

# **PENGARUH CAMPURAN KADAR BOTTOM ASH DAN LAMA PERENDAMAN AIR LAUT TERHADAP KUAT GESER PADA BALOK**

**Kemal Yodyawira., Ristinah S., Ari Wibowo.**  
Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia  
e-mail : [kemalyodyawira89@gmail.com](mailto:kemalyodyawira89@gmail.com)

## **ABSTRAK**

Batubara yang digunakan sebagai sumber energy menghasilkan residu berupa fly ash dan bottom ash. Di Indonesia banyak dijumpai bottom ash dimana volumenya akan terus bertambah tiap tahun. Keberadaan bottom ash ini dianggap sebagai limbah yang dapat mencemari lingkungan dan mengganggu masyarakat sekitar. Untuk mengatasi hal tersebut maka dilakukan pengkajian untuk memanfaatkan material bottom ash. Salah satu cara memanfaatkan bottom ash adalah dengan menggunakan material tersebut sebagai bahan pengganti semen pada campuran beton.

Untuk mengetahui hasil pengaruh bottom ash dan lama perendaman dengan air laut maka pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan pada silinder dan kuat lentur pada balok. Penelitian menggunakan balok beton bertulang berukuran 7 x 10 x 110 cm sejumlah 24 benda uji dengan 4 variasi kadar campuran bottom ash dan 3 variasi lama perendaman dengan air laut. Setiap variasi penelitian digunakan 2 benda uji balok beton bertulang dan tiap benda uji diberikan sampel beton silinder sejumlah 3 buah. Variasi kadar campuran bottom ash yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, dan 25% sedangkan lama perendaman yang digunakan adalah 7, 14, dan 28 hari. Uji kuat tekan menggunakan alat Concrete Compression Machine dan pengujian kuat geser pada balok dengan tumpuan sendi-sendi menggunakan alat hydrolic jack dimana pembacaan bebannya menggunakan load cell. Data yang diperoleh dianalisis untuk mengetahui kuat geser yang terjadi. Metode yang digunakan untuk pengolahan data adalah metode statistik ANOVA 2 arah dan regresi.

Dari pengujian ini didapatkan bahwa terdapat pengaruh variasi campuran bottom ash dimana nilai kuat tekannya yang paling tinggi terjadi pada campuran bottom ash 10%. Demikian juga halnya dengan hasil uji balok dimana  $P_n$  uji yang paling tinggi terjadi pada campuran bottom ash 10% sehingga kuat geser yang paling tinggi terjadi pada prosentase tersebut. Sedangkan untuk nilai kuat tekan dan  $P_n$  uji yang paling rendah terjadi pada campuran bottom ash 25%. Berdasarkan hasil analisis statistik uji F dua arah dengan  $\alpha = 0,05$ , menunjukkan bahwa ada pengaruh lama perendaman dengan menggunakan air laut akan tetapi tidak terlalu signifikan terhadap nilai kuat geser pada balok. Hal tersebut dapat dilihat dari data hasil penelitian yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan atau penurunan nilai kuat geser yang tidak terlalu besar. Uji rata-rata pada balok beton bertulang dengan variasi campuran bottom ash 0%, 10%, 20%, dan 25% pada rendaman 7 hari secara berturut-turut 625 kg, 700 kg, 615 kg, dan 636,25 kg. Rendaman 14 hari sebesar 611,25 kg, 672,5 kg, 615 kg, dan 615 kg. Rendaman 28 hari sebesar 592,5 kg, 695 kg, 625 kg, dan 650 kg.

Kata kunci: bottom ash, rendaman, balok beton bertulang, kuat tekan beton, kuat geser, uji silinder, uji balok

## PENDAHULUAN

Bottom Ash adalah limbah hasil pembakaran batubara dimana jumlahnya akan terus meningkat selama industri terus memproduksi. Penanganan limbah ini dilakukan dengan cara menimbunnya di lahan kosong sehingga apabila volume limbah semakin bertambah maka semakin luas pula area yang diperlukan untuk menimbunnya.

Teknologi yang berkembang saat ini adalah pengelolaan limbah industri untuk bahan baku atau material bangunan. Dengan adanya penemuan inovasi-inovasi bahan tersebut diharapkan dapat menggantikan bahan bangunan sehingga dapat menekan biaya produksi serta mengurangi limbah industri. Salah satu dari inovasi tersebut adalah menggunakan Bottom Ash sebagai pengganti maupun pengisi semen.

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 terpenetrasi kedalam beton yang mengakibatkan beton kehilangan sebagian massa, kehilangan kekuatan dan kekakuannya serta mempercepat proses pelapukan (Mehta, 1991).

Retak merupakan faktor yang menyebabkan peningkatan laju korosi. Semakin banyak retak yang terjadi akibat pembebanan dan semakin tinggi nilai permeabilitasnya, maka intrusi air laut yang terjadi juga semakin besar, sehingga tulangan akan semakin mudah terkorosi. Hal tersebut akan mempengaruhi kekuatan serta durabilitas(keawetan) struktur beton yang dibangun di dekat dan di dalam air.

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat disampaikan beberapa tujuan penelitian yaitu :

1. Mengetahui pengaruh variasi campuran Bottom Ash pada semen dengan prosentase 0%, 10%, 20% dan 25% yang direndam air laut dalam durasi waktu 7,

14 dan 28 hari terhadap kuat geser pada balok.

2. Mengetahui waktu perendaman beton dengan air laut berpengaruh terhadap nilai kuat geser pada beton

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pengaruh variasi campuran Bottom Ash dan lama perendaman dalam air laut terhadap kuat geser pada balok. Dengan demikian dapat dilakukan pencegahan terhadap kerusakan-kerusakan pada balok dan bangunan-bangunan yang mungkin terjadi akibat instruksi air laut.

## DASAR TEORI

Beton adalah suatu campuran semen, agregat halus, dan agregat kasar yang ditambahkan air secukupnya sebagai bahan bantu untuk membentuk reaksi kimia sehingga terjadi pengerasan. Ada banyak keunggulan yang dimiliki oleh beton, diantaranya adalah ketersediaan material dasar sehingga biayanya relatif murah. Daya tahan dari beton juga tinggi sehingga memperkecil kebutuhan pemeliharaan (Istimawan Dipohusodo, 1994).

Jika tulangan baja/metal pada beton bertulang tidak dilindungi pada keadaan normal sesuai persyaratan, maka beton bertulang cenderung akan kehilangan/berkurang kekuatannya. Pada kondisi lingkungan yang ekstrim(misalnya air laut, kimia, dll), kemungkinan terjadinya korosi pada baja/metal tulangan lebih besar karena sifat air laut yang mengandung garam dan sulfat (Dicky R. Munaf, 2003).

Bottom Ash adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga listrik yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada Fly Ash, untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan.

Kekuatan geser pada beton, bervariasi antara 35% - 80% dari kuat tekannya. Dalam pengujian sulit menentukan geser dari tegangan-tegangan lainnya. Dan kuat geser berarti dalam keadaan-keadaan yang tidak biasa, karena geser biasanya harus dibatasi

pada nilai yang rendah, dengan tujuan untuk melindungi beton tegangan-tegangan tarik diagonal.

