

## PENGGUNAAN LIMBAH BATU BARA (COAL BOTTOM ASH) PADA CAMPURAN BETON DAN EFEK JANGKA PANJANG PADA LINGKUNGAN

Fauzan<sup>1)</sup>, Herlina Suciati<sup>2)</sup>, Yelna Yuristiary<sup>3)</sup>, Muhammad Ridwan Oktavianto<sup>4)</sup>, Nur Rizki Pratama<sup>5)</sup>

<sup>1,2,3,4,5)</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Batam

E-mail: [fauzan.ihsan@univbatam.ac.id](mailto:fauzan.ihsan@univbatam.ac.id)<sup>1)</sup>, [herlinasuciati@univbatam.ac.id](mailto:herlinasuciati@univbatam.ac.id)<sup>2)</sup>, [penulis.ketiga@email.com](mailto:penulis.ketiga@email.com)<sup>3)</sup>, [muh.ridwan0132@gmail.com](mailto:muh.ridwan0132@gmail.com)<sup>4)</sup>, [n.rizkipratama@gmail.com](mailto:n.rizkipratama@gmail.com)<sup>5)</sup>,

### ABSTRAK

Batu bara merupakan limbah yang banyak diproduksi oleh perusahaan listrik berbahan batu bara. Salah satu limbah batu bara yaitu *Coal Bottom Ash* (CBA). Jumlah limbah ini yang terus meningkat mengakibatkan gangguan pada lingkungan sekitarnya. Penggunaan limbah CBA pada campuran beton dapat menekan jumlah limbah yang ada. Penelitian ini akan menggunakan CBA sebagai bahan substitusi pada material pasir dalam campuran beton. Adapun jumlah campuran CBA yang digunakan dengan proporsi penggantian pasir dengan CBA sebesar 30% dan 60%. Penggunaan CBA dalam campuran beton menunjukkan setelah perendaman 56 hari beton yang mengandung CBA 60% memiliki kekuatan tekan lebih tinggi dibandingkan beton tanpa CBA, yaitu sebesar 3,7%. Untuk menganalisa pengaruh CBA pada campuran beton terhadap lingkungan digunakan metode SPLP (*Synthetic Precipitation Leaching Procedure*). Metode ini akan menganalisa kandungan logam berat pada beton yang mengandung CBA dan beton normal. Dengan menambah persentasi CBA pada beton menunjukkan dapat mengurangi kandungan Cr (Chromium) dan Pb (Lead) sedangkan sebaliknya pada kandungan logam berat As (Arsenic), Zn (Zinc) dan Cd (Cadmium) terjadi peningkatan seiring dengan penambahan kadar CBA pada beton.

Kata kunci : Beton, Kuat Tekan, Lingkungan.

### *ABSTRACT (11pt Times New Roman Bold Italic)*

*Coal is a waste product extensively generated by coal-fired power plants. One specific type of coal waste is Coal Bottom Ash (CBA). The increasing volume of this waste has resulted in significant environmental disturbances. Utilizing CBA as a substitute for sand in concrete mixtures can help mitigate the waste accumulation. This study will incorporate CBA as a replacement material for sand in concrete mixtures, using proportions of 30% and 60% substitution. After 56 days of immersion, concrete containing 60% CBA demonstrated a compressive strength that was 3.7% higher than that of concrete without CBA. To analyze the environmental impact of CBA in concrete mixtures, the Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) will be employed to assess the heavy metal content in both CBA-containing concrete and normal concrete. Increasing the percentage of CBA in the concrete mixture is shown to reduce the levels of Cr (Chromium) and Zn (Zinc), while the concentrations of heavy metals such as As (Arsenic), Pb (Lead), and Cd (Cadmium) increase with the addition of CBA.*

