

# PENGARUH CAMPURAN KADAR *BOTTOM ASH* DAN LAMA PERENDAMAN AIR LAUT TERHADAP POLA, LEBAR DAN KEDALAMAN RETAK PADA BALOK

Dwi Yulianto Dimas P G, Roland Martin S., Christin Remayanti N.

Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

e-mail : [dydimasp@gmail.com](mailto:dydimasp@gmail.com)

## ABSTRAK

Selama PLTU masih bekerja, limbah *bottom ash* akan terus menumpuk dan menghabiskan lahan untuk tempat pembuangannya. Maka dari itu kemudian dilakukan pengkajian untuk memanfaatkan limbah tersebut. Untuk mengetahui hasil pengaruh *bottom ash* dan lama perendaman dengan air laut maka pada penelitian ini digunakan balok beton bertulang berukuran 7x10x110cm dengan 2 perbedaan jenis pemasangan sengkang 4 variasi kadar campuran *bottom ash* dan 3 variasi lama perendaman dengan air laut. Yang kemudian diamati pola, lebar dan kedalaman retaknya. Pengamatan lebar retak menggunakan *crack detector microscope* sedangkan untuk mengukur kedalaman retaknya digunakan UPV(*Ultrasonic Pulse Velocity*).

Dari pengujian ini didapatkan bahwa terdapat pengaruh variasi campuran *bottom ash* dimana nilai kuat tekan yang paling tinggi terjadi pada campuran *bottom ash* 10%. Demikian juga halnya dengan hasil pengamatan pola retak, dimana hingga terjadi kegagalan geser pada balok uji dengan keruntuhan geser. Hal ini terjadi pada balok beton dengan keruntuhan geser perendaman 28 hari campuran *bottom ash* 10%. Perbedaan kemunculan retak awal pada benda uji dengan keruntuhan geser perendaman 14 hari menunjukkan pengaruh variasi kadar campuran *bottom ash* terhadap lebar retak. Berikut juga dengan besar nilai lebar retak maksimum pada balok dengan keruntuhan lentur durasi perendaman 28 hari yang dianalisis oleh peneliti. Yaitu, **0,16** mm pada campuran *bottom ash* 0%; **0,10** mm pada campuran *bottom ash* 10%; **0,12** mm pada campuran *bottom ash* 20% dan sebesar **0,13** mm pada campuran *bottom ash* 25%. Variasi durasi perendaman air laut juga memberikan pengaruh yang cukup signifikan. Seperti pada keruntuhan lentur perendaman 14 hari yaitu dengan lebar retak **0,10** mm untuk campuran *bottom ash* 0%; **0,13** mm untuk campuran *bottom ash* 10%; **0,14** mm untuk campuran *bottom ash* 20% dan **0,12** mm untuk campuran *bottom ash* 25%. Dengan lebar retak maksimum yang diijinkan oleh ACI Code untuk daerah basah khususnya dalam lingkup air laut adalah 0.15 mm dan sering dibulatkan menjadi 0.20 mm, sehingga hasil penelitian ini masih bisa digunakan sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya. Keterbatasan alat uji menjadi masalah utama dalam pengukuran kedalaman retak. Hal ini menyebabkan tidak dapat dihimpunnya data dengan baik.

**Kata kunci:** *bottom ash, balok beton, rendaman, kuat tekan beton, uji silinder, pembebanan lentur, uji UPV, pola retak, lebar retak, kedalaman retak*

## 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 pola retak pada balok.
2. 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 lebar retak pada balok.
3. 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 kedalaman retak pada balok.

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pengaruh variasi campuran *Bottom Ash* dan lama perendaman dalam air laut terhadap pola, lebar dan kedalaman retak 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).

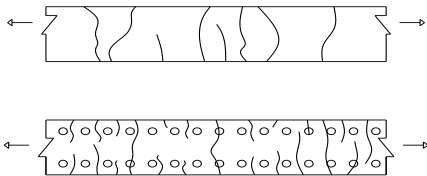
*Bottom Ash* adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga listrik yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *Fly Ash*, untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan.

Pada struktur bangunan, dewasa ini banyak digunakan bahan-bahan kuat tinggi, termasuk penggunaan bahan beton dan baja tulangan. Bagian struktur beton pada daerah yang mengalami tarik umumnya memperlihatkan suatu fenomena retak pada permukaannya. Retak-retak ini tidak merugikan kecuali bila lebar retaknya menjadi melebihi batas, dalam hal ini

keawetan beton terganggu karena kondisi tulangnya menjadi terbuka terhadap korosi.

Retak pada beton merupakan kontribusi dan awal dari kesan yang lebih parah lagi yaitu berlangsungnya proses korosi tulangan baja, rusaknya permukaan beton dan dampak kerusakan jangka panjang lainnya. Oleh karena itu pengetahuan perilaku retak dan pengendalian lebar retak merupakan hal penting dalam memperhitungkan kemampuan komponen struktur pembebanan jangka panjang (Nawy, E.G 1998).

