.
- Annual Book of ASTM Standards Volume 04.02*. 2001. *Concrete and Aggregates*. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken PA.
- Hertika. 2014. *Pengaruh Bottom Ash Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton*. Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Bandar Lampung. 85 hlm.
- Jackson, N. 1977. *Civil Engineering Material*. Macmillan Press, London. 338 hlm.
- Murdock, L.J, K.M Brook dan Stephanus Hendarko. 1999. *Bahan dan Praktek Beton*. Ed ke-4. Jakarta: Penerbit Erlangga. 473 hlm.
- Pratikto. 2009. *Diktat Konstruksi Beton I*. Politeknik Negeri Jakarta. Jakarta. 126 hlm.
- Santoso, Indriani, dkk. 2003. *Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton*. Jurnal Dimensi Teknik Sipil Vol. 5 No. 2: hlm 75-81.
- Sebayang, Surya. 2000. *Diktat Bahan Bangunan*. Vol. 1:Teknologi Beton. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 64 hlm.
- SK SNI T-15-1991-03. 1991. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Yayasan LPMB, Bandung. 185 hlm.
- SNI 03-1974-1990. 1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta. 17 hlm.

- SNI 03-6815-2002. 2002. *Tata Cara Mengevaluasi Hasil Uji Kekuatan Beton*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta. 32 hlm.
- SNI 15-2049:2004. 2004. *Semen Portland*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta. 132 hlm.
- SNI 2847:2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta. 265 hlm.
- SNI 4431:2011. 2011. *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta. 16 hlm.
- SNI Pd T-04-2004-C. 2004. *Tata Cara Pembuatan dan Pelaksanaan Beton Berkekuatan Tinggi*. Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, Bandung. 13 hlm.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 2012. *Teknologi Beton*. KMTS FT UGM, Yogyakarta.