*Keyword : Concrete, Compressive Strength, Environmental.*

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara pengekspor dan penghasil batu bara no 3 terbesar didunia. Data menunjukkan jumlah cadangan batu bara dindonesia mencapai 186 milyar ton [1]. Batu bara merupakan bahan bakar yang sangat banyak digunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Harganya yang murah dan jumlah sumber daya alam yang melimpah sangat memungkinkan pembangkit listrik berbahan batu bara menjadi sumber tenaga listrik yang efisien. Dalam prosesnya pembangkit tenaga listrik berbahan batu bara akan menghasilkan 2 jenis limbah, yaitu *fly ash* dan *coal bottom ash* (CBA). Kedua limbah ini dikategorikan sebagai limbah berbahaya dan dapat berakibat buruk pada lingkungan sekitarnya. Limbah batu bara ini biasanya akan dibuang pada area terbuka dan tertutup dengan metode *landfill* [2]. Berbagai penelitian dilakukan untuk mengurangi jumlah produksi limbah ini secara bertahap. Dari menggunakan *fly ash* sebagai bahan campuran semen portland sampai penggunaan CBA untuk perbaikan kualitas pemadatan tanah. Namun limbah ini sendiri memiliki kandungan logam berat yang bisa menimbulkan efek negatif pada lingkungan dan kesehatan sehingga perlu penanganan sebelum menggunakannya [3].

Beton merupakan material yang terdiri dari agregat halus dan kasar, yang dicampurkan dan direkatkan menggunakan semen dan air sebagai pasta pengikat [4]. Dengan penggunaan semen dan air memungkinkan berbagai material dengan gradasi seperti agregat halus dan kasar untuk di campurkan pada campuran beton. Tentunya karakteristik fisik menjadi tolak ukur suatu material bisa digunakan pada campuran beton. Pada umumnya agregat halus yang biasanya menggunakan pasir yang berfungsi mengisi pori-pori yang kosong pada gradasi kasar, sehingga dengan menggunakan pasir akan sangat membantu mengisi sela-sela agregat kasar yang tidak tertutup secara sempurna.

Pasir merupakan material yang kondisi ketersediannya mengalami krisis dan menempati posisi ketiga dalam urutan material yang kritis, setelah udara dan air [5]. Inovasi dibutuhkan untuk menangani krisis material pasir, salah satunya menggunakan limbah yang berasal dari industri

yang memiliki karakteristik fisik seperti pasir dan mudah dalam proses pencampurannya pada beton.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk penggunaan material limbah sebagai pengganti pasir, seperti menggunakan limbah kaca, limbah plastik dan juga material lainnya. Penggunaan material CBA juga telah banyak dilakukan pengujian kelayakan material tapi masih sangat sedikit pembahasan mengenai efek penggunaan CBA pada beton ini terhadap dampak lingkungan sekitarnya. Dimana kandungan logam berat menjadi hal yang harus diperhatikan.

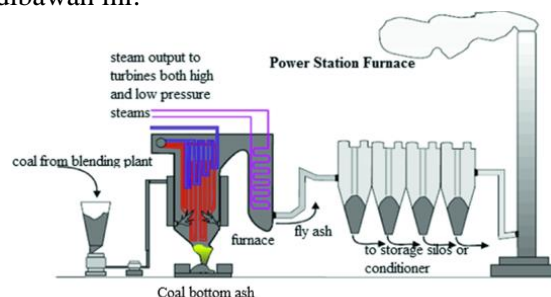
Berdasarkan latar belakang diatas, maka peneliti merumuskan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perbandingan sifat fisik material pasir dan CBA.
2. Mengetahui perbandingan kuat tekan normal terhadap beton CBA dengan persentasi substitusi pergantian pasir sebesar 30% dan 60% dengan menggunakan *mix design* 30 MPa.
3. Mengetahui perbandingan kandungan logam berat pada beton normal dan beton yang mengandung CBA.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Coal Bottom Ash (CBA)

Coal bottom ash merupakan material limbah yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara sebagai bahan bakar pada proses pembuatan listrik. Skema proses dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 1.** Proses residu CBA pada pembangkit tenaga listrik

CBA merupakan hasil sisa pembakaran pembangkit listrik berbahan batu bara yang tidak terbakar secara menyeluruh dan biasanya

berbentuk butiran kasar. Pada setiap pembakaran batu bara, rata-rata akan menghasilkan limbah 20% CBA dari total limbah yang dihasilkan. Material CBA ini akan di hamparkan pada area *landfill* [6]. Limbah CBA memiliki ukurannya bervariasi dari 10mm hingga 75 $\mu$ m [7].