Beban yang bekerja pada struktur menghasilkan tegangan geser dan lentur akan timbul disepanjang komponen struktur dimana bekerja gaya geser dan momen lentur, dan penampang komponen mengalami tegangan-tegangan pada tempat selain garis netral dan pada serat tepi penampang. Mengenai berapa besar tegangan geser dan lentur yang timbul bervariasi tergantung dari letak tempat yang ditinjau di sepanjang balok dan jaraknya terhadap garis netral.

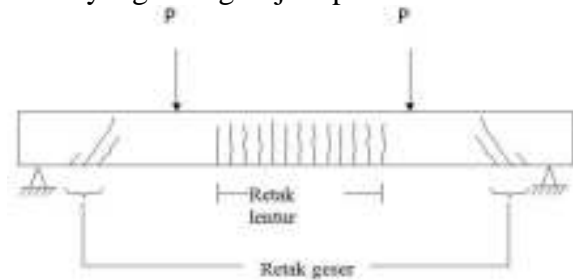
Untuk memenuhi syarat keseimbangan dari gaya di arah vertikal, maka penjumlahan dari tegangan geser vertikal pada penampang harus sama dengan  $V$ . Gaya geser dibawah garis netral menimbulkan tegangan tarik yang sama besarnya dengan tegangan geser pada bidang dengan kemiringan  $45^\circ$  dan merupakan penyebab utama timbulnya retak miring.

Gaya geser umumnya tidak bekerja sendiri, tetapi terjadi bersamaan dengan gaya lentur/momen, torsi atau normal/aksial. Dari percobaan yang telah dilakukan diketahui bahwa keruntuhan akibat gaya geser bersifat brittle/getas atau tidak bersifat duktail/liat, sehingga keruntuhannya terjadi secara tiba-tiba. Hal ini karena kekuatan menahan geser lebih banyak dari kuat tarik dan tekan beton dibandingkan oleh tulangan gesernya. Pada struktur beton yang menahan momen maka keruntuhannya bisa diatur apakah akan bersifat duktail atau tidak, tergantung pada jumlah tulangan yang dipakai. Dan besar gaya geser pada balok atau kolom, umumnya bervariasi sepanjang bentang, sehingga banyaknya tulangan geser pun bervariasi sepanjang bentang.

Retak akibat lentur/momen dan retak akibat geser merupakan beberapa sebab yang menimbulkan retak pada beton. Retak-retak ini bila tidak ditahan dengan tulangan akan mengakibatkan keruntuhan, mengingat sifat beton yang tidak mampu menahan gaya tarik. Retak akibat lentur ditahan dengan tulangan lentur atau tulangan longitudinal atau memanjang karena letak retak yang

terletak vertikal ke atas. Sedangkan retak akibat geser ditahan oleh tulangan geser.

Berikut adalah pola retak geser dan lentur yang sering terjadi pada beton:



Gambar Retak pada Balok

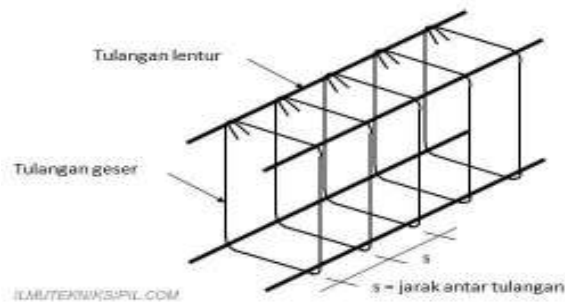
**Gambar 1.** Retak geser dan Lentur pada balok

(Sumber: [ilmutekniksipil.com](http://ilmutekniksipil.com))

Tulangan untuk menahan gaya geser biasa dinamakan tulangan geser atau tulangan sengkang atau tulangan stirrup. Tulangan geser diperlukan untuk menahan gaya tarik arah tegak lurus dari retak yang diakibatkan oleh gaya geser. Tulangan untuk menahan gaya geser biasa dinamakan tulangan geser atau tulangan sengkang atau tulangan stirrup. Tulangan geser diperlukan untuk menahan gaya tarik arah tegak lurus dari retak yang diakibatkan oleh gaya geser. Tulangan geser vertikal, tulangan geser miring/diagonal, tulangan geser spiral, dan tulangan lentur yang bengkokkan merupakan cara-cara pemasangan tulangan geser.

Retak geser terletak secara diagonal pada badan balok sehingga perletakan tulangan geser yang paling efektif adalah tulangan geser miring / diagonal tegak lurus arah retak, sehingga tulangan hanya menahan gaya tarik saja dari gaya retak tersebut, tetapi tentunya dengan cara ini akan memakan biaya yang besar dan pemasangan yang lebih sulit.

Demikian juga dengan tulangan geser spiral meskipun efektif dalam menahan gaya geser tapi sulit pemasangan pemasangannya dan sekaligus lebih mahal. Dalam hal ini yang paling disukai dan paling banyak dipakai dalam perencanaan struktur adalah tulangan geser vertikal.



**Gambar 2.** Susunan Tulangan Geser dan Tulangan Lentur

(Sumber: [ilmutekniksipil.com](http://ilmutekniksipil.com))

Pada perencanaan tulangan geser dengan desain ultimit bahan maka gaya geser yang terjadi akan ditahan oleh dua bahan/material yaitu beton dan baja dengan cara dihitung dulu kekuatan atau kapasitas beton dalam menahan gaya geser yang terjadi kemudian sisanya akan dilimpahkan ke baja.

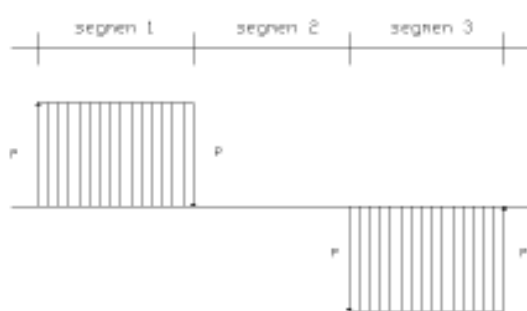
Gaya geser/shear/transversal pada struktur beton. Menghitung gaya geser terfaktor  $V_u$  pada sepanjang bentang. Besar  $V_u$  adalah sebagai berikut (bila tidak ada beban gempa):

$$V_u = 1,2 V_D + 1,6 V_L$$

Dimana:

$V_D$  = gaya geser akibat beban mati

$V_L$  = gaya geser akibat beban hidup



**Gambar 2.** Bidang D Geser

Dengan diagram gaya geser tersebut dibagi beberapa segmen/bagian sehingga tulangan geser yang dipakai dapat lebih efektif. Dari tumpuan ke jarak  $d$  dari diagram geser di atas dapat diabaikan karena sejauh  $d$  dari tumpuan gaya geser yang terjadi tidak

efektif mengakibatkan kerusakan pada struktur (khususnya balok).

