

# PENGARUH CAMPURAN KADAR *BOTTOM ASH* DAN LAMA PERENDAMAN AIR LAUT TERHADAP KUAT TEKAN, LENDUTAN, KAPASITAS LENTUR, KUAT GESER DAN POLA RETAK BALOK

Ristinah Syamsuddin<sup>1</sup>, Taufik Hidayat<sup>1</sup>, Ari Wibowo<sup>1</sup>, Devi Nuralinah<sup>1</sup>,  
R. Martin Simatupang<sup>1</sup>, Christin Remayanti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dosen / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik / Universitas Brawijaya  
Jl. MT. Haryono No. 167 Malang, 65145, Jawa Timur

## ABSTRAK

*Bottom ash* merupakan salah satu limbah PLTU karena jumlahnya yang sangat banyak dan tidak dapat dibuang di sembarang tempat, maka *bottom ash* seringkali direkayasa sebagai bahan campuran untuk membuat beberapa jenis bahan material dalam proyek pembangunan. Contohnya adalah batu bata dan genteng. Kali ini kami mencoba untuk menggunakan *bottom ash* sebagai campuran semen dalam pembuatan beton. Karena seperti yang kita ketahui jumlah limbah ini akan terus bertambah seiring berjalannya PLTU. Maka dari itu tujuan penelitian kami adalah untuk memanfaatkan limbah *bottom ash* sebagai campuran semen untuk pembuatan beton dengan bentuk *cube* maupun *tetrapod* yang biasa digunakan sebagai pemecah ombak (*breakwater*) di sekitar pelabuhan. Berikutnya, metode penelitian yang akan diterapkan adalah dengan membuat beton normal (tanpa campuran) dan tiga kadar variasi beton dengan campuran 10% , 20% dan 25% *bottom ash* terhadap semen. Setelah mengalami pengikatan selama 1-2 hari beton yang kami buat akan di *curing* (direndam) dalam air laut dengan rentang waktu mulai 7, 14 hingga 28 hari. Setelah proses perendaman dalam berbagai kurun waktu tersebut kemudian keseluruhan beton akan di uji kuat tekan. Hasil dari berbagai variabel tersebut akan dibandingkan hingga akhirnya dapat dapat disimpulkan apakah limbah *bottom ash* dapat digunakan sebagai campuran semen dalam pembuatan *cube* maupun *tetrapod*.

**Kata kunci:** *bottom ash*, air laut, beton, limbah

## 1. PENDAHULUAN

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 batu bara masih terbatas pada penimbunan di lahan kosong. Hal ini berpotensi berbahaya bagi lingkungan dan masyarakat sekitar jika terbawa ke perairan. Sudut pandang terhadap abu batubara harus dirubah. Beberapa investigasi menyimpulkan bahwa abu batu bara memiliki kapasitas untuk mempercepat pengikatan yang baik untuk pembuatan beton. Hingga saat ini abu batu bara tersebut banyak dimanfaatkan untuk keperluan semen dan beton, bahan pengisi untuk bahan tambang dan bahan galian

serta berbagai pemanfaatan lainnya. Guna memanfaatkan limbah-limbah hasil industri seperti halnya abu batu bara, dipandang perlu dilakukan penelitian tentang pemanfaatan abu batu bara sebagai bahan campuran dalam pembuatan beton.

Pengerasan (*hardening*) 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.

Sebagian besar permukaan bumi merupakan wilayah laut yang di dalamnya 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 ke dalam beton dengan senyawa – senyawa di dalam beton yang mengakibatkan beton kehilangan sebagian massa, kehilangan kekuatan dan kekakuannya serta mempercepat proses pelapukan (Mehta, 1991).

Dari penjelasan di atas, maka pada penelitian 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.

## 2. STUDI PUSTAKA

### 2.1 *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/boiler slag* berdasarkan jenis tungkunya yaitu *dry bottom boiler* yang menghasilkan *dry bottom ash* dan *slag-tap boiler* serta *cyclone boiler* yang menghasilkan *wet bottom ash (boiler slag)*. Sifat dari *bottom ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya.