**Gambar 2.** Variasi gradasi ukuran CBA

Pada gambar 2 terlihat ukuran CBA ini sangat bervariasi sehingga sangat sesuai untuk digunakan sebagai pengganti aggregate pada campuran beton.

## 2.2 Kuat Tekan Beton

Beton adalah material dengan kelebihan memiliki kuat tekan yang tinggi di banding material baja. Penggunaannya selalu diidentifikasi dengan kualitas kuat tekan. Semakin tinggi kuat tekan maka semakin besar kemampuan beton dalam menahan beban [8]. Beton juga memiliki durabilitas yang tinggi, hal ini dapat dilihat dari kemampuan beton yang bisa dicampurkan material lain untuk meningkatkan ketahanan beton dalam menahan korosi akibat lingkungan disekitarnya sehingga membuat beton lebih memiliki nilai dalam pemakaian jangka panjang [9].

Dalam proses pengujian kuat tekan beton, ada beberapa jenis model sampel uji yang bisa dibuat, yaitu sampel berbentuk kubus ataupun silinder. Untuk mengetahui kuat tekan beton bisa dilakukan dengan perhitungan dibawah ini:

$$f'c = P/A \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Dimana :  $f'c$  = kuat tekan beton

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm<sup>2</sup>)

Untuk pengujian kuat tekan pada beton normal pada umumnya akan dilakukan setelah proses perendaman beton dengan masa perendaman 7 hari, 14 hari dan 28 hari, akan tetapi bisa saja perendaman ini dilakukan diatas 28 hari karena pengaruh penggunaan campuran lain pada beton untuk mengetahui spesifikasi yang ingin di capai pada beton.

## 2.3 Kandungan Logam Berat dan Pencemarannya

Logam berat merupakan material logam yang didapat pada unsur alam yang dibutuhkan makhluk hidup dalam jumlah tertentu dan memiliki efek buruk bagi lingkungan serta kesehatan apabila dikonsumsi melebihi kebutuhannya. Logam berat memiliki berat jenis  $\geq 5\text{gr/cm}^3$  [10]. Konsumsi logam berat dengan jumlah yang melebihi dari kebutuhan secara terus menerus akan mengakibatkan kerusakan pada organ tubuh bahkan bisa mengakibatkan kanker serta kerusakan organ secara permanen. Logam berat memiliki sifat yang mudah terbawa dalam aliran air sehingga dapat menyebar secara luas dengan cepat.

Logam berat dibedakan menjadi 2 jenis [11], yaitu:

### 1. Logam berat esensial

Logam berat esensial adalah logam berat yang dibutuhkan dalam metabolisme tubuh dalam jumlah tertentu seperti zink (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe) dan selenium (Se). Logam berat esensial juga memiliki efek buruk apabila di konsumsi melebihi dari batas kebutuhan

### 2. Logam berat non esensial

Logam berat non-esensial merupakan jenis logam yang tidak boleh dikonsumsi dalam proses metabolisme tubuh karena dapat menyebabkan keracunan dan kerusakan organ secara permanen. Beberapa contoh logam non-esensial termasuk Arsenik (As), Timbal (Pb), Merkuri (Hg), dan Kadmium (Cd).

## 2.4 Analisa logam berat dengan Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP)

Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) adalah prosedur pengujian yang digunakan untuk menilai potensi pelepasan kontaminan dari suatu material padat ke lingkungan melalui proses pelindian (leaching) yang disebabkan oleh hujan asam. SPLP mensimulasikan interaksi antara material yang diuji dengan presipitasi asam (hujan asam), yang umumnya terdiri dari campuran asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) dan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), untuk mengevaluasi tingkat pelepasan unsur berbahaya, seperti logam berat, dari material padat tersebut.