Menghitung kekuatan beton menahan geser  $V_c$ . Dan harga  $V_c$  berdasar jenis struktur, yaitu sebagai berikut :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

Dimana:

$V_c$  = Kemampuan beton menahan geser (N)

$f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

$b$  = lebar balok (cm)

$d$  = tinggi balok efektif (cm)

Dalam perencanaan/desain ultimit maka kekuatan beton dalam menahan gaya geser ini harus dikalikan dengan faktor reduksi sebesar 0,75.

Pemeriksaan syarat penampang struktur dengan ketentuan sebagai berikut :

- Bila  $V_u < 0,5 \Phi V_c \rightarrow$  tidak memerlukan sengkang
- Bila  $0,5 \Phi V_c < V_u < \Phi V_c \rightarrow$  gunakan tulangan minimum
- Bila  $(V_u - \Phi V_c) < 0,67b \cdot d \rightarrow$  hitung  $V_s$
- Bila  $(V_u - \Phi V_c) > 0,67b \cdot d \rightarrow$  ukuran penampang diperbesar

Penghitungan sisa gaya geser dari gaya geser kapasitas beton yang harus ditahan oleh tulangan geser  $V_s$  dan jarak/spasi tulangan geser  $S$ .

$$V_u \leq \Phi V_n$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_u \leq \Phi V_c + \Phi V_s$$

$$\text{maka } V_s = (V_u / \Phi) - V_c$$

Penghitungan tulangan geser yang diperlukan. Tentukan luas tulangan geser  $A_v$  dengan luas tulangan yang biasa dipakai di lapangan mis:  $\Phi 6$ ,  $\Phi 8$ , D10 atau D16.

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

Dimana:

$\Phi$  = untuk tulangan polos

D = untuk tulangan deformed

$F_y$  = tegangan leleh tulangan geser (MPa)

### METODOLOGI PENELITIAN

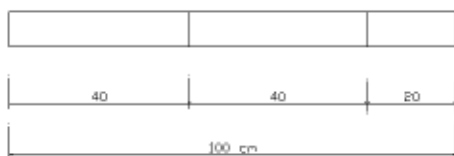
Karena penelitian kali ini bertujuan untuk memperoleh retak lentur dan retak geser. Maka, balok beton harus dibagi menjadi 2 jenis yang berbeda, yaitu balok beton yang akan mengalami keruntuhan lentur untuk mendapatkan retak lentur dan balok beton dengan keruntuhan geser untuk mendapatkan retak geser.

Selanjutnya dikarenakan peneliti menggunakan jumlah dan ukuran tulangan tarik yang sama, melalui mix design telah kami dapatkan bahwa keruntuhan akan dipengaruhi oleh jarak sengkang(s) pada tulangan yang terdapat dalam balok beton. Melalui perhitungan, didapatkan:

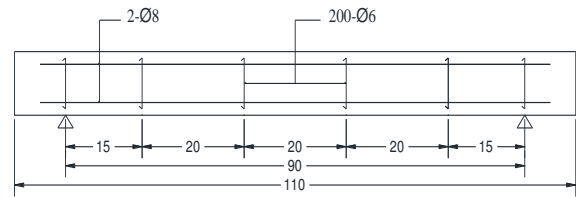
Keruntuhan lentur dan keruntuhan geser akan terjadi secara bersamaan apabila jarak sengkang(s) yang dipakai adalah 24,661 cm, sehingga:

- Keruntuhan lentur  $\longrightarrow$  jarak sengkang (s) < 24,661 cm
- Keruntuhan geser  $\longrightarrow$  jarak sengkang (s) > 24,661 cm

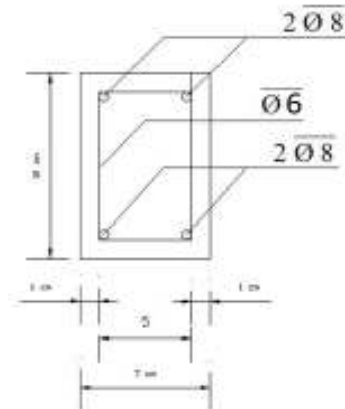
Sehingga untuk balok beton dengan L = 110 cm digunakan sejumlah 6 sengkang untuk mendapatkan keruntuhan lentur dan sejumlah 4 sengkang untuk memperoleh keruntuhan geser.



**Gambar 3.** Rencana pemasangan sengkang untuk balok yang akan mengalami keruntuhan geser

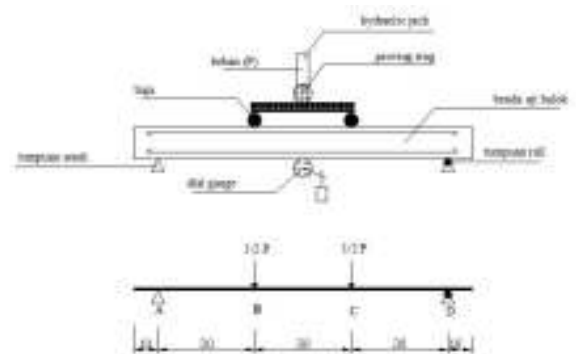


**Gambar 4.** Rencana pemasangan sengkang untuk balok yang akan mengalami keruntuhan lentur



**Gambar 5.** Potongan A untuk tiap balok

Selain menggunakan 2 tipe keruntuhan, pada saat pengujian juga digunakan 2 tipe pembebanan. Untuk pengujian sampel balok beton dengan keruntuhan lentur digunakan pembebanan balok dengan satu beban terpusat di tengah bentang dengan jarak 45 cm dari tumpuan dan untuk pengujian sampel balok beton dengan keruntuhan geser digunakan dua beban terpusat simetris dengan jarak 40 cm dan 70 cm dari ujung balok.



**Gambar 6.** Skema pembebanan untuk balok dengan keruntuhan geser



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

## HASIL PENELITIAN

### Kuat Tekan Beton

Pengujian awal yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan beton pada benda uji berupa silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui mutu beton yang telah dibuat.

Pengujian dilakukan sesuai variasi umur perendaman yang telah ditentukan. Hasil dari pengujian kuat tekan secara lengkap dapat disajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Hasil Uji Kuat Tekan Beton ( $f'_c$ )

Kadar BA (%)	Lama Perendaman	P (KN)	$f'_c$ (Mpa)	$f'_c$ rata-rata (Mpa)
0	7 Hari	312	17,655	17,240
		295	16,693	
		307	17,372	
	14 Hari	302	17,089	16,316
		278	15,731	
		285	16,127	
	28 Hari	306	17,316	18,561
		320	18,108	
		358	20,258	
10	7 Hari	345	19,523	19,296
		355	20,088	
		323	18,278	
	14 Hari	354	20,032	19,843
		345	19,523	
		353	19,975	

20	28 Hari	345	19,523	18,806
		335	18,957	
		317	17,938	
	7 Hari	290	16,410	15,750
		277	15,675	
		268	15,165	
14 Hari	284	16,071	16,052	
	280	15,844		
	287	16,240		
28 Hari	317	17,938	17,693	
	279	15,788		
	342	19,353		
25	7 Hari	277	15,675	15,543
		278	15,731	
		269	15,222	
	14 Hari	281	15,901	15,184
		250	14,147	
		274	15,505	
	28 Hari	289	16,354	16,825
		288	16,2975	
		315	17,825	

