

## Solidifikasi/Stabilisasi (S/S) *Fly Ash* yang Terkontaminasi Fenol sebagai Bahan Substitusi dan Pengisi pada Pembuatan Beton

### *Solidification/Stabilization of Phenol Contaminated Fly Ash as a Substitute and Filler Material in the Manufacture of Concrete*

Fatimah\*, Muhammad Zikir

Departemen Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara, JL. Almamater Kampus USU, Medan, 20155, Indonesia

\*Email: fatimah@usu.ac.id

#### Article history:

Diterima : 24 Januari 2023  
Direvisi : 14 Februari 2023  
Disetujui : 20 Maret 2023  
Mulai online : 24 Maret 2023

E-ISSN: 2337-4888

#### How to cite:

Fatimah, Muhammad Zikir. (2023). Solidifikasi/Stabilisasi (S/S) *Fly Ash* yang Terkontaminasi Fenol Sebagai Bahan Substitusi dan Pengisi Pada Pembuatan Beton. Jurnal Teknik Kimia USU, 12(1), 54-61.

#### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi penggunaan *fly ash* pembakaran batu bara sebagai bahan substitusi dan bahan *filler* pada pembuatan beton. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah *fly ash* dari PT. SOCI MAS, fenol, semen *portland* tipe I, pasir, kerikil, dan air. Penggunaan *fly ash* sebagai bahan substitusi dilakukan dengan variasi persen sebesar 0%, 5%, 10%, 20%, dan 30% dari berat kebutuhan semen yang digunakan, dan penggunaan *fly ash* sebagai bahan *filler* dilakukan penambahan variasi persen sebesar 0%, 20%, 40%, 60% dan 65% dari berat kebutuhan semen yang digunakan. Parameter uji terhadap beton adalah beban maksimum, kuat tekan, penyerapan air, uji analisis fenol dan logam berat lepas setelah dilakukannya solidifikasi/stabilisasi. Hasil terbaik penggunaan *fly ash* sebagai bahan substitusi didapat pada substitusi 10% yang menghasilkan beban maksimum sebesar 680 kN, kuat tekan sebesar 32,840 MPa, dan penyerapan air 1,275%, sedangkan sebagai bahan *filler* hasil terbaik didapat pada penggunaan *filler* 65% yang menghasilkan beban maksimum sebesar 825 kN dan kuat tekan sebesar 39,494 MPa dan penyerapan air 0,123%. Hasil uji analisis fenol lepas dan logam Zn, Cu, Ba adalah 0,003 ppm, 0,010 ppm, 0,022 ppm, 0,170 ppm.

**Kata kunci:** *fly ash*, fenol, solidifikasi/stabilisasi, substitusi, *filler*

#### ABSTRACT

This study aims to assess the potential use of fly ash burning coal as a substitution and materials to making concrete filler. Material used in this study were fly ash waste product from PT. SOCI MAS, phenol, Portland cement type I, sand, gravel, and water. The use of fly ash as a substitution done with the variation in the percentage of 0%, 5 %, 10 %, 20 %, and 30 % of the weight of a cement used, and the use of fly ash as a filler material was carried out adding percentage variation of, 0%, 20 %, 40 %, 60 and 65 % of the weight of a cement used. The parameters for concrete are maximum load, compressive strength, water absorption, phenol analysis test and loose weight metal after solidification/stabilization. The best result of using fly ash as a substitution acquired at 10 % substitution that produces a maximum load of 680 kN, strong press of 32840 MPa, and the water adsorption of 1.275 %, and as a filler best results obtained on the use of the 65 filler % that produces a maximum of 825 kN and strong press of 39.494, and the water adsorption of 0,123 % MPa. The results of the analysis free phenol and metal such as Zn, Cu, Ba are 0.003 ppm, 0.010 ppm, 0.022 ppm, 0.170 ppm.

