

**PENGARUH CAMPURAN KADAR BOTTOM ASH DAN LAMA  
PERENDAMAN AIR LAUT TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :  
**MUHADI WIJI NOVIANTO**  
**NIM. 0710613030-61**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**JURUSAN SIPIL**  
**MALANG**  
**2014**

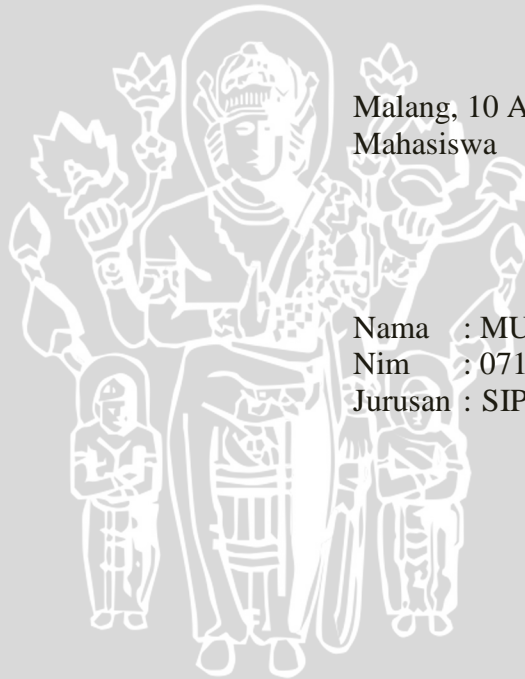
## PERNYATAAN ORISINILITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini tidak pernah 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 ada 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, 10 Agustus 2014  
Mahasiswa

Nama : MUHADI WIJI . N  
Nim : 0710613030  
Jurusan : SIPIL



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, skripsi dengan judul “PENGARUH CAMPURAN KADAR BOTTOM ASH DAN LAMA PERENDAMAN AIR LAUT TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK” dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan akademik yang wajib dipenuhi sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan yang baik ini saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu selama proses perkuliahan terutama kepada pihak yang turut membantu dalam penyusunan skripsi ini, yaitu:

1. Ir. Ristinah S., MT, selaku dosen pembimbing skripsi.
2. R. Martin Simatupang, ST.,MT.,M.Sc, selaku dosen pembimbing skripsi.
3. Ir. Agus Suharyanto, M.Eng, Ph.D, selaku dosen pembimbing akademik.
4. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan kesempatan dan dukungan kepada saya selama proses perkuliahan hingga kini.
5. Semua dosen Teknik Sipil Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmunya selama proses perkuliahan.
6. Semua teman Teknik Sipil Universitas Brawijaya, khususnya angkatan 2007.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberi bantuan dan dukungan dalam penyusunan skripsi ini.

Saya menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Dengan selesainya skripsi ini, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 10 Agustus 2014

Penulis



## RINGKASAN

**Muhadi Wiji Novianto**, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2014, *Pengaruh Campuran Kadar Bottom Ash dan Lama Perendaman Air Laut Terhadap Lentutan pada Balok*, Dosen Pembimbing : Ir. Ristinah, MT dan R. Martin Simatupang.S, ST, MT.

---

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang merupakan campuran heterogen antara agregat kasar dan agregat halus dengan pengikat semen dan air yang dalam proses pencampurannya mengalami proses pengerasan atau hidrasi dalam kurun waktu tertentu. Pada umumnya elemen – elemen pokok pada konstruksi bangunan terutama kolom, balok dan plat yang dibuat dengan beton. Dari sisi ekonomis, selain mudah dibuat dan mudah dibentuk, bahan beton juga memiliki keunggulan lain yaitu agregat pengisi pasir dan kerikil atau batu pecah sangat berlimpah di alam sehingga mudah didapat. Dari segi kekuatan, bahan beton memiliki kekuatan tekan yang sangat tinggi, artinya beton sangat ideal untuk menerima beban tekan.

Lentutan merupakan fungsi dari pembebanan dan kekakuannya. Perilaku hubungan beban dan defleksi pada balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilineer. Bentuk trilineer tersebut membagi kondisi lentutan menjadi tiga bagian yaitu daerah I sebagai kondisi elastis, daerah II sebagai kondisi kemampuan layan/*serviceability*, dan daerah III sebagai kondisi plastis. Daerah *serviceability* merupakan daerah yang dibatasi dengan terjadinya retak pertama pada beton hingga pada pembebanan 70% beban maksimum yang mampu ditahan balok.

Pada penelitian lentutan balok digunakan benda uji balok beton bertulangan dengan dimensi 70 mm x 100 mm x 1100 mm, dan benda uji silinder 150 mm x 300mm untuk uji kuat tekan. Benda uji balok dan silinder dibuat dengan variasi *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus sebesar 0%, 10%, 20%, dan 25%. Data lentutan diperoleh dengan pembacaan *dial gauge* pada setiap pembebanan.

Berdasar penelitian didapatkan nilai kuat tekan beton *bottom ash* lebih rendah dibanding kuat tekan beton normal. Menurunnya kuat tekan beton berpengaruh pada lentutan yang terjadi. Untuk nilai beban yang sama lentutan balok beton *bottom ash* sedikit lebih besar dibanding balok beton normal.

Kata kunci: *bottom ash*, agregat halus, lentutan, balok

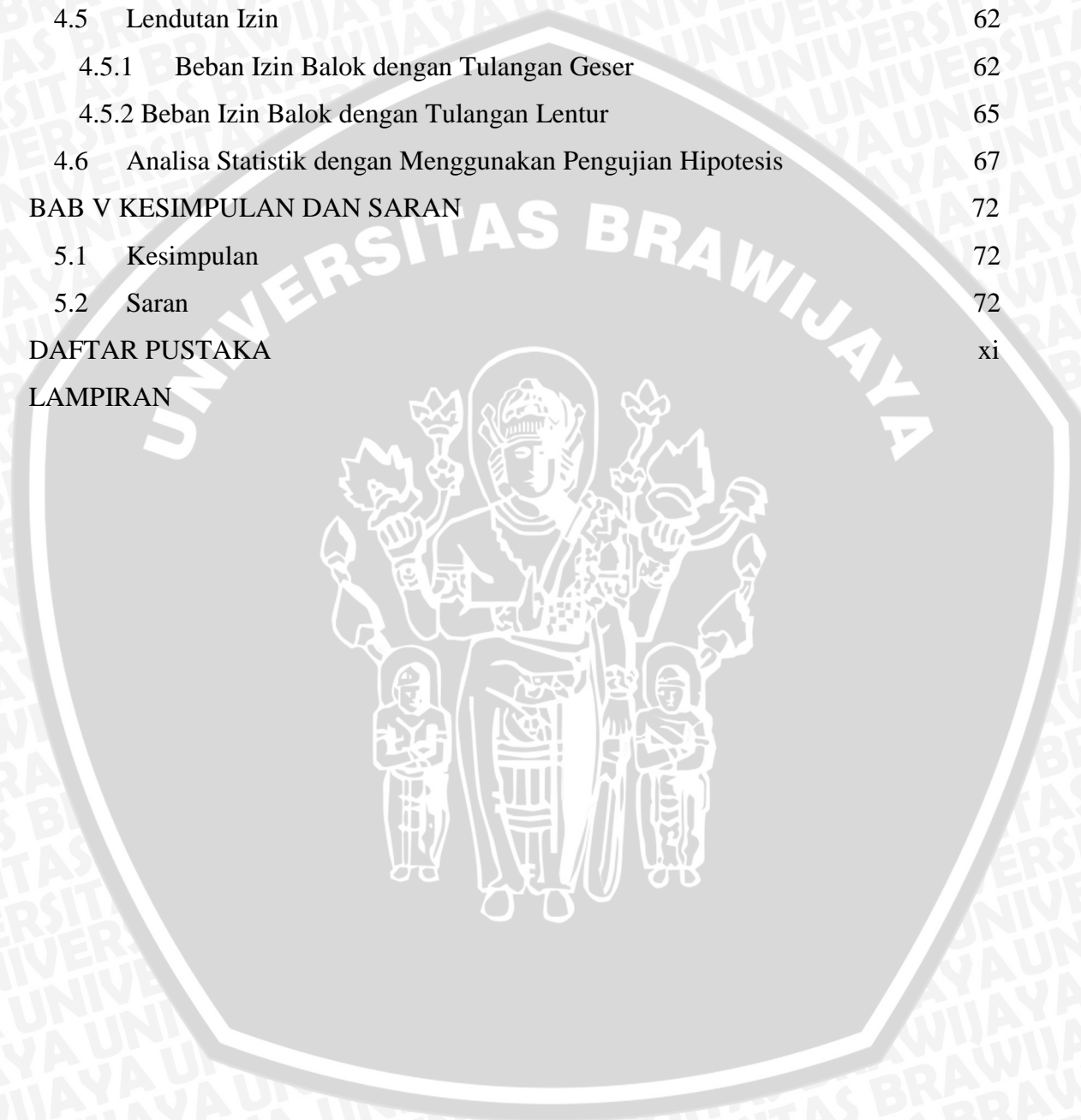
## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
RINGKASAN	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	<b>5</b>
2.1 Air	5
2.1.1. Unsur-Unsur Merugikan yang Terdapat dalam Air	5
2.1.2 Pengaruh Air pada Kekuatan Beton	6
2.2 Air Laut	6
2.3 Semen	7
2.4 Pasir	7
2.5 Kerikil	7
2.6 Faktor air semen	7
2.7 Susunan butir (gradasi) agregat.	8
2.8 Bottom Ash	8
2.8.1 Sifat fisik	8
2.8.2 Sifat kimia	9
2.9 Ion Klorida	9
2.10 Pengaruh Ion Klorida pada Beton	10
2.11 Perawatan Beton (Curing)	12
2.12 Penetrasi Air Laut pada Beton	13
2.13 Lendutan	13



2.14	Perencanaan Campuran Dan Pembuatan Beton	14
2.14.1	Kekuatan Desak	15
2.14.2	Workabilitas	15
2.14.3	Durabilitas	15
2.14.4	Penyelesaian Akhir dari Permukaan Beton	16
2.14.5	Prosedur Perbandingan Campuran	16
2.15	Penelitian-Penelitian Terdahulu	16
2.15.1	Miko Eniarti (1996)	16
2.15.2	Wachid Zaenal (1997)	17
2.15.3	Indriani Santoso, et. al. (2003)	17
2.15.4	Yulianto, Erfan Yoky (2007)	17
2.15.5	Bernad M.S. (2009)	18
2.15.6	Audrian Ramanta Herdy (2012)	18
2.15.7	Kris Naedi (2012)	19
2.15.8	Dimas Setyo Yuliandoko (2012)	20
2.15.9	Septiawan Arifin H. (2012)	20
2.16	Hipotesis	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>		22
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.2	Bahan dan Peralatan Yang Digunakan	22
3.3	Proses Pengadaan Bahan	24
3.4	Rancangan penelitian	24
3.5	Metode Pengujian	30
3.6	Diagram Alir Penelitian	33
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>		34
4.1	Analisis Penampang dan Lendutan pada Balok Beton Normal	34
4.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan	39
4.3	Uji Statistik Kuat Tekan	40
4.4	Pengujian Lendutan	41
4.4.1	Perhitungan Momen Inersia Efektif	42
4.4.2	Pengujian Balok Beton Variasi 0% <i>Bottom Ash</i>	44
4.4.3	Pengujian balok beton variasi 10% <i>bottom ash</i>	47
4.4.4	Pengujian balok beton variasi 20% <i>bottom ash</i>	51

4.4.5	Pengujian balok beton variasi 20% <i>bottom ash</i>	54
4.4.6	Grafik Perbandingan balok beton variasi <i>bottom ash</i> 0%, 10%, 20% dan 25% berdasarkan lama perendaman	57
4.4.7	Grafik Perbandingan balok beton berdasarkan variasi <i>bottom ash</i> 0%, 10%, 20% dan 25%.	59
4.5	Lendutan Izin	62
4.5.1	Beban Izin Balok dengan Tulangan Geser	62
4.5.2	Beban Izin Balok dengan Tulangan Lentur	65
4.6	Analisa Statistik dengan Menggunakan Pengujian Hipotesis	67
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		72
5.1	Kesimpulan	72
5.2	Saran	72
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		xi
<b>LAMPIRAN</b>		



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Hubungan beban–lendutan pada balok.	14
Gambar 3. 1	Rencana Balok Geser sebagai benda uji penelitian	25
Gambar 3. 2	Rencana Balok Lentur sebagai benda uji penelitian	26
Gambar 3. 3	Rencana Bak Perendaman untuk Benda Uji Balok (Tampak Atas)	29
Gambar 3. 4	Asumsi untuk Benda Uji Silinder (Tampak Atas)	29
Gambar 3. 5	Rencana Bak Perendaman untuk Benda Uji Balok dan Silinder	30
Gambar 3. 6	Setup pengujian lendutan balok dengan tulangan geser	31
Gambar 3. 7	Bidang M dan D	31
Gambar 3. 8	Setup pengujian lendutan balok dengan tulangan lentur	32
Gambar 3. 9	Bidang M dan D	32
Gambar 4. 1	Penampang balok tulangan rangkap	34
Gambar 4. 2	Bidang momen	36
Gambar 4. 3	Perbandingan kuat tekan beton	41
Gambar 4. 4	Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 7 hari dengan bottom ash 0%	45
Gambar 4. 5	Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 7 hari dengan bottom ash 0%	45
Gambar 4. 6	Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 14 hari dengan bottom ash 0%	46
Gambar 4. 7	Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 14 hari dengan bottom ash 0%	46
Gambar 4. 8	Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 28 hari dengan bottom ash 0%	47
Gambar 4. 9	Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 28 hari dengan bottom ash 0%	47
Gambar 4. 10	Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 7 hari dengan bottom ash 10%	48
Gambar 4. 11	Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 7 hari dengan bottom ash 10%	48
Gambar 4. 12	Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 14 hari dengan bottom ash 10%	49



Gambar 4. 13 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 14 hari dengan bottom ash 10%	49
Gambar 4. 14 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 28 hari dengan bottom ash 10%	50
Gambar 4. 15 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 28 hari dengan bottom ash 10%	50
Gambar 4. 16 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 7 hari dengan bottom ash 20%	51
Gambar 4. 17 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 7 hari dengan bottom ash 20%	51
Gambar 4. 18 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 14 hari dengan bottom ash 20%	52
Gambar 4. 19 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 14 hari dengan bottom ash 20%	52
Gambar 4. 20 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 28 hari dengan bottom ash 20%	53
Gambar 4. 21 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 28 hari dengan bottom ash 20%	53
Gambar 4. 22 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 7 hari dengan bottom ash 25%	54
Gambar 4. 23 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 7 hari dengan bottom ash 25%	54
Gambar 4. 24 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 14 hari dengan bottom ash 25%	55
Gambar 4. 25 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 14 hari dengan bottom ash 25%	55
Gambar 4. 26 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 28 hari dengan bottom ash 25%	56
Gambar 4. 27 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 28 hari dengan bottom ash 25%	56
Gambar 4. 28 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan geser yang direndam selama 7 hari	57

Gambar 4. 29 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan lentur yang direndam selama 7 hari	57
Gambar 4. 30 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan geser yang direndam selama 14 hari	58
Gambar 4. 31 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan lentur yang direndam selama 14 hari	58
Gambar 4. 32 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan geser yang direndam selama 28 hari	58
Gambar 4. 33 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan lentur yang direndam selama 28 hari	59
Gambar 4. 34 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan geser	60
Gambar 4. 35 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan lentur	61
Gambar 4. 36 Variasi beban izin balok dengan tulangan geser untuk lama perendaman 7 hari	64
Gambar 4. 37 Variasi beban izin balok dengan tulangan geser untuk lama perendaman 14 hari	64
Gambar 4.38 Variasi beban izin balok dengan tulangan geser untuk lama perendaman 28 hari	65
Gambar 4. 39 Variasi beban izin balok dengan tulangan geser untuk lama perendaman 28 hari	66
Gambar 4. 40 Variasi beban izin balok dengan tulangan geser untuk lama perendaman 28 hari	67

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Toleransi untuk tinggi selimut beton	25
Tabel 3. 2	Perbandingan antara semen dan bottom ash	26
Tabel 3. 3	Perhitungan Kebutuhan Material Balok	27
Tabel 3. 4	Perhitungan Kebutuhan Material Silinder	28
Tabel 4. 1	Pengujian kuat tekan	39
Tabel 4. 2	Inersia efektif	42
Tabel 4. 3	Beban dan Lendutan pada balok dengan tulangan geser berdasarkan variasi campuran bottom ash	60
Tabel 4. 4	Beban dan Lendutan pada balok dengan tulangan lentur berdasarkan variasi campuran bottom ash	61
Tabel 4. 5	Rumus lendutan Izin	62
Tabel 4. 6	Lendutan izin balok tulangan geser	63
Tabel 4. 7	Lendutan izin balok tulangan lentur	65





## DAFTAR NOTASI

Notasi	Satuan	Besaran
$A_s$	$\text{mm}^2$	Luas tulangan
$b$	mm	Lebar penampang balok
$C$	N	Gaya tekan
$d'$	mm	Tebal selimut beton
$E$	MPa	Modulus elastisitas
$f'_c$	MPa	Kuat tekan beton
$f_r$	$\text{N}/\text{mm}^2$	Modulus retak beton
$f_y$	MPa	Tegangan leleh baja
$h$	mm	Tinggi penampang balok
$I_{cr}$	$\text{mm}^4$	Momen inersia daerah III ( <i>crack</i> )
$I_e$	$\text{mm}^4$	Momen inersia daerah II ( <i>effective</i> )
$I_g$	$\text{mm}^4$	Momen inersia daerah I ( <i>gross</i> )
$L$	mm	Panjang bentang (jarak antar tumpuan)
$M_a$	Nmm	Momen maksimum
$M_{cr}$	Nmm	Momen saat timbul retak pertama
$M_n$	Nmm	Momen nominal
$P$	N	Beban
$T$	N	Gaya tarik
$y$	mm	Garis netral daerah tekan terhadap serat tarik daerah tekan
$y_t$	mm	Jarak dari garis netral penampang utuh ke serat tepi tarik
$\delta$	mm	Lendutan
$\epsilon_c$	-	Regangan beton
$\epsilon_s$	-	Regangan baja
$r_b$	%	Rasio tulangan seimbang
$r_{max}$	%	Rasio tulangan maksimum
$r_{min}$	%	Rasio tulangan minimum
$\phi$	mm	Diameter tulangan

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Abu batu bara pada masa kini banyak dihasilkan dari pembangkit listrik yang menggunakan pembakaran batubara. Abu batubara umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penanganan abu batubara masih terbatas pada penimbunan dilahan kosong. Hal ini berpotensi berbahaya bagi lingkungan dan masyarakat sekitar jika terbawa ke perairan. Sudut pandang terhadap abu batubara harus diubah. Beberapa investigasi menyimpulkan bahwa abu batubara memiliki kapasitas untuk mempercepat pengikatan yang baik untuk pembuatan beton.

Hingga saat ini abu batubara tersebut banyak dimanfaatkan untuk keperluan industri semen dan beton, bahan pengisi untuk bahan tambang dan bahan galian serta berbagai pemanfaatan lainnya. Guna memanfaatkan limbah-limbah hasil industri seperti halnya abu batubara, dipandang perlu dilakukan penelitian tentang pemanfaatan abu batubara sebagai bahan campuran dalam pembuatan beton.

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang merupakan campuran heterogen antara agregat kasar dan agregat halus dengan pengikat semen dan air yang dalam proses pencampurannya mengalami proses pengerasan atau hidrasi dalam kurun waktu tertentu. Pada umumnya elemen – elemen pokok pada konstruksi bangunan terutama kolom, balok dan plat yang dibuat dengan beton. Dari sisi ekonomis, selain mudah dibuat dan mudah dibentuk, bahan beton juga memiliki keunggulan lain yaitu agregat pengisi pasir dan kerikil atau batu pecah sangat berlimpah di alam sehingga mudah didapat. Dari segi kekuatan, bahan beton memiliki kekuatan tekan yang sangat tinggi, artinya beton sangat ideal untuk menerima beban tekan.

Pengerasan merupakan proses penambahan kekuatan ikatan yang signifikan antara semen dan agregat halus dan kasar (diukur dengan kekuatan tekannya) dalam waktu kurang dari 28 hari, setelah itu proses pengerasannya relatif sangat lambat dan dianggap sudah mencapai kekuatan maksimum. Dalam proses pengerasannya atau masa bekisting, ada banyak faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan beton yang salah satunya adalah kontak langsung dengan materi atau zat lain yang memiliki sifat tertentu



.Banyaknya air yang digunakan selama proses hidrasi akan mempengaruhi kekuatan beton. Jika air terlalu banyak, maka air akan membuat rongga – rongga di beton, sebaliknya jika air terlalu sedikit maka akan menyebabkan beton menggumpal dan sulit untuk dibentuk sehingga akan mempersulit juga dalam pelaksanaan.

Sebagian besar permukaan bumi merupakan wilayah laut yang didalamnya terkandung berbagai sumber daya alam yang sangat besar untuk memenuhi kebutuhan manusia. Mulai dari sumber makanan seperti ikan dan tumbuhan laut, sumber energi seperti minyak bumi dan pembangkit tenaga listrik, tenaga gelombang, sebagai sarana transportasi dan tempat wisata. Semua itu mengakibatkan manusia memanfaatkan semaksimal mungkin.

Berbagai potensi tersebut dimanfaatkan dengan pembangunan berbagai prasarana penunjang. Prasarana penunjang tersebut seperti pelabuhan laut, anjungan lepas pantai, jembatan, tempat peristirahatan, dermaga dan sebagainya. Dalam proses pembuatannya kontak dengan air laut terkadang tidak dapat dihindari.

Air laut sendiri memiliki kandungan garam yang tinggi yang dapat menggerogoti kekuatan dan keawetan beton. Hal ini disebabkan klorida (Cl) yang terdapat pada air laut yang merupakan garam yang bersifat agresif terhadap bahan lain, termasuk beton. Kerusakan dapat terjadi pada beton akibat. Reaksi antara air laut yang agresif yang terpenetrasi kedalam beton dengan senyawa – senyawa didalam beton yang mengakibatkan beton kehilangan sebagian massa, kehilangan kekuatan dan kekakuannya serta mempercepat proses pelapukan.

Dari penjelasan diatas, maka pada skripsi kali ini akan dibahas bagaimana pengaruh adukan beton dengan campuran *bottom ash* pada semen sebanyak 0%, 10%, 20%, 25% selama perendaman dengan air laut durasi 7, 14 dan 28 hari pada beton. Hal ini terjadi karena kontak dengan air laut tidak hanya terjadi pada saat beton sudah jadi, namun juga pada saat perawatan.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Penelitian ini mempelajari pengaruh campuran *bottom ash* terhadap lendutan pada saat perendaman menggunakan air laut. Sebagaimana yang telah dijelaskan di atas identifikasi dalam masalah ini yaitu perbandingan campuran *bottom ash* pada semen sebanyak 0%, 10%, 20%, 25% selama perendaman dengan air laut durasi 7, 14 dan 28 hari pada beton.



### 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini bisa terfokus adapun pembatasan masalahnya sebagai berikut:

1. Pembuatan, perendaman, pengujian lendutan benda uji dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil,
2. Rasio campuran beton yang digunakan adalah 1 : 2 : 3 dimana 1 untuk semen, 2 untuk pasir dan 3 untuk kerikil.
3. Menggunakan Faktor Air Semen 0,40
4. Benda uji berupa balok dengan dimensi lebar 7 cm, tinggi 10 cm dan panjang 110 cm
5. Agregat halus yang digunakan berasal dari area Malang, Jawa timur.
6. Campuran *bottom ash* dengan semen sebanyak 0%, 10%, 20% dan 25%.
7. Semen yang digunakan semen Gresik ukuran 40 Kg tipe I.
8. Air yang digunakan adalah dari PDAM Kota Malang.
9. Lama perendaman selama 7, 14 dan 28 hari.
10. Tidak membahas secara lengkap reaksi kimia yang terjadi pada balok.
11. Tidak membahas secara lengkap unsur-unsur yang terbentuk akibat intrusi air laut, mikrostruktur beton, kecepatan penetrasi air laut dan permeabilitas pada benda uji.
12. Tulangan beton tidak di uji.
13. Data uji tarik tidak diperhitungkan, karena diambil dari penelitian sebelumnya.

### 1.4 Rumusan Masalah

Mengacu pada identifikasi masalah dan batasan masalah yang disebutkan di atas, maka dapat diambil suatu rumusan permasalahan yaitu bagaimana pengaruh variasi campuran *bottom ash* 10%, 20% dan 25% pada semen dan lama perendaman air laut selama 7, 14 dan 28 hari terhadap nilai lendutan pada beton?

### 1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini:

1. Mengetahui pengaruh variasi campuran *bottom ash* dengan semen sebanyak 0%, 10%, 20% dan 25% terhadap nilai lendutan pada balok dengan tulangan geser dan tulangan lentur.
2. Mengetahui pengaruh waktu perendaman dalam air laut selama 7, 14 dan 28 hari terhadap lendutan pada beton dengan tulangan geser dan tulangan lentur.

### 1.6 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang lendutan yang terjadi akibat pengaruh campuran *bottom ash* terhadap semen sebesar 10%, 20% dan 25% pada balok yang direndam dengan menggunakan air laut serta pengaruh variasi waktu perendaman beton selama 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan campuran *bottom ash*.



## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Air

Air dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti dari sungai, laut, sumur artesis ataupun sumur terbuka, namun tidak semua air yang ada di permukaan bumi dapat digunakan untuk pembuatan beton yang dapat menghasilkan beton yang baik.

Dalam pekerjaan beton, air mempunyai beberapa fungsi yaitu:

1. Sebagai pembersih agregat dari kotoran yang melekat.
2. Merupakan media untuk pencampur.
3. Megecor memadatkan serta memelihara beton.

Air yang dapat digunakan untuk pembuatan beton harus air yang tidak mengandung zat yang dapat menghalangi proses pengikatan antara semen dan agregat. Kandungan zat yang dapat memberikan pengaruh yang kurang baik terhadap kualitas beton antara lain: lempung, alkali, beberapa jenis garam yang lainnya, air limbah dan zat organik.

#### 2.1.1. Unsur-Unsur Merugikan yang Terdapat dalam Air

##### 1. Kandungan Benda Padat

Didalam air terdapat zat padat terlarut yang apabila jumlahnya kurang dari 6% berat air dan pada umumnya cukup aman digunakan untuk pembuatan beton. Sedangkan pada air sumur jumlah kandungan padatan 5% hal ini disebabkan karena air yang berasal dari alam belum tercemar sehingga konsentrasi lebih kecil. Untuk air laut berbeda karena pada air laut mengandung garam sehingga dapat dikatakan bahwa air yang diperoleh dari alam yang belum tercemar dapat digunakan sebagai air pencampur.

##### 2. Ion-ion yang ditemukan

Air yang berasal dari alam didalamnya belum tercemar oleh limbah industri, awalnya mengandung ion positif (kation) dan ion negatif (anion) yang berasal dari larutan anorganik. Misalnya: golongan kation yaitu kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), Natrium ( $\text{Na}^+$ ). Sedangkan golongan anion yaitu Sulfat ( $\text{SO}_4$ ), Klorida ( $\text{Cl}^-$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ).



### 2.1.2 Pengaruh Air pada Kekuatan Beton

Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa penggunaan air khususnya yang mengandung unsur klorida tinggi seperti pada air laut, jika dibandingkan dengan menggunakan air PAM tidak menunjukkan adanya penurunan kuat tekan beton pada berbagai umur beton.

## 2.2 Air Laut

Menurut Amri, S (2005:47), kekuatan dan keawetan beton pada pencampuran air laut tidak berpengaruh karena pada air laut kandungan konsentrasi larutan garam 3,5%, namun menyebabkan timbulnya noda-noda pada beton, penggaramannya dan berkurangnya kekedapan terhadap air. Garam air laut mengandung 78% sodium klorida (NaCl), 15% klorida (Cl<sup>-</sup>) dan magnesium sulfat (MgSO<sub>4</sub>), sedangkan kandungan karbonat cukup rendah sekitar 75 ppm, dan apabila beton digunakan sebagai beton bertulang, air laut dapat menyebabkan proses korosi pada tulangnya. Garam yang terkandung didalam air laut dapat memberikan tiga pengaruh yaitu:

- a. Kandungan unsur sodium klorida mempercepat waktu pengikatan dan pengerasan seperti halnya pengaruh kalsium klorida (CaCl) dalam kadar yang sama.
- b. Garam akan muncul kepermukaan beton sebagai lapisan tipis berwarna keputih-putihan ketika beton mengeras.
- c. Sodium klorida mengakibatkan korosi pada tulangan, apabila beton tidak memiliki kualitas dan selimut beton yang mencukupi, karena air laut dapat menyebabkan korosi pada tulangan.