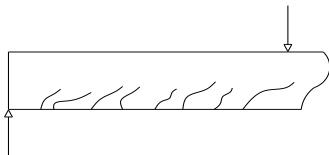
Berikut adalah jenis-jenis pola retak yang sering terjadi pada beton:



**Gambar 1.** Retak beton akibat gaya tarik  
(Sumber: J.K. Width and J.G. MacGregor, 2012)



**Gambar 2.** Retak beton akibat momen  
(Sumber: J.K. Width and J.G. MacGregor, 2012)



**Gambar 3.** Retak beton akibat geser  
(Sumber: J.K. Width and J.G. MacGregor, 2012)

Retak terjadi di sepanjang balok dimana momen aktualnya lebih besar daripada momen retak. Karena beton pada daerah yang mengalami retak tersebut jelas tidak dapat menahan tegangan tarik, maka bajalah yang harus melakukannya. Tahap ini akan terus berlanjut selama tegangan tekan pada serat bagian atas lebih kecil daripada setengah dari kuat tekan beton  $f'_c$  dan selama tegangan baja lebih kecil daripada titik lelehnya. Lebar retak merupakan salah satu faktor yang menyebabkan peningkatan laju korosi. Semakin banyak retak yang

terjadi akibat pembebanan, semakin mudah air laut masuk ke dalam konstruksi beton. Apabila intrusi yang terjadi telah sampai ke tulangan, akan terjadi reaksi kimia antara air laut dengan baja tulangan yang menyebabkan korosi (Nawy, E.G 1998).

**Tabel 1.** Lebar Retak Maksimum Menurut Kondisi Lingkungan

No	Kondisi lingkungan	Lebar retak	
		Inch	mm
1.	Udara kering/membran terlindung	0.016	0.41
2.	Udara lembab tanah	0.012	0.3
3.	Senyawa kimia	0.007	0.18
4.	Air laut basah/kering	0.006	0.15
5.	Struktur penahan air (tidak termasuk pipa tak bertekanan)	0.004	0.10

(Sumber: Beton Prategang: Suatu Pendekatan Mendasar. Edward G. Nawy, 2001)

Lebar retak yang terjadi pada suatu struktur beton bertulang akan bervariasi dan tidak dapat diperkirakan secara tepat. Sehingga syarat pembatasan yang harus dipenuhi adalah lebar retak yang terjadi tidak boleh melebihi lebar retak maksimum. Harga maksimum lebar retak itu sendiri tergantung pada kondisi lingkungan sekitar beton. Untuk menghitung lebar retak maksimum dan retak yang terjadi pada permukaan tarik suatu gelagar dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$W = 11 \times 10^{-6} \beta \cdot f_s (d_c \cdot A)^{1/3}$$

(SNI 03-284-2002 pasal 12.6 ayat 4)

Dimana:

W = Lebar retak maksimum (inch atau mm)

$f_s$  = Tegangan maksimum pada tulangan untuk taraf beban kerja yang apabila tidak dihitung dapat digunakan 0.6  $f_y$

$\beta$  = Perbandingan jarak dan permukaan tarik dari pusat tulangan terhadap sumbu netral

$$\beta = \frac{h-c}{d-c} \text{ dengan } \beta = 1,2$$

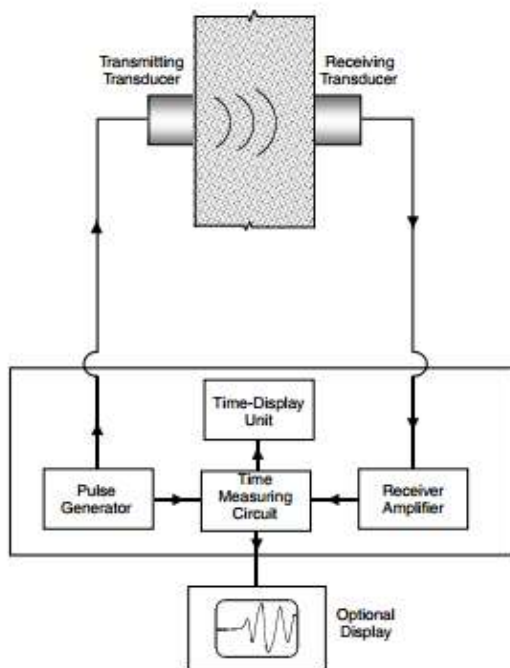
$d_c$  = Tebal selimut beton sampai pusat tulangan

A = Luas penampang beton yang mengelilingi suatu tulangan



**Gambar 4.** *Ultrasonic Pulse Velocity(UPV)*  
(Sumber : www.proceq.com)

*Ultrasonic Pulse Velocity(UPV)* merupakan salah satu metode *Non Destructive Test* dengan menggunakan gelombang ultrasonik yang didasari pengukuran waktu tempuh gelombang. Waktu tempuh gelombang dibaca oleh pengukur waktu pada UPV dan ditampilkan dalam bentuk kecepatan gelombang.

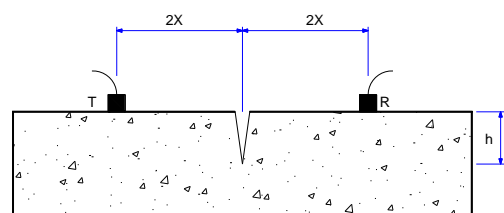
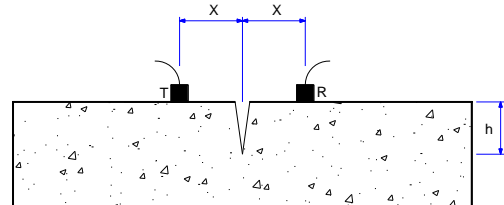


**Gambar 5.** Diagram alir uji UPV  
(Sumber: V.M Maholtra dan N.J Carino, 2004)

Pengujian UPV memiliki banyak manfaat untuk melakukan pemeriksaan pada beton. Salah satu pengujian UPV pada beton adalah mengukur kedalaman retak. Pengukuran kedalaman retak menggunakan UPV dilakukan dengan metode *indirect transmission*.