(Sumber: Hasil Penelitian Dan Perhitungan)

### Kuat Geser

Uji pembebanan dilakukan menggunakan Loading Frame uji lentur yang telah dipasang dongkrak hidrolik yang dihubungkan dengan pompa untuk pembebanannya. Balok uji mempunyai dimensi yang sama yaitu 10 x 7 x 90cm yang berjumlah total ada 48 benda uji. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kapasitas dukung beban yang mampu ditahan oleh balok. Variasi prosentase bottom ash sebagai pengganti semen dan lama perendaman dengan menggunakan air laut sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 2 Variasi Prosentase Bottom Ash dan Lama Rendaman

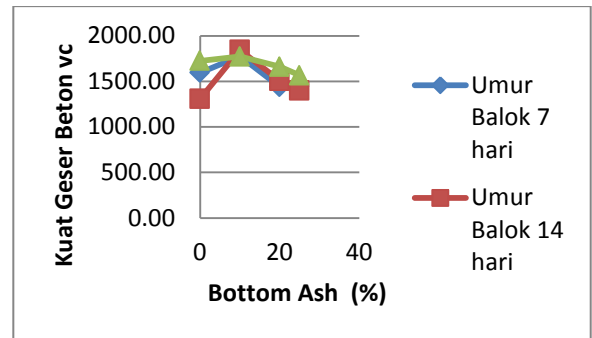
Prosentase bottom Ash (%)	Lama Rendaman		
	7 hari	14 hari	28 hari
0	2 benda uji	2 benda uji	2 benda uji
	2 benda uji	2 benda uji	2 benda uji
10	2 benda uji	2 benda uji	2 benda uji
	2 benda uji	2 benda uji	2 benda uji
20	2 benda uji	2 benda uji	2 benda uji
	2 benda uji	2 benda uji	2 benda uji
25	2 benda uji	2 benda uji	2 benda uji
	2 benda uji	2 benda uji	2 benda uji

Pengujian beton tidak dilakukan pada hari disaat pengangkatan beton dari perendaman, dikarenakan keterbatasan tempat dan alat. Karena itu pula terdapat pengaruh udara luar terhadap beton itu sendiri. Penelitian dilakukan untuk mendapatkan besarnya nilai kapasitas beban nominal (Pn) yang terjadi pada balok dengan melakukan penambahan beban secara bertahap sampai balok uji mengalami keruntuhan sehingga bisa didapatkan beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok uji. Kemudian nilai dari beban nominal (Pn) yang diperoleh akan digunakan untuk perhitungan kuat geser yang terjadi pada balok uji. Kapasitas atau Kuat Geser balok beton pada retak miring awal dihitung berdasarkan rumus kuat geser nominal balok sebagai berikut :

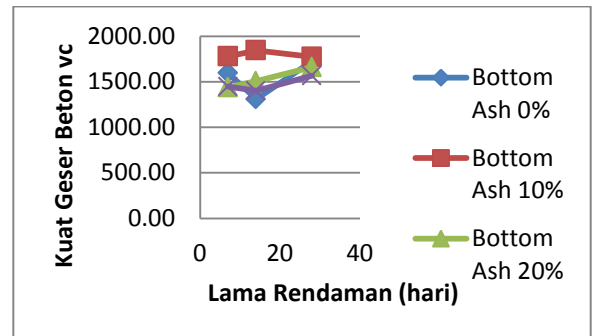
$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

**Tabel 3** Hasil Pengujian Kuat Geser Nominal

Balok	Bottom Ash (%)	Kuat Geser Beton Vc (kg)	Rata-Rata (kg)
1.1	0%	1595.5459	1543.041 8
1.2		1307.8167	
1.3		1725.7626	
2.1	10%	1778.0766	1798.421 1
2.2		1844.9934	
2.3		1772.1932	
3.1	20%	1438.6512	1534.863 4
3.2		1505.6122	
3.3		1660.3267	
4.1	25%	1445.1565	1470.237 9
4.2		1400.8449	
4.3		1564.7123	



**Gambar 8.** Perbandingan Antara Nilai Kuat Geser Beton Nominal Dengan Prosentase Bottom Ash Pada Lama Perendaman



**Gambar 9.** Perbandingan Antara Nilai Kuat Geser Beton Nominal Dengan Lama Rendaman Pada Prosentase Bottom Ash

Dan kuat geser balok uji didapatkan melalui gambar MDN, didapatkan rumus sebagai berikut:

$$V_{uji} = \phi V_{n\text{ teori}}$$

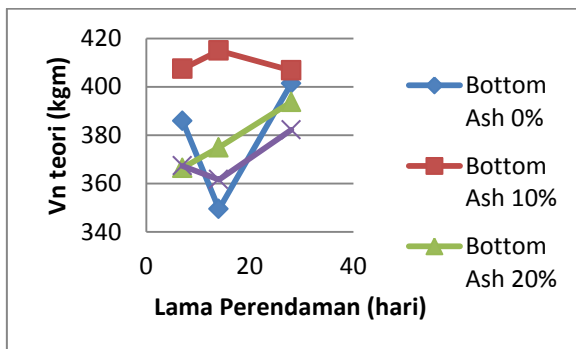
$$V_{uji} = \frac{1}{2} P$$

$$\phi V_{n\text{ teori}} = 0,75 \cdot \left( \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \right)$$

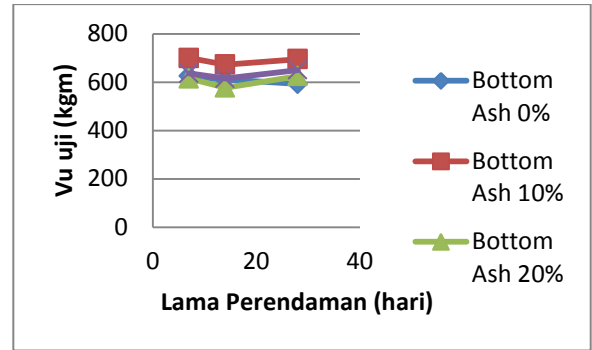
Dimana P adalah beban yang diberikan pada balok uji yaitu Pn uji. Vn perhitungan didapatkan melalui perhitungan dengan memasukkan nilai tegangan baja leleh (fy) dan nilai kuat tekan beton (f'c), yang didapatkan melalui uji tarik dan uji tekan beton di laboratorium. Hasil perhitungan kuat geser dapat dilihat pada table berikut.