### 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.

Air laut 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 ke dalam beton dengan senyawa-senyawa di dalam beton yang mengakibatkan beton kehilangan sebagian massa, kehilangan kekuatan dan kekakuannya serta mempercepat proses pelapukan (Mehta,1991).

### **2.3 Kuat Tekan**

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Hasil uji dari kuat tekan digunakan dalam pekerjaan perencanaan campuran beton dan pengendalian mutu beton pada pelaksanaannya.

### **2.4 Lentutan**

Satu hal yang penting dari struktur beton bertulang adalah masalah lentutan yang terjadi akibat beban yang bekerja. Struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lentutan yang mungkin memperlemah kekuatan maupun kemampuan layan struktur pada beban kerja. Berkaitan dengan hal tersebut, bila bentang panjang maka lentutan akan besar. Untuk memperkecil lentutan biasanya dengan memperbesar kekakuan penampang (EI).

Satu hal yang penting dari struktur beton bertulang adalah masalah lentutan yang terjadi akibat beban yang bekerja. Struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lentutan yang mungkin memperlemah kekuatan maupun kemampuan layan struktur pada beban kerja. Berkaitan dengan hal tersebut, bila bentang panjang maka lentutan akan besar.

### **2.5 Kuat Geser Beton**

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 di sepanjang 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.

### **2.6 Lebar Retak**

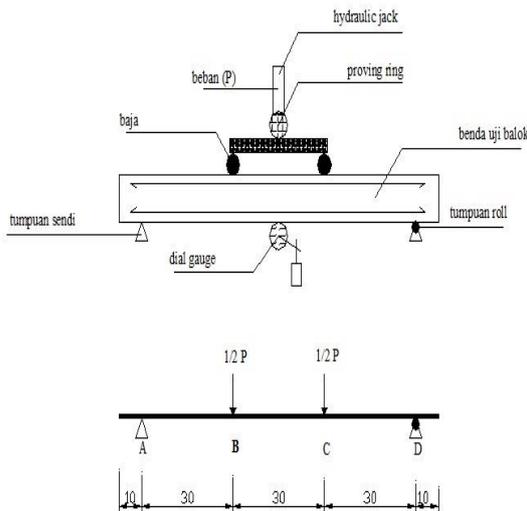
Karena beban terus ditingkatkan melampaui modulus keruntuhan balok, retak mulai terjadi di bagian bawah balok. Momen pada saat retak ini mulai terbentuk yaitu ketika tegangan tarik di bagian bawah balok sama dengan modulus keruntuhan disebut momen retak ( $M_{cr}$ ). Jika beban terus ditingkatkan, retak ini mulai menyebar mendekati sumbu netral. Retak terjadi pada tempat-tempat 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 baja lah 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)

### 3. METODE PENELITIAN

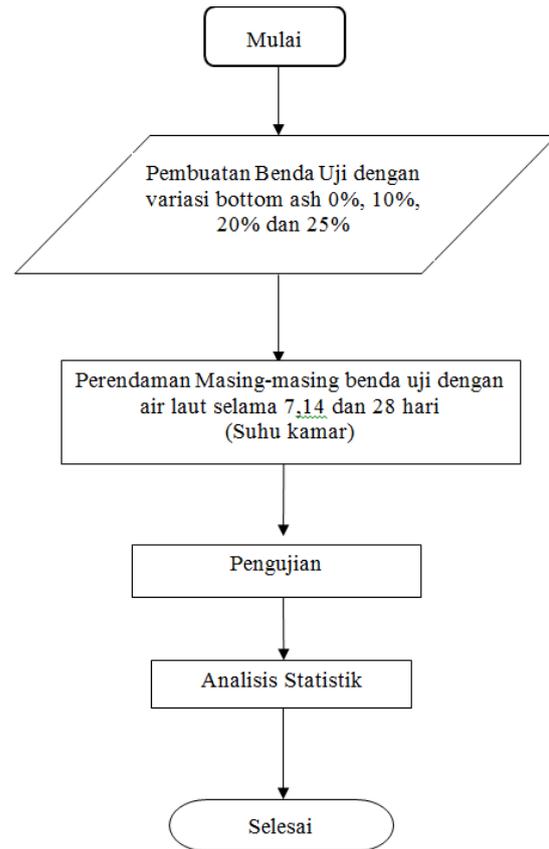
Untuk penelitian ini digunakan benda uji berbentuk balok dengan lebar 7 cm, tinggi 10 cm dan panjang 110 cm sebanyak 3 buah benda uji untuk tiap variasi campuran 1 : 2 : 3 dengan perbandingan *bottom ash* pada semen sebanyak 10%, 20% dan 25% dan perendaman air laut selama 7,14 dan 28 hari. Total benda uji keseluruhan 36 buah.