Pada dasarnya, pengukuran keretakan dapat didekati dengan cara mengetahui waktu dan jarak tempuh gelombang.

*Transmitter* dan *receiver* diletakkan secara berseberangan pada permukaan beton dengan jarak tertentu. Pengukuran dilakukan pada bagian beton yang retak. Jarak antara *transmitter* dan *receiver* diatur sedemikian rupa pada permukaan beton



**Gambar 6.** Pengukuran Keretakan Dengan Uji UPV

Kedalaman retak dapat diketahui dari hubungan jarak X terhadap waktu tempuh  $T_1$  dan  $T_2$ . Menurut *British Standard 1881* pendekatan hubungan jarak *transducer*, waktu tempuh  $T_1$  dan  $T_2$  dapat dilihat pada persamaan empiris yaitu:

$$h = x \sqrt{\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}}$$

Dengan:

$h$  = kedalaman retak

$x$  = jarak antara *transmitter* atau *receiver* terhadap garis retak(disarankan 15 cm)

$t_1$  = waktu tempuh gelombang ultrasonik pada jarak x terhadap garis retak

$t_2$  = waktu tempuh gelombang ultrasonik pada jarak 2x terhadap garis retak

## 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.

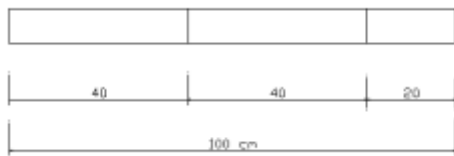
Selanjutnya dikarenakan peneliti menggunakan jumlah dan ukuran tulangan

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:

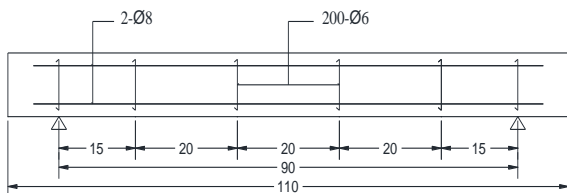
Keruntuhan lentur dan keruntuhan geser akan terjadi secara bersamaan apabila jarak sengkang(s) yang dipakai adalah 24,661 cm, sehingga:

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

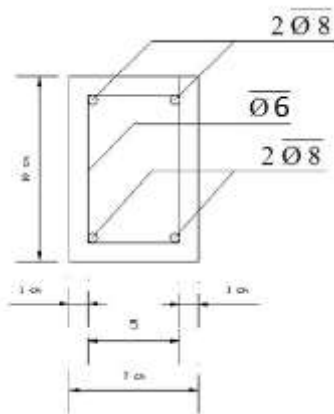
Sehingga untuk balok beton dengan L = 110 cm digunakan sejumlah 6 sengkang untuk mendapatkan keruntuhan lentur dan sejumlah 4 sengkang untuk memperoleh keruntuhan geser.