Metode SPLP ini dirancang sesuai dengan standar uji lingkungan yang ditetapkan oleh lembaga-lembaga seperti U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Prosedur ini digunakan untuk memprediksi potensi pelarutan kontaminan dari limbah, tanah yang terkontaminasi, bahan konstruksi, atau produk buangan industri yang, apabila terpapar hujan asam, dapat melepaskan polutan ke air tanah atau permukaan [12].

SPLP sering digunakan dalam studi pengelolaan limbah, terutama untuk menilai risiko lingkungan dari limbah industri, produk pertambangan, dan tanah yang terkontaminasi.

Dalam bidang ekotoksikologi, SPLP dapat memberikan data penting mengenai mobilitas dan bioavailabilitas logam berat dan zat beracun lainnya dalam lingkungan.

Hasil dari SPLP sering dimanfaatkan dalam pemodelan transportasi kontaminan dalam air tanah dan sebagai acuan untuk kebijakan dan regulasi mengenai limbah berbahaya.

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Persiapan Campuran Beton

#### 3.2.3 Analisa Ukuran Gradasi pasir dan CBA

Proses pengecekan ukuran gradasi sangatlah penting, untuk memastikan material memiliki perbandingan ukuran yang sama. Adapun gradasi pasir yang dipakai adalah ukuran 5mm sampai dengan  $75 \mu\text{m}$ . Ada 6 lapis saringan yang akan di gunakan seperti yang terlihat pada gambar 3. dibawah ini



Gambar 3. Alat Saringan ayakan (*sieve analysis*)

Pada prosesnya baik material pasir ataupun CBA akan di timbang dengan berat 500 gram. Adapun material yang akan disaring sebelumnya suda dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam dengan suhu di  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Hal ini dilakukan agar kondisi material yang diuji dalam kondisi benar benar kering sehingga memudahkan proses penyaringan material. Setelah material dikeluarkan dari oven maka material akan dibiarkan pada suhu ruangan selama  $1 \times 24$  jam sebelum dilakukan proses penyaringan agregat.

Setelah  $1 \times 24$  jam maka material di masukkan didalam saringan dan akan ditempatkan kedalam alat vibrator yang akan bergetar selama 10 menit.

Setelah proses penyaringan di alat vibrator selesai maka setiap material yang ada di saringan akan di timbang kan akan di cek persentasi berat dari masing masing saringan. Adapun rumus persentasi setiap saringan yang digunakan yaitu:

$$\% \text{ saringan} = P/M \times 100$$

Dimana: P = berat material yang tersaring (Kg)

M = Berat total sampel (Kg)

#### 3.2.4 Mix Design dan Pembuatan Sampel Uji

Sebelum dilakukan pembuatan benda uji akan dilakukan pengujian formula mix design untuk memastikan formula mix design dapat mencapai target kuat tekan sebesar 30MPa dengan mengujikan kubus beton normal pada usia perendaman 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Adapun mix design yang didapat berdasarkan pengujian ditampilkan pad table 1.

**Tabel 1.** Tabel *mix design* beton normal

Jumlah	Semen (kg)	w/c ratio	Air (kg)	Pasir (kg)	Batu Koral (kg)
per m <sup>3</sup>	423	0.45	190	765	1013

**Tabel 2.** Campuran *mix design* untuk masing masing sampel per 1m<sup>3</sup>

Nama Sampel	Persentase penggantian pasir (%)	Semen (kg)	Air (kg)	Batu Koral (kg)	Pasir (kg)	Limbah batu bara (kg)
BN0	0 control)	423	190	1013	765	0
BCLB30	30	423	190	1013	535.5	229.5
BCLB60	60	423	190	1013	306	459

**Tabel 3.** Jumlah sampel dan ukuran sampel test

No	Jenis Tes	Bentuk & ukuran	Jenis Mix design yang dipakai	Waktu perendaman / Curing time (hari)			Total
				7	28	56	
1	Kuat Tekan	Kubus (100x100 x100) mm	3	3	3	3	27
2	SPLP Test	Serpihan Kubus	3	3	3	3	27

Tabel 3 menunjukkan sampel benda uji yang akan dibuat, dimana setiap sampel benda uji akan ada 3 *mix design* dengan masing masing *mix design* akan dibuat 3 sampel benda uji.