Air laut memiliki kandungan garam yang tinggi yang dapat menggerogoti kekuatan dan keawetan beton. Hal ini disebabkan klorida (Cl<sup>-</sup>) yang terdapat pada air laut yang merupakan garam yang bersifat agresif terhadap bahan lain, termasuk beton. Kerusakan dapat terjadi pada beton akibat reaksi antara air laut yang meresap ke dalam beton secara agresif dengan senyawa-senyawa didalam beton yang mengakibatkan beton kehilangan sebagian massa, kehilangan kekuatan dan kekakuannya serta mempercepat proses pelapukan (Mehta,1991).

### 2.3 Semen

Dalam konstruksi, tipe semen yang digunakan adalah semen portland tipe I dimana dalam penggunaannya, semen jenis ini tidak memerlukan syarat-syarat tertentu seperti ketahanan terhadap lingkungan yang bersifat asam agresif dan yang mengandung sulfat.

Semen yang digunakan harus mencapai tingkat kehalusan yang baik, semen memenuhi syarat kehalusan apabila:

Tertahan saringan no.100: 0 %

Tertahan saringan no.200: maksimum 22 %

Semen yang dipakai pada pembuatan beton ini adalah jenis semen portland.

### 2.4 Pasir

Pasir sebaiknya dicuci bersih karena banyaknya kandungan bahan organik yang ada pada pasir dapat menyebabkan pasir tidak homogen. Akibat yang di timbulkan oleh kandungan bahan organik ini dapat mempengaruhi modulus kehalusan (*finnes modulus*). Finnes modulus adalah suatu indek yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekerasan butir-butir agregat (Abraham, 1918). Makin besar nilai modulus kehalusan suatu agregat berarti semakin besar butiran agregatnya. Sehingga dalam pencarian *finnes modulus* tidak didapatkan angka mutlak dimana penimbangan pada saat percobaan analisa saringan, berat dari persentase pasir yang tertahan saringan tersebut tidak mencapai 100%.

### 2.5 Kerikil

Kerikil yang dipakai harus dicuci terlebih dahulu. Selain itu gradasi yang akan digunakan sebaiknya memiliki ukuran yang rata,yaitu sekitar antara 20-30 mm.Namun pada percobaan ini ukuran agregat yang dipakai menggunakan ukuran yang maksimum yaitu ukuran 20 mm.

### 2.6 Faktor air semen

Besarnya kadar air yang ada dalam campuran beton ditentukan oleh faktor air semen, adanya faktor air semen yang tinggi, maka kadar air yang ada pada campuran beton juga tinggi dan hal ini dapat mengakibatkan absorpsi beton yang besar pula.



## 2.7 Susunan butir (gradasi) agregat.

Pada beton yang menggunakan bahan agregat bergradasi baik, umumnya mempunyai nilai *absorpsi* yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat bergradasi kurang baik. Celah-celah yang ada diantara butiran yang lebih besar dapat terisi oleh butiran yang berukuran kecil dan dapat membentuk masa yang padat setelah dicampur dengan semen dan air. Dengan demikian dapat memperkecil kemungkinan terbentuknya rongga-rongga untuk diisi oleh air sisa proses hidrasi.

## 2.8 Bottom Ash

*Bottom ash* adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada fly ash, sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan.

*Bottom ash* dikategorikan menjadi *dry bottom ash* dan *wet bottom ash* berdasarkan jenis tungkunya yaitu dry bottom boiler yang menghasilkan *dry bottom ash* dan slag-tap boiler serta cyclone boiler yang menghasilkan *wet bottom ash*. Sifat dari *bottom ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya. Beberapa sifat fisis, kimia, dan mekanis yang penting dari *bottom ash* adalah sebagai berikut:

### 2.8.1 Sifat fisis

Sifat fisis *bottom ash* berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, gradasi *bottom ash*, berat jenis dan penyerapan dari wet dan dry *bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 2.1.



Tabel 2.1 Sifat fisik khas dari *bottom ash*

Sifat Fisik <i>Bottom Ash</i>	Wet	Dry
Bentuk	Angular / bersiku	Berbutir kecil / granular
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
Ukuran (% lolos ayakan)	No.4 (90-100%)	1.5 s/d 3/4 in (100%)
	No.10 (40-60%)	No.4 (50-90%)
	No.40 ( 10%)	No.10 (10-60%)
	No.200 ( 5%)	No.40 (0-10%)
Specific gravity	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
Dry Unit Weight	960 – 1440 kg/m <sup>3</sup>	720 – 1600 kg/m <sup>3</sup>
Penyerapan	0,3 – 1,1%	0,8 – 2,0%

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

### 2.8.2 Sifat kimia

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

### 2.9 Ion Klorida

Ion klorida yang berada dalam beton, dapat berasal dari bahan-bahan pembentuk beton ketika proses pembuatannya (misal dari agregat, air yang dipakai mencampur, dan zat *additive*) atau dari lingkungan luar beton, seperti air laut, Mekanisme masuknya ion klorida kedalam beton dapat berlangsung dengan berbagai cara seperti difusi, penghisapan kapiler, permeasi dan kondensasi/evaporasi/kristalisasi. Selain itu, yang dapat mendominasi masuknya ion klorida kedalam beton tergantung dari lingkungan beton berada. Misalnya pada lingkungan laut, beton dapat berda didaerah terendam, pasang surut, daerah pecahnya gelombang atau di udara terbuka.

Mekanisme masuknya ion klorida kedalam beton dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Permeasi

Didefinisikan sebagai proses mengalirnya aliran tiap unit volume per unit luas permukaan tiap satuan waktu pada temperatur yang tetap. Permeasi terjadi akibat tekanan hidrolis dan menyebabkan ion klorida yang terlarut pada air laut akan ikut ke dalam beton. Dalam kaitannya dengan permeasi, koefisien permeabilitas beton menjadi karakteristik penting, karena menunjukkan tingkat kenudahan suatu cairan dapat merembes melalui material tersebut. (Wayan Armaja, 2001)

2. Penghisapan Kapiler

Didefinisikan sebagai mekanisme masuknya suatu cairan ke dalam material berpori akibat tegangan permukaan yang terjadi didalam lubang-lubang kapiler. Proses masuknya cairan dalam mekanisme ini dipengaruhi oleh karakteristik cairan seperti viskositas, densitas dan tegangan permukaan. (Wayan Armaja, 2001)

3. Difusi

Didefinisikan sebagai perpindahan massa dengan gerakan acak dari molekul atau ion kedalam pori-pori larutan yang menghasilkan jaringan aliran dari daerah konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. (Wayan Armaja, 2001)

Dari ketiga jenis mekanisme tersebut penetrasi tersebut, difusi merupakan mekanisme paling dominan dalam penetrasi klorida kedalam beton, terutama pada daerah *submerged* (terendam air). Dimana pada daerah tersebut, pori-pori pada beton terisi penuh oleh air.

## 2.10 Pengaruh Ion Klorida pada Beton

Tidak ada ketentuan syarat air dari ASTM, namun pada BS 3148, ada dua metode untuk menilai kelayakan air untuk beton. Metode tersebut akan membandingkan waktu pengikatan dan kuat tekan dari benda uji yang dibuat dengan semen dan air kemudian dibandingkan apabila air di ganti dengan air suling. Air dianggap memenuhi syarat jika waktu pengikatannya tidak lebih dari 30 menit atau kekuatannya tidak berkurang dari 20 % dibandingkan air suling. (Nugraha, 2007 : 63)



Penggunaan air didaerah pantai untuk campuran beton akan memberikan beberapa pengaruh pada beton seperti *setting time* dan kuat tekan beton dalam jangka waktu tertentu. Senyawa klorida merupakan salah satu senyawa yang memiliki konsentrasi besar yang biasanya terkandung dalam air di daerah pantai. (Neville,1981:349)

Air laut mengandung sekitar 3,5% garam yang terdiri dari 78% Sodium Chlorida (NaCl) dan 15% lainnya terdiri dari Magnesium Chlorida ( $MgCl_2$ ) dan Magnesium sulfat ( $MgSO_4$ ) Sn menghasilkan kekuatan awal yang tinggi tapi dalam jangka panjang, kekuatan akhirnya menurun. (Neville,1981:349)

Menurut Amri,S (2005:47), secara umum garam yang terkandung di dalam air laut dapat memberikan tiga pengaruh, yaitu:

1. Kandungan unsur sodium klorida mempercepat waktu pengikatan dan pengerasan seperti halnya pengaruh kalsium klorida dalam kadar yang sama.
2. Garam muncul ke permukaan beton sebagai lapisan tipis berwarna keputih-putihan ketika beton mengeras.
3. Sodium klorida mengakibatkan korosi pada tulangan, apabila beton tidak mempunyai kualitasdanselimit beton yang mencukupi, karena air laut dapat memberikanpengaruh korosi pada tulangan.

Garam-garam sodium yang terkandung dalam air laut dapat menghasilkan substansi yang bila berkombinasi dengan agregat alkali reaktif, sama seperti dengan kombinasi dengan semen alkali. Karena air laut tidak boleh dipakai untuk beton yang diketahui mempunyai potensi agregat alkali reaktif, bahkan bila kadar alkalinya rendah (Nugraha, 2007:65). Sebagian dari garam-garam ini akan bereaksi secara kimiawi dengan semen dan mengubah atau memperlambat proses pengikatan semen, dan jenis-jenis lainnya dapat mengurangi kekuatan beton. Selain reaksi kimia, kristalisasi garam dalam rongga beton dapat mengakibatkan kehancuran akibat tekanan kristalisasi tadi. Karena kristalisasi terjadi pada titik penguapan air, bentuk serangan terjadi di dalam beton di atas permukaan air. Garam naik didalam beton dengan aksi kapiler, jadi serangan terjadi hanya jika air dapat terserap dalam beton.

Karena itu walaupun kekuatan awalnya lebih tinggi dari beton biasa. Setelah 28 hari kuat tekannya akan lebih rendah. Pengurangan kekuatan ini dapat dikurangi dengan mengurangi faktor air semen.



## 2.11 Perawatan Beton (Curing)

Reaksi kimia antara semen dan air membutuhkan waktu. Fungsi semen sebagai perekat mulai berkembang pada saat umur beton masih muda, karena itu untuk pekerjaan beton baik konvensional maupun precast, perlu dilakukan perawatan beton. (Sasono, 2008)

Tujuan perawatan beton, yaitu:

1. Mencegah kehilangan *moisture* pada beton.
2. Mempertahankan suhu yang baik selama durasi tertentu (diatas suhu beku dan dibawah 50 derajat celcius).

Jenis-jenis perawatan beton antara lain:

### 1. *Steam Curing*

Menguntungkan bila menginginkan kekuatan awal. Panas tambahan dibutuhkan untuk menyelesaikan hidrasi.

### 2. Penyemprotan/ *Fogging*

Metode yang baik untuk kondisi dengan suhu diatas suhu beku dan humiditas rendah. Kekurangannya yaitu dapat menyebabkan erosi pada permukaan beton yang baru mengeras.

### 3. Penggenangan / Perendaman

Ideal untuk mencegah hilangnya *moisture*. Mempertahankan suhu yang seragam. Kekurangannya yaitu membutuhkan tenaga kerja yang banyak, perlu pengawasan, dan tidak praktis untuk proyek yang besar.

### 4. Lembaran Plastik (sesuai ASTM C171)

Lapisan *polythylene* dengan ketebalan 4 ml. Kelebihannya yaitu ringan, efektif sebagai penghalang hilangnya *moisture*, dan mudah diterapkan. Kekurangannya yaitu dapat menyebabkan *discoloration* permukaan, lebih terlihat bila lapisan plastik bergelombang dan diperlukan penambahan air secara periodik.

### 5. Penutup Basah (sesuai ASTM C171)

Menggunakan bahan yang dapat mempertahankan *moisture* seperti burlap (karung goni) yang dibasahi. Kelebihannya yaitu tidak terjadi *discoloration* dan tahan terhadap api. Kekurangannya yaitu memerlukan penambahan air secara periodik dan diperlukan lapisan plastik penutup burlap untuk mengurangi kebutuhan penambahan air.

#### 6. *Curing Compound* (sesuai ASTM C171)

Membentuk lapisan tipis pada permukaan untuk menghalangi penguapan.

Efisiensinya dites dengan ASTM C156.

### 2.12 Penetrasi Air Laut pada Beton

Larutan yang mengandung klorida dapat masuk ke dalam beton dipengaruhi oleh banyak faktor. Klorida juga terkandung dalam air laut dengan variasi sesuai dengan kelakuan lingkungan yang membuat proses penetrasi dan mempunyai mekanisme transport yang bervariasi pula. Perbedaan mekanisme ini dapat dilihat dari tempat beton itu berada. Beton yang berada pada tempat yang berhubungan dengan air laut akan berbeda dengan beton yang berada di daerah pasang surut. Selain itu daerah pantai dipertimbangkan mempunyai konsentrasi klorida di atmosfer yang nantinya akan dicurahkan oleh hujan sehingga mengenai permukaan beton. (Singgih Hariyanto, 2004)

### 2.13 Lendutan

Satu hal yang penting dari struktur beton bertulang adalah masalah lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja. Struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan yang mungkin memperlemah kekuatan maupun kemampuan layan struktur pada beban kerja.

Secara mekanika hubungan lendutan ( $v$ ), kekakuan penampang ( $EI$ ) dan momen lentur ( $M$ ) adalah:

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (2-1)$$

Dengan persamaan differensial, persamaan (1) dapat dicari nilai lendutan di tengah bentang. Lendutan untuk balok yang ditumpu oleh tumpuan sederhana dengan beban terpusat di tengah bentang adalah:

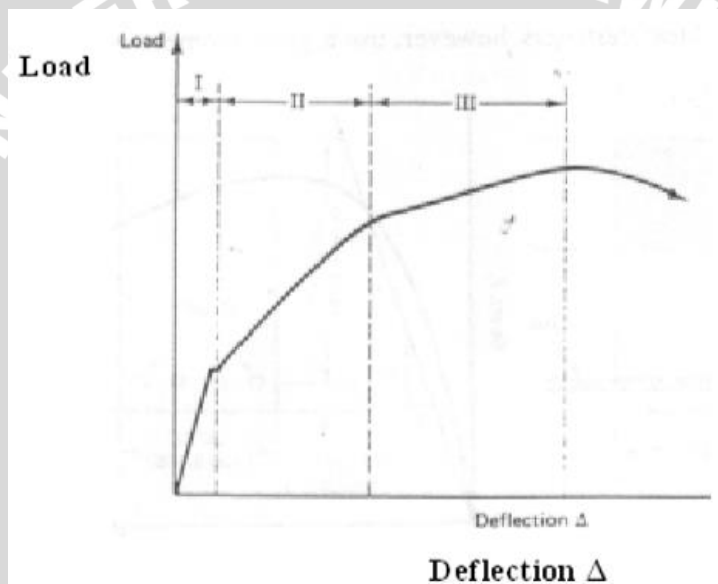
$$\delta = v_{max} = \frac{PL^3}{48 \times EI} \quad (2-2)$$



Pada dasarnya untuk menghindari keruntuhan, lendutan yang terjadi dibatasi oleh lendutan ijin maksimum, yaitu tidak boleh lebih besar dari

$$\frac{L}{480} \quad (2-3)$$

Hubungan beban-lendutan balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1. Hubungan ini terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya rupture. Daerah I : Taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak. Daerah II : Taraf pascaretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak- retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik dalam distribusinya maupun lebarnya. Daerah III : Taraf pasca-serviceability, di mana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya.



Gambar 2. 1 Hubungan beban–lendutan pada balok. Daerah I, Taraf praretak; Daerah II, Taraf pascaretak ; Daerah III, Taraf pasca-serviceability [Nawy,2003].

#### 2.14 Perencanaan Campuran Dan Pembuatan Beton

Pada pembuatan beton diperlukan suatu perencanaan campuran atau lebih dikenal dengan nama mix design. Tujuan dari perencanaan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi semen, agregat halus, agregat kasar, serta air yang memenuhi persyaratan berikut:

1. Kekuatan desak. Kuat desak yang dicapai pada 28 hari (atau umur yang ditentukan) harus memenuhi persyaratan yang diberikan oleh perencanaan konstruksinya.



2. Workabilitas.
3. Durabilitas.
4. Penyelesaian akhir dari permukaan beton.

#### **2.14.1 Kekuatan Desak**

Campuran beton biasanya direncanakan untuk memberikan kuat desak rata-rata 28 hari setelah pencampuran, yang akan memberikan keuntungan dalam karakteristik akan kekuatan minimum persyaratan perencanaannya. Kuat kubus mengikuti suatu distribusi normal, sehingga bila jumlah kubus yang dibuat mencukupi, hanya ada beberapa yang sangat tinggi kekuatannya. Pada konsep “kekuatan minimum”, terjadi 1,5% – 2,5% kegagalan atas kekuatan kubus, begitu pula dengan silinder.

#### **2.14.2 Workabilitas**

Istilah workabilitas sulit untuk didefinisikan dengan tepat, dan Newman dalam bukunya yang berjudul Murdock (1999) mengusulkan agar didefinisikan sekurang-kurangnya 3 buah, yaitu:

1. Kompaktibilitas, atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga-rongga udara diambil.
2. Mobilitas, atau kemudahan dimana beton dapat mengalir didalam cetakkan di sekitar baja.
3. Stabilitas, atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen, koheren, dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi pemisahan butiran (segregasi).

Pada hal ini dapat ditambahkan kemudahan dimana tercapai penyelesaian akhir yang baik, terutama untuk permukaan vertikal yang dicetak dengan acuan dan pelat lantai, dimana dibutuhkan tenaga untuk menambalnya. Apabila betonnya dibuat untuk beberapa tujuan yang berbeda-beda, maka dalam segi penyederhanaan, maka dalam merencanakan campuran beton usahakan yang semudah mungkin untuk dikerjakan.

#### **2.14.3 Durabilitas**

Durabilitas atau sifat awet berhubungan dengan kekuatan desak, pada umumnya semakin besar kekuatan makin awet betonnya. Meskipun demikian, sering terjadi kekuatan yang disyaratkan dapat tercapai dengan campuran yang besar faktor air/semennya dari pada yang dapat memberikan durabilitas yang cukup terhadap lingkungan yang dialami beton. Dalam hal ini faktor air/semen yang sebenarnya dan

kepadatan beton merupakan faktor yang menentukan, dan kekuatannya mungkin akan lebih besar daripada yang disyaratkan dengan ketat untuk tujuan struktural.

#### **2.14.4 Penyelesaian Akhir dari Permukaan Beton**

Kohesi yang kurang baik dapat merupakan salah satu sebab penyelesaian akhir yang kurang baik, apabila beton dicetak pada acuan tegak, seperti goresan pasir dan variasi warna, dapat juga mendatangkan kesulitan dalam menambal bidang horizontal, yang halus dan padat. Agar dapat memenuhi persyaratan ini yaitu dapat membuat beton padat yang perlu untuk perlindungan tulangnya, mutlak diperlukan kandungan butiran halus yang mencukupi. Butiran halus ini terdiri atas pasir maupun pasta semen. Cara-cara perencanaan campuran yang akan diterangkan kemudian akan menghasilkan beton dengan kohesi yang baik, penyelesaian permukaan yang baik dan terbebas dari keropos dan segregasi.

#### **2.14.5 Prosedur Perbandingan Campuran**

Pedoman untuk komposisi spesi beton yang dapat dipegang antara semen, pasir, kerikil harus berupa perbandingan 1:2:3. Satuan perbandingan ini dalam volume. Misalkan, berdasarkan semen 50 kg (40 lt) berarti untuk agregat halus (pasir) sebanyak 80 lt, sedangkan untuk agregat kasarnya (kerikil) sebanyak 120 lt. Apabila hal ini terencana dengan baik, maka mutu beton yang kita buat akan sesuai dengan mutu beton yang akan kita rencanakan.

### **2.15 Penelitian-Penelitian Terdahulu**

#### **2.15.1 Miko Eniarti (1996)**

Mengemukakan bahwa serangan air laut disebabkan oleh serangan Magnesium Sulfat ( $MgSO_4$ ) dan Magnesium Klorida ( $MgCl_2$ ) yang bersifat merugikan beton. Dengan adanya Magnesium Sulfat ( $MgSO_4$ ) akan terjadi penguraian dari Kalsium Silikat Hidrat (CSH) sehingga fungsi perekatan beton akan hilang. Bila beton rapat hanya sebagai  $Ca(OH)_2$  yang berubah menjadi  $CaSO_4$  menggantikan kedudukan ion  $Ca^{+}$  dalam kapur  $Ca(OH)_2$  sehingga makin lama kapur dalam beton berkurang, sehingga ion  $Mg^{+}$  menyerang CAH dan CSH (bahan perekat dalam beton) sehingga fungsi perekat menjadi hilang, menjadi senyawa-senyawa MAH dan MSH merupakan senyawa yang tidak berfungsi sebagai perekat sehingga beton akan kehilangan ikatan dan kuat tekannya.



### 2.15.2 Wachid Zaenal (1997)

Hasil penelitian tentang pengaruh umur perendaman beton dalam air laut terhadap nilai kuat tarik belah yang menggunakan semen tipe I dan portland pozolan cement (PPC).

Dari hasil penelitian di atas dapat disimpulkan senagai berikut:

1. Dengan melihat model regresi yang ada, akibat perendaman dengan air laut pada semen tipe I memiliki nilai kuat tarik belah yang lebih tinggi dibanding dengan portland pozolan cement (PPC).
2. Perawatan dengan cara perendaman pada pemakaian semen tipe I mengalami kenaikan tertinggi pada umur perendaman 3 sampai 7 hari sekitar 17,58 %/ hari. Sedangkan pada PPC kenaikan tertinggi terjadi pada umur 7 sampai 14 hari yaitu sekitar 6,25%/ hari.

Perawatan dengan cara perendaman dalam air laut sampai umur 3 hari tidak membarikan pengaruh yang nyata terhadap nilai kuat tarik belahnya. Tetapi antara umur 7 sampai 28 hari, perbedaan itu akan tampak nyata.

### 2.15.3 Indriani Santoso, et. al. (2003)

Penggunaan *bottom ash* sebagai material pekerasan jalan adalah salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti efek penggunaan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus terhadap stabilitas, kelelahan, rongga udara, rongga didalam agregat dan Marshall quotient dari campuran aspal beton.

Penelitian dilakukan dengan menguji efek pemakaian *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus sebesar sepuluh sampai 100%. Dari penelitian ditemukan bahwa persentase terbaik penggantian agregat halus dengan *bottom ash* adalah sepuluh persen. Penggantian ini memenuhi semua persyaratan yang ditentukan kecuali persyaratan rongga udara. Sebuah bahan *additive* digunakan untuk memperbaiki rongga udara. Penggunaan *additive* dapat meningkatkan nilai stabilitas serta memperbaiki nilai rongga udara pada campuran aspal beton.

### 2.15.4 Yulianto, Erfan Yoky (2007)

Pemanfaatan limbah batubara (*bottom ash*) sebagai bata beton ditinjau dari aspek teknik dan lingkungan. Pemanfaatan limbah tersebut diharapkan dapat memberikan manfaat terhadap lingkungan yaitu mengurangi dampak buruk yang timbul akibat timbunan limbah batubara tersebut. Penelitian dilakukan dengan menguji kelayakan bata beton tersebut terhadap standar mutu teknis dan lingkungan. Hasil dari



penelitian diketahui bahwa kondisi optimal menurut standar mutu teknis (LPMB-1989) terdapat pada perbandingan komposisi berat semen dan agregat halus sebesar 1 : 5, dengan proporsi limbah batubara (*bottom ash*) sebesar 10% dari berat agregat halus. Dari proporsi perbandingan tersebut didapatkan kuat tekan bata beton sebesar 13,54 MPa dan penyerapan air sebesar 8,86%. Pada bata beton tersebut terdapat unsur logam berat yang melebihi standar baku mutu (PP Nomor 85 tahun 1999), yaitu berupa kadmium (Cd) sebesar 2,438 ppm, kromium (Cr) sebesar 9,003 ppm, tembaga (Cu) sebesar 25,892 ppm, timbal (Pb) sebesar 32,464 ppm dan seng (Zn) sebesar 50,244 ppm.

#### **2.15.5 Bernad M.S. (2009)**

Mengemukakan bahwa air memasuki beton dengan cara permeasi dan difusi menuju dua arah yaitu ke arah vertikal dan ke arah radial. Permeasi dan difusi ke arah vertikal membuat air naik dari batas perendaman ke atas sehingga eksterior beton yang tidak terendam akan ikut basah. Hal ini akan tampak dari peningkatan ketinggian air pada eksterior beton fungsi waktu dimana dengan semakin bertambahnya waktu ketinggian air pada eksterior beton akan semakin bertambah sedangkan permeasi dan difusi ke arah radial membuat air masuk dari selimut beton menuju ke baja tulangan dimana hal ini terlihat dari perubahan prosentase klor di dalam beton. Prosentase klor akan menurun secara gradual dari permukaan hingga ke dalam beton. Pada akhirnya kenaikan air pada baja tulangan dengan beton tidak bergantung pada proses permeasi dan difusi air dari selimut beton menuju ke baja tulangan. Air naik lebih cepat di dalam baja tulangan dengan beton dibandingkan dengan difusi air dari selimut beton ke dalam baja tulangan dengan beton. Serangan korosi pada baja tulangan dimulai dari dasar baja tulangan menuju ke atas. Dasar baja tulangan terkorosi lebih dahulu karena mengalami kontak dengan media korosi lebih cepat. Hal ini yang menyebabkan pengurangan ketebalan baja tulangan di dasar lebih cepat dibandingkan dengan pengurangan ketebalan baja tulangan di titik observasi yang lebih tinggi. Fenomena kapilaritas pada interface baja tulangan dengan beton dapat dimodelkan dalam suatu persamaan polinomial tingkat tiga yaitu  $y = -0,0007x^3 + 0,0541x^2 + 0,7604x + 3,1081$ .

#### **2.15.6 Audrian Ramanta Herdy (2012)**

Variasi campuran spesi berpengaruh nyata terhadap nilai kuat tarik belah mortar. Variasi campuran semen dan pasir (spesi) mampu menurunkan nilai rata-rata kuat tarik belah mortar hingga 37,867 %. Mortar dengan spesi 1:3 dengan lama

perendaman 7 hari memiliki nilai rata-rata kuat tarik belah paling tinggi yaitu 3,014 MPa dan mortar dengan spesi 1:6 dengan lama perendaman 28 hari memiliki nilai rata-rata kuat tarik belah paling rendah yaitu 1,034 MPa.

Variasi campuran spesi berpengaruh nyata terhadap nilai kedalaman intrusi arah radial maupun transversal pada mortar. Semakin banyak jumlah pasir pada mortar semakin tinggi nilai kedalaman intrusinya. Mortar dengan spesi 1:3 dengan lama perendaman 7 hari memiliki nilai kedalaman intrusi paling rendah yaitu pada arah transversal 0,217 mm dan arah radial 0,189 mm. Mortar dengan spesi 1:6 dengan lama perendaman 7 hari memiliki nilai kedalaman intrusi paling tinggi yaitu pada arah transversal 2,389 mm dan arah radial 3,450 mm.

Berdasarkan uji statistik hipotesis diterima sehingga variasi lama perendaman tidak berpengaruh terhadap nilai kuat tarik belah mortar. Variasi lama perendaman mampu menurunkan nilai rata-rata kuat tarik belah mortar hingga 16,434 %.

Variasi lama perendaman berpengaruh nyata terhadap nilai kedalaman intrusi pada mortar. Semakin lama perendaman air laut semakin tinggi nilai kedalaman intrusinya baik pada arah transversal maupun radial. Mortar dengan spesi 1:6 pada lama perendaman 28 hari memiliki nilai kedalaman intrusi paling tinggi baik pada arah transversal yaitu 2,389 mm dan arah radial yaitu 3,450 mm.

#### **2.15.7 Kris Naedi (2012)**

Adanya pengaruh yang nyata dari pemanfaatan *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan pada pavingblok. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan kuat tekan seiring dengan bertambahnya *bottom ash* yang digunakan, karena sifat semen yang mampu mengikat dan mengeras di dalam air tidak dapat digantikan seluruhnya oleh *bottom ash* dan karena penggunaan air dalam jumlah yang sama dalam semua variasi.

Adanya pengaruh yang nyata dari pemanfaatan *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap penyerapan air pavingblok. Hal ini ditunjukkan dengan adanya kenaikan presentase penyerapan air seiring dengan bertambahnya *bottom ash* yang digunakan, karena semakin banyak pori – pori yang terdapat pada paving blok.

Untuk pemanfaatan *bottom ash* sebagai pengganti semen dalam pembuatan pavingblok, dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Untuk penggunaan 25%,30%,35% dan 40% termasuk antara mutu A dan mutu B baik dari segi penyerapan air maupun kuat tekan. Dari segi keempat variasi



tersebut, variasi 30% *bottom ash* merupakan prosentase yang paling maksimum bila digunakan dalam campuran pavingblok antara mutu A dan mutu B karena kuat tekannya menunjukkan nilai tertinggi.

- b. Untuk penggunaan 45% termasuk antara mutu B dan mutu C baik dari segi penyerapan air maupun kuat tekan.
- c. Untuk penggunaan 50%, 55% dan 60% termasuk antara mutu C dan mutu D baik dari segi penyerapan air maupun kuat tekan. Dari ketiga variasi tersebut, variasi 50% *bottom ash* merupakan prosentase yang paling maksimum bila digunakan dalam campuran paving blok antara mutu C dan mutu D karena kuat tekannya menunjukkan nilai tertinggi.