#### 3.1 Metode Pengujian

Pada pengujian ini balok diletakkan dengan tumpuan sendi – roll. Sebelum dilakukan pembebanan perlu dilakukan pengaturan konfigurasi terhadap alat pengukur lendutan sehingga siap untuk digunakan. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 1.** Pengujian pada benda uji



**Gambar 2.** Diagram alir penelitian

**Tabel 1.** Hasi uji kuat tekan

Kadar <i>bottom ash</i> (%)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)		
		Rendaman 7 hari	Rendaman 14 hari	Rendaman 28 hari
0	28	17,10	15,90	18,49
10	28	19,05	19,77	18,99
20	28	15,41	16,13	17,79
25	28	15,48	15,01	16,76

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan pada beton dilakukan dengan beton yang berumur 28 hari tanpa campuran variasi pada perendaman air laut 7, 14, 28 hari. Adapun spesi perbandingan campuran beton sesuai dengan hasil *mix design* yaitu 1 : 2 : 3. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Dari tabel tersebut terlihat bahwa kuat tekan beton pada penambahan dan direndam menggunakan air laut cenderung menurun. Terlihat pada penambahan kadar *bottom ash* persentase untuk semua jenis, menyebabkan nilai kuat tekan menurun pada persentase 20 dan 25%.

#### 4.2 Lendutan

Hasil penelitian 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.

### 4.3 Lebar Retak

Pengamatan lebar retak pada balok beton dilakukan setiap interval pembebanan 100 kg dengan bantuan alat *crack detector microscope*. Lebar retak yang diamati dimulai ketika retak mulai terlihat, hingga lebar retak ketika beton runtuh. 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). Dengan kata lain lebar retak yang digunakan di sini adalah lebar retak yang  $\leq 70\%$  dari beban maksimum saat balok mengalami keruntuhan.

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.

Kadar campuran *bottom ash* 10% kembali menjadi kadar campuran yang optimum pada balok runtuh geser. Seperti yang sudah dijelaskan pada pembahasan pola retak, kadar campuran 10% bahkan mengalami kegagalan dalam menimbulkan retak geser/lentur geser pada variabel perendaman 28 hari. Dapat dilihat juga pada grafik bahwa kadar campuran 10% belum mendapatkan retak geser maupun lentur geser pada pembebanan  $\leq 70\%$  dari beban maksimum pada variabel perendaman 7 dan 28 hari. Sebetulnya hal ini juga terjadi pada kadar campuran *bottom ash* 20% dan 25%, akan tetapi masing-masingnya hanya mengalami hal tersebut pada satu variabel perendaman saja. Hal ini menyebabkan kadar 10% kembali menjadi kadar yang optimum balok keruntuhan geser ini.

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 pada  $\leq 70\%$  dari beban saat balok mengalami keruntuhan masih berada di bawah retak ijin.