### 3.2 Pengujian Laboratorium

Setelah beton mencapai umur 7, 28 dan 56 hari, maka masing masing sampel akan di ujikan sesuai dengan jenis cetakan yang dibuat. Beton dengan cetakan kubus akan di ujikan pada uji tekan dan serpihan dari uji tekan ini akan menjadi sampel untuk pengujian leachability tes untuk mengetahui komposisi kimiawinya. Berikut beberapa tahapan proses yang akan dilakukan.

#### 3.2.1 Pengujian Kuat Tekan Beton (*compressive strength*)

Menurut BS EN 12390: Part 3:2009, kuat tekan dapat ditentukan dengan menggunakan benda uji beton kubus kemudian diberikan beban maksimum pada beton sampai beton patah. Ini merupakan pengujian penting untuk menentukan sifat beton yang mengeras. Pengujian dilakukan pada benda uji silinder beton dengan ukuran 100mm x 100mm x 100mm. Pengujian ini dilakukan di laboratorium seperti terlihat pada gambar 4 dibawah ini.



**Gambar 4.** Proses pengetesan tes kuat tekan beton

#### 3.2.2 Pengujian kandungan logam berat (*Leachability-SPLP*)

Leachability adalah proses pemeriksaan kesesuaian penggunaan bahan terhadap lingkungan selama lebih dari satu dekade. Sedangkan pengujian ini akan mendeskripsikan sifat kimia beton, yang mana evaluasi dari sifat kimia akan menggambarkan cemaran logam berat.

Campuran limbah batu bara ke dalam campuran beton akan diperiksa kelarutannya pada kondisi hujan asam sehingga diperoleh kandungan logam berat pada pengujian ini. Pada penelitian ini akan dilakukan uji pelindian dengan menggunakan prosedur pelindian presipitasi sintetik.

Pengujian logam berat dengan SPLP akan dilakukan dalam beberapa prosedur yaitu:

- 1) Pengambilan Sampel: Material padat yang akan diuji, seperti tanah, abu, atau material

buangan, dikumpulkan sesuai dengan metode yang ditentukan, apabila material Padat berukuran diatas 10mm maka material harus dipecahkan dan dipastikan memiliki diameter berukuran dibawah 9mm.

- 2) Preparasi Larutan Asam: Larutan sintetik yang digunakan terdiri dari campuran asam nitrat dan asam sulfat, yang dirancang untuk merepresentasikan komposisi kimia hujan asam dengan pH antara 4,2 hingga 5,0.
- 3) Proses Pelindian: Sampel padat kemudian ditempatkan dalam alat pelindian bersama dengan larutan asam. Proses ini dilakukan dengan rasio cairan terhadap padatan yang dikendalikan (biasanya 20:1), dan sampel digojok dalam waktu tertentu, umumnya selama 18 jam.
- 4) Analisis Kimia: Setelah proses pelindian selesai, filtrat (hasil pelindian) dianalisis untuk mengukur konsentrasi kontaminan yang terlarut, seperti logam berat (misalnya, timbal, arsenik, merkuri, kadmium), senyawa organik, atau anion spesifik.