#### **2.15.8 Dimas Setyo Yuliandoko (2012)**

Pemanfaatan *bottom ash* sebagai pengganti semen berpengaruh terhadap kuat lentur dan permeabilitas dari genteng beton. Hal ini dibuktikan dengan tidak menurunnya nilai kuat lentur rata-rata pada prosentase 0% - 30% dan setelah itu baru mengalami penurunan yang signifikan. Berdasarkan uji analisis varian (anova) satu arah juga disimpulkan bahwa *bottom ash* berpengaruh terhadap kuat lentur yang dihasilkan genteng beton. Sementara berdasarkan perhitungan anova dengan dua bagian, 0% - 30% dan 30% - 50% diperoleh kesimpulan bahwa bagian pertama tidak ada peningkatan yang signifikan, sebaliknya pada bagian kedua terjadi penurunan yang signifikan. Sehingga dapat dikatakan *bottom ash* berpengaruh terhadap penurunan kuat lentur yang dihasilkan.

#### **2.15.9 Septiawan Arifin H. (2012)**

Prosentase *bottom ash* digunakan sebagai pengganti semen adalah 5 – 60% dari total berat kebutuhan semen dengan interval 5% sehingga terdapat 12 variasi dengan 1 variasi sebagai kontrol yaitu benda uji dengan kadar *bottom ash* sebesar 0%. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan cara memberikan beban searah bidang permukaan tekan sesuai dengan arah beban pada kenyataan di lapangan. Pengujian tekan dilakukan menggunakan pelat besi. Pengujian tekan dilakukan kurang dari satu menit dan tidak boleh lebih dari dua menit. Sedangkan untuk pengujian penyerapan, dilakukan dengan cara merendam benda uji kedalam bak uji selama 24jam kemudian dioven sampai berat benda uji stabil dan tidak berubah sampai tiga kali pengujian.

Dari hasil dan uji statistik dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan *bottom ash* pada benda uji tidak berpengaruh terhadap kuat tekan dari batako. Justru penambahan *bottom ash* membuat kuat tekan batako menjadi turun.

### 2.16 Hipotesis

Dari berbagai kajian teori dan permasalahan yang telah diuraikan diatas maka pada penelitian yang disajikan hipotesis penelitian sebagai berikut ”Terdapat pengaruh variasi campuran *bottom ash* 10%, 20% dan 25% selama perendaman menggunakan air laut 7,14 dan 28 hari terhadap lendutan pada balok beton dengan tulangan geser dan tulangan lentur”.





## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2013 sampai dengan selesai yang dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

- a. Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- b. Curing air laut dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- c. Pengamatan lendutan pada beton dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.

### 3.2 Bahan dan Peralatan Yang Digunakan

Pada penelitian peralatan dan bahan yang digunakan sebagai berikut:

1. Material yang digunakan:
  - a. Semen : semen Gresik ukuran 40 Kg tipe I.
  - b. Agregat halus yaitu pasir : Dari daerah sekitar Kota Malang
  - c. Besi Ø 6 : Dari daerah sekitar Kota Malang
  - d. Besi Ø 4 : Dari daerah sekitar Kota Malang
  - e. Air bersih : Dari daerah sekitar Kota Malang
  - f. Air laut : Dari daerah sekitar Kota Pasuruan
2. Peralatan yang digunakan:
  - a. Peralatan yang digunakan pada percobaan pemeriksaan gradasi agregat halus adalah sebagai berikut:
    - i. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 2 % terhadap benda uji.
    - ii. Satu set saringan : 4,75 mm (no.4); 2,36 mm (no.8); 1,18 (no.16); 0,6 mm (no.30); 0,3mm (no.50); 0,15 mm (no.100); 0,075 mm (no.200).
    - iii. Oven pengatur kapasitas suhu ( $110 \pm 5$ )°C.
    - iv. Mesin pengguncangan saringan.
    - v. Talam-talam dan kuas.

- b. Peralatan yang digunakan pada percobaan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus adalah sebagai berikut:
- 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) 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 (4,75 mm).
  - 6) Oven pengatur suhu kapasitas (110+5)°C.
- c. Peralatan yang digunakan pada percobaan pemeriksaan berat isi agregat halus adalah sebagai berikut:
- 1) Timbangan kapasitas  $\geq 1$  kg dengan ketelitian 0,1 gram.
  - 2) Tongkat pemadat baja dengan panjang masing-masing  $\pm 600$  mm dan berdiameter  $\pm 16$  mm.
  - 3) Kotak takar atau ember.
- d. Peralatan yang digunakan pada percobaan pemeriksaan kadar air agregat adalah sebagai berikut:
- 1) Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat benda uji.
  - 2) Oven pengatur suhu.
  - 3) Talam.
- e. Peralatan yang digunakan pada pembuatan dan pengujian benda uji adalah sebagai berikut:
- 1) Cetakan dengan balok ukuran 10 x 7 x 110 cm.
  - 2) Tongkat pemadat baja yang bersih dan bebas karat dengan diameter 10 mm dan panjang 300 mm.
  - 3) Mesin pengaduk semen.
  - 4) Timbangan dengan ketelitian 0,3 % dari berat contoh
  - 5) Bak rendaman.
  - 6) Satu set peralatan pemeriksaan Slump.



- f. Peralatan pengujian lendutan pada balok yaitu:
  - 1) Dial gauge.
  - 2) Dial holder.
  - 3) Frame uji.
  - 4) Load cell.
  - 5) Load indicator.
  - 6) Hydraulic jack.
- g. Peralatan tambahan:
  - 1) Ember.
  - 2) Sekop.
  - 3) Sendok.
  - 4) Perata.
  - 5) Talam.
- h. Peralatan yang digunakan untuk curing air laut berupa bak perendaman yang telah diisi dengan air laut.

### 3.3 Proses Pengadaan Bahan

Semen yang digunakan adalah semen Gresik tipe I dengan berat 40 Kg. Agregat halus yang digunakan berasal dari Malang, Jawa Timur dan air yang digunakan adalah air PDAM dan air laut daerah pantai Jawa Timur.

### 3.4 Rancangan penelitian

Balok yang akan digunakan sebagai benda uji adalah balok dengan panjang yang telah ditentukan yaitu 110 cm, dari panjang balok bisa didapat lebar dan tinggi dari balok.

$$\text{Tinggi balok} = \frac{L}{10} = \frac{110}{10} = 11 \text{ cm}$$

Namun untuk mempermudah dalam pembuatan balok, dari perhitungan di atas, diambil tinggi balok sebesar 10 cm.

$$\text{Lebar balok} = \frac{1}{2} \times \text{tinggi balok} + 2 = \frac{1}{2} \times 11 + 2 = 7,5 \text{ cm}$$

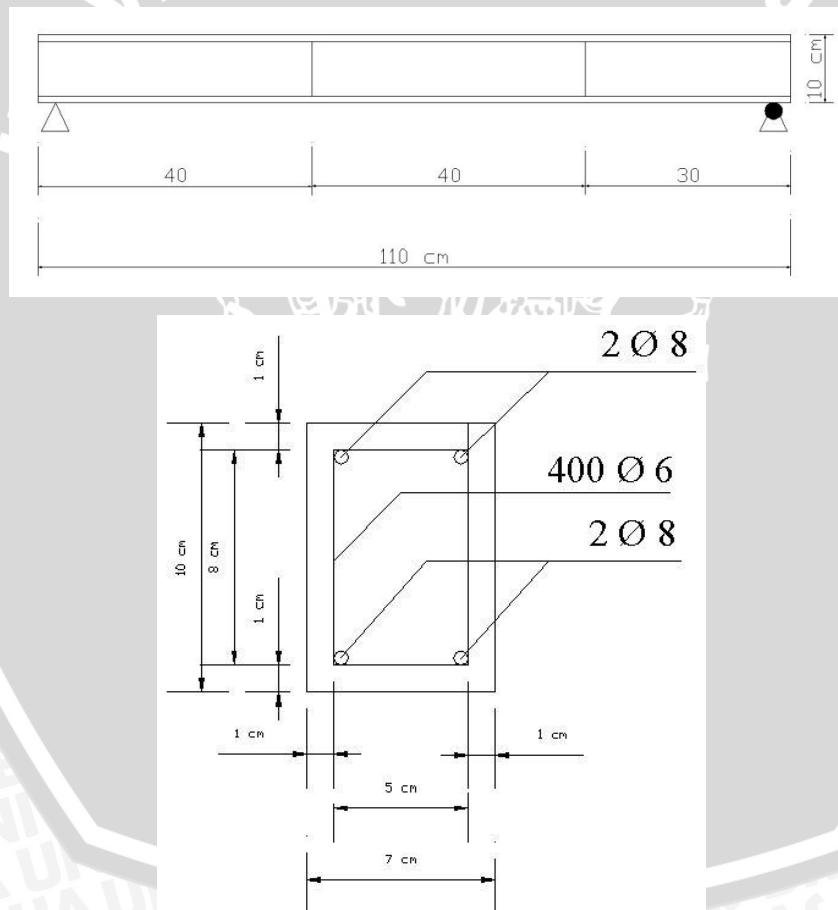
Dan untuk mempermudah juga dalam pembuatan benda uji balok maka untuk lebar balok yang dipakai adalah 7 cm.

Dengan jumlah tulangan sebanyak 4 buah tulangan utama dengan besi berdiameter 8 mm dan sengkang menggunakan besi dengan diameter 6. Dan untuk selimut beton pada benda uji dapat ditentukan dari SNI 03 – 2847 – 2002 sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Toleransi untuk tinggi selimut beton

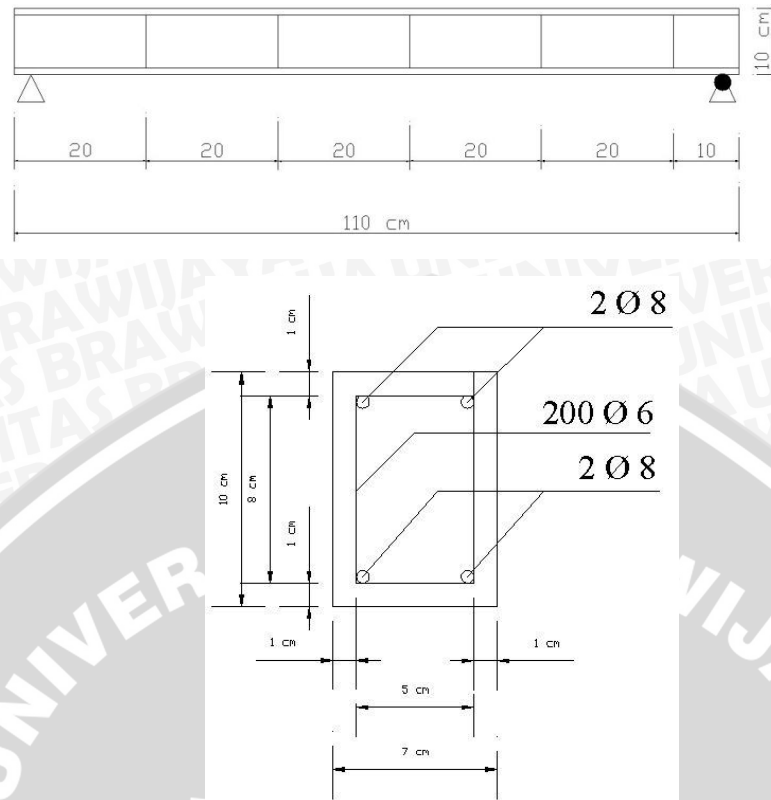
	Toleransi untuk $d$	Toleransi untuk selimut beton minimum
$d \leq 200$ mm	$\pm 10$ mm	- 10 mm
$d > 200$ mm	$\pm 13$ mm	- 13 mm

Dari tabel toleransi selimut beton, maka ditentukan selimut beton yang digunakan untuk benda uji adalah 10 mm karena  $d \leq 200$  mm maka toleransi untuk selimut beton minimum adalah - 10 mm.



Gambar 3. 1 Rencana Balok Geser sebagai benda uji penelitian





Gambar 3. 2 Rencana Balok Lentur sebagai benda uji penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menguji pengaruh air laut terhadap beton setelah durasi perendaman 7,14 dan 28 hari dengan variasi campuran 1:2:3. Perencanaan campuran beton mutu normal sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Perbandingan antara semen dan *bottom ash*

Campuran kadar Bottom ash Terhadap semen		Durasi Perendaman Beton dengan Air Laut (hari)					
		7		14		28	
Semen	Bottom Ash	Geser	Lentur	Geser	Lentur	Geser	Lentur
100%	0%	2	2	2	2	2	2
90%	10%	2	2	2	2	2	2
80%	20%	2	2	2	2	2	2
75%	25%	2	2	2	2	2	2

Untuk penelitian pengaruh lama perendaman air laut terhadap lendutan pada beton data diambil dengan mengambil benda uji berbentuk balok dengan lebar 7 cm, tinggi 10 cm dan panjang 110 cm sebanyak 3 buah benda uji untuk tiap variasi campuran 1:2:3 dengan perbandingan *bottom ash* pada semen sebanyak 10%, 20% dan 25% dan perendaman air laut selama 7,14 dan 28 hari. Jadi total benda uji keseluruhan 36 buah.

Perhitungan kebutuhan material untuk setiap benda uji balok

Diketahui:

$$b = 0,07 \text{ m}$$

$$h = 0,1 \text{ m}$$

$$L = 1,1 \text{ m}$$

Volume balok adalah  $0,0077 \text{ m}^3$  untuk perbandingan campuran 1 : 2 : 3

Maka,

1. Semen

$$\frac{1}{6} \times 0,0077 \text{ m}^3 = 0,00128 \text{ m}^3$$

Dalam satuan berat maka dikalikan dengan berat jenis beton yaitu 2400  $\text{kg/m}^3$ ,

$$\text{Jadi } 0,00128 \text{ m}^3 \times 2400 = 3,072 \text{ kg}$$

2. Pasir

$$\frac{2}{6} \times 0,0077 \text{ m}^3 = 0,00256 \text{ m}^3$$

Dalam satuan berat maka dikalikan dengan berat jenis beton yaitu 2400  $\text{kg/m}^3$ ,

$$\text{Jadi } 0,00256 \text{ m}^3 \times 2400 = 6,144 \text{ kg}$$

3. Kerikil

$$\frac{3}{6} \times 0,0077 \text{ m}^3 = 0,00385 \text{ m}^3$$

Dalam satuan berat maka dikalikan dengan berat jenis beton yaitu 2400  $\text{kg/m}^3$ ,

$$\text{Jadi } 0,00385 \text{ m}^3 \times 2400 = 9,24 \text{ kg}$$

Tabel 3. 3 Perhitungan Kebutuhan Material Balok

	0%	untuk 12 benda uji	10 %	untuk 12 benda uji	20%	untuk 12 benda uji	25%	untuk 12 benda uji	total kebutuhan material
<b>B. Ash</b>	0,00	0,00	0,31	3,70	0,62	7,39	0,77	9,24	20,33
<b>Semen</b>	3,08	36,96	2,77	33,26	2,46	29,57	2,31	27,72	127,51
<b>Pasir</b>	6,16	73,92	6,16	73,92	6,16	73,92	6,16	73,92	295,68
<b>Kerikil</b>	9,24	110,88	9,24	110,88	9,24	110,88	9,24	110,88	443,52
	<b>total</b>	221,76		221,76		221,76		221,76	



Perhitungan kebutuhan material untuk setiap benda uji silinder

Diketahui

$$r = 0,075 \text{ m}$$

$$t = 0,3 \text{ m}$$

Vsilinder adalah  $0,0053 \text{ m}^3$  untuk perbandingan campuran 1 : 2 : 3

Maka,

1. Semen

$$\frac{1}{6} \times 0,0053 \text{ m}^3 = 0,000883 \text{ m}^3$$

Dalam satuan berat maka dikalikan dengan berat jenis beton yaitu 2400  $\text{kg/m}^3$ ,

$$\text{Jadi } 0,00128 \text{ m}^3 \times 2400 = 2,12 \text{ kg}$$

2. Pasir

$$\frac{2}{6} \times 0,0053 \text{ m}^3 = 0,00177 \text{ m}^3$$

Dalam satuan berat maka dikalikan dengan berat jenis beton yaitu 2400  $\text{kg/m}^3$ ,

$$\text{Jadi } 0,00256 \text{ m}^3 \times 2400 = 4,24 \text{ kg}$$

3. Kerikil

$$\frac{3}{6} \times 0,0053 \text{ m}^3 = 0,00265 \text{ m}^3$$

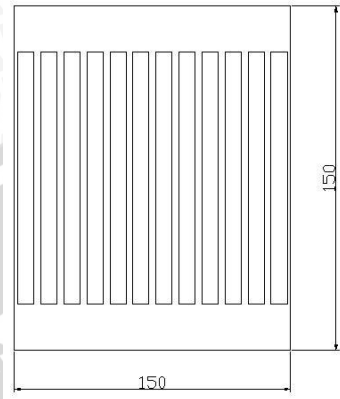
Dalam satuan berat maka dikalikan dengan berat jenis beton yaitu 2400  $\text{kg/m}^3$ ,

$$\text{Jadi } 0,00385 \text{ m}^3 \times 2400 = 6,36 \text{ kg}$$

Tabel 3. 4 Perhitungan Kebutuhan Material Silinder

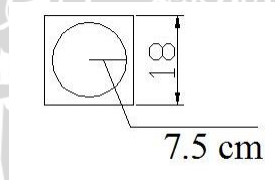
	0%	untuk 12 benda uji	10%	untuk 12 benda uji	20%	untuk 12 benda uji	25%	untuk 12 benda uji	total kebutuhan material
<b>B. Ash</b>	0,00	0,00	0,21	2,12	0,42	4,24	0,53	5,30	11,66
<b>Semen</b>	2,12	21,20	1,91	19,08	1,70	16,96	1,59	15,90	73,12
<b>Pasir</b>	4,24	42,39	4,24	42,39	4,24	42,39	4,24	42,39	169,56
<b>Kerikil</b>	6,36	63,59	6,36	63,59	6,36	63,59	6,36	63,59	254,34
<b>total</b>		127,17		127,17		127,17		127,17	

Pembuatan bak perendaman benda uji balok terbuat dari seng yang dibentuk menjadi seperti bak. Agar dapat menampung 9 benda uji berbentuk balok untuk masing - masing perlakuan dengan panjang 110cm, lebar 7cm dan tinggi 10cm. Maka dimensi yang akan digunakan adalah panjang 150cm, lebar 120cm dan tinggi 50cm.



Gambar 3. 3 Rencana Bak Perendaman untuk Benda Uji Balok (Tampak Atas)

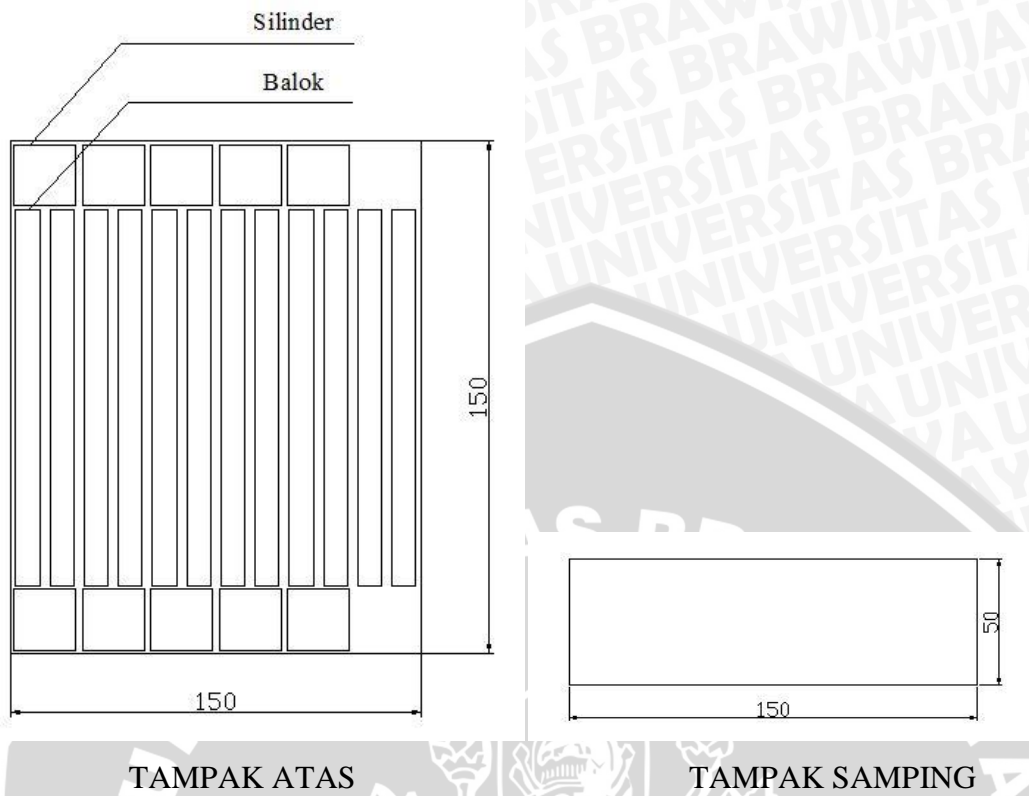
Untuk mempermudah perhitungan besarnya bak perendaman pada benda uji silinder, maka silinder akan diasumsikan sebagai balok dengan panjang 18cm, lebar 18cm dan tinggi 30cm. Rencana bak perendaman untuk benda uji silinder sebanyak 10 buah untuk masing – masing perlakuan akan dijadikan satu dengan bak perendaman balok, disamping untuk memanfaatkan ruang yang masih tersisa pada bak perendaman balok, juga untuk menekan biaya untuk pembuatan bak rendaman.



Gambar 3. 4 Asumsi untuk Benda Uji Silinder (Tampak Atas)

Karena pada penelitian ini, terdapat perlakuan yang hampir sama antara benda uji silinder dan balok, maka untuk mempermudah dalam pengelompokan sampel benda uji balok dan silinder akan ditempat dalam satu bak perendaman yang sama berdasarkan persentase campuran *bottom ash*.





TAMPAK ATAS

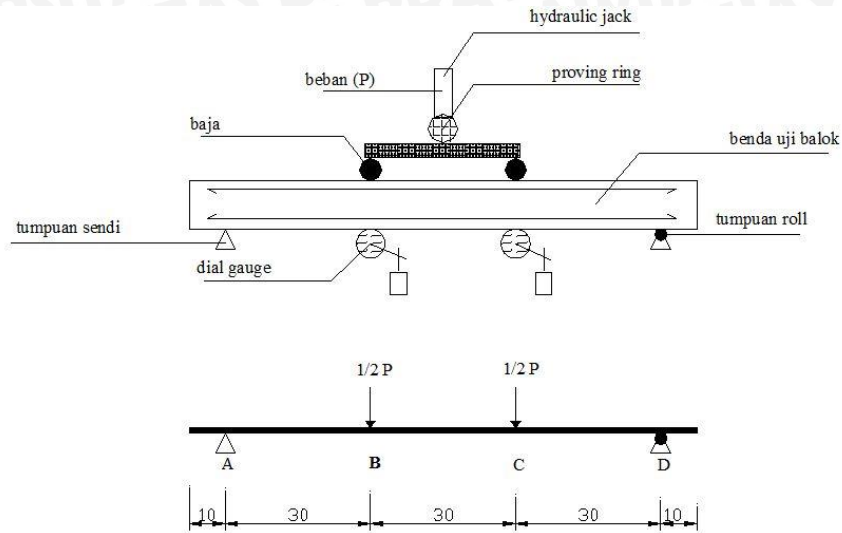
TAMPAK SAMPING

Gambar 3.5 Rencana Bak Perendaman untuk Benda Uji Balok dan Silinder

### 3.5 Metode Pengujian

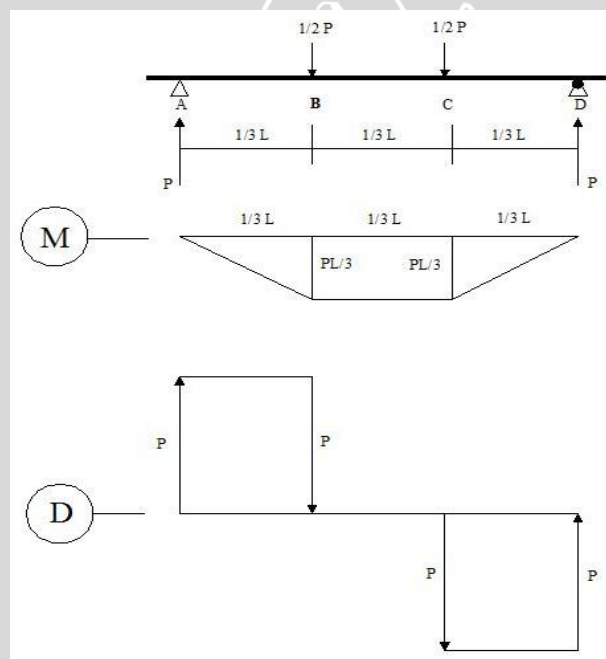
Pengujian lendutan dilakukan di laboratorium struktur dan bahan konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui lendutan pada balok beton dengan variasi penggantian sebagian semen dengan *bottom ash*. Pengujian dilakukan pada benda uji berupa balok dengan dimensi 10cm x 7cm x 110cm.

Sebelum melakukan pengujian terhadap lendutan, balok beton yang telah dirawat sampai hari pengujian, diambil dari tempat perawatan dan dikeringkan permukaannya. Kemudian dilakukan pengukuran panjang (L), lebar (b), tinggi (h) balok yang akan diuji. Letakkan balok beton pada frame uji, kemudian pastikan letak tumpuan sesuai dengan jarak yang sudah di tentukan. Lalu pasang *spreader beam* dengan jarak yang sudah di tentukan untuk masing – masing benda uji. Pasang peralatan pengujian lendutan yang akan digunakan. Pada pengujian ini balok diletakkan dengan tumpuan sendi – roll. Sebelum dilakukan pembebanan perlu dilakukan pengaturan konfigurasi terhadap alat pengukur lendutan sehingga siap untuk digunakan.



Gambar 3. 6 Setup pengujian lendutan balok dengan tulangan geser

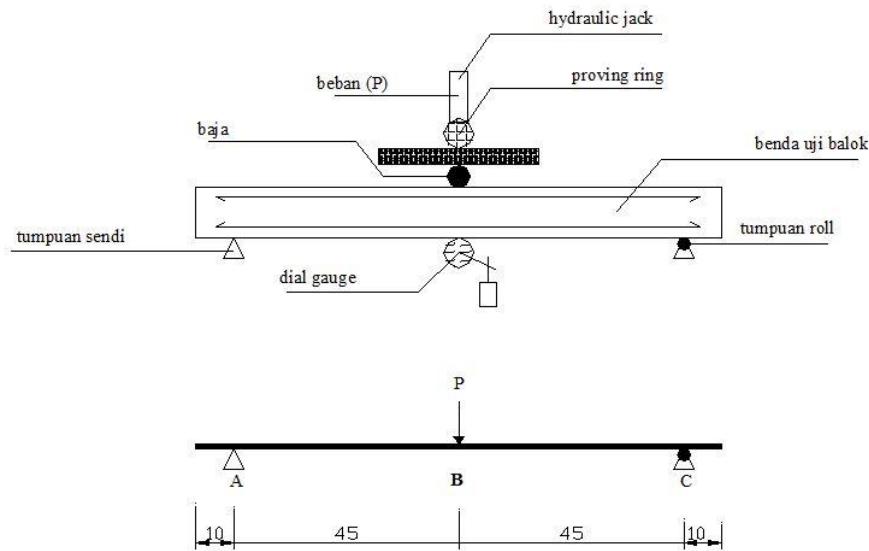
Dari pengujian balok dengan tulangan geser dengan dua titik pembebanan, secara teoritis maka akan didapat lendutan sebagai berikut ini.



Gambar 3. 7 Bidang M dan D

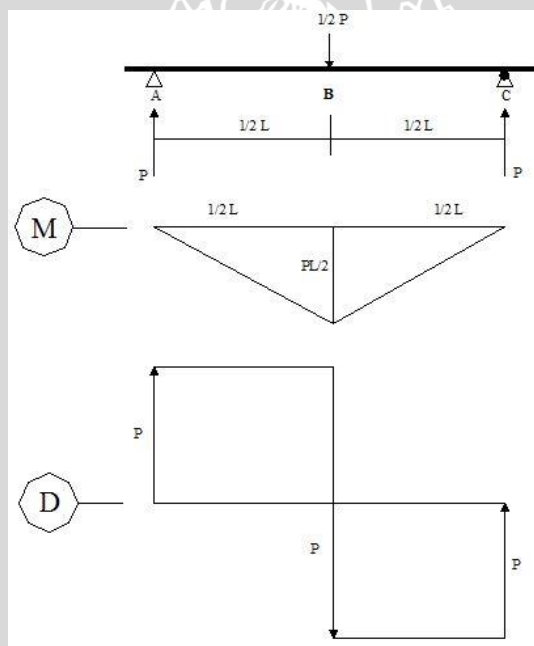
Untuk pengujian pada balok dengan tulangan lentur, pemasangan peralatan dan peletakan benda uji sama dengan pada balok dengan tulangan geser. Yang berbeda adalah pada penempatan titik pembebanan. Pembebanan akan dilakukan pada satu titik yaitu tepat di tengah bentang. Seperti pada gambar berikut ini.