**Keyword:** *fly ash*, phenol, solidification/stabilization, substitution, filler



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International. <https://doi.org/10.32734/jtk.v12i1.11185>

## 1. Pendahuluan

Batubara merupakan sumber energi yang banyak manfaatnya di dunia. Batubara digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik sebesar hampir 40% di seluruh dunia. Pada tahun 2001 Indonesia tercatat menghasilkan batubara sebesar 71 juta ton, naik menjadi 616 juta ton pada tahun 2019 [1]. Proses pembakaran batubara untuk menghasilkan tenaga dalam industri akan menghasilkan sisa pembakaran yang disebut abu terbang (*fly ash*), serta endapan abu (*bottom ash*) yang apabila tidak dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya akan dapat mengganggu kesehatan manusia dan lingkungan. Pembakaran batubara menghasilkan sekitar 5% limbah padat berupa *fly ash* 80%-90% dan *bottom ash* 10%-20% [2]. *Fly ash* memiliki kandungan silika yang tinggi yang memiliki daya serap yang besar, memiliki potensi yang besar untuk dijadikan adsorben [3], salah satunya adalah untuk adsorpsi fenol.

Proses penyisihan fenol dengan proses adsorpsi telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu antara lain menggunakan zeolit alam, *fly ash* dan cangkang kerang bulu [4]. Namun setelah digunakan adsorben tersebut dibuang sebagai limbah yang dapat menakibatkan dampak lingkungan yang cukup membahayakan terutama polusi udara terhadap kehidupannya sekitarnya. *Fly ash* yang terkontaminasi fenol dapat dijadikan sebagai bahan campuran pada beton baik sebagai substitusi maupun *filler*. Salah satu manfaat dari *fly ash* adalah sebagai bahan konstruksi seperti blok beton, *asphalt concrete*, bahan baku keramik, gelas, batu bata, bahan penunjang pada semen, bahan penggosok [3] [5].

Penambahan *fly ash* pada campuran beton bersifat *pozzolan*, sehingga bisa menjadi *additive* mineral yang baik untuk beton. *Fly ash* dan semen memiliki kesamaan dari sifat kimia berupa kandungan silika, alumina dan kalsium oksida dengan presentase mencapai 89% pada semen dan 80% pada *fly ash*. Adanya kemiripan sifat-sifat ini menjadikan *fly ash* sebagai material pengganti untuk mengurangi jumlah semen yang dibutuhkan.

Ditinjau dari Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 [6] dan segi kesehatan lingkungan, *fly ash* dikategorikan limbah bahan beracun dan berbahaya (B3). Melihat kandungan bahan yang ada dalam *fly ash* berupa logam berat dan logam beracun, maka perlu adanya penanganan terhadap *fly ash* ini agar tidak berbahaya bagi lingkungan. Stabilisasi/Solidifikasi (S/S) bisa digunakan untuk menstabilkan logam berat dan beracun. S/S limbah menggunakan semen merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah dengan tujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan.

Penanganan *fly ash* dengan metode S/S telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu. Hasil terbaik yang diperoleh adalah pada penelitian tanpa penambahan *fly ash* didapat nilai tertinggi uji tekan kuat pada hari ke-56 yaitu 37,8 N/mm<sup>2</sup> [7]. Kuat tekan tertinggi 2,5 MPa yang didapat pada perbandingan 8:2 pada umur 56 hari [8] [9]. Kuat tekan tertinggi yang didapat adalah sebesar 42,14 N/mm<sup>2</sup> pada umur uji 25 hari dengan substitusi *fly ash* 25%. Kuat tarik tertinggi yang didapat adalah sebesar 6,6 N/mm<sup>2</sup> pada umur uji 25 hari dengan substitusi *fly ash* 5%. Penyerapan air tertinggi yang didapat adalah sebesar 3,81% dengan substitusi *fly ash* 30% [10].

Hasil terbaik penggunaan *fly ash* sebagai bahan substitusi didapat pada substitusi 10% yang menghasilkan beban maksimum sebesar 671,667 kN dan kuat tekan sebesar 32,178 MPa yang cocok digunakan untuk beton bertulang, sedangkan sebagai bahan *filler*, hasil terbaik didapat pada *filler* 50% yang menghasilkan beban maksimum sebesar 790,667 kN dan kuat tekan sebesar 37,879 MPa yang cocok digunakan untuk beton prategang [11]. Kuat tekan beton dengan campuran 5% limbah *sandblasting* dan 30% *fly ash*, 10% limbah *sandblasting* dan 25% *fly ash* dan 15% limbah *sandblasting* adalah 18,53 MPa dan 16,08 MPa [12].

Peneliti terdahulu menunjukkan bahwa *fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pembuatan beton. Penggunaan *fly ash* dapat mengurangi penggunaan semen dalam beton dan juga mengurangi efek polutan di lingkungan. Tujuan dalam penelitian ini adalah mereduksi limbah *fly ash* dalam pembuatan beton. Oleh itu, maka pada penelitian ini akan dilakukan upaya untuk memanfaatkan limbah *fly ash* yang telah digunakan sebagai adsorben penyerapan fenol sebagai bahan substitusi dan pengisi dari semen pada pembuatan beton.