**Tabel 4.** Perbandingan antara Vn teori dan Vu uji

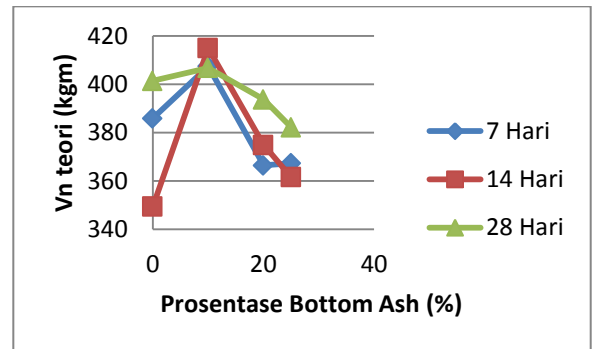
Prosentase Bottom Ash (%)	Lama Perendaman (hari)	Vn teori (kg)	Vu uji (kg)	KR (%)
0	7	385.898	625	38.2562
	14	349.375	611.25	42.8425
	28	401.337	592.5	32.2638
10	7	407.374	700	41.8037
	14	414.969	672.5	38.2946
	28	406.7	695.2	41.482
20	7	366.434	615	40.4172
	14	374.865	577.5	35.0883
	28	393.654	625	37.0153
25	7	367.262	636.25	42.2771
	14	361.588	615	41.2053
	28	382.152	650	41.2075



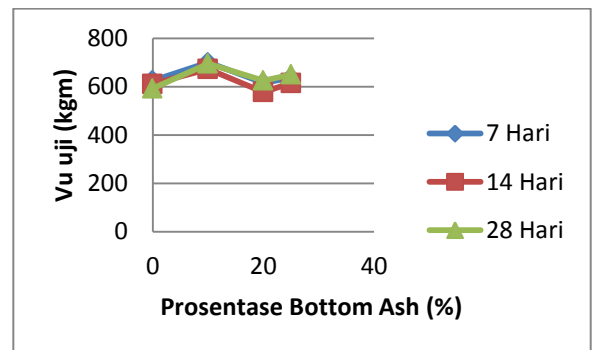
**Gambar 10.** Hubungan antara lama perendaman dengan Vn teori pada semua prosentase bottom ash



**Gambar 5.** Hubungan antara Lama perendaman dengan Vu uji pada semua prosentase bottom ash



**Gambar 6.** Hubungan antara prosentase bottom ash dengan Vn teori pada semua lama perendaman

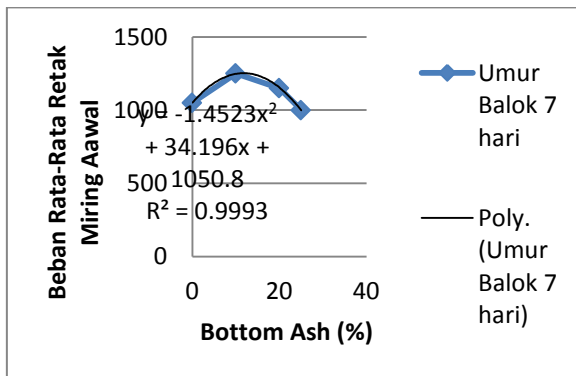


**Gambar 7.** Hubungan antara prosentase bottom ash dengan Vu uji pada semua lama perendaman

**Tabel 5.** Retak Miring Awal dan Beban Saat Terjadinya Retak Miring Awal Pada Balok Umur 7 hari



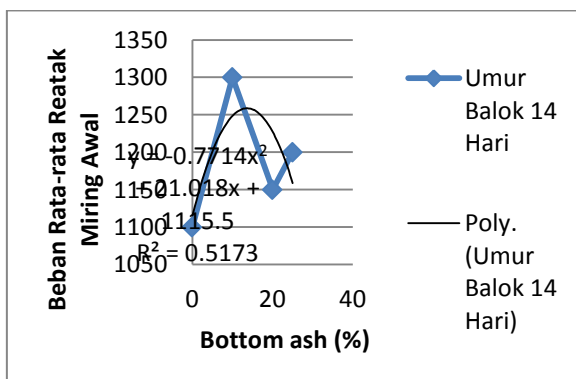
Umur Balok (hari)	Bottom Ash (%)	Rata-Rata Beban Retak Miring Awal (kg)
7	0	1050
7	10	1250
7	20	1150
7	25	1000



**Gambar 8.** Perbandingan Antara Prosentase Bottom Ash Dengan Beban Rata- Rata Retak Miring Awal Pada Balok Umur 7 hari

**Tabel 6.** Retak Miring Awal dan Beban Saat Terjadinya Retak Miring Awal Pada Balok Umur 14 hari

Umur Balok (hari)	Bottom Ash (%)	Rata-Rata Beban Retak Miring Awal (kg)
14	0	1100
14	10	1300
14	20	1150
14	25	1200

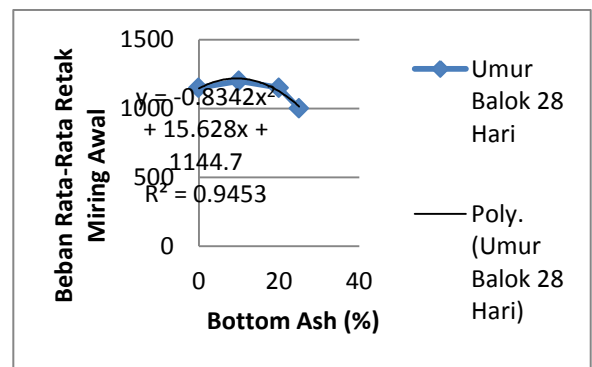


**Gambar 9.** Perbandingan Antara Prosentase Bottom Ash Dengan Beban Rata- Rata

Retak Miring Awal Pada Balok Umur 14 hari

**Tabel 7.** Retak Miring Awal dan Beban Saat Terjadinya Retak Miring Awal Pada Balok Umur 28 hari

Umur Balok (hari)	Bottom Ash (%)	Rata-Rata Beban Retak Miring Awal (kg)
28	0	1150
28	10	1200
28	20	1150
28	25	1000



**Gambar 10.** Perbandingan Antara Prosentase Bottom Ash Dengan Beban Rata-Rata Retak Miring Awal Pada Balok Umur 28 hari

Dari hasil penelitian yang tertera di tabel dan gambar diatas, dapat diketahui adanya peningkatan nilai kuat geser balok beton bertulang pada kadar Bottom Ash 10% di tiap lama rendaman 7, 14, dan 28 hari. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh prosentase kadar bottom ash dan lama perendaman terhadap kuat geser pada beton bertulang, maka dilakukan analisa statistik dengan menggunakan metode pengujian hipotesis. Pengujian hipotesis dilakukan dengan dengan teknik analisis statistik anova dua arah.

Prosentase Bottom Ash (%)	Lama Rendaman						Σ
	7 Hari		14 Hari		28 Hari		
0	750	1575	900	1650	900	1725	4950
	825		750		825		
10	1025	1975	975	1950	1050	2025	5950
	950		975		975		
20	825	1725	900	1725	975	1875	5325
	900		825		900		
25	900	1800	825	1800	825	1875	5475
	900		975		1050		
Σ	7075		7125		7500		21700

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 :

$H_{OA}$  : Tidak ada pengaruh yang signifikan antara prosentase kadar bottom ash terhadap kapasitas lentur (Mn) pada balok.

$H_{OB}$  : Tidak ada pengaruh yang signifikan antar lama perendaman terhadap kapasitas lentur (Mn) pada balok.