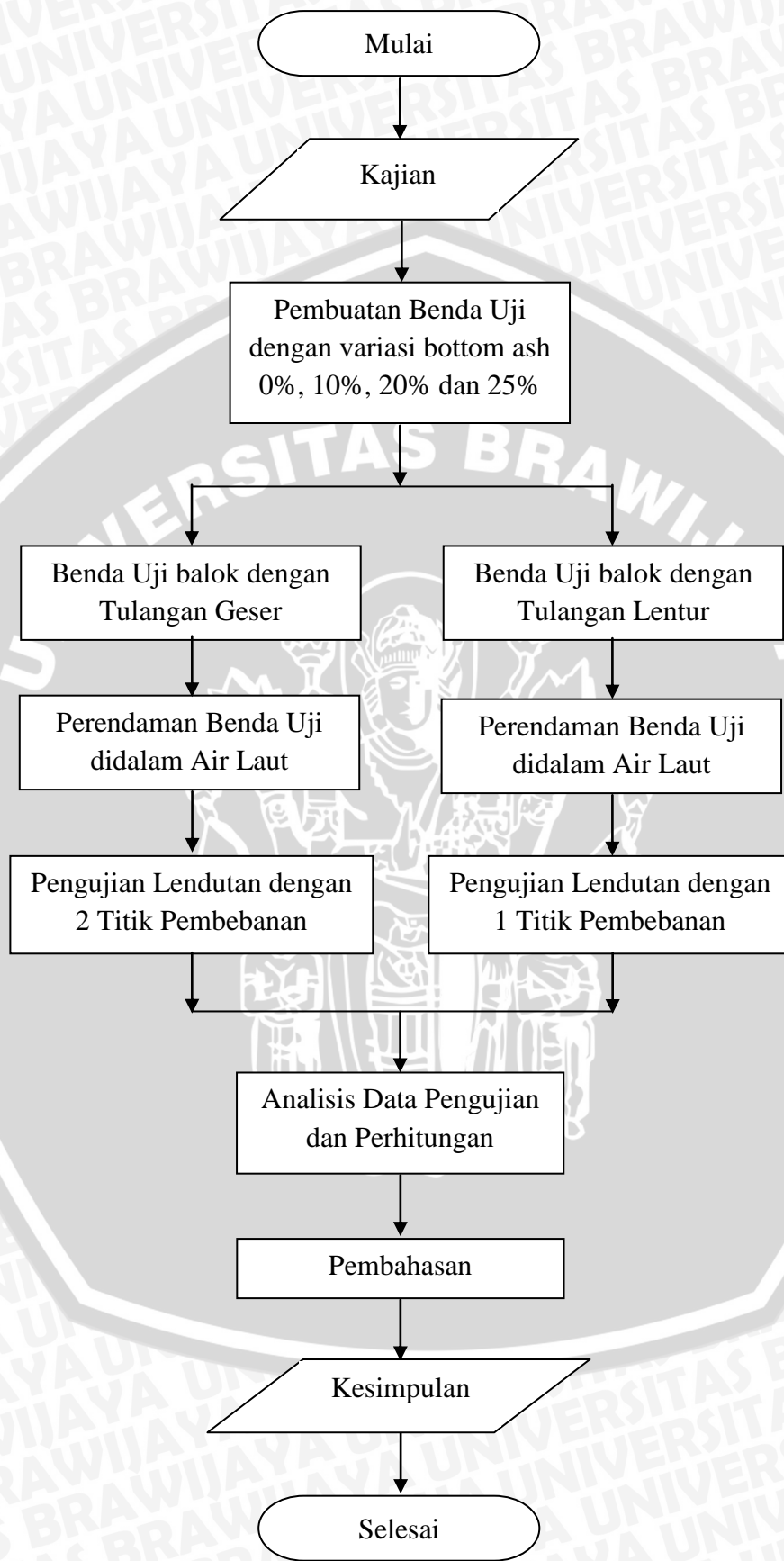
Gambar 3. 8 Setup pengujian lendutan balok dengan tulangan lentur

Dari pengujian balok dengan tulangan lentur dengan satu titik pembebanan, secara teoritis maka akan didapat lendutan sebagai berikut ini.



Gambar 3. 9 Bidang M dan D

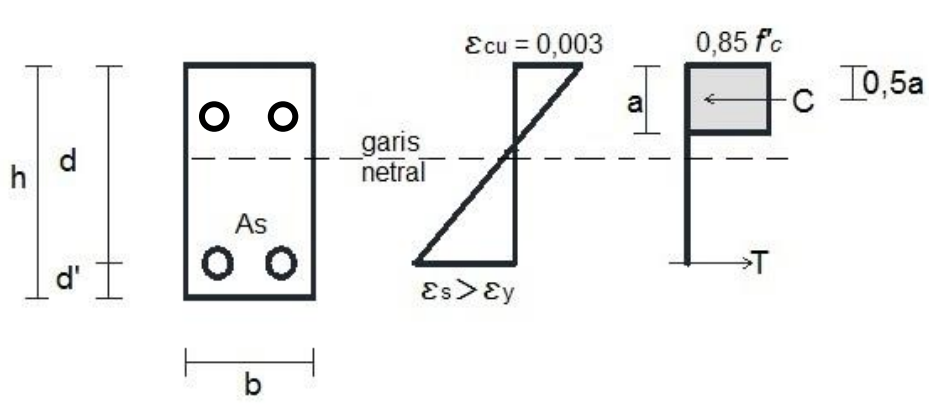
### 3.6 Diagram Alir Penelitian





## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Penampang dan Lendutan pada Balok Beton Normal



Gambar 4. 1 Penampang balok tulangan rangkap

Diketahui:

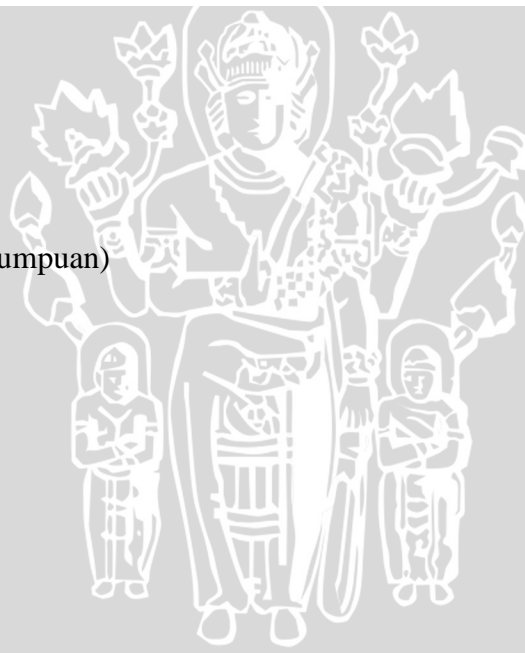
- $b = 70 \text{ mm}$
- $h = 100 \text{ mm}$
- $d' = 10 \text{ mm}$
- $L = 900 \text{ mm}$  (jarak antar tumpuan)
- $f'_c = 22,5 \text{ MPa}$
- $f_y = 240 \text{ MPa}$
- $\phi = 8 \text{ mm}$
- $n = 4$
- $A_s = 4 \times 0,25 \times 3,14 \times 8^2$   
 $= 200,96 \text{ mm}^2$

Perhitungan rasio tulangan

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{240}$$

$$= 0,005$$



$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,75 \times \frac{(0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c) \cdot 600}{f_y (600 + f_y)} \\ &= 0,75 \times \frac{(0,85 \cdot 0,85 \cdot 22,5) \cdot 600}{240 (600 + 240)} \\ &= 0,0363\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{act} &= \frac{A_s}{b \cdot d} \\ &= \frac{200,96}{70 \cdot 80} \\ &= 0,0359\end{aligned}$$

Syarat rasio tulangan terhadap luasan penampang  $\rho_{min} < \rho_{act} < \rho_{max}$ . Dari perhitungan didapatkan  $0,0058 < 0,0359 < 0,0363$ , yang berarti telah memenuhi syarat.

a. Cek tipe keruntuhan

Dalam perencanaan balok beton biasa digunakan asumsi bahwa balok mengalami keruntuhan lentur tarik atau dalam kondisi tulangan kurang (*Under Reinforced*). Oleh karena itu desain balok harus memenuhi syarat keruntuhan *Under Reinforced* yaitu  $\epsilon_s > \epsilon_y$ .

$$\Sigma H = 0$$

$$C = T$$

$$\begin{aligned}0,85 f'_c \cdot b \cdot a &= A_s \cdot f_y \\ a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c \cdot b} \\ &= \frac{200,96 \cdot 240}{0,85 \cdot 22,5 \cdot 70} \\ &= 36,026 \text{ mm} \\ c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{36,026}{0,85} \\ &= 42,383 \text{ mm}\end{aligned}$$

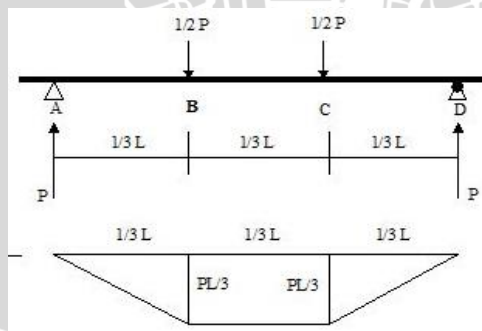
$$\begin{aligned}\frac{0,003}{c} &= \frac{\varepsilon_s}{d-c} \\ \varepsilon_s &= \frac{0,003}{c} \times (d-c) \\ &= \frac{0,003}{42,383} \times (80-42,383) \\ &= 0,00266 \\ \varepsilon_y &= \frac{f_y}{E} \\ &= \frac{240}{2,10^5} \\ &= 0,0012\end{aligned}$$

Syarat keruntuhan *Under Reinforced* yaitu  $\varepsilon_s > \varepsilon_y$ . Dari perhitungan didapatkan  $0,00266 > 0,0012$  yang berarti telah memenuhi syarat.

Perhitungan momen nominal balok

$$\begin{aligned}M_n &= T(d-0,5a) \\ &= A_s f_y (d-0,5a) \\ &= 200,96 \cdot 240 \cdot (80 - 0,5 \cdot 36,026) \\ &= 2989657,8048 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Perhitungan  $P_{max}$  yang dapat ditahan oleh balok akibat pembebanan 2 titik simetri  $L/3$



Gambar 4. 2Bidang momen

$$\begin{aligned}M_n &= 100 P \\ 2989657,8048 &= 100 P \\ P_{max} &= 29896,5780 \text{ N}\end{aligned}$$



Perhitungan lendutan tengah bentang balok

Perhitungan lendutan pada kemampuan layan digunakan beban  $P$  dengan nilai 70% dari  $P_{max}$ .

$$\begin{aligned} P &= 70\% \cdot 29896,5780 \\ &= 20927,6046 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan garis netral daerah tekan terhadap serat tarik daerah tekan:

$$y = \frac{nA_s}{b} \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{2bd}{nA_s}\right)} - 1 \right]$$

$$\begin{aligned} &= \frac{200,96}{70} \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{2 \cdot 70 \cdot 80}{200,96}\right)} - 1 \right] \\ &= 18,7527 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan momen inersia penampang retak transformasi:

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \frac{1}{3} b y^3 + nA_s (d-y)^2 \\ &= \frac{1}{3} \cdot 70 \cdot 18,7527^3 + 200,96 (80-18,7527)^2 \\ &= 907722,5826 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Perhitungan modulus retak beton:

$$\begin{aligned} f_r &= 0,7 \sqrt{f'_c} \\ &= 0,7 \sqrt{22,5} \\ &= 3,32 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan momen pada saat timbul retak pertama kali:

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} b h^3 \\ &= \frac{1}{12} 70 \cdot 100^3 \\ &= 5833333,3333 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{f_r I_g}{y_t} \\ &= \frac{3,32 \cdot 5833333,3333}{50} \\ &= 387333,3333 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan momen inersia efektif:

$$\begin{aligned}
 I_e &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right\} I_{cr} \\
 &= \left(\frac{387333,3333}{2989657,8048}\right)^3 5833333,3333 + \left\{1 - \left(\frac{387333,3333}{2989657,8048}\right)^3\right\} 907722,5826 \\
 &= 918434,0803 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Perhitungan modulus elastisitas:

$$\begin{aligned}
 E &= 4700 \sqrt{f'_c} \\
 &= 4700 \sqrt{22,5} \\
 &= 22294,058
 \end{aligned}$$

Perhitungan lendutan seketika balok pada taraf II:

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{0,5 \cdot P \cdot a}{24EI_e} (3L^2 - 4a^2) \\
 &= \frac{0,5 \cdot 20927,6046 \cdot 300}{24 \cdot 22294,058 \cdot 918434,0803} (3 \cdot 900^2 - 4 \cdot 300^2) \\
 &= 13,2231 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan lendutan seketika balok pada taraf III:

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{0,5 \cdot P_{max} \cdot a}{24EI_{cr}} (3L^2 - 4a^2) \\
 &= \frac{0,5 \cdot 29896,5780 \cdot 300}{24 \cdot 22294,058 \cdot 907722,5826} (3 \cdot 900^2 - 4 \cdot 300^2) \\
 &= 19,1130 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

## 4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel 4. 1 Pengujian kuat tekan

Kode Silinder	KADAR BOTTOM ASH (%)							
	0		10		20		25	
	Berat (Kg)	P (Kn)	Berat (Kg)	P (Kn)	Berat (Kg)	P (Kn)	Berat (Kg)	P (Kn)
S-7A	11,2	312	11,3	345	11,48	290	11,58	277
S-7B	11,16	295	11,3	355	11,66	277	11,3	278
S-7C	11,14	307	11,5	323	11,46	268	11,4	269
S-14A	11,08	302	10,96	354	11,3	284	11,3	281
S-14B	11,12	278	11,26	345	11,14	280	11,38	250
S-14C	11,14	285	11,16	353	11,24	287	11,28	274
S-28A	11,06	306	11,16	345	11,46	317	11,56	289
S-28B	11,82	320	11,46	335	11,36	279	11,44	288
S-28C	11,04	358	11,26	317	11,38	342	11,5	315

Contoh perhitungan:

Kode benda uji S-7A-0, diketahui:

$$d = 15\text{cm}$$

$$t = 30\text{cm}$$

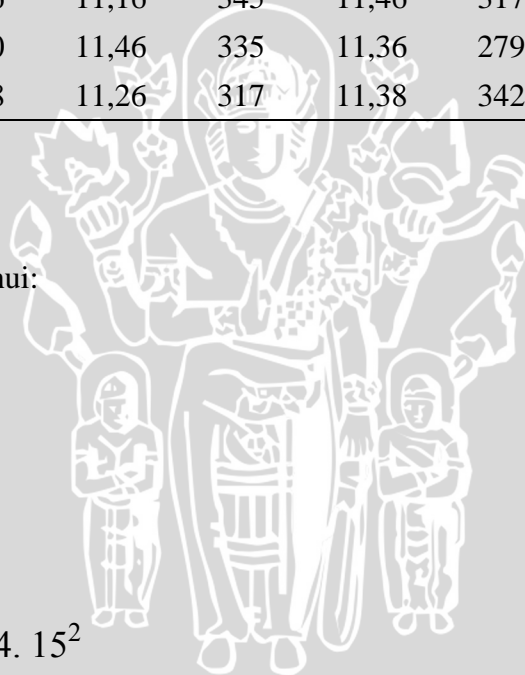
$$\text{Berat} = 11,2 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang } (A) &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 15^2 \\ &= 176,79 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume } (V) &= A \cdot t \\ &= 176,79 \cdot 30 \end{aligned}$$

$$= 5303,57 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat isi} &= \text{Berat} / V \\ &= 11,2 / 5303,57 \\ &= 0,00211 \text{ kg/cm}^3 \end{aligned}$$





$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tekan, } f'_{ci} &= P_{max}/A \\
 &= 312/ 176,79 \\
 &= 176,480 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 17,648 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama seperti contoh perhitungan didapatkan nilai  $f'_{ci}$  untuk masing-masing benda uji.

### 4.3 Uji Statistik Kuat Tekan

Contoh perhitungan dilakukan pada benda uji silinder beton dengan variasi *bottom ash* 0% sebagai berikut:

Tegangan hancur rata-rata:

$$\begin{aligned}
 f'_{cr} &= \frac{\sum f'_{ci}}{n} \\
 &= \frac{17,6645+16,7020+17,3814}{3} \\
 &= 17,2494 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Nilai setandar deviasi:

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{\frac{\sum (f'_{ci} - f'_{cr})^2}{(n-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{(17,6645-17,2494)^2 + (16,7020-17,2494)^2 + (17,3814-17,2494)^2}{(3-1)}} \\
 &= 0,4946 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

c. Nilai setandar deviasi:

$$\begin{aligned}
 M &= 1,64.S \\
 &= 1,64. 0,4946 \\
 &= 0,8112 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

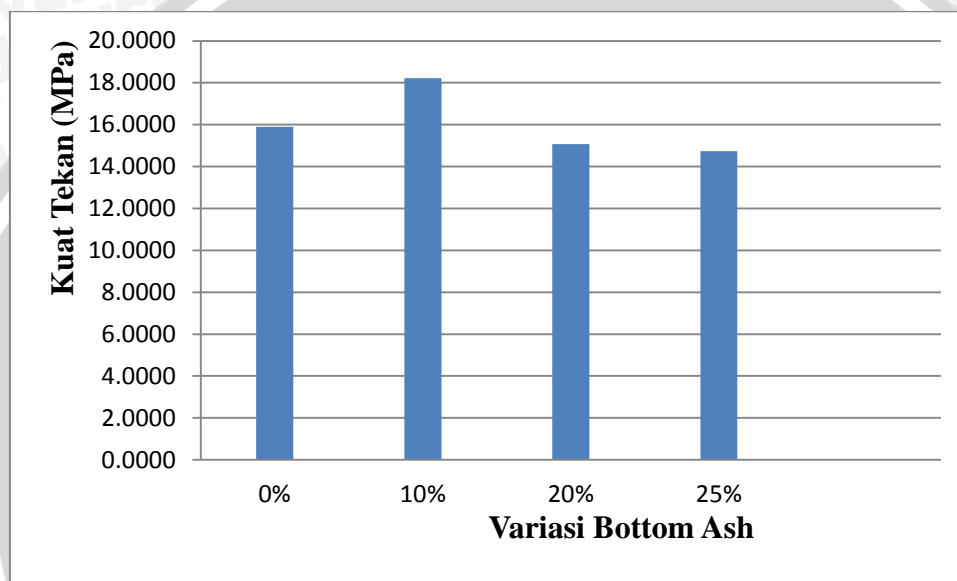
Tegangan tekan:

$$f'_c = f'_{cr} - M$$

$$= 17,2494 - 0,8112$$

$$= 16,4381 \text{ MPa}$$

Jadi dari pengujian kuat tekan terhadap 3 benda uji silinder beton dengan variasi *bottom ash* 0% didapatkan nilai kekuatan karakteristik beton  $f'_c = 15,8962 \text{ MPa}$ . Untuk perhitungan  $f'_c$  benda uji lainnya dapat ditampilkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Perbandingan kuat tekan beton

#### 4.4 Pengujian Lendutan

Pengujian lendutan dilakukan terhadap balok beton bertulangan rangkap. Balok yang diuji adalah balok beton dengan variasi penambahan *bottom ash* 0%, 10%, 20%, dan 25%. Pengujian balok dilakukan dengan menggunakan 2 tipe pembebanan, yaitu dengan satu beban untuk balok dengan tulangan lentur dan dua beban dengan jarak yang sudah ditentukan untuk balok dengan tulangan geser. Dari data pengujian lendutan dilakukan uji regresi untuk mengetahui pengaruh beban terhadap lendutan balok.

Analisa regresi merupakan salah satu uji statistika yang memiliki dua jenis pilihan model yaitu linear dan non linear dalam parameternya. Model linear memiliki dua sifat yaitu regresi sederhana dan regresi berganda dengan kurva yang dihasilkan membentuk garis lurus, sedangkan untuk model non linear dalam parameternya bersifat kuadrat dan kubik dengan

kurva yang dihasilkan membentuk garis lengkung. Pada pengujian lendutan balok ini digunakan regresi linier sederhana sehingga digunakan persamaan  $y = a_1x + a_2$ .

Regresi linier dilakukan terhadap hasil pengujian lendutan yang dibagi berdasarkan bentuk kurva linier hubungan beban-lendutan. Dari data pengujian lendutan laboratorium untuk setiap benda uji dapat digambarkan grafik hubungan beban dan lendutan. Untuk setiap variasi *bottom ash* dilakukan pengujian lendutan sebanyak 2 benda uji. Dari hasil pengujian terhadap 2 benda uji tersebut dapat digambarkan grafik hubungan beban dan lendutan gabungan. Grafik gabungan ini didapat dengan menghitung nilai rata-rata dari kedua benda uji pada setiap pembebanan yang dilakukan.

#### 4.4.1 Perhitungan Momen Inersia Efektif

Lendutan yang terjadi seketika sesudah bekerjanya beban harus dihitung dengan metode standar untuk lendutan elastic, dengan memperhitungkan pengaruh retak dan tulangan terhadap kekakuan komponen struktur.

Bila nilai kekakuan tidak dihitung dengan cara analisis yang lebih teliti, maka besarnya lendutan seketika akibat pembebanan harus dihitung dengan menggunakan nilai modulus elastisitas beton  $E_c$  dan dengan momen inersia efektif berikut:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \quad (4-1)$$

Dengan menggunakan rumus diatas maka akan didapatkan hasil seperti berikut ini:

Tabel 4. 2 Inersia efektif

Campuran Bottom Ash (%)	7 hari		14 hari		28 hari	
	Geser (mm <sup>4</sup> )	Lentur (mm <sup>4</sup> )	Geser (mm <sup>4</sup> )	Lentur (mm <sup>4</sup> )	Geser (mm <sup>4</sup> )	Lentur (mm <sup>4</sup> )
0	314469.753	290519.769	307051.384	294680.468	303840.955	290147.671
10	294055.006	289465.804	301031.832	292065.148	293981.669	298577.854
20	300408.801	296056.512	305880.318	291543.678	295569.940	283513.710
25	295517.598	286787.611	293930.537	289539.974	294818.636	292733.767



Contoh perhitungan benda uji dengan variasi *bottom ash* 0% yang direndam dengan lama rendaman 7 hari ebagai berikut:

Diketahui:

$$b : 70 \text{ mm}$$

$$h : 100 \text{ mm}$$

$$d : 80 \text{ mm}$$

$$f'_c : 16,438 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s : 50,24 \text{ mm}^2$$

$$L : 900 \text{ mm}$$

$$x : 300 \text{ mm}$$

$$P_{max} : 11000 \text{ N}$$

a. Menghitung  $M_n$ :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{1}{2} P_{max} \cdot x \\ &= \frac{1}{2} 11000 \cdot 300 \\ &= 1650000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

b. Menghitung modulus elastisitas:

$$\begin{aligned} E &= 4700 \sqrt{f'_c} \\ &= 4700 \sqrt{16,438} \\ &= 19055,653 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

c. Menghitung modulus keruntuhan lentur:

$$\begin{aligned} f_r &= 0,7 \sqrt{f'_c} \\ &= 0,7 \sqrt{16,438} \\ &= 2,838 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

d. Menghitung momen inersia bruto beton terhadap garis sumbunya:

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} bh^3 \\ &= \frac{1}{12} (70 \times 100)^3 \\ &= 5833333 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

e. Menghitung momen retak:

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{F_r}{I_g Y_t} \\ &= \frac{F_r}{I_g \cdot 0,5h} \\ &= \frac{2,838}{5833333 \times 50} \\ &= 331108,86 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

f. Menghitung Garis netral daerah tekan terhadap serat tarik daerah tekan:

$$\begin{aligned} y &= \frac{A_s}{b} \left\{ \left[ \sqrt{\left( \frac{1b+(2bd)}{A_s} \right)} \right] - 1 \right\} \\ &= \frac{50,24}{70} \left\{ \left[ \sqrt{\left( \frac{70+11200}{50,24} \right)} \right] - 1 \right\} \\ &= 10,022 \text{ mm} \end{aligned}$$

g. Menghitung momen inersia penampang retak:

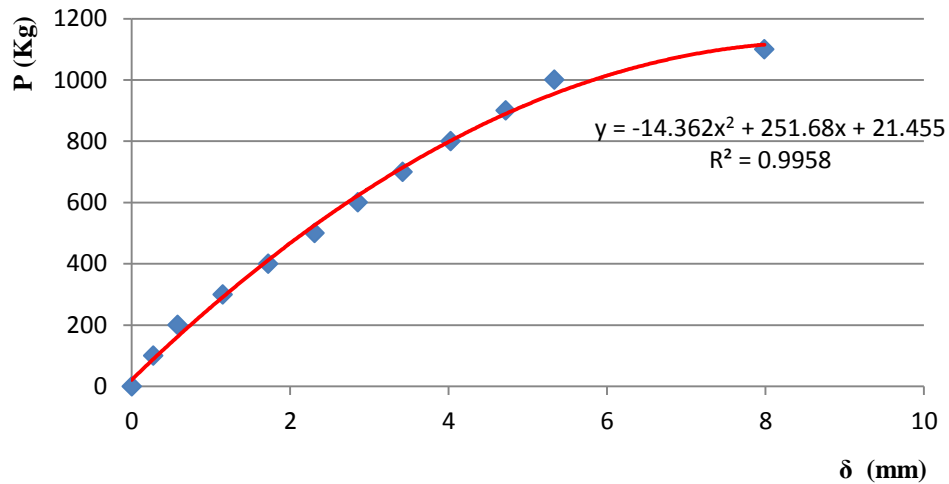
$$\begin{aligned} I_{cr} &= \left( \frac{1}{3} b \cdot y^3 \right) + \left( A_s ((d - y)^2) \right) \\ &= \left( \frac{1}{3} 70 \cdot 10,022^3 \right) + \left( 50,24 ((80 - 10,022)^2) \right) \\ &= 269509 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

h. Menghitung momen inersia efektif:

$$\begin{aligned} I_e &= \left( \left( \frac{M_{cr}}{M_n} \right)^3 \right) I_g + \left( 1 - \left( \left( \frac{M_{cr}}{M_n} \right)^3 \right) \right) I_{cr} \\ &= \left( \left( \frac{331108,86}{1650000} \right)^3 \right) \left( 1 - \left( \left( \frac{331108,86}{1650000} \right)^3 \right) \right) 269509 \\ &= 314469,753 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

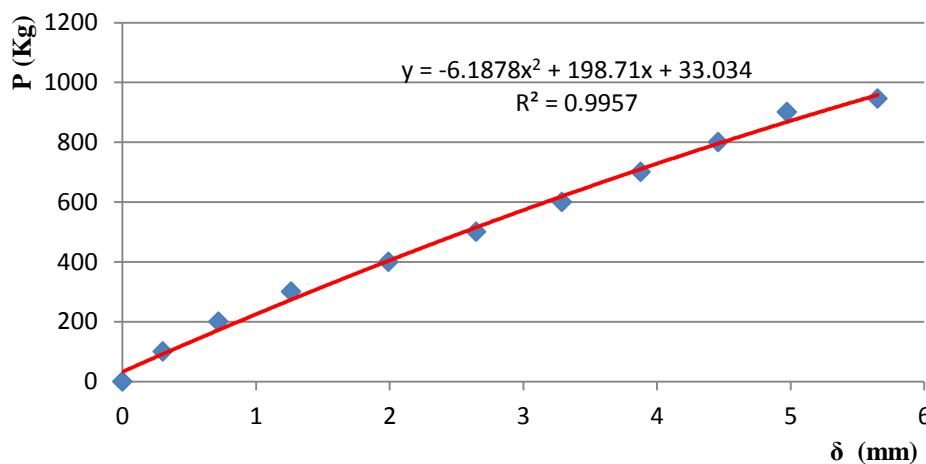
#### 4.4.2 Pengujian Balok Beton Variasi 0% *Bottom Ash*

Dari pengujian yang dilakukan terhadap benda uji balok beton dengan variasi *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 0% yang direndam dengan menggunakan air laut selama 7, 14 dan 28 hari, dapat dibuat grafik hubungan antara beban dan lendutan sebagai berikut ini.