## 2. Metode

### Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir, kerikil, air, semen *portland*, dan *fly ash* Batubara dari PT. SOCI MAS. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Beton, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat spektrofotometer, bak penampung air, cetakan ukuran 15 cm x 30 cm, mesin molen, mesin uji kuat tekan, neraca analitik, oven, satu set saringan *American Society for Testing and Material* (ASTM) dan alat *atomic absorption spectroscopy* (AAS).

### Prosedur Pembuatan Beton

Pembuatan beton dimulai dengan mencampurkan *fly ash* dan fenol 0,4 %. *Fly ash* yang mengandung fenol dipanaskan dalam oven pada temperatur 100 °C hingga kadar airnya konstan, kemudian dicampurkan dengan pasir, semen, kerikil dan air, hingga rata dengan variasi komposisi campuran beton dengan bahan substitusi *fly ash* yaitu jumlah pasir sebanyak 1,67 kg, jumlah kerikil sebesar 2,5 kg, jumlah semen sebesar 0,830 kg, 0,788 kg, 0,747 kg, 0,664 kg dan 0,581 kg, jumlah *fly ash* sebanyak 0%, 5%, 10%, 20% dan 30%. Pada komposisi campuran beton dengan bahan pengisi *fly ash* pasir sebanyak 1,67 kg, kerikil sebanyak 2,5 kg, semen sebanyak 0,83 kg dan *fly ash* sebanyak 0%, 5%, 10%, 20% dan 30%.

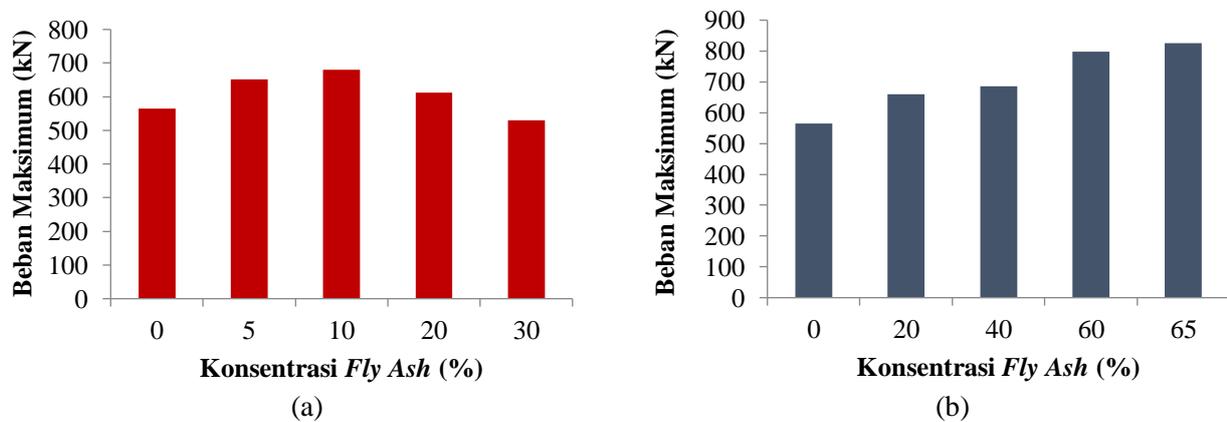
Seluruh campuran dimasukkan kedalam mesin penggilingan yang bertujuan untuk memadatkan campuran bahan. Hasil campuran dimasukkan ke dalam cetakan besi berukuran 15 cm x 30 cm. Beton dikeringkan selama 24 jam dalam ruangan terbuka untuk memperoleh kondisi pengerasan optimum. Beton direndam selama 28 hari, kemudian dilanjutkan dengan beberapa pengujian yaitu analisis fenol lepas dengan spektrofotometer dan uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) yang dilakukan di Laboratorium Penelitian Balai Riset dan Standardisasi Industri (BARISTAN) Medan, Indonesia dan uji densitas, uji penyerapan air, dan uji tekan kuat dilakukan di Laboratorium Beton, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia.