**Gambar 7.** Rencana pemasangan sengkang untuk balok yang akan mengalami keruntuhan geser

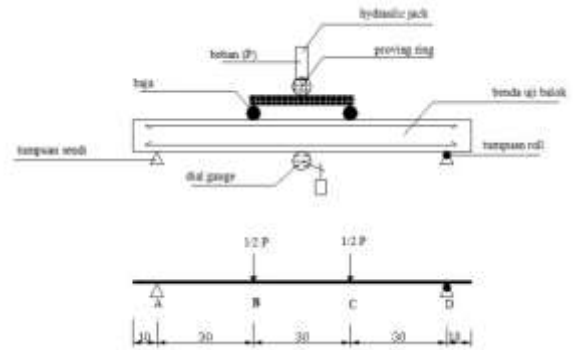


**Gambar 8.** Rencana pemasangan sengkang untuk balok yang akan mengalami keruntuhan lentur

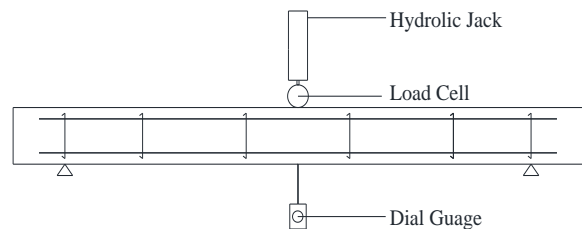


**Gambar 9.** Potongan A untuk tiap balok

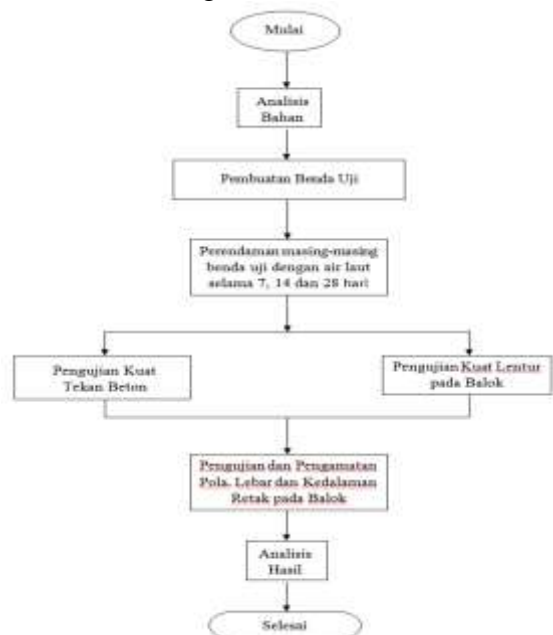
Selain menggunakan 2 tipe keruntuhan, pada saat pengujian juga digunakan 2 tipe pembebanan. Untuk pengujian sampel balok beton dengan keruntuhan lentur digunakan pembebanan balok dengan satu beban terpusat di tengah bentang dengan jarak 45 cm dari tumpuan dan untuk pengujian sampel balok beton dengan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



**Gambar 10.** Skema pembebanan untuk balok dengan keruntuhan geser



**Gambar 11.** Skema pembebanan untuk balok dengan keruntuhan lentur



**Gambar 12.** 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 2.** 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	
	28 Hari	345	19,523	18,806
		335	18,957	
		317	17,938	
20	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)

### Pola Retak

Pengamatan pola retak pada balok beton dimulai dengan memberi skala pada tiap benda uji balok beton. Skala yang kami gunakan disini adalah 2,5 cm.

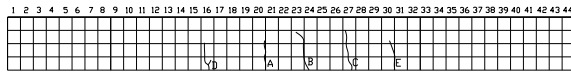
Kemudian dilakukan penomoran untuk tiap retak yang terjadi. Penomoran yang diberikan disini berupa huruf alfabet, urutannya menunjukkan retak-retak mana yang muncul terlebih dahulu. Sedangkan pewarnaan menggunakan kapur yang berbeda pada satu retakan yang sama bertujuan untuk menunjukkan retak lanjutan dari suatu retak awal. Urutannya adalah warna merah untuk retak ke-1, warna biru untuk retak ke-2, warna kuning untuk retak ke-3 dan hijau untuk retak ke-4. Dan urutan warna berulang kembali dari warna merah untuk retak ke-5 dan seterusnya. Tetapi dari hasil pengujian jarang sekali didapatkan retak lanjutan ke-5(atau lebih) sehingga tidak mempersulit pengamatan yang harus dilakukan.

Hasil pengamatan retak pada balok beton dengan keruntuhan lentur sesuai dengan perencanaan. Selama pemberian beban pada balok telah terjadi retak lentur dengan arah tegak lurus sumbu balok. Jika dilihat secara keseluruhan, retak mulai terjadi pada awal-awal pembebanan di tengah bentang karena daerah tersebut mendapat lendutan dan memikul momen paling besar. Retak yang terjadi pada awal-awal pembebanan berupa retak halus, seiring pertambahan beban, retak yang terjadi semakin lebar dan jelas terlihat memanjang ke arah vertikal mendekati sumbu netral beton. Hal ini disebabkan oleh kuat lentur balok yang tidak mampu menahan pembebanan, sehingga balok beton runtuh lebih dulu akibat kuat lentur sebelum mengalami tegangan geser maksimum.

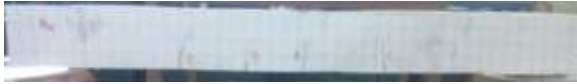
Berikut adalah hasil dokumentasi peneliti untuk balok dengan keruntuhan lentur:



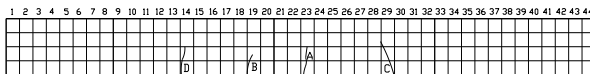
(Sumber: Hasil Dokumentasi)



**Gambar 13.** Balok Runtuh Lentur Perendaman 7 Hari dengan Kadar BA 10%



(Sumber: Hasil Dokumentasi)



**Gambar 14.** Balok Runtuh Lentur Perendaman 14 Hari dengan Kadar BA 0%

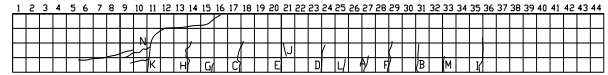
Pola retak pada hasil uji dapat menunjukkan pada kita perilaku beton ketika mendapatkan pembebanan. Pada balok beton dengan runtuh lentur secara keseluruhan hasil yang muncul adalah retak lentur. Retak utamanya berada di tengah bentang, tepat di sekitar titik pembebanan. Hal ini terjadi karena setelah dibebani, balok mengalami lendutan dan kemudian di daerah tersebut mengalami momen maksimum.

Untuk balok beton dengan keruntuhan geser, retak geser tidak bisa didapatkan. Retak yang diperoleh adalah retak lentur-geser. Retak lentur-geser dapat terjadi karena balok beton dibebani melampaui kekuatan lenturnya hingga kemudian melampaui kekuatan gesernya. Penyebab retak geser tidak bisa didapatkan ada beberapa hal, antara lain adalah proses perencanaan yang kurang tepat, akibatnya validitas hasil uji tidak begitu baik. Kemudian dapat disebabkan juga oleh *human error* pada saat pembuatan. Ketidakfokusan peneliti bisa menjadi awal dari sebuah kelalaian dan kelalaian dapat menjadi kesalahan pada saat pembuatan. Selain itu faktor alat yang kurang lengkap maupun yang tidak berfungsi dengan baik juga dapat menjadi penyebab tidak bisa didupakannya benda uji balok beton yang baik sehingga tidak dapat menghasilkan retak geser yang diinginkan.