Gambar 4. 4 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 7 hari dengan *bottom ash* 0%

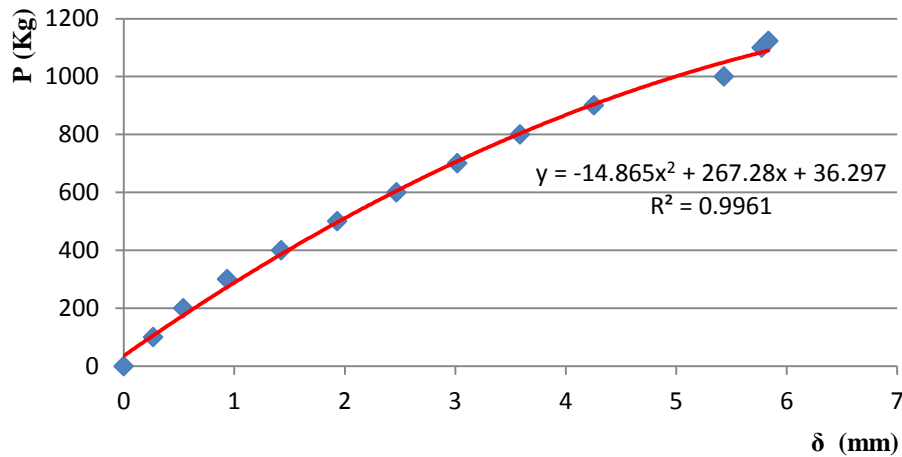
Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan geser, yang di rendam menggunakan air laut selama 7(tujuh) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 0% didapatkan persamaan regresi  $y = 139,1x + 165,3$ .



Gambar 4. 5 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 7 hari dengan *bottom ash* 0%

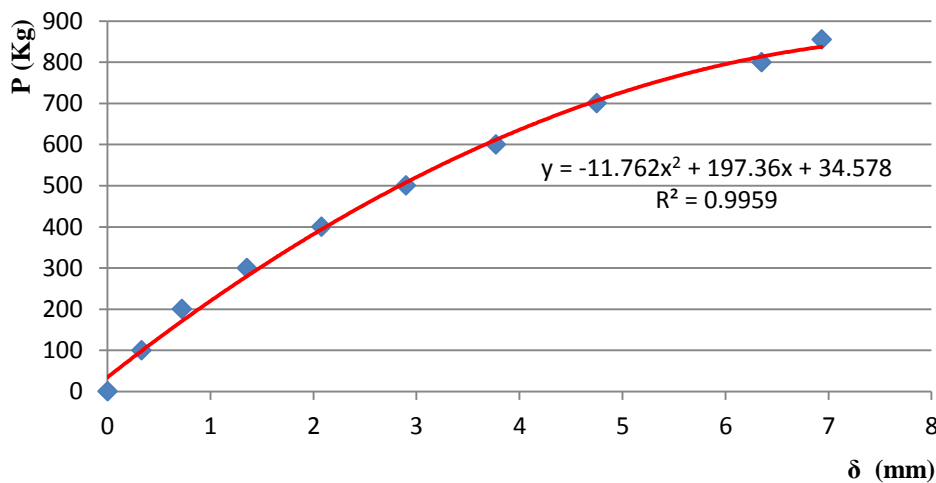
Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan lentur, yang di rendam menggunakan air laut selama 7(tujuh) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 0% didapatkan persamaan regresi  $y = 159,4x + 79,28$ .





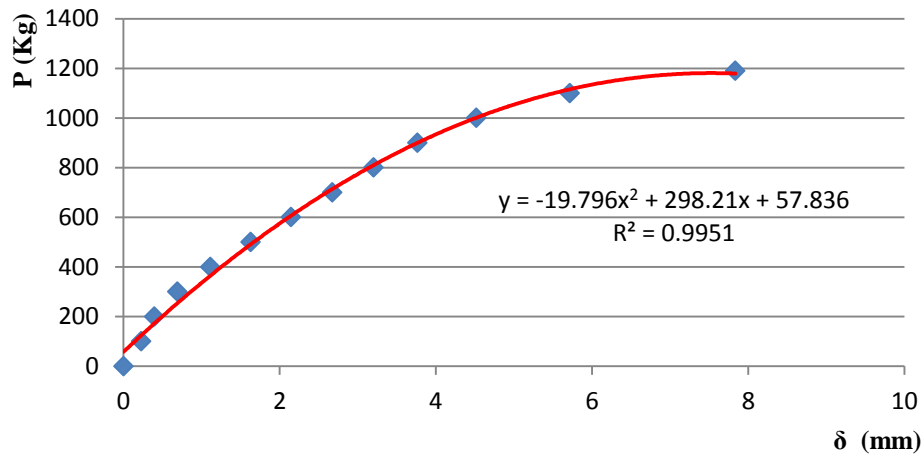
Gambar 4. 6 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 14 hari dengan *bottom ash* 0%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan geser, yang di rendam menggunakan air laut selama 14(empat belas) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 0% didapatkan persamaan regresi  $y = 171,3x + 136,9$ .



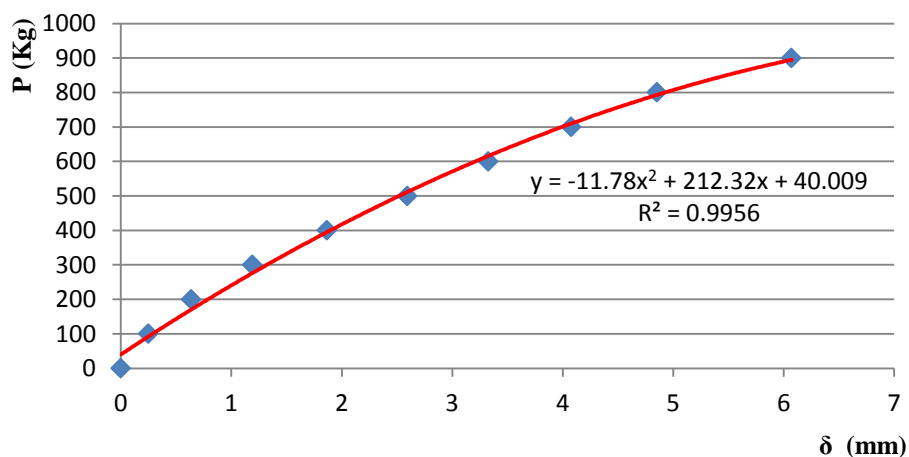
Gambar 4. 7 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 14 hari dengan *bottom ash* 0%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan lentur, yang di rendam menggunakan air laut selama 14(empat belas) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 0% didapatkan persamaan regresi  $y = 109,6x + 139,3$ .



Gambar 4. 8 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 28 hari dengan *bottom ash* 0%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan geser, yang di rendam menggunakan air laut selama 28(dua puluh delapan) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 0% didapatkan persamaan regresi  $y = 148x + 230,9$ .



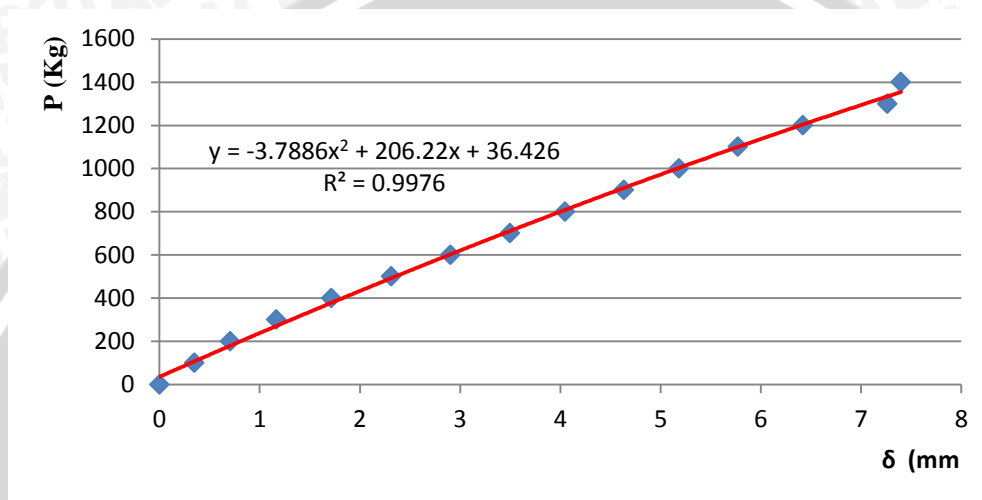
Gambar 4. 9 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 28 hari dengan *bottom ash* 0%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan lentur, yang di rendam menggunakan air laut selama 28(dua puluh delapan) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 0% didapatkan persamaan regresi  $y = 100,6x + 201,8$ .

#### 4.4.3 Pengujian balok beton variasi 10% *bottom ash*

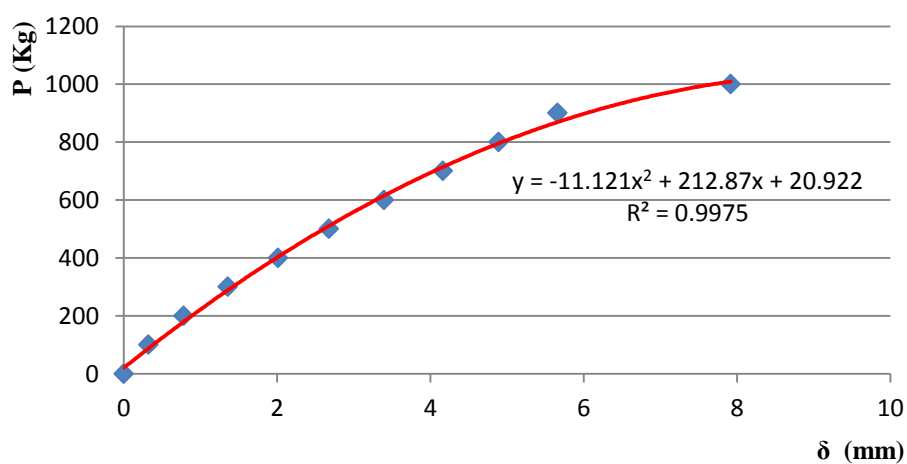
Pengujian yang dilakukan terhadap 2 macam benda uji balok beton yang menggunakan tulangan geser dan tulangan lentur dengan variasi *bottom ash* sebagai pengganti semen

sebesar 10% dari jumlah keseluruhan kebutuhan semen, kemudian direndam dengan menggunakan air laut selama 7, 14 dan 28 hari. Apabila dilihat dari hasil pengujian kuat tekan silinder, pada variasi *bottom ash* terhadap semen sebesar 10% memiliki nilai kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan nilai kuat tekan silinder dengan variasi *bottom ash* yang lainnya. Dari hasil uji laboratorium yang telah dilakukan terhadap balok beton dengan masing-masing jenis tulangan dan masing-masing lama perendaman didalam air laut dapat dibuat grafik hubungan antara beban dan lendutan sebagai berikut ini.



Gambar 4. 10 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 7 hari dengan *bottom ash* 10%

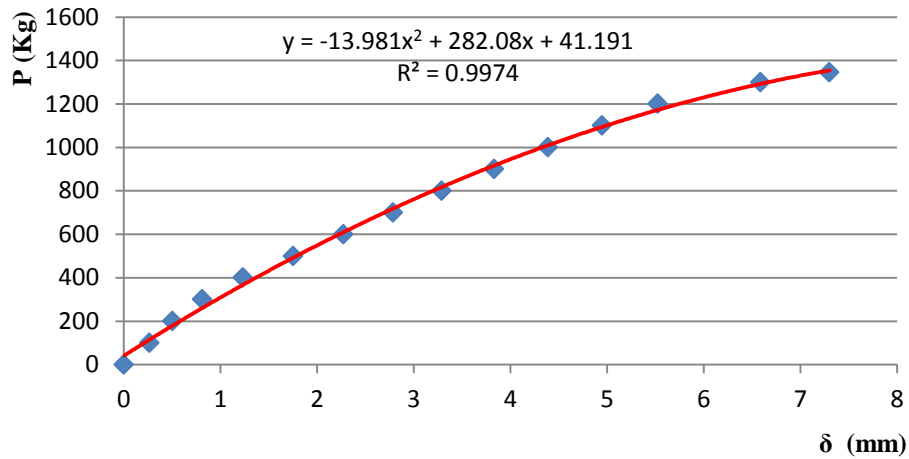
Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan geser, yang di rendam menggunakan air laut selama 7(tujuh) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 10% didapatkan persamaan regresi  $y = 119,2x + 153,3$ .



Gambar 4. 11 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 7 hari dengan *bottom ash* 10%

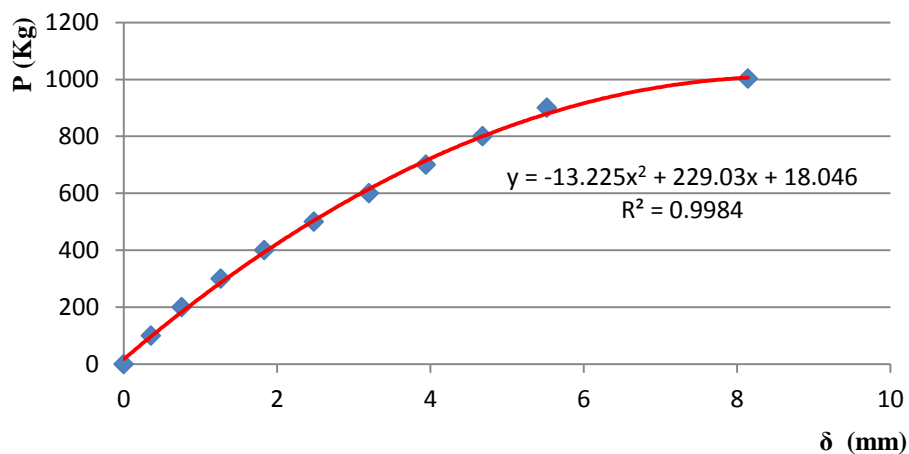


Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan lentur, yang di rendam menggunakan air laut selama 7(tujuh) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 10% didapatkan persamaan regresi  $y = 124,3x + 137,2$ .



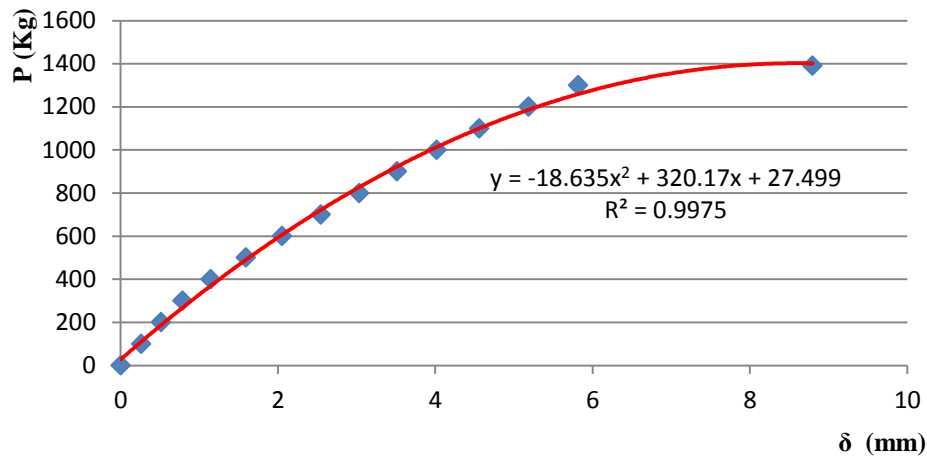
Gambar 4. 12 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 14 hari dengan *bottom ash* 10%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan geser, yang di rendam menggunakan air laut selama 14(empat belas) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 10% didapatkan persamaan regresi  $y = 179,3x + 163,4$ .



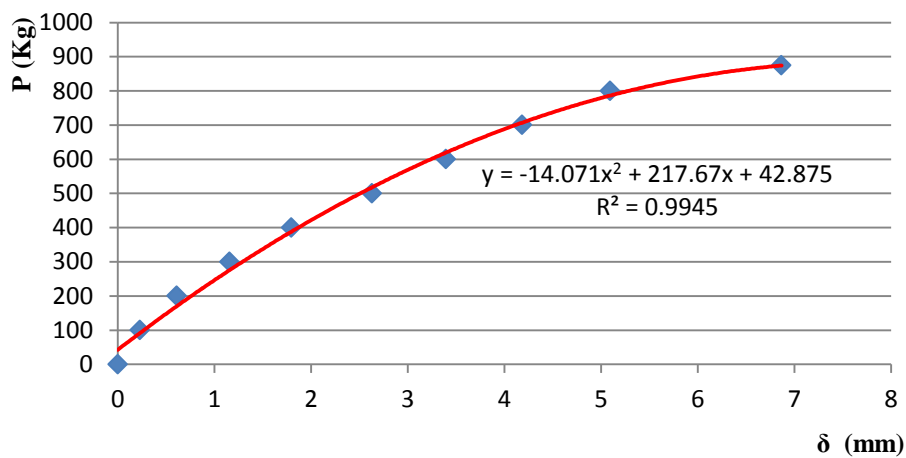
Gambar 4. 13 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 14 hari dengan *bottom ash* 10%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan lentur, yang di rendam menggunakan air laut selama 14(empat belas) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 10% didapatkan persamaan regresi  $y = 121,1x + 160,3$ .



Gambar 4. 14 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 28 hari dengan *bottom ash* 10%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan geser, yang di rendam menggunakan air laut selama 28(dua puluh delapan) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 10% didapatkan persamaan regresi  $y = 165,9x + 229,8$ .

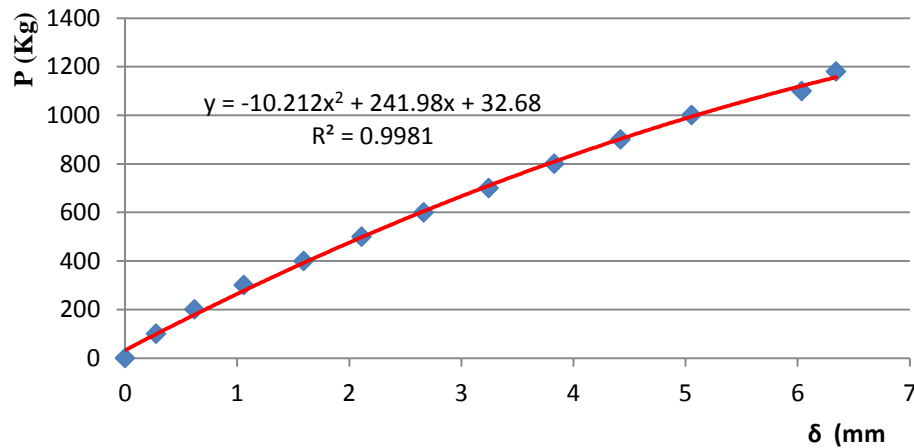


Gambar 4. 15 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 28 hari dengan *bottom ash* 10%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan lentur, yang di rendam menggunakan air laut selama 28(dua puluh delapan) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 10% didapatkan persamaan regresi  $y = 110,4x + 183,9$ .

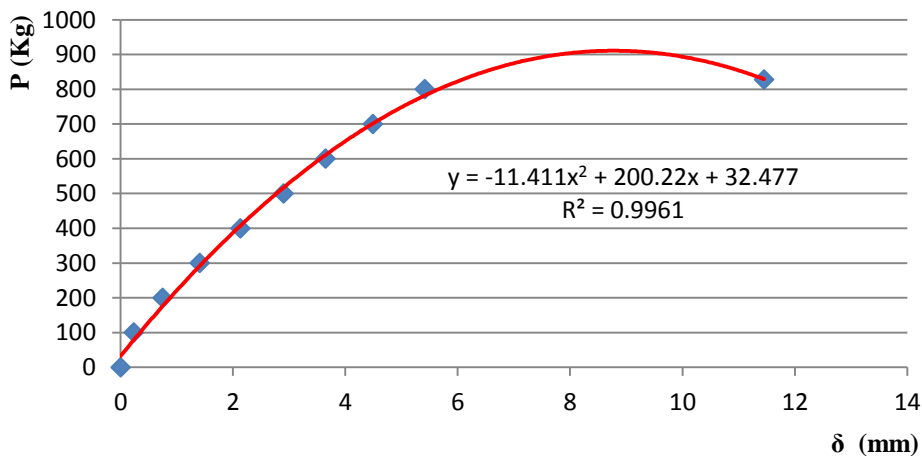
#### 4.4.4 Pengujian balok beton variasi 20% *bottom ash*

Dari pengujian yang dilakukan terhadap benda uji balok beton dengan variasi *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 20% yang direndam dengan menggunakan air laut selama 7, 14 dan 28 hari, dapat dibuat grafik hubungan antara beban dan lendutan sebagai berikut ini.



Gambar 4. 16 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 7 hari dengan *bottom ash* 20%

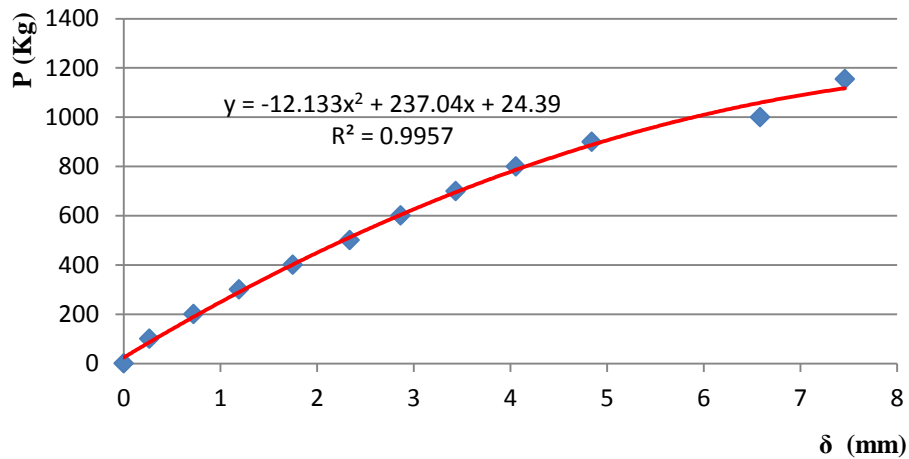
Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan geser, yang di rendam menggunakan air laut selama 7(tujuh) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 20% didapatkan persamaan regresi  $y = 172,4x + 112,9$ .



Gambar 4. 17 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 7 hari dengan *bottom ash* 20%

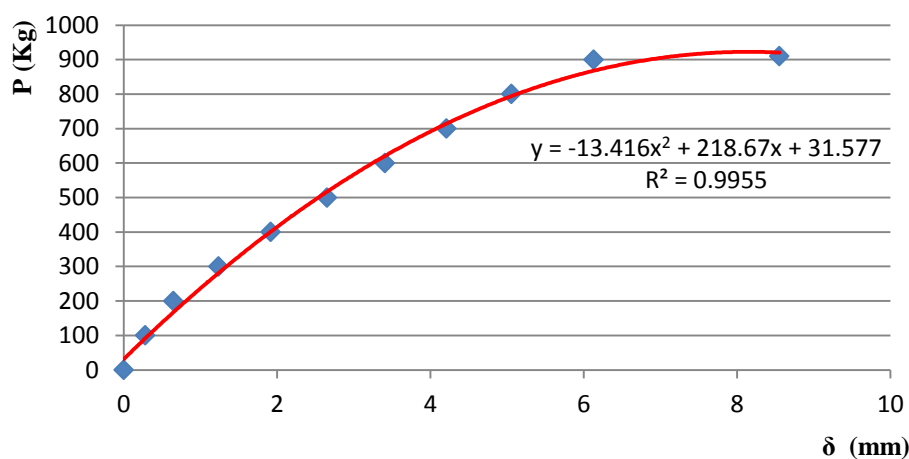
Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan lentur, yang di rendam menggunakan air laut selama 7(tujuh) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 20% didapatkan persamaan regresi  $y = 65,69x + 255,2$ .





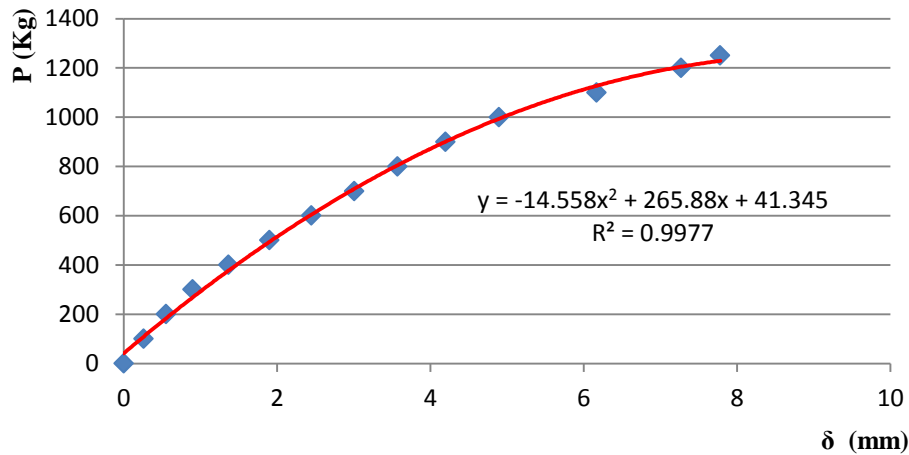
Gambar 4. 18 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 14 hari dengan *bottom ash* 20%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan geser, yang di rendam menggunakan air laut selama 14(empat belas) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 20% didapatkan persamaan regresi  $y = 143,0x + 143,1$ .



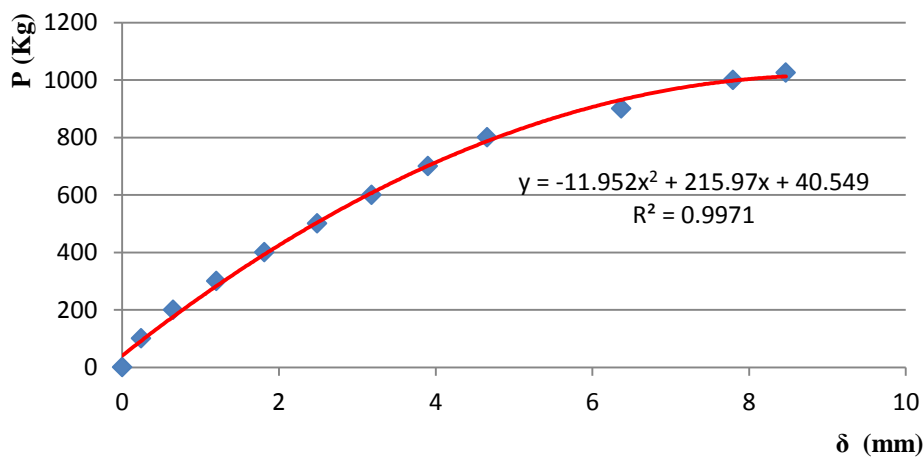
Gambar 4. 19 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 14 hari dengan *bottom ash* 20%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan lentur, yang di rendam menggunakan air laut selama 14(empat belas) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 20% didapatkan persamaan regresi  $y = 104,8x + 183,5$ .



Gambar 4. 20 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 28 hari dengan *bottom ash* 20%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan geser, yang di rendam menggunakan air laut selama 28(dua puluh delapan) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 20% didapatkan persamaan regresi  $y = 149x + 188$ .

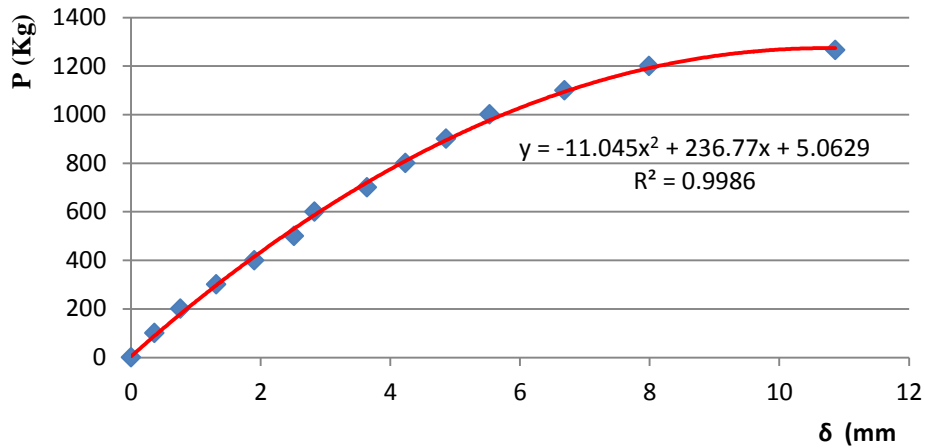


Gambar 4. 21 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 28 hari dengan *bottom ash* 20%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan lentur, yang di rendam menggunakan air laut selama 28(dua puluh delapan) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 20% didapatkan persamaan regresi  $y = 110,4x + 183,9$ .

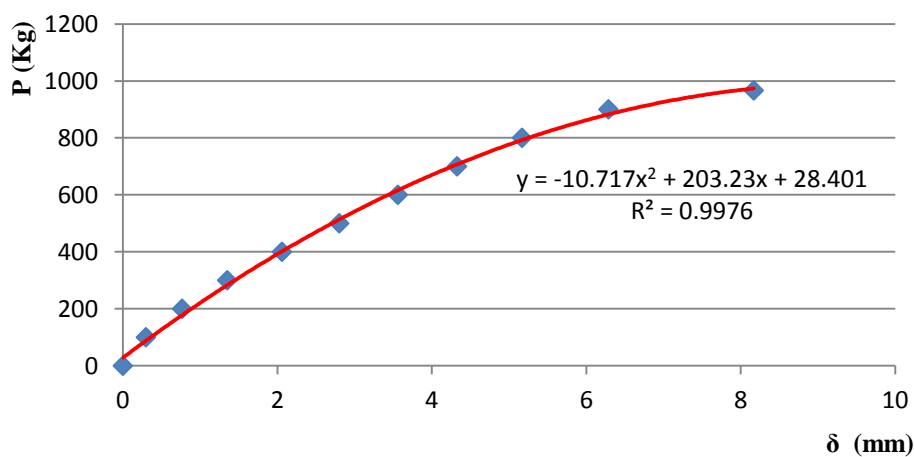
#### 4.4.5 Pengujian balok beton variasi 25% *bottom ash*

Dari pengujian yang dilakukan terhadap benda uji balok beton dengan variasi *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 25% yang direndam dengan menggunakan air laut selama 7, 14 dan 28 hari, dapat dibuat grafik hubungan antara beban dan lendutan sebagai berikut ini.