**Gambar 5.** Proses pemisahan unsur kimiawi dari beton dengan SPLP

Untuk mengetahui kelayakan beton ini maka akan dibandingkan antara beton normal dengan beton mengandung limbah batu bara. Adapun standarisasi dari *U.S. Environmental Protection* (USEPA) apabila air tersebut dikatakan ramah lingkungan limbahnya apabila masih dibawah batas yang ditentukan. USEPA memberikan batasan bahan kimia yang terkandung dalam air sehingga aman bagi lingkungan seperti tabel dibawah ini:

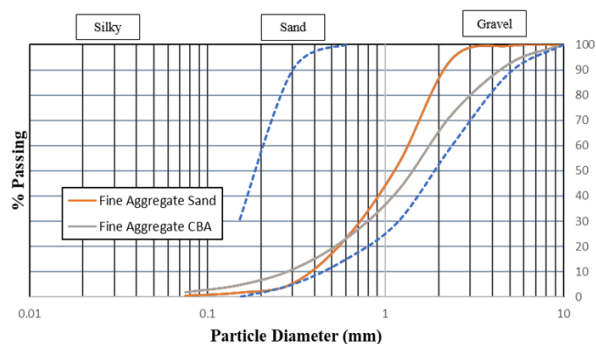
**Tabel 4.** Pedoman USEPA untuk batas kadar limbah

Element/ substance	Symbol /formula	Batas Limbah Berbahaya oleh USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) mg/L
Chromium	Cr	5
Arsenic	As	5
Cadmium	Cd	1
Lead	Pb	5
Zinc	Zn	25

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Hasil Analisa pengujian saringan agregat

Proses pengecekan kelayakan material berdasarkan ukuran akan dilakukan menggunakan analisa saringan (Sieve analisis). Adapun hasil Analisa saringan akan dibuat untuk membandingkan ukuran material pasir maupun limbah batu bara (Coal Bottom Ash). Adapun untuk detailnya bisa terlihat pada gambar 6.



**Gambar 6.** Diagram hubungan dan perbandingan ukuran pasir dan CBA

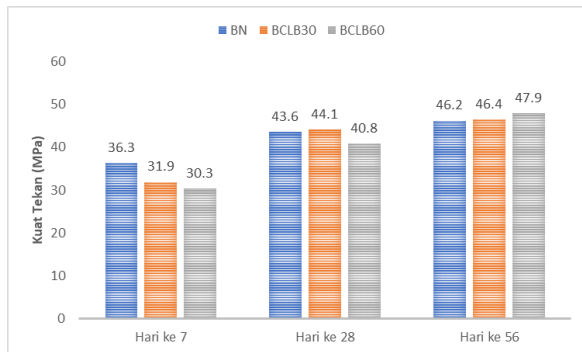
Berdasarkan hasil analisa saringan didapatkan pada tabel 5 dan gambar 6, dapat disimpulkan bahwa ukuran partikel pasir dan limbah CBA masih di batas toleransi sesuai British Standar no 882 mengenai standar ukuran pasir.

**Tabel 5.** Analisa perbandingan saringan pasir dan limbah batu bara (Coal bottom ash)

Ukuran Saringan (mm)	Berat material yang tertahan (g)		Total material yang lolos saringan (%)		Rentang standar saringan pasir BS 882- tabel 4 (%)
	Pasir	CBA	Pasir	CBA	
10	0	0	100	100	100 – 100
5	2	36.85	99.6	92.63	89 – 100
2.36	26	101.1	94.4	72.41	60 – 100
1.18	209	150.18	52.6	42.37	30 - 100
0.6	147	95.84	23.2	23.21	15 – 100
0.3	90	61.21	5.2	10.96	5 – 70
0.15	18	30.86	1.6	4.79	0 - 15
0.075	6	14.05	0.4	1.98	-
Pan	2	2	0	100	0
Total	500	500	-	-	

#### 4.2 Hasil Analisa pengujian kuat tekan

Kuat tekan beton akan menunjukkan kemampuan beton dalam menahan beban tekan, Adapun hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini.