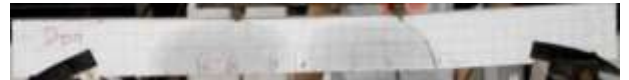
Berikut adalah hasil dokumentasi peneliti untuk balok dengan keruntuhan geser:



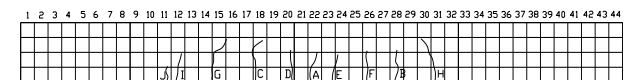
(Sumber: Hasil Dokumentasi)



**Gambar 15.** Balok Runtuh Geser Perendaman 7 Hari dengan Kadar BA 10%



(Sumber: Hasil Dokumentasi)



**Gambar 16.** Balok Runtuh Geser Perendaman 28 Hari dengan Kadar BA 10%

Pada balok beton dengan runtuh geser secara keseluruhan hasil yang muncul adalah retak lentur-geser. Retak ini merupakan retak diagonal yang berawal dari daerah luar pembebanan menuju ke titik pembebanan terdekat. Pada balok beton dengan runtuh geser jumlah retak yang terjadi juga lebih banyak daripada balok beton dengan runtuh lentur. Ini dikarenakan karena pada balok beton dengan runtuh geser digunakan pembebanan dengan 2 titik terpusat simetris yang mengakibatkan retak terdistribusi secara merata.

Dapat juga kita lihat pada **Gambar 16**. terjadi kegagalan geser. Hal ini dikarenakan sebelum tegangan gesernya mencapai maksimum, balok beton sudah runtuh terlebih dahulu akibat dari kuat lenturnya yang tidak mampu menahan pembebanan.

### Lebar Retak

Pengamatan lebar retak pada balok beton dilakukan setiap interval pembebanan 100 kg dengan bantuan alat *crack detector microscope*.

Karena pada pembebanan sebuah balok, balok akan mengalami tegangan dan regangan. Melewati 70% dari beban saat balok mengalami keruntuhan, materialnya banyak kehilangan kekakuannya sehingga menambah ketidaklinieran diagram (Nawy,

1985). Maka dari itu lebar retak yang akan dianalisis di sini adalah lebar retak yang  $\leq 70\%$  dari beban saat balok mengalami keruntuhan.

**Tabel 3.** Retak Aktual Rata-Rata Untuk Balok dengan Keruntuhan Lentur

Kadar BA	Lama Perendaman (hari)		
	7 (mm)	14 (mm)	28 (mm)
0%	0.095	0.180	0.160
10%	0.135	0.130	0.100
20%	0.145	0.120	0.125
25%	0.125	0.135	0.130

(Sumber: Hasil Penelitian)

**Tabel 4.** Retak Aktual Rata-Rata Untuk Balok dengan Keruntuhan Geser

Kadar BA	Lama Perendaman (hari)		
	7 (mm)	14 (mm)	28 (mm)
0%	0.080	0.125	0.015
10%	0.000	0.055	0.000
20%	0.030	0.035	0.000
25%	0.000	0.015	0.035

(Sumber: Hasil Penelitian)

Karena lebar retak yang terjadi pada suatu struktur beton bertulang akan bervariasi dan tidak dapat diperkirakan secara tepat. Maka syarat pembatasan yang harus dipenuhi adalah lebar retak yang terjadi tidak boleh melebihi lebar retak maksimum. Harga maksimum lebar retak itu sendiri tergantung pada kondisi lingkungan sekitar beton. Kemudian dapat diketahui mana-mana retak aktual yang sesuai syarat pembatasan yang ada.

**Tabel 5.** Lebar Retak Perhitungan Untuk Balok dengan Keruntuhan Lentur

Kadar BA	Lama Perendaman (hari)		
	7	14	28
0%	0.0854	0.0723	0.0789
10%	0.0854	0.0853	0.0723
20%	0.0658	0.0789	0.0854
25%	0.0788	0.0723	0.0789

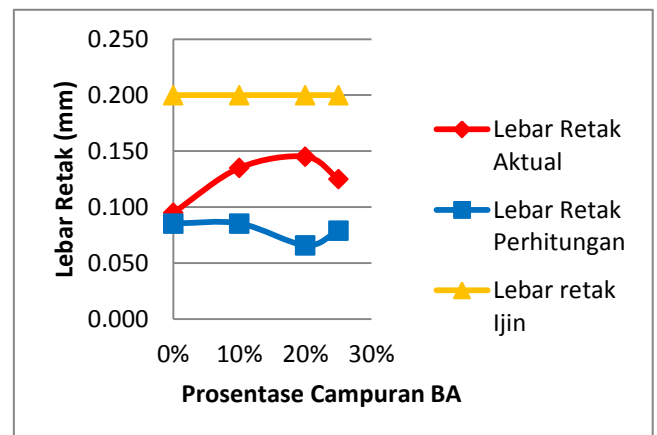
(Sumber: Hasil Penelitian)