Gambar 4. 22 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 7 hari dengan *bottom ash* 25%

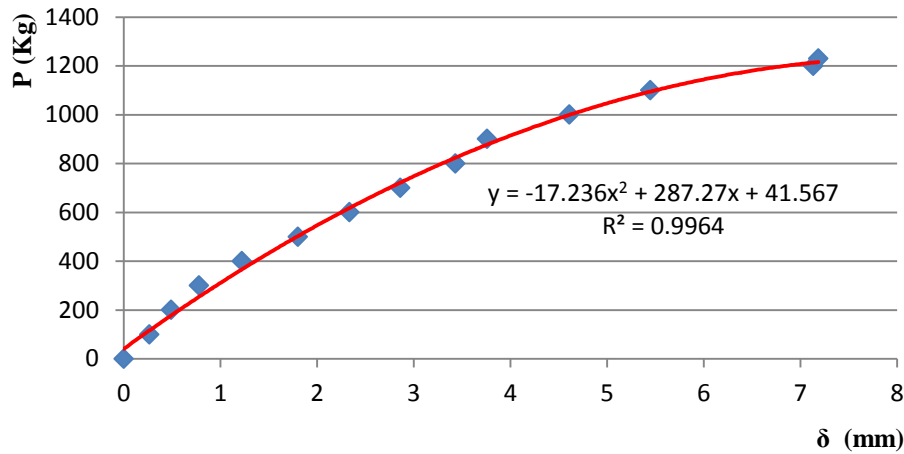
Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan geser, yang di rendam menggunakan air laut selama 7(tujuh) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 25% didapatkan persamaan regresi  $y = 120,4x + 201,5$ .



Gambar 4. 23 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 7 hari dengan *bottom ash* 25%

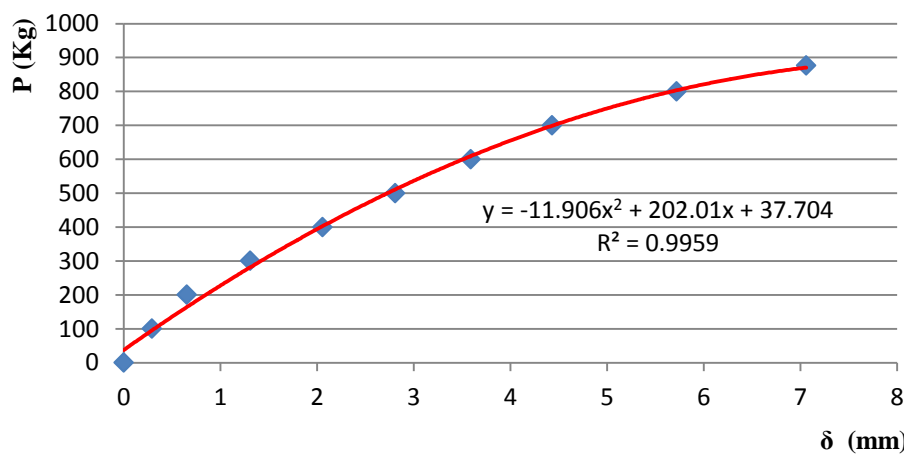


Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan lentur, yang di rendam menggunakan air laut selama 7(tujuh) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 25% didapatkan persamaan regresi  $y = 114,7x + 147,2$ .



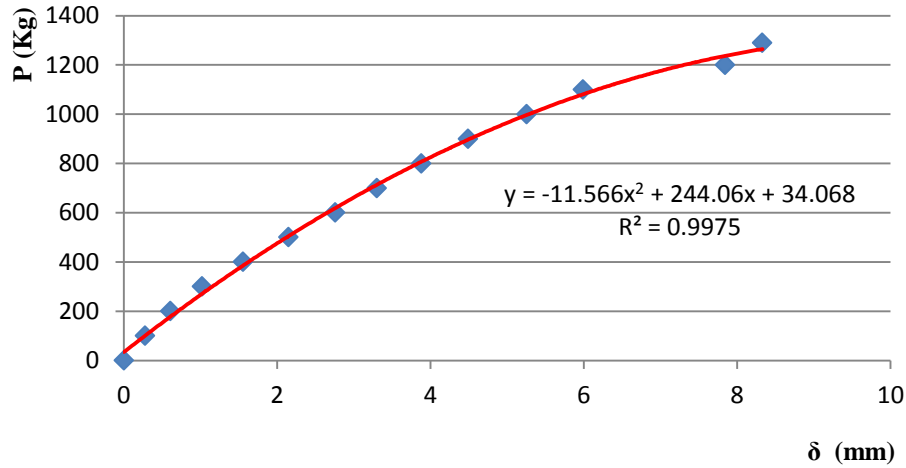
Gambar 4. 24 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 14 hari dengan *bottom ash* 25%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan geser, yang di rendam menggunakan air laut selama 14(empat belas) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 25% didapatkan persamaan regresi  $y = 157,2x + 194,8$ .



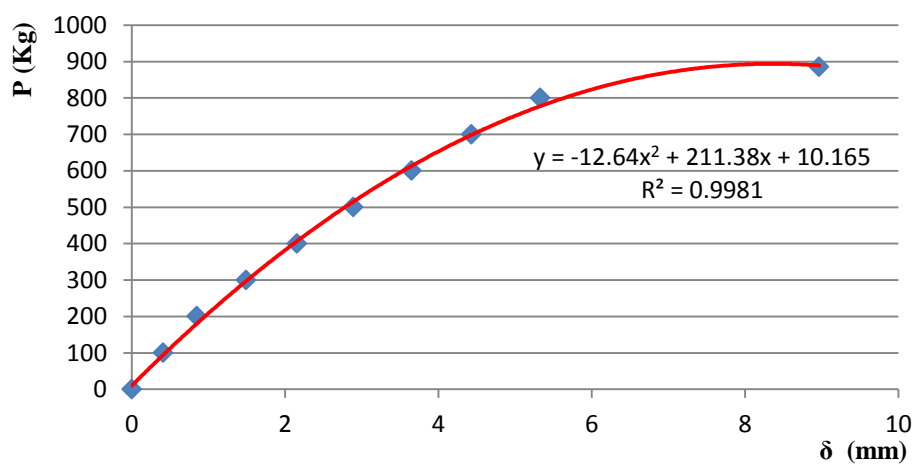
Gambar 4. 25 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 14 hari dengan *bottom ash* 25%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan lentur, yang di rendam menggunakan air laut selama 14(empat belas) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 25% didapatkan persamaan regresi  $y = 114,6x + 141,5$ .



Gambar 4. 26 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan geser yang di rendam 28 hari dengan *bottom ash* 25%

Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan geser, yang di rendam menggunakan air laut selama 28(dua puluh delapan) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 25% didapatkan persamaan regresi  $y = 144,8x + 170,4$ .

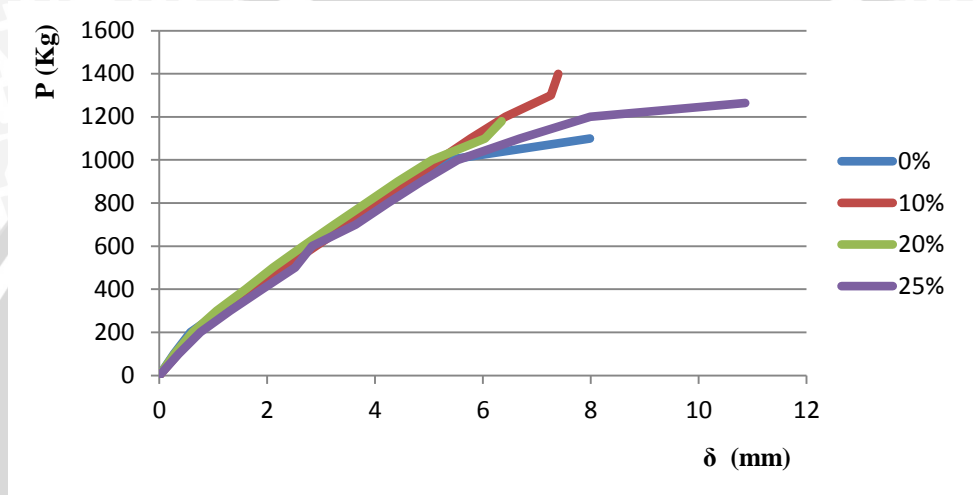


Gambar 4. 27 Hubungan beban-lendutan balok dengan tulangan lentur yang di rendam 28 hari dengan *bottom ash* 25%

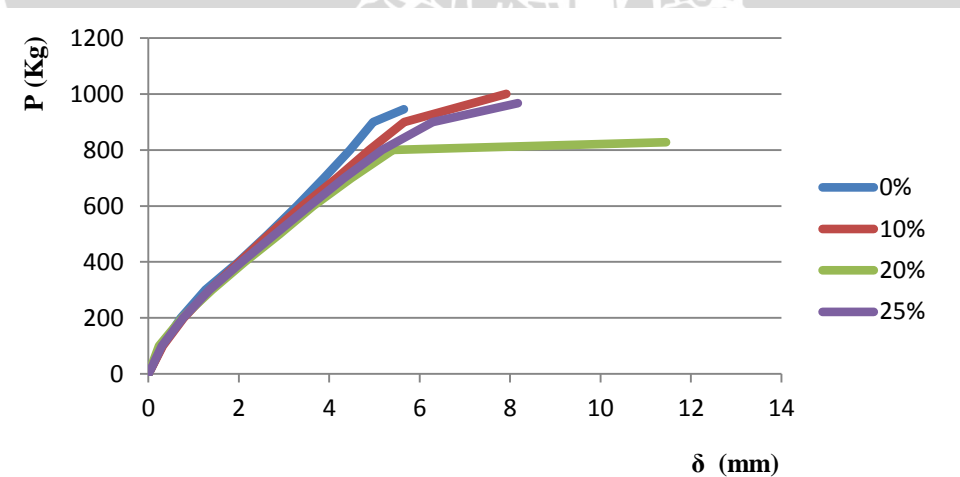
Dari grafik hubungan antara beban dan lendutan balok dengan tulangan lentur, yang di rendam menggunakan air laut selama 28(dua puluh delapan) hari dengan variasi campuran *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 25% didapatkan persamaan regresi  $y = 95,56x + 177,8$ .

#### 4.4.6 Grafik Perbandingan balok beton variasi *bottom ash* 0%, 10%, 20% dan 25% berdasarkan lama perendaman

Untuk membandingkan besarnya lendutan antara balok pada setiap variasi *bottom ash* berdasarkan lama perendaman di dalam air laut, digunakan persamaan regresi dari hubungan beban-lendutan gabungan dari masing-masing persentase *bottom ash*. Dari setiap persamaan regresi tersebut variabel  $x$  merupakan besarnya lendutan dan variabel  $y$  merupakan nilai beban yang dikerjakan pada balok. Berdasar persamaan regresi pada masing-masing variasi *bottom ash*, dapat digambarkan hubungan beban-lendutan gabungan seperti berikut ini.

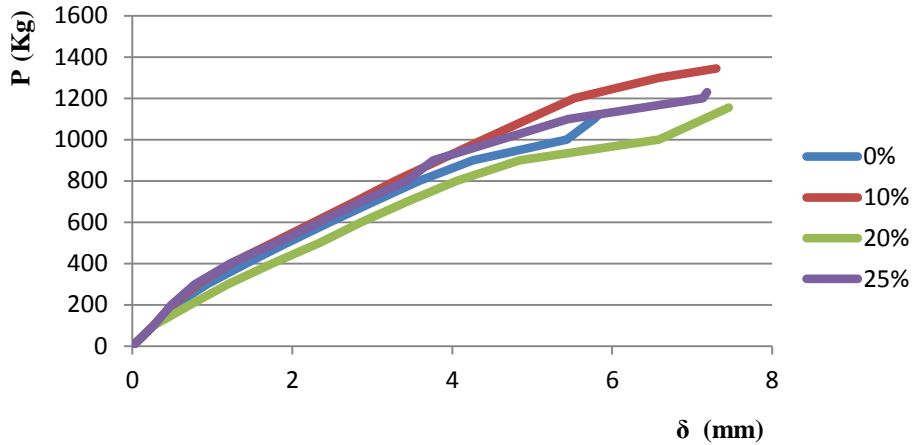


Gambar 4. 28 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan geser yang direndam selama 7 hari

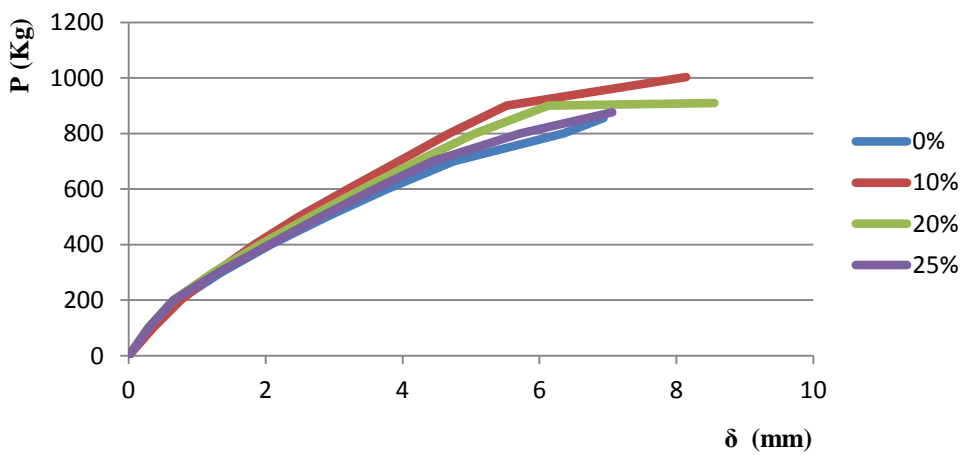


Gambar 4. 29 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan lentur yang direndam selama 7 hari

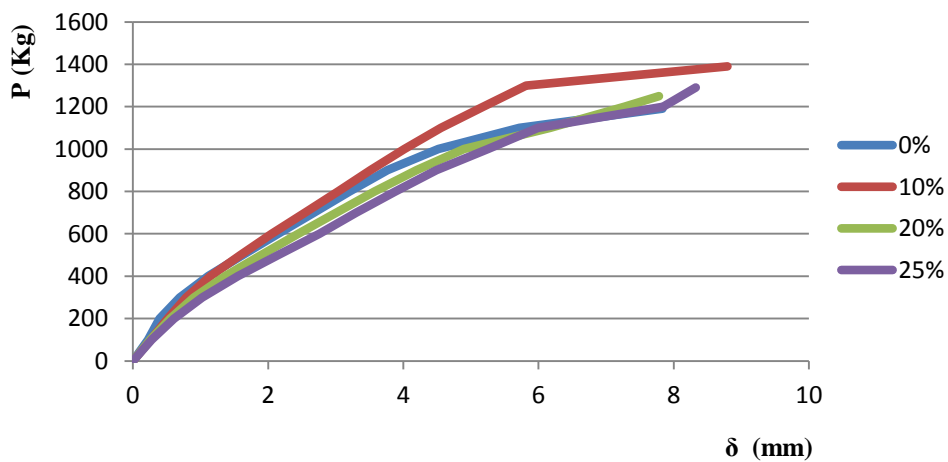




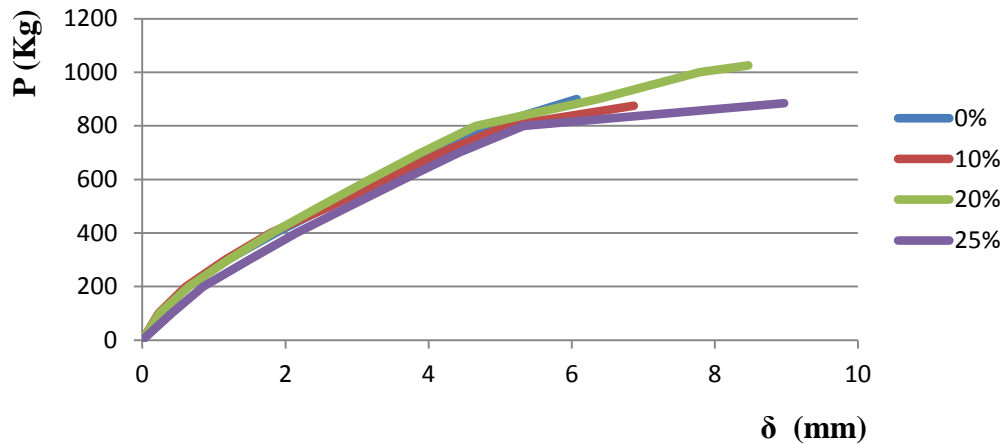
Gambar 4. 30 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan geser yang direndam selama 14 hari



Gambar 4. 31 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan lentur yang direndam selama 14 hari



Gambar 4. 32 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan geser yang direndam selama 28 hari



Gambar 4. 33 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan lentur yang direndam selama 28 hari

Dari grafik hubungan antara beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan geser yang direndam dengan menggunakan air laut selama 7, 14 dan 28 hari hasil yang memiliki nilai lendutan paling besar terjadi pada balok beton dengan variasi *bottom ash* 25% yang direndam dengan air laut selama 7 hari yaitu sebesar 10,86 mm. Namun beban yang paling besar yang mampu diterima oleh balok beton yang paling besar terjadi pada balok beton dengan variasi *bottom ash* 10% yang direndam dengan air laut selama 7 hari yaitu sebesar 1400 kg.

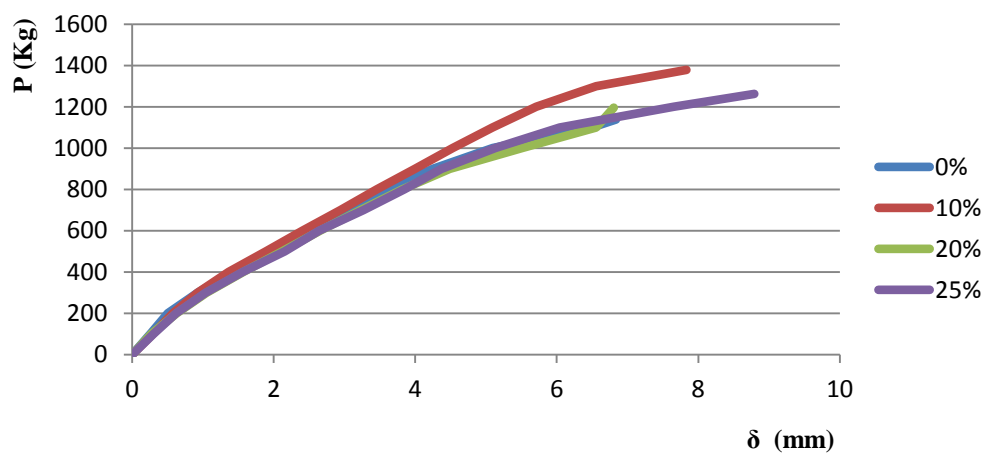
Sedangkan pada grafik hubungan antara beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan lentur yang direndam dengan menggunakan air laut selama 7, 14, dan 28 hari, hasil yang memiliki lendutan paling besar terjadi pada balok dengan variasi *bottom ash* 20% yang direndam dengan air laut selama 20 hari yaitu sebesar 11,4 mm. Dan untuk balok yang dapat menerima beban yang paling besar adalah balok dengan variasi *bottom ash* 20% dengan lama rendaman air laut selama 28 hari yaitu 1025 kg.

#### 4.4.7 Grafik Perbandingan balok beton berdasarkan variasi *bottom ash* 0%, 10%, 20% dan 25%.

Untuk membandingkan besarnya lendutan dan beban yang mampu diterima balok berdasarkan variasi *bottom ash*, digunakan persamaan regresi dari hubungan beban-lendutan gabungan dari masing-masing persentase *bottom ash*. Dari setiap persamaan regresi tersebut variabel  $x$  merupakan besarnya lendutan dan variabel  $y$  merupakan nilai beban yang dikerjakan pada balok. Berdasar persamaan regresi pada masing-masing variasi *bottom ash*, dapat digambarkan hubungan beban-lendutan gabungan seperti berikut ini.

Tabel 4. 3 Beban dan Lendutan pada balok dengan tulangan geser berdasarkan variasi campuran *bottom ash*

0%		10%		20%		25%	
P (Kg)	$\delta$ (mm)	P (Kg)	$\delta$ (mm)	P (Kg)	$\delta$ (mm)	P (Kg)	$\delta$ (mm)
100	0.254	100	0.291	100	0.267	100	0.301
200	0.504	200	0.574	200	0.632	200	0.620
300	0.925	300	0.922	300	1.051	300	1.038
400	1.420	400	1.365	400	1.570	400	1.560
500	1.956	500	1.885	500	2.117	500	2.156
600	2.489	600	2.409	600	2.658	600	2.642
700	3.039	700	2.942	700	3.229	700	3.267
800	3.604	800	3.457	800	3.820	800	3.848
900	4.248	900	3.994	900	4.487	900	4.370
1000	5.096	1000	4.531	1000	5.512	1000	5.131
1100	6.493	1100	5.093	1100	6.556	1100	6.042
1137.5	6.836	1200	5.709	1195	6.807	1200	7.655
		1300	6.555			1262	8.793
		1378	7.831				

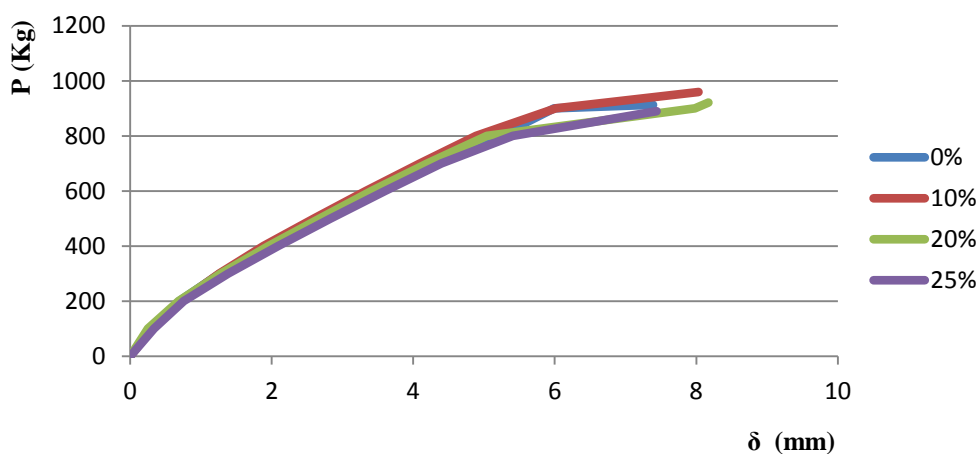


Gambar 4. 34 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan geser



Tabel 4. 4 Beban dan Lendutan pada balok dengan tulangan lentur berdasarkan variasi campuran bottom ash

0%		10%		20%		25%	
P (Kg)	$\delta$ (mm)	P (Kg)	$\delta$ (mm)	P (Kg)	$\delta$ (mm)	P (Kg)	$\delta$ (mm)
100	0.295	100	0.303	100	0.252	100	0.334
200	0.694	200	0.716	200	0.682	200	0.756
300	1.269	300	1.260	300	1.283	300	1.385
400	1.979	400	1.882	400	1.956	400	2.092
500	2.713	500	2.597	500	2.681	500	2.834
600	3.462	600	3.331	600	3.413	600	3.601
700	4.235	700	4.097	700	4.201	700	4.397
800	5.220	800	4.888	800	5.043	800	5.407
900	5.993	900	6.015	900	7.984	889	7.440
913	7.388	959	8.030	921	8.174		



Gambar 4. 35 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan lentur

Grafik hubungan antara beban-lendutan pada balok beton dengan tulangan geser menunjukkan bahwa balok beton yang memiliki kemampuan untuk menerima beban yang paling besar adalah balok dengan variasi *bottom ash* sebesar 10% dan beban maksimum yang mampu diterima adalah 1378,3 kg, pada balok beton dengan tulangan geser variasi *bottom ash* 10% persamaan regresinya adalah  $y = 176,1x + 150$ . Begitu pula pada balok beton yang

menggunakan tulangan lentur, balok yang memiliki kemampuan untuk menerima beban paling besar adalah balok dengan variasi *bottom ash* sebesar 10% dan beban maksimum yang mampu diterima adalah 959,167 kg, pada balok beton dengan tulangan lentur variasi *bottom ash* 10% persamaan regresinya adalah  $y = 116,1x + 161$ .

#### 4.5 Lendutan Izin

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja. Besar lendutan yang terjadi dapat diatasi dengan meningkatkan inersia tampang tersebut. Untuk konstruksi dua arah, semua lendutan yang dihitung dengan menggunakan formula standar atau cara lain tidak boleh melebihi nilai lendutan izin maksimum yang ditetapkan dalam SNI 03-2847-2002.

Tabel 4. 5 Rumus lendutan Izin

Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup ( $L$ )	$\frac{\ell^2}{180}$
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup ( $L$ )	$\frac{\ell}{360}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup) <sup>c</sup>	$\frac{\ell^2}{480}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar.		$\frac{\ell^2}{240}$

##### 4.5.1 Beban Izin Balok dengan Tulangan Geser

Pada tabel 4.6 ditampilkan besarnya lendutan izin pada balok dengan tulangan geser dengan variasi rendaman 7,14 dan 28 hari serta variasi *bottom ash* 0%, 10%, 20% dan 25%. Hasil beban lendutan izin ( $y$ ) didapatkan dengan substitusi nilai  $x$  yang merupakan lendutan

izin berdasarkan SNI 03-2847-2002 ke persamaan regresi pada kolom 3. Nilai x pada balok dengan panjang 1100 mm sebesar 4,5833 mm.