**Gambar 7.** Hasil uji kuat tekan pada sampel beton

Dengan menambahkan limbah CBA sebagai pengganti pasir pada 30% campuran menunjukkan hasil lebih tinggi dibandingkan beton normal pada 28 dan 56 hari pengetesan. Sedangkan hasil maksimal didapatkan dengan mencampurkan limbah CBA dengan persentasi 60% pada pengujian hari ke 56. Hal ini menunjukkan karakteristik dari limbah CBA sangat berpotensi untuk penggunaan limbah ini dengan jumlah yang cukup banyak sehingga diharapkan dapat mengurangi jumlah limbah CBA yang terus meningkat setiap tahunnya.

#### 4.3 Hasil Analisa Uji SPLP (pengujian kandungan logam berat)

Pengujian SPLP adalah metode mengekstraksi beton pada PH yang rendah sehingga akan mengeluarkan kandungan logam berat yang terkandung pada material yang di uji. Sehingga proses ini akan mensimulasikan penggunaan beton pada jangka panjang pada area luar yang langsung berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya. Berdasarkan pengujian didapatkan hasil yang dilampirkan pada tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil uji kandungan logam berat dengan menggunakan SPLP tes

No	Logam Berat	Nama Sampel (mg/L)			Batas USEPA (mg/L)
		BN	BCLB30	BCLB60	
1	Cr (kromium)	79.3	75.4	57.1	5
2	Zn (Seng)	33.3	34.5	48.8	25
3	As (Arsen)	0.361	0.445	0.566	5
4	Pb (Timbal)	18.4	16.4	11.8	5
5	Cd (cadmium)	0.156	0.191	0.24	1

Kandungan chromium dan timbal pada beton normal lebih tinggi dibandingkan dengan beton campuran CBA, hal ini mengidentifikasi bahwa pengguna limbah CBA dapat menurunkan kandungan kandungan logam berat Cr dan Pb yang ada pada beton. Namun hal ini berbanding terbalik dengan kandungan logam berat As, Zn dan Cd dimana penggunaan limbah batu bara berpotensi meningkatkan kandungan logam berbahaya ini, sehingga perlu diperhatikan dampaknya secara lebih mendetail pada lingkungan sekitarnya.

### 5. KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini menunjukkan beberapa hal yang bisa disimpulkan berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, yaitu:

1. Penggunaan limbah CBA (Coal Bottom Ash) sebagai bahan pengganti pasir pada campuran beton memenuhi syarat kelayakan baik secara ukuran material dan kuat tekan minimal rencana.

2. Beton yang mengandung CBA pada umur perendamann 7 hari, mengalami penurunan kuat tekan beton seiring dengan bertambahnya persentasi campuran CBA dibandingkan dengan beton tanpa campuran CBA.
3. Pada umur perendaman 28 hari, beton dengan campuran CBA 30% mengalami peningkatan sebesar 1.2% lebih tinggi dibandingkan beton normal.
4. Mutu beton dengan menggunakan campuran CBA sebagai pengganti pasir meningkat seiring dengan umur perendaman, dimana perendaman 56 hari pada campuran beton CBA 30% dan 60% meningkat melebihi dari betoin normal seiring dengan meningkatnya jumlah campuran CBA pada beton.
5. Penggunaan CBA pada campuran beton akan menurunkan kandungan logam berat Cr dan Pb seiring dengan penambahan CBA pada beton.
6. Kandungan logam berat As, Zn dan Cd meningkat seiring dengan penambahan CBA pada beton dibandingkan dengan beton normal.

## 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas ada beberapa hal yang harus diperhatikan agar penelitian selanjutnya bisa lebih memperbaiki kekurangan penelitian ini. Adapun beberapa saran untuk kelanjutan penelitian yang lebih baik meliputi:

1. Menambahkan persentasi campuran CBA dengan variasi persentasi yang lebih beragam dan penggunaan yang bisa diaplikasikan dengan campuran limbah lainnya seperti sampah plastik dan lainnya.
2. Perlunya penelitian lebih detail terkait kemungkinan penggunaan CBA menjadi material substitusi pengganti agregat kasar.
3. Pada uji SPLP diperlukan pengecekan kandungan logam berat lainnya seperti kandungan Hg, Cu, Ag, Ni, Sn dan Mn.
4. Perlunya penelitian tentang perbandingan beton dengan metode distructive test dengan non distructive test agar bisa mendeteksi pendekatan pada beton yang sudah diaplikasikan pada bangunan konstruksi.
5. Perlunya dilakukan analisis mikroskopis (SEM) untuk mengamati struktur mikro beton yang telah menggunakan CBA pada campuran beton untuk mengetahui struktur yang tersusun pada beton tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Ketua Umum Yayasan Griya Husada, Bapak Dr. Rusli Bintang dan Rektor Universitas Batam, Bapak Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal., M.Eng., IPU., ASEAN Eng. Serta Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Batam, Ibu Dr. Malahayati Rusli Bintang, B.Sc, MPH yang telah mempercayakan kami untuk melaksanakan penelitian ini. Dengan dukungan mereka, penelitian ini dapat terwujud sesuai harapan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. Afin and B. F. T. Kiono, "Potensi Energi Batubara serta Pemanfaatan dan Teknologinya di Indonesia Tahun 2020 – 2050: Gasifikasi Batubara," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 2, pp. 144–122, 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.11429.
- [2] A. Abidin *et al.*, "Koagulan Dengan Konsep Reverse Logistics," vol. 7, no. 1, pp. 39–44, 2021.
- [3] J. Antonkiewicz *et al.*, "Phytoextraction of heavy metals after application of bottom ash and municipal sewage sludge considering the risk of environmental pollution," *J. Environ. Manage.*, vol. 306, no. January, 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.114517.
- [4] F. Fauzan and H. Suciati, "Efek Penggunaan Limbah Terumbu Karang Pada Komposit Beton," *Sigma Tek.*, vol. 5, no. 1, pp. 119–127, 2022, doi: 10.33373/sigmateknika.v5i1.3968.
- [5] I. Jagan, P. Naga Sowjanya, and K. Naga Rajesh, "A review on alternatives to sand replacement and its effect on concrete properties," *Mater. Today Proc.*, no. xxx, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.03.332.



- [6] E. R. Aida, S. Y. Lisha, and Y. Puty, "Pemanfaatan Limbah Abu Terbang Batubara (Fly Ash) Di Pltu Ombilin Sebagai Bahan Koagulan," *J. Pendidik. Teknol. Kejuru.*, vol. 1, no. 3, pp. 125–131, 2018, doi: 10.24036/jptk.v1i3.2223.
- [7] N. I. R. Ramzi, S. Shahidan, M. Z. Maarof, and N. Ali, "Physical and Chemical Properties of Coal Bottom Ash (CBA) from Tanjung Bin Power Plant," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 160, no. 1, 2016, doi: 10.1088/1757-899X/160/1/012056.
- [8] F. Fauzan, "Pengaruh Penggunaan Ijuk Pada Campuran Komposit Beton," *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 3, p. 156, 2020, doi: 10.22441/jtm.v9i3.9907.
- [9] Y. Liu, P. Lin, J. Ma, Z. He, and M. Luo, "Research on spatial corrosion behavior and durability protection technology of concrete box girder bridge in cold regions," *Constr. Build. Mater.*, vol. 441, no. July, 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.137585.
- [10] F. M. Juharna, I. Widowati, and H. Endrawati, "Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Morosari, Sayung, Kabupaten Demak," *Bul. Oseanografi Mar.*, vol. 11, no. 2, pp. 139–148, 2022, doi: 10.14710/buloma.v11i2.41617.
- [11] I. Boymau, "Distribusi Logam Berat pada Tanah," *Ulil Albab J. Ilm. Multidisiplin*, vol. 2, no. 3, pp. 927–932, 2023.
- [12] S. Beddu *et al.*, "Dataset on leaching properties of coal ashes from Malaysian coal power plant," *Data Br.*, vol. 31, p. 105843, 2020, doi: 10.1016/j.dib.2020.105843.