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

### Analisa Varian 2 arah

#### 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

$$JK \text{ Total (JKT)} = \sum X_{T^2} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} = 169583.3333$$

$$JK \text{ Baris (JKB)} = \frac{(\sum X)_{Bn}^2}{kxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} = 85625.0000$$

$$JK \text{ Kolom (JKK)} = \frac{(\sum X)_{kn}^2}{rxn} - \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} = 13489.58333$$

$$JK \text{ Baris Kolom (JKBK)} = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum X)_{Bn}^2}{kxn} - \frac{(\sum X)_{kn}^2}{rxn} + \frac{(\sum X)^2}{rxkxn} = 2968.75$$

$$JK \text{ Galat (JKG)} = JKT - JKB - JKK - JKBK = 169583.3333 - 85625.0000 - 13489.58333 - 2968.75 = 67500.0000$$

#### Kuadrat Tengah

$$KT \text{ Baris (KTP)} = \frac{JKB}{db_{\text{baris}}} = \frac{85625}{3} = 28541.66667$$

$$KT \text{ Kolom (KTK)} = \frac{JKK}{db_{\text{kolom}}} = \frac{13489.6}{2} = 6744.791667$$

$$KT \text{ Interaksi (KTI)} = \frac{JKBK}{db_{\text{interaksi}}} = \frac{2968.75}{6} = 494.7916667$$

$$KT \text{ Galat (KTG)} = \frac{JKG}{db_{\text{galat}}} = \frac{67500}{12} = 5625$$

**Nilai f<sup>Hitung</sup>**

F Hitung Baris (FHB) =

$$\frac{KTB}{KTG} = \frac{28541.66667}{5625} = 5.0741$$

f Hitung Kolom (FHK) =

$$\frac{KTK}{KTG} = \frac{6744.791667}{5625} = 1.1991$$

f Hitung Interaksi (FHI) =

$$\frac{KTI}{KTG} = \frac{494.7916667}{5625} = 0.0880$$

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F hitung	F tabel
Prosentase bottom Ash	85625.0000	3	28541.6667	5.0741	3.49
Lama Rendaman	13489.5833	2	6744.7917	1.1991	3.89
Interaksi	2968.7500	6	494.7917	0.0880	3.00
Galat	67500.0000	12	5625.0000		
Total	169583.3333	23			

F<sup>hitung</sup> antar group (A) > F<sup>Tabel</sup> antar group (A), ini menunjukkan bahwa H<sub>0A</sub> ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara prosentase kadar bottom ash terhadap kuat geser pada balok.

F<sup>hitung</sup> antar group (B) < F<sup>Tabel</sup> antar group (B), ini menunjukkan bahwa H<sub>0B</sub> diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara lama perendaman terhadap kuat geser pada Balok.

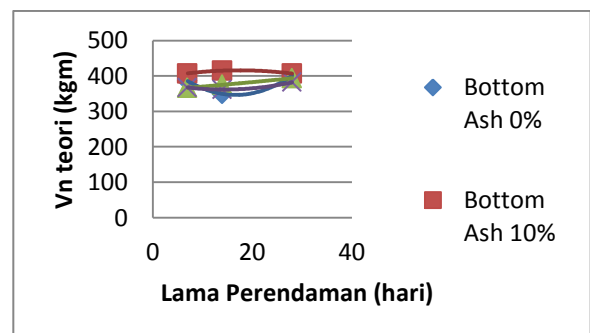
**Analisis regresi**

Untuk mengetahui hubungan prosentase kadar bottom ash dan lama perendaman terhadap kuat geser balok dilakukan dengan permodelan sederhana menggunakan analisis regresi. Dengan

bantuan software Microsoft Excel didapatkan grafik trend regresi polynomial. Dengan metode regresi dapat diramalkan nilai peubah tak bebas dari nilai peubah bebas.

Pada penelitian ini regresi dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara prosentase kadar bottom ash terhadap kuat geser dan hubungan antara lama perendaman terhadap kuat geser pada balok. Tingkat ketepatan dari fungsi regresi yang diperoleh diukur dari nilai koefisien determinasinya (R<sup>2</sup>). Koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) merupakan nilai yang menyatakan besarnya nilai keterandalan model yaitu menyatakan besarnya variabel Y nilai kuat geser yang dapat diterangkan oleh variabel bebas X menurut persamaan regresi yang diperoleh. Besarnya nilai koefisien determinasi berkisar antara 0 sampai 1. Jika nilai koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) mendekati nilai 1 maka model yang digunakan semakin tinggi keterandalannya dan jika mendekati nilai 0 derajat keterandalannya rendah.

Hubungan pada setiap kejadian dalam penelitian ini dapat dinyatakan dengan perhitungan korelasi antara dua variabel. Koefisien korelasi (R) adalah suatu ukuran asosiasi (linier) relatif antara dua variabel yang menyatakan besarnya derajat keeratan hubungan antar variabel. Koefisien korelasi dapat bervariasi dari -1 sampai 1. Jika 0 < R < 1 maka dua variabel dikatakan berkorelasi positif dan jika -1 < R < 0 maka dua variabel dikatakan berkorelasi negatif. Nilai 0 (nol) menunjukkan tidak adanya hubungan antar variabel sedangkan nilai 1 atau -1 menunjukkan adanya hubungan sempurna antar variabel. (Hartono, 2004)



**Gambar 11.** Perbandingan  $V_n$  Teori Dengan Lama Perendaman Pada Prosentase Bottom Ash 0%, 10%, 20%, dan 25%

Prosentase Bottom Ash 0%

$$y = 1,160x + 359,9 \quad R^2 = 0,216$$

Prosentase Bottom Ash 10%

$$y = 0,111x + 411,5 \quad R^2 = 0,0067$$

Prosentase Bottom Ash 20%

$$y = 1,302x + 357,0 \quad R^2 = 0,999$$

Prosentase Bottom Ash 25%

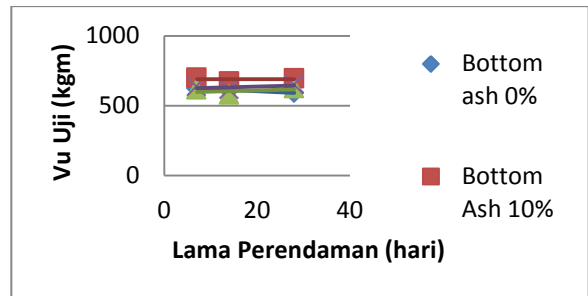
$$y = 0,817x + 356,9 \quad R^2 = 0,677$$

Dimana:

X = Lama perendaman (hari)

Y =  $V_n$  teori (kgm)

Dari gambar diatas dapat terlihat perbedaan nilai kuat geser (teori) pada balok untuk tiap variasi kadar prosentase bottom ash. Pada kadar prosentase bottom ash 10% memiliki nilai rata-rata kuat geser yang paling rendah sedangkan kuat geser rata-rata yang paling tinggi terjadi pada kadar prosentase bottom ash 20%. Hal ini menunjukkan bahwa bottom ash dengan kadar 10% sebagai pengganti semen merupakan campuran beton yang tidak sesuai. Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan kuat geser dari campuran normal tanpa menggunakan bottom ash. Sedangkan pada kadar bottom ash 10% kuat geser mengalami penurunan dan mengalami kenaikan pada kadar Bottom ash 20% dan 25%. Dan pada kadar bottom ash 20% terjadi peningkatan tertinggi, itu menunjukkan bahwa kadar prosentase bottom ash yang sesuai sebagai bahan pengganti semen pada campuran beton berkisar 20%.