Tabel 4. 6 Lentutan izin balok tulangan geser

Lama Rendaman	Variasi Bottom Ash	Persamaan Regresi	Beban saat Lentutan Izin (kg)
7 hari	0%	$y = -14.362x^2 + 251.68x + 21.455$	873.28
	10%	$y = -3.7886x^2 + 206.22x + 36.426$	902.01
	20%	$y = -10.212x^2 + 241.98x + 32.68$	927.23
	25%	$y = -11.045x^2 + 236.77x + 5.0629$	858.23
14 hari	0%	$y = -14.865x^2 + 267.28x + 36.297$	949.06
	10%	$y = -13.981x^2 + 282.08x + 41.191$	1040.35
	20%	$y = -12.133x^2 + 237.04x + 24.39$	855.94
	25%	$y = -17.236x^2 + 287.27x + 41.567$	996.14
28 hari	0%	$y = -19.796x^2 + 298.21x + 57.836$	1008.77
	<b>10%</b>	<b><math>y = -18.635x^2 + 320.17x + 27.499</math></b>	<b>1103.48</b>
	20%	$y = -14.558x^2 + 265.88x + 41.345$	954.14
	25%	$y = -11.566x^2 + 244.06x + 34.068$	909.71

Contoh perhitungan nilai beban yang terjadi saat lentutan izin pada balok tulangan geser dengan lama rendaman 28 hari dan variasi *bottom ash* 10% sebagai berikut:

Diketahui

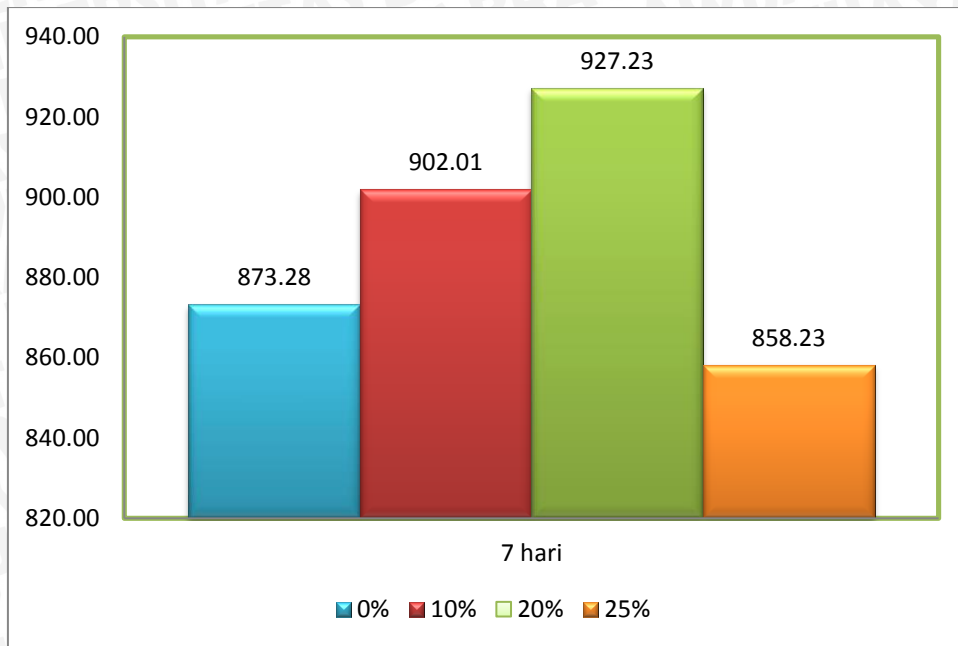
Lentutan izin (x) : 4,5833 mm

Persamaan regresi :  $y = -18.635x^2 + 320.17x + 27.499$

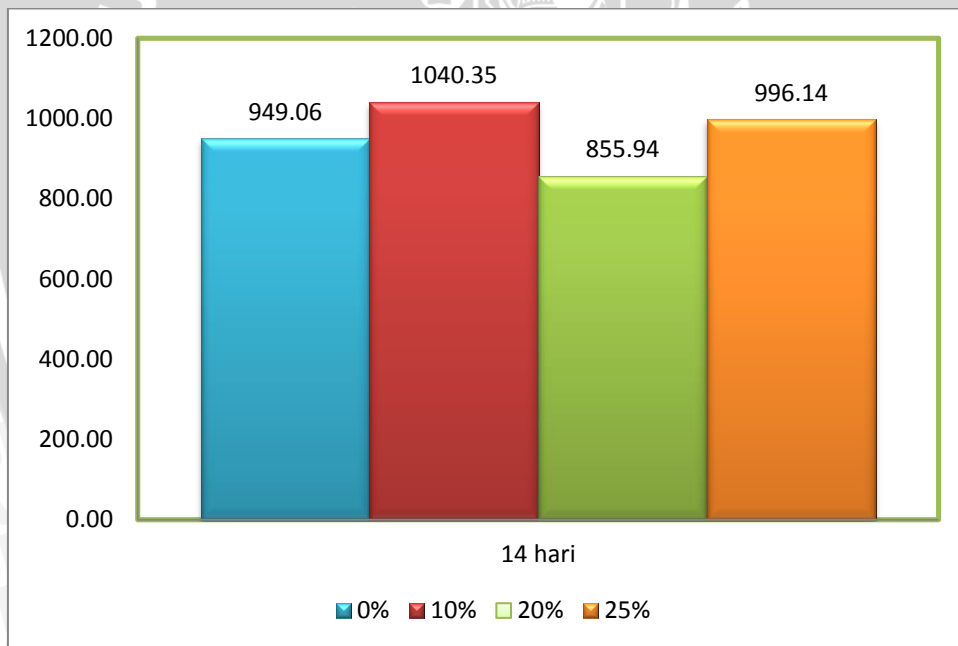
Maka nilai beban izin (y) adalah :  $y = -18.635(4,5833^2) + 320.17(4,5833) + 27.499$

Nilai 1103,48 kg merupakan beban lentutan terbesar yang diizinkan pada balok tulangan geser. Dari tabel hasil perhitungan lentutan izin didapatkan diagram batang yang menunjukkan variasi beban lentutan izin pada tiap balok.

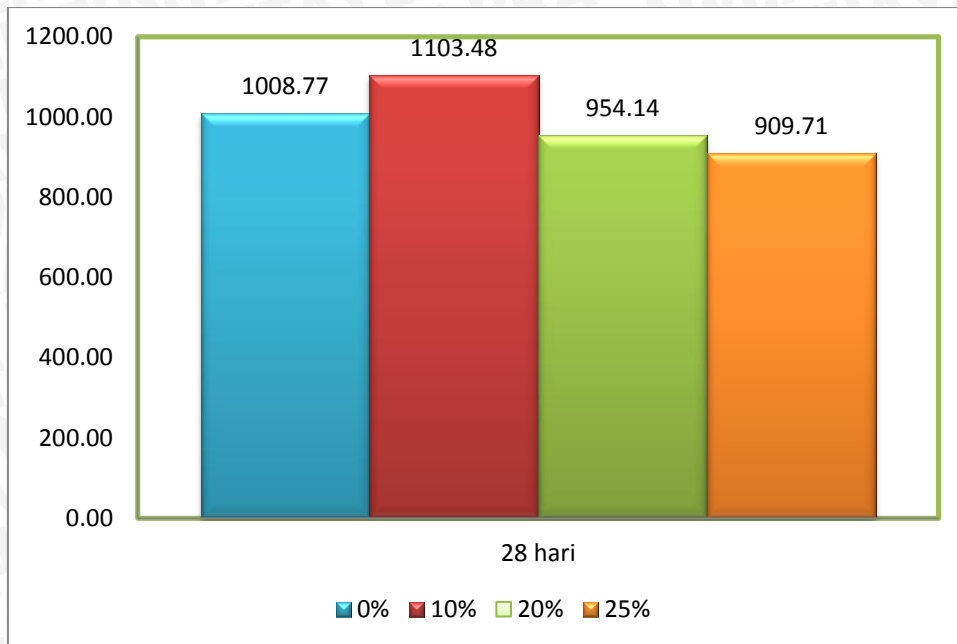




Gambar 4. 36 Variasi beban izin balok dengan tulangan geser untuk lama perendaman 7 hari



Gambar 4. 37 Variasi beban izin balok dengan tulangan geser untuk lama perendaman 14 hari



Gambar 4. 38 Variasi beban izin balok dengan tulangan geser untuk lama perendaman 28 hari

#### 4.5.2 Beban Izin Balok dengan Tulangan Lentur

Tabel 4.7 menampilkan variasi beban izin pada balok dengan tulangan lentur. Nilai lendutan izin yang dihasilkan berasal dari substitusi nilai lendutan izin maksimum 4,5833 mm persamaan regresi balok dengan variasi lama perendaman 7,14 dan 28 hari serta variasi *bottom ash* 0%, 10%, 20% dan 25%. Cara perhitungannya sama dengan perhitungan nilai beban izin untuk balok dengan tulangan geser pada sub bab 4.5.1

Tabel 4. 7 Lendutan izin balok tulangan lentur

Lama Lendaman	Variasi Bottom Ash	Persamaan Regresi	Beban saat Lendutan Izin (kg)
7 hari	0%	$y = -6.1878x^2 + 198.71x + 33.034$	813.80
	10%	$y = -11.121x^2 + 212.87x + 20.922$	762.95
	20%	$y = -11.411x^2 + 200.22x + 32.477$	710.44
	25%	$y = -10.717x^2 + 203.23x + 28.401$	734.74
14 hari	0%	$y = -11.762x^2 + 197.36x + 34.578$	692.06
	10%	$y = -13.225x^2 + 229.03x + 18.046$	789.95
	20%	$y = -13.416x^2 + 218.67x + 31.577$	751.98
	25%	$y = -11.906x^2 + 202.01x + 37.704$	713.47
28 hari	0%	$y = -11.78x^2 + 212.32x + 40.009$	765.68
	10%	$y = -14.071x^2 + 217.67x + 42.875$	744.94
	20%	$y = -11.952x^2 + 215.97x + 40.549$	779.33
	25%	$y = -12.64x^2 + 211.38x + 10.165$	713.46

Contoh perhitungan nilai beban yang terjadi saat lendutan izin pada balok tulangan lentur dengan lama rendaman 7 hari dan variasi *bottom ash* 0% sebagai berikut:

Diketahui

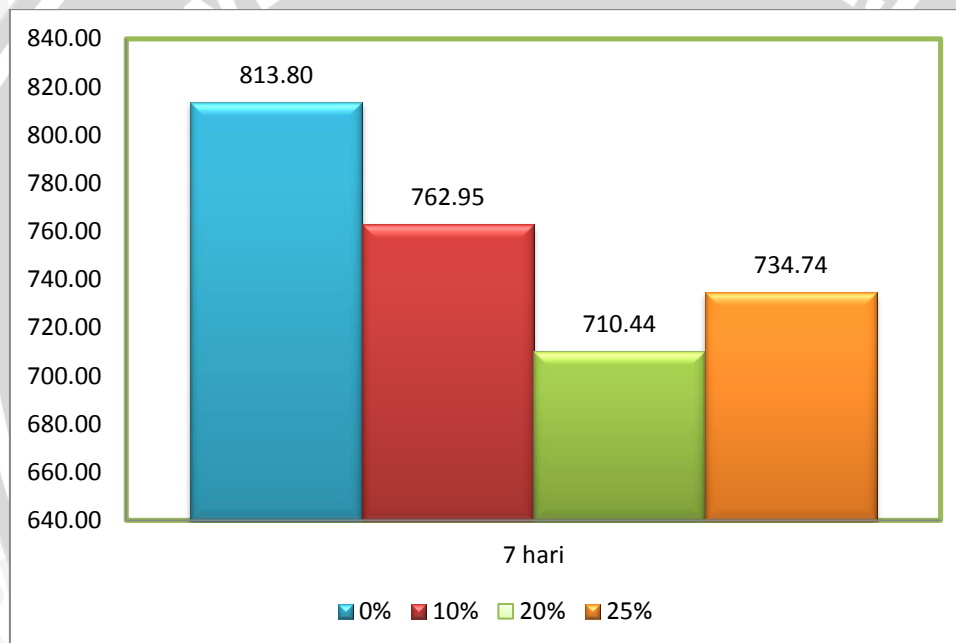
Lendutan izin (x) : 4,5833 mm

Persamaan regresi :  $y = -6.1878x^2 + 198.71x + 33.034$

Maka nilai beban izin (y) adalah :  $y = -6.1878(4,5833^2) + 198.71(4,5833) + 33.034$

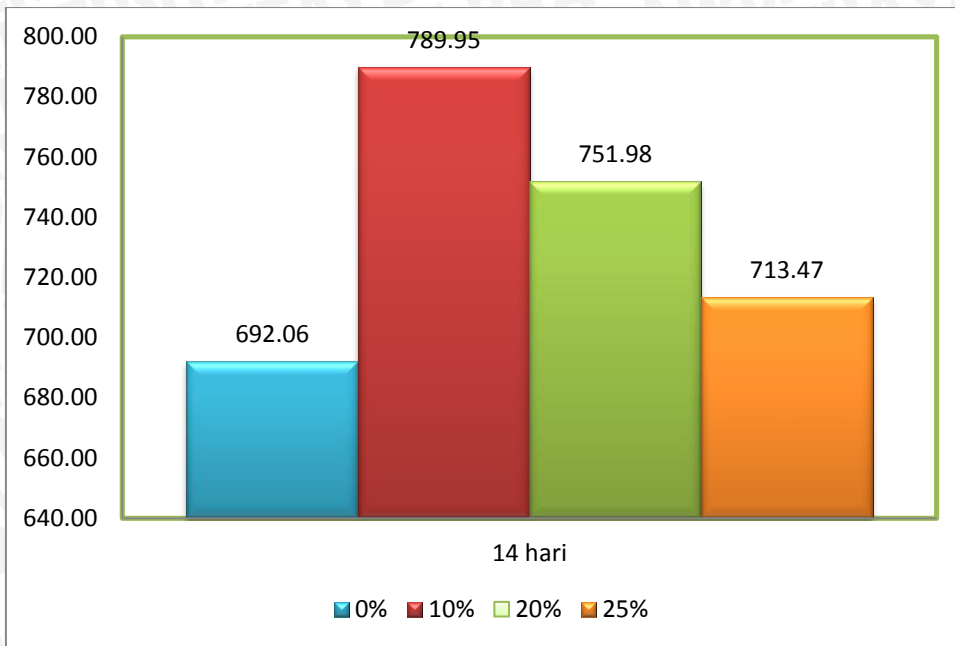
Nilai 813,80 kg merupakan beban lendutan terbesar yang diizinkan untuk balok dengan tulangan lentur. Dapat disimpulkan bahwa peniadaan *bottom ash* pada balok dengan tulangan lentur menghasilkan balok dengan kekuatan menerima beban maksimum.

Dari tabel hasil perhitungan lendutan izin didapatkan diagram batang yang menunjukkan variasi beban lendutan izin pada tiap balok dengan tulangan lentur.

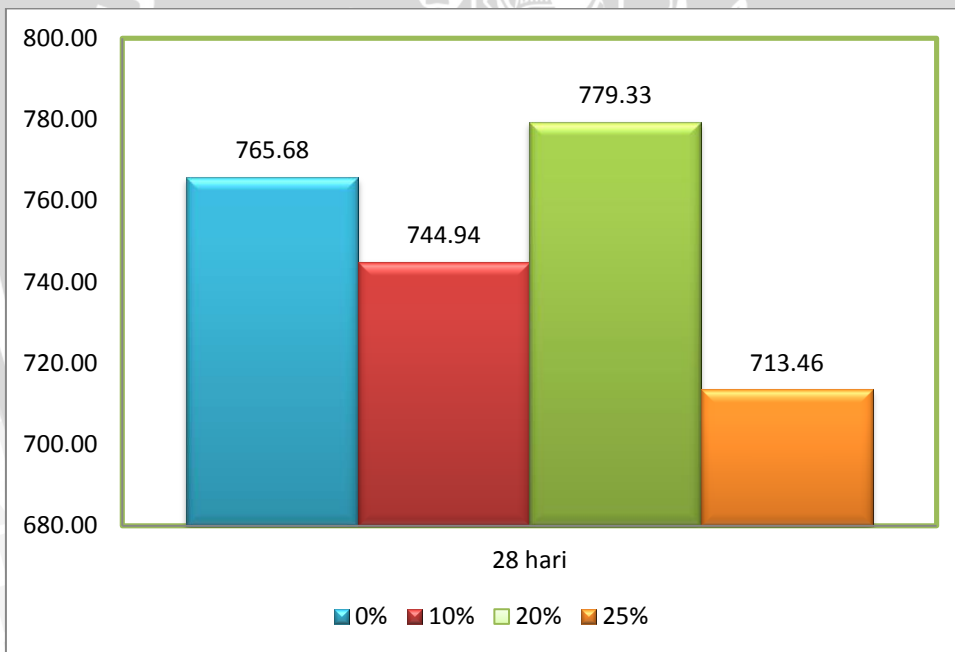


Gambar 4. 39 Variasi beban izin balok dengan tulangan geser untuk lama perendaman 7 hari





Gambar 4. 40 Variasi beban izin balok dengan tulangan geser untuk lama perendaman 14 hari



Gambar 4.38 Variasi beban izin balok dengan tulangan geser untuk lama perendaman 28 hari

#### 4.6 Analisa Statistik dengan Menggunakan Pengujian Hipotesis

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh prosentase kadar *bottom ash* dan lama perendaman terhadap lendutan pada beton bertulang, maka dilakukan analisa statistik dengan menggunakan metode pengujian hipotesis. Pengujian hipotesis dilakukan dengan teknik analisis statistik anova dua arah.

Tabel 4. 8 Data pengujian lendutan balok

Variasi Bottom Ash (%)	Lama Rendaman	Tulangan Geser		Tulangan Lentur	
		$\delta$ (mm)		$\delta$ (mm)	
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 1	Sampel 2
0	7 (hari)	6.13	5.08	6.67	6.95
	14 (hari)	7.79	6.30	9.18	7.32
	28 (hari)	8.03	10.09	5.89	9.12
10	7 (hari)	7.62	7.98	7.76	8.08
	14 (hari)	7.33	7.30	10.71	8.56
	28 (hari)	9.20	10.71	8.13	7.77
20	7 (hari)	6.84	6.83	13.73	9.18
	14 (hari)	6.76	9.92	9.59	8.55
	28 (hari)	7.78	8.08	8.47	9.74
25	7 (hari)	11.03	10.70	7.61	8.73
	14 (hari)	9.16	9.16	8.17	10.66
	28 (hari)	7.19	9.28	9.85	8.09

Pada tabel tersebut terdapat dua variabel yaitu variasi prosentase *bottom ash* (A) dalam hal ini baris dan lama perendaman (B) dalam hal ini kolom dan interaksi antar dua variabel bebas (AB) tersebut.

Hipotesis penelitian sebagai berikut :

$H_{0A}$  : Tidak ada pengaruh yang signifikan antara prosentase kadar *bottom ash* terhadap lendutan pada balok.

$H_{0B}$  : Tidak ada pengaruh yang signifikan antara lama perendaman terhadap lendutan pada balok.

$H_{0AB}$  : Tidak ada interaksi yang signifikan antara prosentase kadar *bottom ash* dan lama perendaman.

**Perhitungan statistika**

Derajat bebas (db)

$$db_{\text{baris}} = r - 1 = 4 - 1 = 3$$

$$db_{\text{kolom}} = k - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$db_{\text{interaksi}} = db_{\text{baris}} \times db_{\text{kolom}} = 3 \times 2 = 6$$

$$db_{\text{galat}} = (r \times k) \times (n - 1) = 12 \times 1 = 12$$

**Jumlah Kuadrat**

$$\begin{aligned} \text{JK Total (JKT)} &= \sum X_r^2 - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= [(6,67)^2 + (9,18)^2 + \dots + (8,09)^2] - \frac{208,49^2}{24} \\ &= 58,33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Baris (JKB)} &= \frac{(\sum X)_{Bn}^2}{kxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= \frac{[(45,14)^2 + (51,00)^2 + \dots + (53,10)^2]}{3 \times 2} - \frac{208,49^2}{24} \\ &= 16,9604 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JK Kolom (JKK)} &= \frac{(\sum X)_{kn}^2}{rxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkn} \\ &= \frac{[(68,69)^2 + (72,74)^2 + (67,06)^2]}{4 \times 2} - \frac{208,49^2}{24} \\ &= 2,1354 \end{aligned}$$

$$\text{JK Baris Kolom (JKBK)} = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum X)_{Bn}^2}{kxn} - \frac{(\sum X)_{kn}^2}{rxn} + \frac{(\sum X)^2}{rxkn}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{[(13,62)^2 + (16,51)^2 + \dots + (17,94)^2]}{2} - 16,9604 \\
 &= 2,1354 + \frac{208,49^2}{24} \\
 &= 12,8444
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Galat (JKG)} &= \text{JKT} - \text{JKB} - \text{JKK} - \text{JKBK} \\
 &= 58,33 - 16,9604 - 2,1354 - 12,8444 \\
 &= 90,2677
 \end{aligned}$$

### Kuadrat Tengah

$$\text{KT Baris (KTB)} = \frac{JKB}{dB_{baris}} = \frac{16,9604}{3} = 5,6534$$

$$\text{KT Kolom (KTK)} = \frac{JKK}{dB_{kolom}} = \frac{2,1354}{2} = 1,0677$$

$$\text{KT Interaksi (KTI)} = \frac{JKBK}{dB_{interaksi}} = \frac{12,8444}{8} = 1,6055$$

$$\text{KT Galat (KTG)} = \frac{JKG}{dB_{galat}} = \frac{90,2677}{12} = 7,5223$$

### Nilai f Hitung

$$\text{F Hitung Baris (FHB)} = \frac{KTB}{KTG} = \frac{5,6534}{7,5223} = 0,7515$$

$$\text{f Hitung Kolom (FHK)} = \frac{KTK}{KTG} = \frac{1,0677}{7,5223} = 0,2748$$

$$\text{f Hitung Interaksi (FHI)} = \frac{KTI}{KTG} = \frac{1,6055}{7,5223} = 0,2134$$

f Tabel dapat dilihat pada lampiran

Tabel 4. 9 Anova 2 arah untuk balok tulangan geser

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F hitung	F tabel
Prosentase bottom Ash	16.1392	3	5.3797	0.6235	3.49
Lama Perendaman	4.6934	2	2.3467	0.2720	3.89
Interaksi	24.8114	6	4.1352	0.4792	3.00
Galat	103.5479	12	8.6290		
Total	57.9038	23			

Tabel 4. 10 Anova 2 arah untuk balok tulangan geser

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F hitung	F tabel
Prosentase bottom Ash	16.9604	3	5.6535	0.7516	3.49
Lama Perendaman	2.1355	2	1.0677	0.1419	3.89
Interaksi	12.8444	6	2.1407	0.2846	3.00
Galat	90.2677	12	7.5223		
Total	58.3274	23			

Berdasarkan Tabel diatas didapatkan bahwa :

1.  $F_{hitung}$  antar group (A) <  $F_{Tabel}$  antar group (A), ini menunjukkan bahwa  $H_{0A}$  diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan antara prosentase kadar *bottom ash* terhadap lendutan pada balok.
2.  $F_{hitung}$  antar group (B) <  $F_{Tabel}$  antar group (B), ini menunjukkan bahwa  $H_{0B}$  diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara lama perendaman terhadap lendutan pada balok..
3.  $F_{hitung}$  antar group (AB) <  $F_{Tabel}$  antar group (AB), ini menunjukkan bahwa  $H_{0AB}$  diterima, sehingga dapat disimpulkan tidak ada interaksi yang signifikan antara prosentase kadar *bottom ash* dan lama perendaman.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasar analisis dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap penelitian tentang pengaruh *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap lendutan balok beton yang memiliki ukuran panjang 110 cm, lebar 7 cm dan tinggi 10 cm dengan 2 variasi tulangan yaitu tulangan geser dan tulangan lentur yang kemudian direndam dalam air laut, dapat dibuat sebuah kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan *bottom ash* pada balok dengan tulangan geser dan lentur tidak mempengaruhi nilai lendutan secara signifikan. Hal ini dapat disimpulkan berdasarkan uji statistic anova 2 arah untuk variasi prosentase *bottom ash* 0%, 10%, 20% dan 25%.
2. Perendaman balok dengan tulangan geser dan lentur tidak mempengaruhi nilai lendutan secara signifikan, baik pada perendaman 7, 14 dan 28 hari.
3. Berdasarkan perhitungan nilai izin lendutan pada balok dengan tulangan lentur dan geser sebesar 4,5833 mm dapat disimpulkan bahwa nilai beban yang terjadi saat lendutan izin terbesar terdapat pada balok dengan tulangan geser yaitu sebesar 1103.48 kg.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil-hasil yang diperoleh dari penelitian yang sudah dilakukan maka peneliti dapat memberi saran sebagai berikut:

- a. Berdasar hasil penelitian dan pembahasan dapat disarankan bahwa penggunaan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus perlu dilakukan kajian ulang.
- b. Kemampuan balok dengan variasi *bottom ash* dalam menahan beban yang rendah dan lendutan yang besar perlu untuk dikaji lebih mendalam, hal ini berkaitan dengan fungsi *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus pada balok beton.
- c. Dalam pengamatan lendutan dapat digunakan tiga buah *dial gauge* yaitu pada tengah bentang, sisi kiri, dan kanan (tepat di bawah titik pembebanan). Hal ini dimaksudkan untuk memberikan hasil pengamatan lendutan maksimum yang terjadi pada tengah bentang dengan 2 titik pembebanan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Amri, Sjafei. 2005. *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Badan Standirisasi Nasional, 2002. *SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.
- Badan Standirisasi Nasional, 2004. *SNI 15-2049-2004. Semen Portland*.
- Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- <http://www.mii.org/minerals/phototalc.html>, diakses 20 Oktober 2011.  
Oktober 2011.
- <http://www.tekmira.esdm.go.id>, diakses 12 Oktober 2012.
- Nawy, Edward G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Mendasar*. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Bandung: PT. Eresco.
- Nurlina, Siti. 2008. *Buku Ajar Teknologi Bahan I*. Fakultas Teknik, Teknik Sipil, Universitas Brawijaya, Malang.
- Pemerintah Kabupaten Malang. 2011. *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kabupaten Malang Tahun 2010-2015*.
- Petunjuk praktikum teknologi beton*. Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya. Malang.
- Pratikto. 2009. *Diktat Konstruksi Beton I*. Politeknik Negeri Jakarta.
- Widodo. 2008. *Bahan Kuliah Struktur Beton Bertulang I*. Univeritas Islam Indonesia, Jogjakarta
- <http://puslit.petra.ac.id/journals/civil/>
- Coal Bottom Ash/Boiler Slag-[Material](#) Des- cription*, [<http://www.cedar.at/mailarchives/waste/cbabs1.htm>], 2000.
- Nawy, E. G., 2003, *Reinforced Concrete a Fundamental Approach*, 5th ed., Pearson Education Ltd., London.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**LAMPIRAN**



## LAMPIRAN I

Perhitungan momen inersia efektif balok dengan tulangan geser yang direndam selama 7 hari

C. bottom ash	Mn	E	Fr	Ig	Yt	Mcr	y	Icr	Ie
(%)	Nmm	( N/mm <sup>2</sup> )	( N/mm <sup>2</sup> )	( mm <sup>4</sup> )	( mm )	( Nmm )	( mm )	( mm <sup>4</sup> )	( mm <sup>4</sup> )
0	1650000	19055.65	2.84	5833333.33	50	331108.86	10.02	269508.96	314469.75
10	2100000	19821.74	2.95	5833333.33	50	344420.26	10.02	269508.96	294055.01
20	1770000	18039.34	2.69	5833333.33	50	313449.48	10.02	269508.96	300408.80
25	1897500	18259.25	2.72	5833333.33	50	317270.63	10.02	269508.96	295517.60

Perhitungan momen inersia efektif balok dengan tulangan lentur yang direndam selama 7 hari

C. bottom ash	Mn	E	Fr	Ig	Yt	Mcr	y	Icr	Ie
(%)	Nmm	( N/mm <sup>2</sup> )	( N/mm <sup>2</sup> )	( mm <sup>4</sup> )	( mm )	( Nmm )	( mm )	( mm <sup>4</sup> )	( mm <sup>4</sup> )
0	2126250	19055.65	2.84	5833333.33	50	331108.86	10.02	269508.96	290519.77
10	2250000	19821.74	2.95	5833333.33	50	344420.26	10.02	269508.96	289465.80
20	1861875	18039.34	2.69	5833333.33	50	313449.48	10.02	269508.96	296056.51
25	2174625	18259.25	2.72	5833333.33	50	317270.63	10.02	269508.96	286787.61



Perhitungan momen inersia efektif balok dengan tulangan geser yang direndam selama 14 hari

C. bottom ash	Mn	E	Fr	Ig	Yt	Mcr	y	Icr	Ie
(%)	Nmm	( N/mm <sup>2</sup> )	( N/mm <sup>2</sup> )	( mm <sup>4</sup> )	( mm )	( Nmm )	( mm )	( mm <sup>4</sup> )	( mm <sup>4</sup> )
0	1683750	18311.07	2.73	5833333.33	50	318171.00	10.02	269508.96	307051.38
10	2017500	20699.06	3.08	5833333.33	50	359664.59	10.02	269508.96	301031.83
20	1732500	18643.25	2.78	5833333.33	50	323943.02	10.02	269508.96	305880.32
25	1845000	17385.326	2.59	5833333.33	50	302085.46	10.02	269508.96	293930.54

Perhitungan momen inersia efektif balok dengan tulangan lentur yang direndam selama 14 hari

C. bottom ash	Mn	E	Fr	Ig	Yt	Mcr	y	Icr	Ie
(%)	Nmm	( N/mm <sup>2</sup> )	( N/mm <sup>2</sup> )	( mm <sup>4</sup> )	( mm )	( Nmm )	( mm )	( mm <sup>4</sup> )	( mm <sup>4</sup> )
0	1923750	18311.07	2.73	5833333.33	50	318171.00	10.02	269508.96	294680.47
10	2255625	20699.06	3.08	5833333.33	50	359664.59	10.02	269508.96	292065.15
20	2047500	18643.25	2.78	5833333.33	50	323943.02	10.02	269508.96	291543.68
25	1971000	17385.326	2.59	5833333.33	50	302085.46	10.02	269508.96	289539.97



Perhitungan momen inersia efektif balok dengan tulangan geser yang direndam selama 28 hari

C. bottom ash	Mn	E	Fr	Ig	Yt	Mcr	y	Icr	Ie
(%)	Nmm	( N/mm <sup>2</sup> )	( N/mm <sup>2</sup> )	( mm <sup>4</sup> )	( mm )	( Nmm )	( mm )	( mm <sup>4</sup> )	( mm <sup>4</sup> )
0	1785000	18842.27	2.81	5833333.33	50	327401.08	10.02	269508.96	303840.96
10	2085000	19660.53	2.93	5833333.33	50	341619.21	10.02	269508.96	293981.67
20	1875000	18054.83	2.69	5833333.33	50	313718.69	10.02	269508.96	295569.94
25	1935000	18451.79	2.75	5833333.33	50	320616.13	10.02	269508.96	294818.64

Perhitungan momen inersia efektif balok dengan tulangan lentur yang direndam selama 28 hari

C. bottom ash	Mn	E	Fr	Ig	Yt	Mcr	y	Icr	Ie
(%)	Nmm	( N/mm <sup>2</sup> )	( N/mm <sup>2</sup> )	( mm <sup>4</sup> )	( mm )	( Nmm )	( mm )	( mm <sup>4</sup> )	( mm <sup>4</sup> )
0	2115000	18842.27	2.81	5833333.33	50	327401.08	10.02	269508.96	290147.67
10	1968750	19660.53	2.93	5833333.33	50	341619.21	10.02	269508.96	298577.85
20	2306250	18054.83	2.69	5833333.33	50	313718.69	10.02	269508.96	283513.71
25	1991250	18451.79	2.75	5833333.33	50	320616.13	10.02	269508.96	292733.77