## 5. KESIMPULAN

Dari penelitian ini maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Adanya pengaruh yang nyata dari pemanfaatan *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton silinder. Nilai kuat tekan rata-rata dari masing-masing beton silinder berbeda pada tiap komposisi campuran *bottom ash* pada kuat tekan beton silinder dengan kadar *bottom ash* 10% pengganti semen terjadi kekuatan optimal yang memiliki nilai kuat tekan sebesar **19,05 MPa** untuk rendaman 7 hari, **19,77 MPa** untuk rendaman 14

- hari, **18,99 MPa** untuk rendaman 28 hari. Sedangkan kekuatan paling minimum terdapat pada kadar *bottom ash* 25% yang memiliki nilai rata-rata kuat tekan **15,48 MPa** untuk rendaman 7 hari, **15,01 MPa** untuk rendaman 14 hari dan **16,76 MPa** untuk rendaman 28 hari. Dari hasil analisa menunjukkan bahwa penambahan *bottom ash* sebagai pengganti semen sebanyak 10% adanya peningkatan kekuatan beton dari beton normal (kadar *bottom ash* 0%) sebanyak **1,95 MPa** untuk rendaman 7 hari, **3,87 MPa** untuk rendaman 14 hari, **0,5 MPa** untuk rendaman 28 hari. Dan untuk rendaman 14 hari dan 28 hari mengalami penurunan kekuatan beton secara signifikan. Pada kuat tekan yang menggunakan *bottom ash* ini terdapat kelemahan yaitu beton silinder yang menggunakan *bottom ash* ini memiliki kemampuan menyerap air yang sangat besar dikarenakan sifat *bottom ash* yang gembur (*friable*) dan memiliki banyak pori.
2. Lamanya perendaman menggunakan air laut mempunyai pengaruh yang tidak terlalu signifikan terhadap nilai kuat tekan pada silinder beton. Hal tersebut dapat dilihat dari data hasil penelitian yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan atau penurunan nilai kuat tekan yang tidak terlalu besar. Serta dari pembuktian analisis varian searah dan analisis regresi yang menunjukkan tidak adanya pengaruh lama perendaman terhadap nilai kuat tekan pada silinder beton. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan rata-rata yang paling besar terjadi pada perendaman 28 hari. Hal ini disebabkan air laut memperlambat proses hidrasi atau pengerasan pada beton dan menghasilkan pengerasan beton yang lebih sempurna sehingga kekuatannya menjadi lebih tinggi.
  3. Penambahan *bottom ash* pada balok dengan tulangan geser dan lentur tidak mempengaruhi nilai lendutan secara

signifikan. Hal ini dapat disimpulkan berdasarkan uji statistik anova 2 arah untuk variasi prosentase *bottom ash* 0%, 10%, 20% dan 25%.

4. Perendaman balok dengan tulangan geser dan lentur tidak mempengaruhi nilai lendutan secara signifikan, baik pada perendaman 7, 14 dan 28 hari.
5. 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.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Amri, Sjafei. 2005. *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta : UI-Press.
- Anonim, 2000. *Coal Bottom ash / Boiler Slag - Material Description*. <http://www.rmrc.unh.edu/resources/cd/userguide/cbabs1.htm>. (diakses 27 Februari 2012)
- ASTM C.33-82, "Standard Specification for Concrete Aggregate".
- Dipohusodo, I., 1999, Struktur Beton Bertulang, SK SNI T-15-1990-03, Departemen Pekerjaan Umum RI.
- Indriani Santoso & Salil Kumar Roy. 2003. Pengaruh Penggunaan *Bottom ash* Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton. *Dimensi Teknik Sipil*. Vol.5 (2) : 76.
- Mark Whittaker, Rachel Taylor, Qui Li, Shuangxin Li & Dr. Leon Black. "The Effects of *Bottom ash* as a Partial Cement Replacement", diakses Agustus 2012
- Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : ANDI.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. 1999. *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Jakarta : Lembaran Lepas Sekneg.
- Standar Industri Indonesia (SII) 0052-80. 1980. *Mutu dan Cara Uji Agregat*, Departemen Perindustrian Republik Indonesia.