**Tabel 6.** Lebar Retak Perhitungan Untuk Balok dengan Keruntuhan Geser

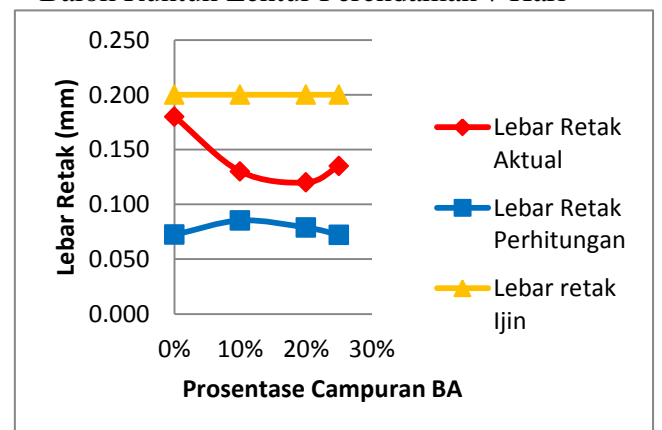
Kadar BA	Lama Perendaman (hari)		
	7	14	28
0%	0.1506	0.0984	0.1049
10%	0.1180	0.1179	0.0006
20%	0.1049	0.0984	0.1115
25%	0.1049	0.1114	0.1115

(Sumber: Hasil Penelitian)

Selain akan membandingkan antara lebar retak aktual dan perhitungan, peneliti juga akan membandingkan dengan retak ijin untuk beton yang berada di lingkungan laut. Dalam hal ini lebar retak maksimum yang diijinkan oleh ACI Code untuk daerah basah khususnya dalam lingkup air laut pada tabel yang sudah dicantumkan **Tabel 1**, yaitu 0.15 mm dan sering dibulatkan menjadi 0.20 mm. Dan berikut adalah grafik yang dapat disajikan melalui perbandingan ketiganya:

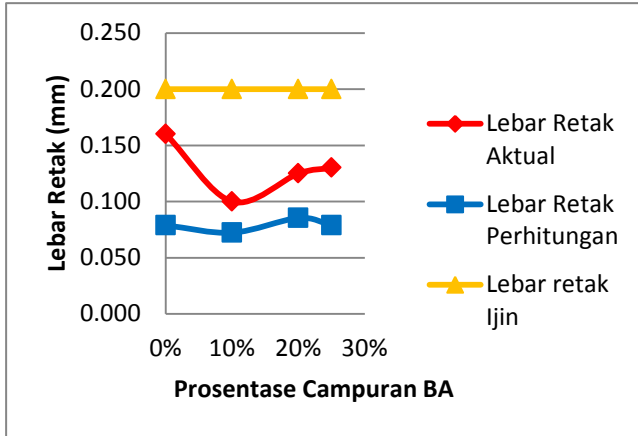


**Grafik 1.** Perbandingan Lebar Retak pada Balok Runtuh Lentur Perendaman 7 Hari



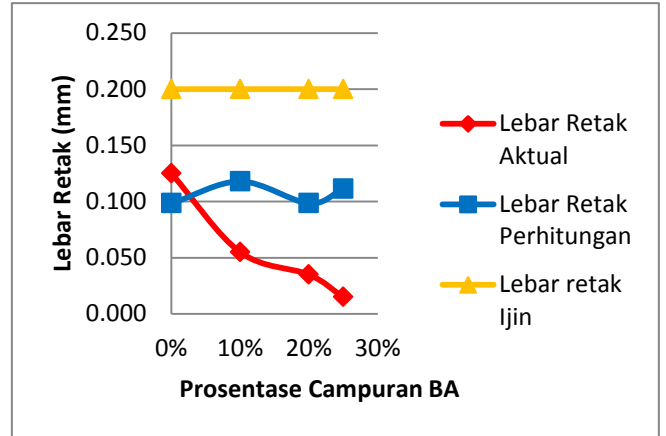
**Grafik 2.** Perbandingan Lebar Retak pada Balok Runtuh Lentur Perendaman 14 Hari



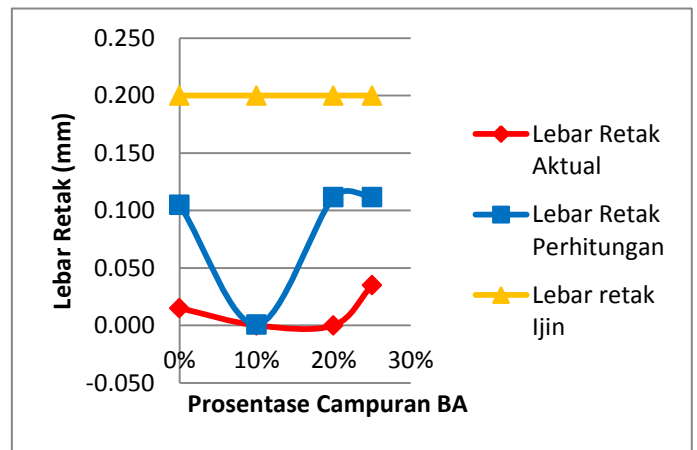


**Grafik 3.** Perbandingan Lebar Retak pada Balok Runtuh Lentur Perendaman 28 Hari

Kadar campuran 10% merupakan kadar campuran terbaik dari penelitian kali ini. Hal ini didasari oleh tren kadar campuran 10% yang lebih stabil jika dibandingkan kadar campuran lainnya. Pada kadar 0% dan 20%, tren yang ditunjukkan oleh retak aktual hanya baik pada satu variasi perendaman saja. Sedangkan untuk kadar 25% tren yang terjadi sudah cukup baik, tetapi pada variabel perendaman 28 hari kadar 10% mengalami lebar retak aktual yang lebih baik.