**Gambar 12.** Perbandingan  $V_u$  Uji Dengan Lama Perendaman Pada Prosentase Bottom Ash 0%, 10%, 20%, dan 25%

Prosentase Bottom Ash 0%

$$y = 1,517x + 634,3 \quad R^2 = 0,989$$

Prosentase Bottom Ash 10%

$$y = 0,025x + 688,7 \quad R^2 = 0,000$$

Prosentase Bottom Ash 20%

$$y = 0,892x + 591,2 \quad R^2 = 0,145$$

Prosentase Bottom Ash 25%

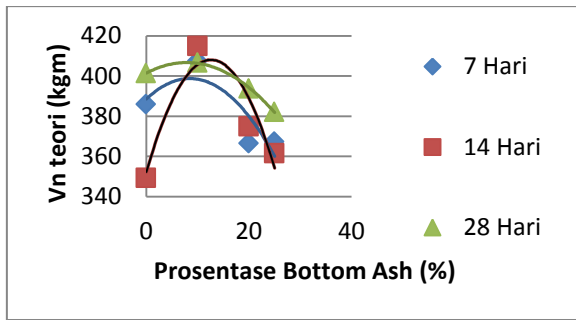
$$y = 0,918x + 618,7 \quad R^2 = 0,310$$

Dimana:

X = Lama Perendaman (hari)

Y =  $V_u$  uji (kgm)

Dari gambar diatas dapat terlihat perbedaan nilai kuat geser (uji) pada balok untuk tiap variasi kadar prosentase bottom ash. Pada kadar prosentase bottom ash 10% memiliki nilai rata-rata kuat geser yang paling rendah sedangkan kuat geser rata-rata yang paling tinggi terjadi pada kadar prosentase bottom ash 25%. Hal ini menunjukkan bahwa bottom ash dengan kadar 10% sebagai pengganti semen merupakan campuran beton yang tidak sesuai. Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan kuat geser dari campuran normal tanpa menggunakan bottom ash. Sedangkan pada kadar bottom ash 20% dan 25% kuat geser mengalami penurunan. Dari hal-hal tersebut dapat disimpulkan bahwa kadar prosentase bottom ash yang sesuai sebagai bahan pengganti semen pada campuran beton berkisar 25%.



Gambar 13. Perbandingan Vn Teori Dengan Prosentase Bottom Ash Pada Perendaman 7, 14, dan 28 hari

Lama Perendaman 7 Hari

$$y = 0,141x^2 + 2,393x + 388,5$$

$$R^2 = 0,712 \quad R = 0,843$$

Lama Perendaman 14 Hari

$$y = 0,351x^2 + 8,859x + 352,1$$

$$R^2 = 0,857 \quad R = 0,925$$

Lama Perendaman 28 Hari

$$y = 0,084x^2 + 1,333x + 401,4$$

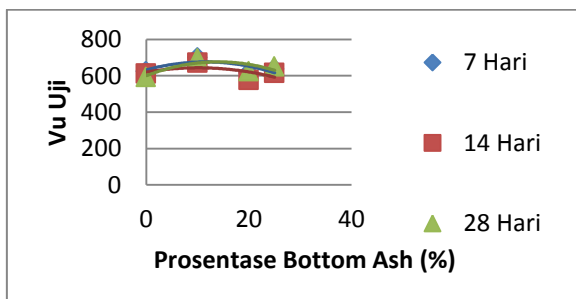
$$R^2 = 0,998 \quad R = 0,998$$

Dimana:

X = Kadar bottom ash (%)

Y = Vn teori (kgm)

Dari gambar. diatas dapat terlihat perbedaan nilai kuat geser (teori) pada balok untuk tiap variasi lama perendaman dengan menggunakan air laut. Pada perendaman 28 hari memiliki nilai rata-rata kuat geser yang paling tinggi sedangkan kuat geser rata-rata yang paling rendah terjadi pada perendaman 7 hari. Hal ini menunjukkan bahwa lama perendaman dengan menggunakan air laut mempunyai pengaruh yang tidak terlalu signifikan terhadap kapasitas lentur pada balok.



Gambar 14. Perbandingan Vu Uji Dengan Prosentase Bottom Ash Pada Perendaman 7, 14, dan 28 hari

Lama Perendaman 7 Hari

$$y = 0,327x^2 + 7,540x + 632,4$$

$$R^2 = 0,440 \quad R = 0,663$$

Lama Perendaman 14 Hari

$$y = 0,232x^2 + 4,701x + 619,9$$

$$R^2 = 0,288 \quad R = 0,536$$

Lama Perendaman 28 Hari

$$y = 0,386x^2 + 10,85x + 600,0$$

$$R^2 = 0,553 \quad R = 0,743$$

Dimana:

X = Kadar bottom ash (%)

Y = Vu uji (kgm)

Dari gambar diatas dapat terlihat perbedaan nilai kuat geser (teori) pada balok untuk tiap variasi lama perendaman dengan menggunakan air laut. Pada perendaman 28 hari memiliki nilai rata-rata kapasitas lentur yang paling tinggi sedangkan kapasitas lentur rata-rata yang paling rendah terjadi pada perendaman 14 hari. Hal ini menunjukkan bahwa lama perendaman dengan menggunakan air laut mempunyai pengaruh yang tidak terlalu signifikan terhadap kapasitas lentur pada balok.

### Pembahasan Penelitian

Secara visual batas runtuh balok dapat digambarkan tentang perilaku balok pada saat mencapai kekuatan batasnya dimana gaya-gaya dalam tidak bisa mengimbangi gaya-gaya luar yang terjadi pada balok. Pada saat ini timbul banyak retak-retak pada balok dan menyebar. Lebar retak melebihi lebar retak izin yaitu 0,3 mm, lendutan yang terjadi sangat besar, panjang balok sudah tidak bisa lagi kembali kepanjang semula, pada keadaan inilah yang disebut batas runtuh, dimana komponen mencapai batas runtuhnya.

Pada proses pengecoran dilakukan di dalam laboratorium dan pada saat proses pengadukan bahan banyak terjadi kendala diantaranya, proses kerja alat pencampur beton (concrete mixer) sudah tidak dapat melakukan adukan secara maksimal. Hal ini dapat dilihat dari kurangnya komposisi bahan saat proses pemindahan ke bekisting, padahal sesuai dengan perhitungan komposisi bahan tersebut dapat menampung bekisting. Hal ini dikarenakan proses pencampuran di dalam concrete mixer kurang merata, karena saat pembersihan concrete mixer banyak material – material

yang belum tercampur. Penggunaan bottom ash pada campuran beton menyebabkan kebutuhan air menjadi lebih bertambah karena bottom ash bersifat menyerap air seperti halnya semen. Pada saat pengecoran penyerapan air pada bottom ash lebih besar dibandingkan semen, hal ini dapat dilihat saat pengecoran kebutuhan air semakin bertambah seiring bertambahnya kadar bottom ash dalam campuran. Untuk itu kita melakukan penambahan air pada saat pengecoran karena jika mengacu pada kebutuhan air sesuai perhitungan campuran beton normal maka campuran beton yang menggunakan bottom ash akan kering. Penambahan air tersebut akan berdampak pada nilai FAS (faktor air semen) serta nilai slumpnya. Selain itu, juga terjadi kendala saat proses pemindahan adukan beton ke dalam bekisting. Kendala tersebut adalah proses pemerataan di dalam bekisting, dalam proses pemerataan dilakukan tumbukan secara manual sehingga proses pemerataan kurang maksimal.