## LAMPIRAN II

### Data Pengamatan Lendutan Balok dengan Lama Rendaman 7 Hari

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
0	Geser	100	0.336	0.285
		200	0.706	0.596
		300	1.319	1.193
		400	2.036	1.849
		500	2.721	2.464
		600	3.335	3.074
		700	4.018	3.693
		800	4.753	4.359
		900	5.566	5.067
		1000	6.431	5.82
		1100	12.375	9.419
		0	Geser	100
200	0.63			0.38
300	1.19			0.89
400	1.63			1.37
500	2.15			1.9
600	2.64			2.36
700	3.13			2.84
800	3.64			3.34
900	4.41			3.84
1000	4.7			4.39
1100	5.22			4.93



Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)		
			Titik 1	Titik 2	
10	Geser	100	0.36	0.354	
		200	0.719	0.714	
		300	1.151	1.167	
		400	1.615	1.659	
		500	2.138	2.16	
		600	2.695	2.733	
		700	3.244	3.301	
		800	3.795	3.842	
		900	4.373	4.4	
		1000	4.886	4.89	
		1100	5.43	5.405	
		1200	5.986	5.943	
		1300	6.534	6.555	
		1400	7.155	7.187	
		1500	8.023	7.223	
10	Geser	100	0.348	0.33	
		200	0.715	0.677	
		300	1.199	1.152	
		400	1.827	1.765	
		500	2.535	2.422	
		600	3.17	3.013	
		700	3.828	3.615	
		800	4.38	4.17	
		900	5.01	4.758	
		1000	5.607	5.352	
		1100	6.252	5.999	
		1200	6.981	6.768	
		1300	7.944	8.015	

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
20	Geser	100	0.34	0.287
		200	0.732	0.636
		300	1.206	1.102
		400	1.816	1.662
		500	2.363	2.219
		600	2.967	2.821
		700	3.602	3.401
		800	4.229	4.013
		900	4.87	4.639
		1000	5.553	5.321
		1100	7.195	6.489
20	Geser	100	0.244	0.241
		200	0.543	0.571
		300	0.96	0.975
		400	1.437	1.466
		500	1.919	1.939
		600	2.424	2.443
		700	2.981	2.989
		800	3.565	3.517
		900	4.136	4.044
		1000	4.755	4.59
		1100	5.318	5.152
		1200	5.954	5.758
		1260	7.295	6.365
		1000	7.009	6.099
		900	6.7	5.784
		800	6.272	5.388
		700	5.797	4.981
		600	5.403	4.544
		500	4.929	4.106
		400	4.393	3.63
300	3.833	3.153		
200	3.268	2.659		
100	2.61	2.137		
0	1.919	1.492		

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
25	Geser	100	0.383	0.476
		200	0.811	0.916
		300	1.443	1.548
		400	2.067	2.18
		500	2.753	2.815
		600	2.383	3.41
		700	4.003	3.992
		800	4.65	4.583
		900	5.343	5.222
		1000	6.174	5.927
		1100	6.92	6.641
		1200	7.761	7.357
		1260	12.549	9.509
		900	12.566	9.456
		800	12.195	9.078
		700	11.771	8.668
600	11.319	8.237		
500	10.826	7.771		
400	10.292	7.264		
300	9.749	6.754		
200	9.128	6.156		
100	8.439	5.557		
0	7.636	4.638		
25	Geser	100	0.292	0.29
		200	0.663	0.661
		300	1.107	1.15
		400	1.67	1.698
		500	2.23	2.265
		600	2.768	2.766
		700	3.288	3.277
		800	3.842	3.852
		900	4.432	4.444
		1000	4.997	5.024
		1100	5.559	7.627
		1200	6.303	10.547
		1270	9.292	12.105
1000	8.866	11.667		
900	8.548	11.299		
800	8.075	11.015		



Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
		700	7.755	10.625
		600	7.422	10.17
		500	6.925	9.715
		400	6.471	9.236
		300	5.95	8.702
		200	5.424	8.184
		100	4.895	7.616
		0	4.157	6.725

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
0	Lentur	100	0.353	0.257
		200	0.769	0.675
		300	1.325	1.23
		400	2.143	1.851
		500	2.812	2.485
		600	3.453	3.136
		700	4.033	3.727
		800	4.617	4.297
		900	5.347	4.972
		1000	6.023	5.651
		1100	6.86	6.477
0	Lentur	100	0.348	
		200	0.763	
		300	1.295	
		400	2.132	
		500	2.81	
		600	3.442	
		700	4.03	
		800	4.62	
		900	5.292	
		1000	6.158	
		1100	6.948	

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
10	Lentur	100	0.332	
		200	0.791	
		300	1.393	
		400	2.052	
		500	2.691	
		600	3.405	
		700	4.131	
		800	4.916	
		900	5.712	
		980	7.759	
		800	8.791	
		700	8.326	
		600	7.816	
		500	7.326	
		400	6.816	
		300	6.189	
200	5.516			
100	4.87			
0	4.118			
10	Lentur	100	0.313	
		200	0.772	
		300	1.322	
		400	1.979	
		500	2.663	
		600	3.39	
		700	4.2	
		800	4.862	
		900	5.605	
		1000	8.075	

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
20	Lentur	100	0.098	
		200	0.624	
		300	1.338	
		400	2.069	
		500	2.852	
		600	3.639	
		700	4.509	
		800	5.452	
		830	13.726	
		700	13.708	
		600	12.948	
		500	12.541	
		400	12.025	
		300	11.365	
		200	10.667	
		100	9.946	
		0	9.134	
20	Lentur	100	0.368	
		200	0.869	
		300	1.482	
		400	2.197	
		500	2.954	
		600	3.656	
		700	4.478	
		800	5.372	
		825	9.176	
		700	8.906	
		600	8.4	
		500	7.929	
		400	7.414	
		300	6.824	
		200	6.209	
		100	5.472	
		0	4.669	



Prosentase	Jenis	Beban	Lendutan (mm)	
Bottom Ash (%)	Tulangan	(kg)	Titik 1	Titik 2
25	Lentur	100	0.305	
		200	0.779	
		300	1.21	
		400	1.879	
		500	2.573	
		600	3.305	
		700	4.001	
		800	4.834	
		900	5.667	
		990	7.613	
		800	7.246	
		700	6.815	
		600	6.347	
		500	5.852	
		400	5.315	
		300	4.757	
		200	4.184	
		100	3.542	
		0	2.854	
		25	Lentur	100
200	0.754			
300	1.496			
400	2.246			
500	3.032			
600	3.818			
700	4.655			
800	5.509			
900	6.915			
943	8.727			
800	8.511			
700	8.043			
600	7.943			
500	7.041			
400	6.476			
300	5.876			
200	5.67			
100	4.881			
0	3.885			

### LAMPIRAN III

#### Data Pengamatan Lendutan Balok dengan Lama Rendaman 14 Hari

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
0	Geser	100	0.299	0.233
		200	0.586	0.499
		300	0.959	0.868
		400	1.454	1.334
		500	1.936	1.806
		600	2.474	2.304
		700	3.021	2.832
		800	3.553	3.339
		900	4.103	3.879
		1000	4.679	4.459
		1100	5.278	5.071
		1200	5.923	5.749
		1245	7.362	8.21
		1000	7.145	8.013
		900	6.824	7.713
		800	6.471	7.341
		700	6.078	7.149
		600	5.69	6.616
		500	5.223	6.257
		400	4.779	5.721
300	4.316	5.345		
200	3.776	4.793		
100	3.188	4.251		
0	2.479	3.57		
0	Geser	100	0.299	0.233
		200	0.573	0.499
		300	1.046	0.868
		400	1.58	1.334
		500	2.189	1.806
		600	2.795	2.304
		700	3.396	2.832
		800	4.122	3.339
		900	5.164	3.879
		1000	8.14	4.459
		800	7.827	5.071
		700	7.441	5.749

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
		600	7.052	8.21
		500	6.597	8.013
		400	6.13	7.713
		300	5.572	7.341
		200	4.905	7.149
		100	4.206	6.616
		0	3.368	6.257

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
10	Geser	100	0.299	0.233
		200	0.507	0.499
		300	0.826	0.868
		400	1.321	1.334
		500	1.837	1.806
		600	2.424	2.304
		700	2.956	2.832
		800	3.488	3.339
		900	4.074	3.879
		1000	4.661	4.459
		1100	5.215	5.071
		1200	5.799	5.749
		1300	6.444	8.21
10	Geser	100	0.299	0.233
		200	0.543	0.466
		300	0.811	0.74
		400	1.186	1.085
		500	1.717	1.646
		600	2.199	2.157
		700	2.694	2.655
		800	3.205	3.125
		900	3.734	3.643
		1000	4.284	4.154
		1100	4.837	4.67
		1200	5.406	5.146
		1300	6	5.692
		1390	8.02	6.581



		900	7.541	6.074
		800	7.02	5.616
		700	6.582	5.211
		600	6.097	4.784
		500	5.601	4.326
		400	5.047	3.825
		300	4.49	3.334
		200	3.896	2.822
		100	3.265	2.311
		0	2.625	1.76

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
20	Geser	100	0.299	0.233
		200	0.573	0.55
		300	1.029	0.919
		400	1.484	1.344
		500	2.099	1.874
		600	2.583	2.372
		700	3.137	2.897
		800	3.738	3.46
		900	4.307	3.973
		1000	4.947	4.581
		1100	5.821	5.595
		1200	7.449	6.064
		800	7.057	6.285
		700	6.629	5.612
600	6.193	5.287		
500	5.672	5.023		
400	5.13	4.531		
300	4.571	4.02		
200	3.979	3.468		
100	3.347	2.86		
0	2.596	2.191		
20	Geser	100	0.299	0.233
		200	0.552	0.516
		300	0.914	0.859
		400	1.49	1.335
		500	2.187	1.985

		600	2.802	2.58
		700	3.371	3.13
		800	4.003	3.701
		900	4.697	4.334
		1000	5.85	5.232
		1100	7.839	8.974
		1110	11.435	8.397
		900	11.189	9.092
		800	10.792	7.767
		700	10.372	7.362
		600	9.915	6.948
		500	9.44	6.526
		400	8.905	6.063
		300	8.337	5.55
		200	7.736	5.004
		100	6.997	4.415
		0	6.095	3.697
25	Geser	100	0.299	0.233
		200	0.414	0.498
		300	0.702	0.796
		400	1.203	1.293
		500	1.805	1.886
		600	2.376	2.417
		700	2.95	2.995
		800	3.53	3.588
		900	4.182	4.175
		1000	5.006	4.675
		1100	6.185	5.584
		1160	10.478	7.844
		900	9.974	7.259
		800	9.65	6.927
		700	9.235	6.539
		600	8.793	6.129
		500	8.302	5.67
		400	7.777	5.18
		300	7.256	4.67
		200	6.676	4.123
		100	6.078	3.602
		0	5.39	2.987

25	Geser	100	0.299	0.233
		200	0.512	0.54
		300	0.803	0.82
		400	1.212	1.188
		500	1.8	1.717
		600	2.302	2.248
		700	2.782	2.714
		800	3.357	3.255
		900	3.889	2.792
		1000	4.427	4.333
		1100	5.132	4.894
		1200	5.688	5.52
		1300	7.597	6.775
Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
		900	7.172	6.152
		800	6.568	5.604
		700	6.355	5.394
		600	5.903	4.957
		500	5.455	4.517
		400	4.955	4.049
		300	4.36	3.548
		200	3.756	3.026
		100	3.21	2.517
		0	2.52	1.937

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
0	Lentur	100	0.291	0
		200	0.69	0
		300	1.285	0
		400	1.934	0
		500	2.71	0
		600	3.509	0
		700	4.383	0
		800	5.375	0
		900	6.934	0
		950	9.183	0
		700	9.49	0
		600	7.849	0



		500	7.234	0
		400	6.604	0
		300	5.893	0
		200	5.128	0
		100	4.306	0
		0	3.345	0
0	Lentur	100	0.371	0
		200	0.757	0
		300	1.421	0
		400	2.22	0
		500	3.085	0
		600	4.034	0
		700	5.115	0
		760	7.322	0
		600	6.968	0
		500	6.426	0
		400	5.861	0
		300	5.233	0
		200	4.572	0
		100	3.846	0
		0	2.998	0

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
10	Lentur	100	0.395	0
		200	0.848	0
		300	1.45	0
		400	2.095	0
		500	2.815	0
		600	3.619	0
		700	4.409	0
		800	5.228	0
		900	6.217	0
		945	10.712	0
		800	10.531	0
		700	9.744	0
		600	9.467	0
		500	8.943	0
		400	8.337	0

		300	7.693	0
		200	7.06	0
		100	6.282	0
		0	5.316	0
10	Lentur	100	0.318	0
		200	0.667	0
		300	1.079	0
		400	1.576	0
		500	2.151	0
		600	2.779	0
		700	3.479	0
		800	4.138	0
		900	4.822	0
		1000	5.575	0
		1060	8.558	0
		900	8.524	0
		800	8.014	0
		700	7.65	0
		600	7.168	0
		500	6.846	0
		400	5.867	0
		300	5.476	0
		200	5.044	0
		100	4.434	0
		0	3.778	0

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
20	Lentur	100	0.32	0
		200	0.695	0
		300	1.326	0
		400	2.03	0
		500	2.786	0
		600	3.565	0
		700	4.358	0
		800	5.193	0
		890	6.159	0
		900	7.29	0
		930	9.589	0
		800	9.346	0





		700	7.589	0
		600	7.09	0
		500	6.565	0
		400	6.002	0
		300	5.423	0
		200	4.803	0
		100	4.152	0
		0	3.461	0
25	Lentur	100	0.337	0
		200	0.733	0
		300	1.472	0
		400	2.281	0
		500	3.06	0
		600	3.89	0
		700	4.828	0
		800	6.496	0
		820	8.02	0
		840	10.655	0
		700	10.366	0
		600	9.871	0
		500	9.305	0
		400	8.719	0
		300	8.069	0
		200	7.376	0
		100	6.618	0
		0	5.663	0

## LAMPIRAN IV

## Data Pengamatan Lendutan Balok dengan Lama Rendaman 28 Hari

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
0	Geser	100	0.224	0.176
		200	0.469	0.397
		300	0.752	0.658
		400	1.167	1.054
		500	1.646	1.52
		600	2.154	2.046
		700	2.678	2.568
		800	3.177	3.064
		900	3.728	3.602
		1000	4.261	4.143
		1100	4.886	4.749
		1200	5.647	5.511
		1210	7.295	8.757
		1000	7.11	8.705
		900	6.779	8.353
		800	6.404	7.963
		700	6.003	7.529
		600	5.545	7.05
		500	5.078	6.5
		400	4.617	5.984
300	4.091	5.264		
200	3.478	4.641		
100	2.89	3.918		
0	2.149	3.056		
0	Geser	100	0.267	0.232
		200	0.369	0.342
		300	0.683	0.668
		400	1.1	1.13
		500	1.706	1.633
		600	2.229	2.157
		700	2.783	2.673
		800	3.356	3.208
		900	3.955	3.777
		1000	5.045	4.619
1100	7.137	6.097		
1170	11.796	8.387		

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
		900	11.421	8.01
		800	11.074	7.659
		700	10.675	7.281
		600	10.272	6.871
		500	9.814	6.441
		400	9.323	5.965
		300	8.728	5.437
		200	8.05	4.87
		100	7.316	4.242
		0	6.414	3.489
10	Geser	100	0.277	0.269
		200	0.563	0.509
		300	0.85	0.774
		400	1.199	1.111
		500	1.609	1.49
		600	2.097	1.93
		700	2.568	2.426
		800	3.056	2.909
		900	3.51	3.347
		1000	3.998	3.867
		1100	4.502	4.348
		1200	5.118	5.051
		1300	5.707	5.765
		1400	6.652	7.121
		1420	8.206	10.198
		1100	7.781	9.767
		1000	7.471	9.466
		900	7.155	9.128
		800	6.817	8.767
		700	6.44	8.386
		600	6.048	7.982
		500	5.653	7.555
		400	5.147	7.094
		300	4.639	6.574
		200	4.081	6.005
		100	3.516	5.366
		0	2.983	4.775



Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
10	Geser	100	0.249	0.244
		200	0.477	0.501
		300	0.744	0.785
		400	1.127	1.147
		500	1.626	1.639
		600	2.071	2.114
		700	2.551	2.636
		800	3.054	3.117
		900	3.567	3.632
		1000	4.068	4.142
		1100	4.657	4.724
		1200	5.256	5.31
		1300	5.873	5.925
		1360	9.107	12.306
		1000	8.781	11.985
		900	8.422	11.64
		800	8.197	11.254
		700	7.697	10.879
		600	7.258	10.448
		500	6.817	9.978
400	6.312	9.481		
300	5.786	8.942		
200	5.25	8.345		
100	4.666	7.658		
0	3.983	6.89		
20	Geser	100	0.268	0.276
		200	0.615	0.613
		300	0.983	0.955
		400	1.475	1.43
		500	2.062	2.002
		600	2.565	2.562
		700	3.137	3.138
		800	3.734	3.708
		900	4.38	4.327
		1000	5.091	4.997
		1100	5.884	5.717
		1200	6.669	6.264

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
		1300	8.481	7.081
		900	8.213	6.607
		800	7.816	6.233
		700	7.384	5.854
		600	6.909	5.422
		500	6.42	4.946
		400	5.895	5.452
		300	5.314	3.91
		200	4.694	3.334
		100	3.952	2.713
		0	3.029	1.866
20	Geser	100	0.235	0.252
		200	0.458	0.518
		300	0.804	0.852
		400	1.256	1.301
		500	1.756	1.784
		600	2.331	2.33
		700	2.912	2.849
		800	3.481	3.369
		900	4.13	3.954
		1000	4.894	4.603
		1100	7.157	5.923
		1200	9.133	7.018
		1000	9.172	6.956
		900	8.805	6.699
		800	8.454	6.365
		700	8.03	5.882
		600	7.596	5.45
		500	7.098	5.021
		400	6.536	4.532
		300	5.987	3.998
		200	5.38	3.465
		100	4.702	2.931
		0	3.774	2.286



Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
25	Geser	100	0.3	0.306
		200	0.645	0.611
		300	1.051	0.986
		400	1.632	1.521
		500	2.237	2.09
		600	2.836	2.698
		700	3.414	3.255
		800	4.007	3.844
		900	4.641	4.434
		1000	5.541	5.282
		1100	6.465	5.94
		1180	10.335	7.983
		900	10.233	7.683
		800	9.839	7.284
		700	9.387	6.844
		600	8.905	6.417
		500	8.421	5.938
		400	7.924	5.5
		300	7.307	4.937
		200	6.697	4.4
100	5.988	3.792		
0	5.203	3.112		
25	Geser	100	0.261	0.244
		200	0.593	0.582
		300	1.011	1.039
		400	1.521	1.535
		500	2.123	2.146
		600	2.766	2.728
		700	3.287	3.248
		800	3.858	3.805
		900	4.488	4.394
		1000	5.155	5.036
		1100	5.864	5.689
		1200	6.65	6.398
		1300	7.781	7.214
		1400	10.325	8.228
900	10.048	7.933		
800	9.592	7.52		
700	9.108	7.068		



		600	8.583	6.593
		500	8.029	6.097
		400	7.429	5.562
		300	6.828	5.015
		200	6.156	4.404
		100	5.421	3.776
		0	4.617	3.153

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
0	Lentur	100	0.253	0
		200	0.624	0
		300	1.136	0
		400	1.762	0
		500	2.477	0
		600	3.152	0
		700	3.89	0
		800	4.624	0
		900	5.894	0
		800	6.564	0
		700	6.203	0
		600	5.754	0
		500	5.259	0
		400	4.727	0
		300	4.172	0
		200	3.602	0
100	2.998	0		
0	2.339	0		
0	Lentur	100	0.248	0
		200	0.654	0
		300	1.247	0
		400	1.973	0
		500	2.71	0
		600	3.499	0
		700	4.264	0
		800	5.082	0
		900	6.25	0
		980	9.124	0
		800	8.836	0
		700	8.33	0

		600	7.802	0
		500	7.221	0
		400	6.614	0
		300	5.992	0
		200	5.319	0
		100	4.624	0
		0	3.921	0
Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
10	Lentur	100	0.188	0
		200	0.563	0
		300	1.101	0
		400	1.658	0
		500	2.429	0
		600	3.17	0
		700	3.901	0
		800	4.716	0
		900	5.958	0
		910	8.126	0
		700	7.906	0
		600	7.407	0
		500	6.888	0
		400	6.361	0
		300	5.768	0
		200	5.15	0
		100	4.463	0
0	3.716	0		
10	Lentur	100	0.272	0
		200	0.657	0
		300	1.212	0
		400	1.932	0
		500	2.832	0
		600	3.621	0
		700	4.463	0
		800	5.468	0
		840	7.774	0
		700	7.485	0
600	7.022	0		
500	6.529	0		

		400	5.975	0
		300	5.5	0
		200	4.774	0
		100	4.038	0
		0	3.246	0

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
20	Lentur	100	0.215	0
		200	0.56	0
		300	1.112	0
		400	1.697	0
		500	2.329	0
		600	3	0
		700	3.681	0
		800	4.354	0
		900	5.045	0
		1000	5.851	0
		1100	8.469	0
		900	8.209	0
		800	7.836	0
		700	7.397	0
		600	6.93	0
		500	6.444	0
400	5.94	0		
300	5.411	0		
200	4.855	0		
100	4.246	0		
0	3.631	0		
20	Lentur	100	0.269	0
		200	0.741	0
		300	1.291	0
		400	1.936	0
		500	2.644	0
		600	3.364	0
		700	4.119	0
		800	4.964	0
900	7.693	0		
		950	9.737	0



		600	9.32	0
		500	8.86	0
		400	8.344	0
		300	7.796	0
		200	7.271	0
		100	6.504	0
		0	5.622	0

Prosentase Bottom Ash (%)	Jenis Tulangan	Beban (kg)	Lendutan (mm)	
			Titik 1	Titik 2
25	Lentur	100	0.445	0
		200	0.863	0
		300	1.514	0
		400	2.127	0
		500	2.837	0
		600	3.583	0
		700	4.329	0
		800	5.235	0
		900	9.85	0
		800	9.468	0
		700	8.915	0
		600	8.502	0
		500	7.991	0
		400	7.4	0
300	6.805	0		
200	6.092	0		
100	5.347	0		
0	4.588	0		
25	Lentur	100	0.378	0
		200	0.835	0
		300	1.471	0
		400	2.187	0
		500	2.948	0
		600	3.718	0
		700	4.53	0
		800	5.422	0
		870	8.086	0
		700	7.937	0
600	7.443	0		
500	6.936	0		

	400	6.376	0
	300	5.798	0
	200	5.177	0
	100	4.519	0
	0	3.805	0



# F $\alpha = 0.05$

df1	1	2	3	4	5	6	
df2	1	161.447639	199.500000	215.707345	224.583241	230.161878	233.986000
	2	18.512821	19.000000	19.164292	19.246794	19.296410	19.329534
	3	10.127964	9.552094	9.276628	9.117182	9.013455	8.940645
	4	7.708647	6.944272	6.591382	6.388233	6.256057	6.163132
	5	6.607891	5.786135	5.409451	5.192168	5.050329	4.950288
	6	5.987378	5.143253	4.757063	4.533677	4.387374	4.283866
	7	5.591448	4.737414	4.346831	4.120312	3.971523	3.865969
	8	5.317655	4.458970	4.066181	3.837853	3.687499	3.580580
	9	5.117355	4.256495	3.862548	3.633089	3.481659	3.373754
	10	4.964603	4.102821	3.708265	3.478050	3.325835	3.217175
	11	4.844336	3.982298	3.587434	3.356690	3.203874	3.094613
	12	4.747225	3.885294	3.490295	3.259167	3.105875	2.996120
	13	4.667193	3.805565	3.410534	3.179117	3.025438	2.915269
	14	4.600110	3.738892	3.343889	3.112250	2.958249	2.847726
	15	4.543077	3.682320	3.287382	3.055568	2.901295	2.790465
	16	4.493998	3.633723	3.238872	3.006917	2.852409	2.741311
	17	4.451322	3.591531	3.196777	2.964708	2.809996	2.698660
	18	4.413873	3.554557	3.159908	2.927744	2.772853	2.661305
	19	4.380750	3.521893	3.127350	2.895107	2.740058	2.628318
	20	4.351244	3.492828	3.098391	2.866081	2.710890	2.598978
	21	4.324794	3.466800	3.072467	2.840100	2.684781	2.572712
	22	4.300950	3.443357	3.049125	2.816708	2.661274	2.549061
	23	4.279344	3.422132	3.027998	2.795539	2.639999	2.527655
	24	4.259677	3.402826	3.008787	2.776289	2.620654	2.508189
	25	4.241699	3.385190	2.991241	2.758710	2.602987	2.490410
	26	4.225201	3.369016	2.975154	2.742594	2.586790	2.474109
	27	4.210008	3.354131	2.960351	2.727765	2.571886	2.459108
	28	4.195972	3.340386	2.946685	2.714076	2.558128	2.445259
	29	4.182964	3.327654	2.934030	2.701399	2.545386	2.432434
	30	4.170877	3.315830	2.922277	2.689628	2.533555	2.420523
	31	4.159615	3.304817	2.911334	2.678667	2.522538	2.409432
	32	4.149097	3.294537	2.901120	2.668437	2.512255	2.399080
	33	4.139252	3.284918	2.891564	2.658867	2.502635	2.389394
	34	4.130018	3.275898	2.882604	2.649894	2.493616	2.380313
	35	4.121338	3.267424	2.874187	2.641465	2.485143	2.371781
	36	4.113165	3.259446	2.866266	2.633532	2.477169	2.363751
	37	4.105456	3.251924	2.858796	2.626052	2.469650	2.356179
	38	4.098172	3.244818	2.851741	2.618988	2.462548	2.349027
	39	4.091279	3.238096	2.845068	2.612306	2.455831	2.342262
	40	4.084746	3.231727	2.838745	2.605975	2.449466	2.335852
	41	4.078546	3.225684	2.832747	2.599969	2.443429	2.329771
	42	4.072654	3.219942	2.827049	2.594263	2.437693	2.323994
	43	4.067047	3.214480	2.821628	2.588836	2.432236	2.318498
	44	4.061706	3.209278	2.816466	2.583667	2.427040	2.313264
	45	4.056612	3.204317	2.811544	2.578739	2.422085	2.308273
	46	4.051749	3.199582	2.806845	2.574035	2.417356	2.303509
	47	4.047100	3.195056	2.802355	2.569540	2.412837	2.298956
	48	4.042652	3.190727	2.798061	2.565241	2.408514	2.294601
	49	4.038393	3.186582	2.793949	2.561124	2.404375	2.290432
	50	4.034310	3.182610	2.790008	2.557179	2.400409	2.286436
	51	4.030393	3.178799	2.786229	2.553395	2.396605	2.282603
	52	4.026631	3.175141	2.782600	2.549763	2.392953	2.278923
	53	4.023017	3.171626	2.779114	2.546273	2.389444	2.275388
	54	4.019541	3.168246	2.775762	2.542918	2.386070	2.271989
	55	4.016195	3.164993	2.772537	2.539689	2.382823	2.268717
	56	4.012973	3.161861	2.769431	2.536579	2.379697	2.265567
	57	4.009868	3.158843	2.766438	2.533583	2.376684	2.262532
	58	4.006873	3.155932	2.763552	2.530694	2.373780	2.259605
	59	4.003983	3.153123	2.760767	2.527907	2.370977	2.256780
	60	4.001191	3.150411	2.758078	2.525215	2.368270	2.254053
	61	3.998494	3.147791	2.755481	2.522615	2.365656	2.251418
	62	3.995887	3.145258	2.752970	2.520101	2.363128	2.248871
	63	3.993365	3.142809	2.750541	2.517670	2.360684	2.246408
	64	3.990924	3.140438	2.748191	2.515318	2.358318	2.244024
	65	3.988560	3.138142	2.745915	2.513040	2.356028	2.241716
	66	3.986269	3.135918	2.743711	2.510833	2.353809	2.239480
	67	3.984049	3.133762	2.741574	2.508695	2.351658	2.237312
	68	3.981896	3.131672	2.739502	2.506621	2.349573	2.235210
	69	3.979807	3.129644	2.737492	2.504609	2.347550	2.233171
	70	3.977779	3.127676	2.735541	2.502656	2.345586	2.231192
	71	3.975810	3.125764	2.733647	2.500760	2.343680	2.229271
	72	3.973897	3.123907	2.731807	2.498919	2.341828	2.227404
	73	3.972038	3.122103	2.730019	2.497129	2.340028	2.225590
	74	3.970230	3.120349	2.728280	2.495388	2.338278	2.223826
	75	3.968471	3.118642	2.726589	2.493696	2.336576	2.222110
	76	3.966760	3.116982	2.724944	2.492049	2.334920	2.220441
	77	3.965094	3.115366	2.723343	2.490447	2.333308	2.218817
	78	3.963472	3.113792	2.721783	2.488886	2.331739	2.217235
	79	3.961892	3.112260	2.720265	2.487366	2.330210	2.215694