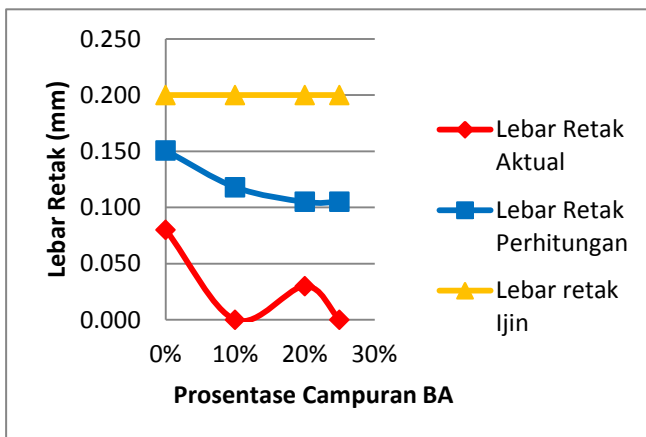
**Grafik 5.** Perbandingan Lebar Retak pada Balok Runtuh Geser Perendaman 14 Hari



**Grafik 6.** Perbandingan Lebar Retak pada Balok Runtuh Geser Perendaman 28 Hari

Pada balok beton dengan keruntuhan geser, retak aktual yang terjadi berada di bawah retak perhitungan. Hal ini disebabkan karena retak lentur-geser pada balok runtuh geser yang muncul tiba-tiba pada pembebanan tertentu. Tidak secara gradual seperti retak lentur yang terjadi pada balok runtuh lentur. Disamping itu, kemunculan awal retak lentur-geser juga terjadi di sekitaran akhir interval pembebanan balok beton uji.

Dapat dilihat secara keseluruhan bahwa retak yang terjadi tidak berselisih jauh dengan retak perhitungan dan juga tidak melewati batas yang diberikan retak ijin. Bahkan pada retak dengan runtuh geser, retak aktual berada di bawah retak perhitungan. Dan karena semua retak aktual

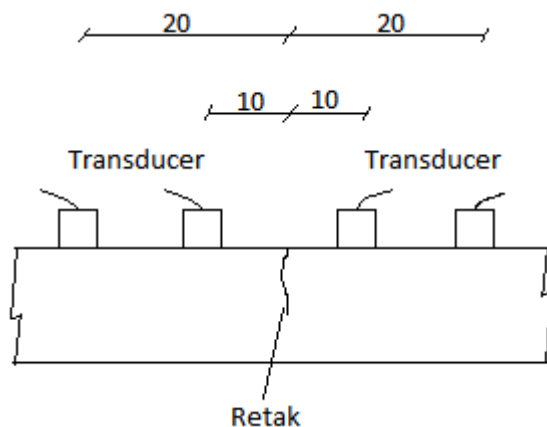


**Grafik 4.** Perbandingan Lebar Retak pada Balok Runtuh Geser Perendaman 7 Hari

pada  $\leq 70\%$  dari beban saat balok mengalami keruntuhan masih berada dibawah retak ijin, maka penelitian ini masih bisa digunakan sebagai acuan untuk penelitian berikutnya.

### Kedalaman Retak

Untuk pengukuran kedalaman retak digunakan UPV dengan metode *Indirect Transmission*. Aplikasinya adalah dengan meletakkan transmitter dan receiver hanya diantara satu retakan pada satu bidang permukaan. Pada penelitian ini jarak efektif *transducer* UPV yang digunakan adalah 10 cm. Pengambilan data dilakukan pada retak utama (retakan dengan lebar retak terbesar) seperti pada gambar berikut:



**Gambar 17.** Tampak Samping

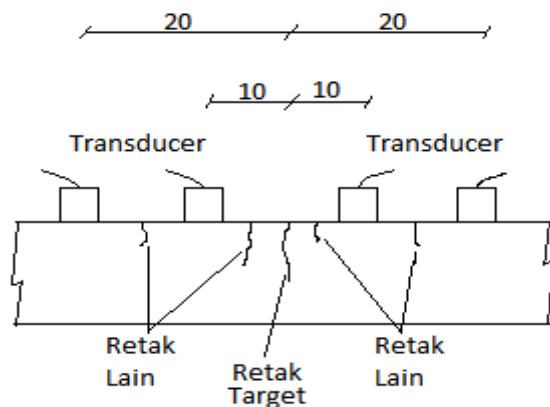
Akan tetapi, alat ini memiliki keterbatasan yang cukup signifikan. Seperti yang sudah digaris bawahi pada paragraf sebelumnya, yaitu hanya dapat mengukur satu retakan saja pada satu bidang permukaan. Untuk mendapatkan hasil yang valid, pada saat pengukuran suatu retak tidak diperbolehkan adanya retakan lain selain retak yang ingin diukur kedalamannya. Hal ini menyebabkan tidak bisa didapatkannya data yang baik dari setiap pengukuran karena keterbatasan alat. Sehingga pengamatan kedalaman retak tidak dibahas lebih lanjut pada penelitian kali ini.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Terdapat pengaruh variasi campuran *bottom ash* terhadap pola retak. Karena secara kasat mata dapat kita lihat bahwa pada benda uji dengan keruntuhan geser kadar campuran BA 10% perendaman 28 hari terjadi kegagalan geser maupun lentur-geser. Sedangkan untuk variasi lamanya perendaman air laut tidak terdapat pengaruh yang signifikan. Hal ini disebabkan karena tidak adanya perbedaan pola retak yang terjadi pada tiap variasi durasi perendaman.
2. Variasi campuran *bottom ash* terhadap lebar retak berpengaruh secara signifikan. Seperti pada benda uji dengan keruntuhan lentur durasi perendaman 28 hari. Disini, pada lebar retak maksimum yang dianalisis oleh peneliti ( $\leq 70\%$  dari beban maksimum) pada campuran *bottom ash* 0% lebar retaknya **0,16 mm**; pada campuran BA 10% adalah **0,10 mm**; pada campuran BA 20% adalah **0,12 mm** dan pada campuran 25% sebesar **0,13 mm**. Variasi durasi perendaman air laut juga memberikan pengaruh terhadap lebar retak. Seperti yang terjadi pada keruntuhan lentur perendaman 14 hari, yaitu dengan lebar retak **0,10 mm** untuk campuran *bottom ash* 0%; **0,13 mm** untuk campuran BA 10%; **0,14 mm** untuk campuran BA 20% dan **0,12 mm** untuk campuran BA 25%. Dengan lebar retak maksimum yang diijinkan oleh ACI Code untuk daerah basah khususnya dalam lingkup air laut adalah 0,15 mm (digunakan 0,20 mm), sehingga penelitian ini masih bisa digunakan sebagai acuan untuk penelitian berikutnya.
3. Untuk pembahasan kedalaman retak tidak bisa dibahas lebih lanjut karena alat uji memiliki keterbatasan dalam aplikasinya untuk mengumpulkan data. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, pada saat melakukan pengukuran, UPV tidak dapat

mentoleransi adanya retak lain disekitar retak yang akan diukur kedalamannya.



**Gambar 18.** Keterbatasan UPV

### SARAN

Dari kesimpulan di atas maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan penelitian agar memperoleh hasil yang lebih baik pada penelitian selanjutnya, diantaranya :

1. Perlu adanya perencanaan yang lebih matang untuk menghasilkan retak lentur dan retak geser yang sempurna. Terutama pada pembagian balok dengan runtuh lentur dan balok dengan runtuh geser.
2. Perencanaan 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.
3. Permukaan benda uji dibuat harus lebih rata. Kondisi permukaan yang tidak rata seperti lubang maupun tonjolan batu kerikil pada permukaan beton dapat mempengaruhi alat uji UPV.
4. Pada saat proses pemerataan adukan beton diharapkan untuk memakai *vibrator* agar adukan tersebar secara merata. Sehingga dalam benda uji tidak ada rongga udara.
5. Pada saat proses pengujian balok disarankan untuk memakai alat *strain gauge*. Untuk dapat mengetahui batas runtuh dari balok tersebut.

6. Perlu adanya penelitian terhadap alat uji UPV secara lebih lanjut untuk bentuk retak secara diagonal, jumlah retak yang lebih dari satu, variasi lebar retak dan variasi jarak *transducer*.

### DAFTAR PUSTAKA

- Amri, Sjafei. 2005. *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta: Yayasan John Hi-Tech Idetama.
- British Standard Institution. 1986. *BS 1881 Part 203 Recommendations For Measurement Of Velocity Of Ultrasonic Pulses In Concrete: Testing Concrete*. England: British Standard Institution
- Dicky Rezandy Munaf, Fritz Torang Siahaan. 2003. *Concrete Repair and Maintenance*. Jakarta: Yayasan JOHN HI-TECH IDETAMA
- Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- <http://cementaid.co.id/wp-content/uploads/2011/12/Anti-Korosi-Lingkungan-Laut.pdf>
- McCormac, Jack C. 2004. *Desain Beton Bertulang*. Terjemahan Sumargo, Ph.D. Jakarta: Erlangga
- Maholtra, VM & Carino, NJ. 2004. *Non Destructive Testing Of Concrete*. New York: CRC Press
- Mosley, W.H. dan Bungey, J.H. 1989. *Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga
- Mosley, W.H. & Bungey, J.H. 1989. *Reinforced Concrete Design*. Jilid 3. Terjemahan Iwan Gunawan & Bambang Supriyadi. Jakarta: Erlangga
- Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: ANDI

- Nawy, Edward G. 1990. *Beton Bertulang, Suatu Pendekatan Dasar*. Terjemahan Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc. Bandung: PT Refika Aditama
- Nawy, Edward G. 2001. *Beton Prategang: Suatu Pendekatan Mendasar*. Terjemahan Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc. Jakarta: Erlangga
- Park, R and Paulay, T. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. New York City: John Wiley & Sons, Inc.
- Proceq. 2011. *Manual Pundit Lab/Pundit Lab +*. Switzerland: Proceq
- Wicaksono, Agung dan Faizirin, Fauzan. 2009. *Pengaruh Air Laut pada Perawatan(Curing) Beton Terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi Beton dengan Variasi Fas dan Durasi Perawatan*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil UB. Tidak Dipublikasikan
- Wright, James dan MacGregor James. 2012. *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. New Jersey: Pearson Education, Inc.