### 3. Hasil

#### Uji Beban Maksimum

#### Pengaruh Konsentrasi *Fly Ash* sebagai Bahan Substitusi terhadap Beban Maksimum Beton

Gambar 1a menunjukkan komposisi campuran dengan *fly ash* sebanyak 0% (tanpa substitusi *fly ash*) beban maksimum yang dihasilkan 565 kN. Nilai beban maksimum tertinggi didapat pada penggunaan *fly ash* sebagai substitusi 10% dengan hasil 680 kN atau naik sekitar 16,91 % jika dibandingkan dengan tidak ada substitusi *fly ash*. Sementara substitusi *fly ash* di atas 10% beban maksimum cenderung menurun. Beban maksimum terendah yaitu pada substitusi *fly ash* 30% yaitu sekitar 530 kN atau menurun 6,194% jika dibandingkan dengan tidak ada substitusi *fly ash*.



Gambar 1. Pengaruh Konsentrasi *Fly Ash* sebagai (a) Bahan Substitusi dan (b) Bahan *Filler* terhadap Beban Maksimum Beton

Jumlah silikon (Si) pada sampel kandungan 10% *fly ash* lebih besar bila dibandingkan dengan hasil sampel kandungan 30% *fly ash*, yang menunjukkan bahwa reaksi *pozzolanic* terjadi pada sampel kandungan 10% *fly ash*, sehingga terbentuk ikatan/gugus fungsi C-S-H. Sampel dengan kandungan *fly ash* 10% memiliki unsur kalsium (Ca) pada beton lebih sedikit dari pada unsur Si pada beton sehingga memungkinkan bahwa reaksi *pozzolanic* terjadi dengan baik, namun berbeda dengan sampel kandungan 30% *fly ash* yang unsur Ca-nya lebih besar dari pada unsur Si di dalam beton tersebut sehingga reaksi *pozzolanic* yang tetap berlangsung, namun terdapat sisa dari unsur Ca yang memungkinkan untuk bereaksi dengan unsur lain seperti sulfat sehingga dapat memperlemah beton [13].

#### Pengaruh Konsentrasi *Fly Ash* sebagai Bahan *Filler* terhadap Beban Maksimum Beton

Gambar 1b menunjukkan bahwa semakin semakin tinggi konsentrasi *fly ash* semakin tinggi beban maksimum yang dihasilkan. Komposisi campuran dengan *fly ash* sebanyak 0% (tanpa penambahan *fly ash*) menunjukkan beban maksimum 565 KN dan terus meningkat seiring dengan bertambahnya penggunaan *fly*

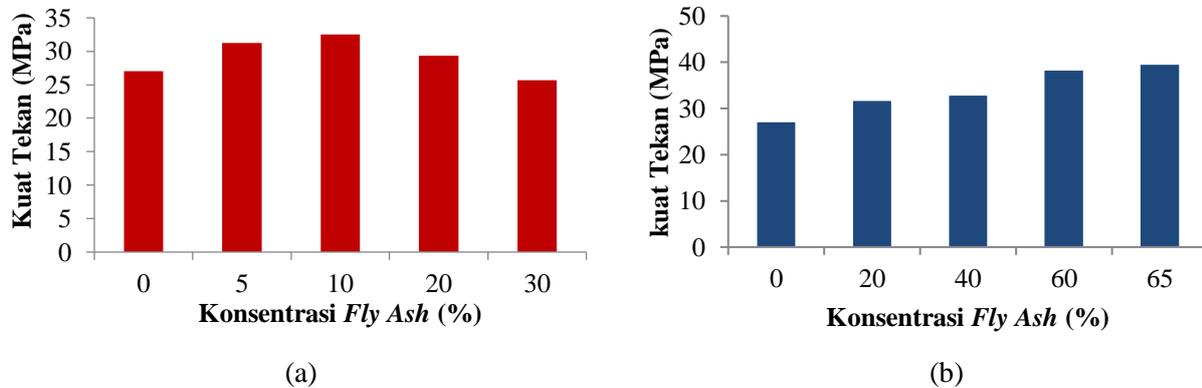
ash sebagai *filler*. Peningkatan signifikan terjadi pada persen 40%-60%. Namun pada persen 65% hanya terjadi peningkatan beban maksimum yang sedikit dari persen 60% yaitu dari 798 kN sampai 825 kN atau naik 3,27%.