Tumpuan sendi roll digunakan pada saat pemasangan balok uji ke loading frame, beban diletakkan ditengah bentang balok dengan load cell sebagai alat pembacaannya. Guna meneliti lendutan yang terjadi, dilakukan pemasangan 2 buah dial guage yang diletakkan di sepertiga bentang uji karena diasumsikan akan terjadi lendutan maksimum di posisi tersebut. Retak yang terjadi hanya retak akibat geser, hal ini dibuktikan oleh pola retak yang terjadi dari tumpuan mengarah ke pusat pembebanan dan membentuk pola miring horisontal. Hal ini sesuai dengan perencanaan yaitu mengusahakan agar retak yang terjadi hanya retak akibat geser saja serta meniadakan akibat lentur.

### Kuat Geser Balok

Metode perencanaan balok uji adalah metode kekuatan batas dimana balok dalam keadaan batas runtuh. Dari pembacaan load cell indicator saat balok dalam keadaan batas runtuh didapatkan nilai  $P_n$  uji yang terjadi tiap-tiap prosentase kadar bottom ash dan lama perendaman yang menunjukkan

adanya peningkatan dan penurunan nilai beban runtuh ( $P_n$  uji). Hasil uji beban runtuh pada pada tiap-tiap prosentase kadar bottom ash dan lama perendaman dapat dilihat pada tabel berikut ini:

**Tabel 10.**  $V_u$  Uji

Prosentase Bottom Ash (%)	Lama Perendaman (hari)	$V_u$ Uji (kg)
0	7	625
	14	611.25
	28	592.5
10	7	700
	14	672.5
	28	695
20	7	615
	14	577.5
	28	625
25	7	636.25
	14	615
	28	650

Dari tabel 4.12 bahwa prosentase kadar bottom ash 10% terjadi peningkatan kuat geser terhadap prosentase bottom ash 0%. Lalu untuk prosentase kadar bottom ash 20% terjadi penurunan kuat geser. Peningkatan atau penurunan kapasitas lentur tidak hanya disebabkan oleh prosentase kadar bottom ash yang berbeda-beda sehingga menghasilkan kuat geser yang berbeda-beda, namun juga terjadi karena bahan campuran beton yang kurang mendapat perawatan serta mutu beton yang berbeda-beda pada masing-masing balok. Sehingga untuk analisis perhitungan secara teoritis, dilakukan uji statistik keseragaman terlebih dahulu terhadap elemen-elemen perhitungan yang memiliki nilai yang jauh bervariasi guna mendapatkan nilai yang homogen.

Peningkatan kuat geser terbesar terjadi pada prosentase kadar bottom ash 10%. Hal ini mungkin disebabkan karena bottom ash itu sendiri mempunyai salah satu unsur kimia semen yang penting pada proses pengikatan yaitu silika. Kandungan silika

pada bottom ash mencapai 29,04%, jumlah tersebut melebihi jumlah kandungan silika pada semen yang berkisar antara 17-25%. Sehingga bottom ash tersebut diharapkan dapat bekerja sebagai pengganti semen pada balok dengan prosentase tertentu pada campuran.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang diuraikan pada bab sebelumnya, maka dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh penambahan variasi campuran bottom ash sebagai pengganti semen yang belum terencana secara sempurna menyebabkan nilai kuat tekan beton belum mencapai nilai kuat tekan yang direncanakan.
2. Dari nilai kuat tekan yang berbeda-beda tersebut menghasilkan nilai kapasitas geser yang berbeda-beda pula. Hal ini disebabkan adanya penambahan kebutuhan jumlah air dari perencanaan awal seiring dengan bertambahnya jumlah bottom ash dalam campuran.
3. Sifat dari bottom ash itu menyerap air lebih banyak.
4. Dari hasil penelitian yang dilakukan campuran bottom ash dengan kadar prosentase 10% memiliki nilai kapasitas geser yang paling besar dan nilai kapasitas geser yang paling rendah terjadi pada prosentase campuran bottom ash 25%.
5. Terjadi peningkatan nilai kapasitas geser pada prosentase campuran bottom ash 0% sampai 10% sedangkan penurunan nilai kapasitas lentur pada prosentase campuran bottom ash 20% sampai 25%.
6. Ada pengaruh lama perendaman dengan menggunakan air laut akan tetapi tidak terlalu signifikan terhadap nilai kuat geser pada balok. Hal tersebut dapat dilihat dari data hasil penelitian yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan atau

penurunan nilai kuat geser yang tidak terlalu besar.

7. Analisis varian 2 arah dan analisis regresi yang menunjukkan adanya pengaruh lama perendaman terhadap nilai kuat geser pada balok yang tidak terlalu signifikan. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai kapasitas lentur rata-rata yang paling besar terjadi pada perendaman 28 hari.

Terjadi pengaruh udara luar terhadap beton, dikarenakan pengujian benda uji tidak dilakukan sesaat setelah pengangkatan dari perendaman.

## SARAN

Pada penelitian ini masih banyak permasalahan yang belum dikaji secara mendalam dan detail. Oleh karena itu, saran yang dapat direkomendasikan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Pada saat merencanakan campuran beton dengan menggunakan bottom ash mohon lebih diperhatikan lagi. Terutama untuk nilai FAS (faktor air semen) atau kebutuhan air pada campuran beton. Hal ini disebabkan bottom ash menyerap air lebih banyak.
2. Pada saat proses pengadukan supaya dilakukan pengecekan terhadap alat pencampur beton karena apabila adukan beton tidak merata dapat mengurangi kekuatan dari beton itu sendiri. Dan jangan terlalu lama saat proses pengadukan.
3. Pada saat proses pemerataan adukan beton diharapkan untuk memakai vibrator agar adukan tersebar secara merata. Sehingga dalam benda uji tidak ada rongga udara.
4. Pengujian dilakukan sesaat setelah pengangkatan dari perendaman.
5. Pada saat proses pengujian balok disarankan untuk memakai alat strain gauge. Untuk dapat mengetahui batas runtuh dari balok tersebut.

6. Selain pengecekan terhadap alat pencampur beton diharapkan untuk dilakukan pengecekan terhadap alat untuk pengujian balok.

#### 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 1  
. 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://puslit.petra.ac.id/journals/civil/Coal%20Bottom%20Ash/Boiler%20Slag-Material%20Description), [http://www.cedar.at/mailarchives/waste/cbabs1.htm], 2000.  
Nawy, E. G., 2003,  
Reinforced Concrete a Fundamental Approach , 5th ed., Pearson Education Ltd., London.