Fungsi *fly ash* sebagai *filler* mampu menambah internal kohesi dan mengurangi porositas sebagai daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam beton, sehingga beton menjadi lebih kuat. Disamping itu, *fly ash* akan memberikan kontribusi terhadap perubahan kekuatan yang terjadi pada beton pada umur 28 hari, penambahan kekuatan beton merupakan akibat dari kombinasi antara hidrasi semen dan reaksi *pozzolan* [14].

## UJI KUAT TEKAN

### Pengaruh Konsentrasi *Fly Ash* sebagai Bahan Substitusi terhadap Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada hari ke-28. Hal ini diyakini telah selesai proses hidrasi semen. Berakhirnya proses hidrasi kekuatan tekan beton akan bertambah sejalan dengan bertambahnya umur. Gambar 2a menampilkan grafik pengaruh konsentrasi *fly ash* sebagai bahan substitusi terhadap kuat tekan beton.



Gambar 2. Pengaruh Konsentrasi *Fly Ash* sebagai (a) Bahan Substitusi dan (b) Bahan *Filler* terhadap Kuat Tekan Beton

Gambar 2a menunjukkan bahwa komposisi campuran dengan *fly ash* sebanyak 0% (tanpa substitusi *fly ash*) menunjukkan kuat tekan 27,052 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi didapat pada penggunaan *fly ash* sebagai substitusi 10% dengan hasil 32,559 MPa atau naik sekitar 16,913% jika dibandingkan dengan tidak ada substitusi *fly ash*. Sementara substitusi *fly ash* diatas 10% kuat tekan cenderung menurun. Kuat tekan terendah yaitu pada substitusi *fly ash* 30% yaitu sekitar 25,370 MPa atau turun sekitar 6,217% jika dibandingkan dengan tidak ada substitusi *fly ash*.

Substitusi *fly ash* 10 % ternyata mampu meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan dengan beton tanpa penambahan *fly ash*. Namun demikian, substitusi *fly ash* pada pembuatan beton secara berlebih justru akan menurunkan kekuatan tekan beton itu sendiri. Hal ini terjadi karena semakin besar jumlah *fly ash* yang ditambahkan berarti semakin sedikit jumlah semennya, sehingga trikalsium silikat ( $C_3S$ ) dan dikalsium silikat ( $C_2S$ ) yang merupakan senyawa yang bertanggung jawab terhadap kekuatan beton akan menurun dan daya ikatan (*setting*) atau proses pengikatan antar agregat/pasir tidak berjalan dengan sempurna [14]. Adanya penurunan daya ikat ini mengakibatkan kekuatan tekan beton yang dihasilkan menjadi berkurang.

Dari hasil penelitian, diperoleh kondisi mulai adanya penurunan pada substitusi diatas 10%. Walaupun terjadi penurunan kuat tekan beton tersebut, bila dilihat dari aspek mutunya ternyata sampai pada substitusi 30% kekuatan tekan yang dihasilkan masih sama dengan tanpa penambahan *fly ash* yaitu mutu sedang (kuat tekan 20 MPa hingga < 35 MPa) cocok digunakan untuk beton struktural.

### Pengaruh Konsentrasi *Fly Ash* sebagai Bahan *Filler* terhadap Kuat Tekan Beton

Penggunaan *fly ash* sebagai bahan *filler* dapat mempengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan. Gambar 2b menunjukkan bahwa komposisi campuran dengan *fly ash* sebanyak 0% (tanpa penambahan *fly ash*) menunjukkan kuat tekan 27,052 MPa dan terus meningkat seiring dengan bertambahnya penggunaan *fly ash* sebagai *filler*. Peningkatan signifikan terjadi pada persen 40%-60%. Namun pada persen 65% hanya terjadi peningkatan kuat tekan yang sedikit dari persen 60% yaitu dari 38,202 MPa menjadi 39,494 MPa atau naik 3,271%.

Semakin tingginya persen *fly ash* sebagai *filler* menyebabkan kuat tekan akan meningkat [9]. Pengaruh *fly ash* sebagai bahan *filler* mengakibatkan terjadi reaksi pengikatan kapur bebas yang dihasilkan dalam proses hidrasi semen oleh silika yang terkandung dalam *fly ash*. Selain itu, butiran *fly ash* yang jauh lebih kecil membuat beton lebih padat karena rongga antara butiran agregat diisi oleh *fly ash* sehingga dapat memperkecil pori-pori yang ada dan memanfaatkan sifat *pozzolan* dari *fly ash* untuk memperbaiki mutu beton [15].

Adanya sifat pozzolan pada *fly ash* yang mengandung silika reaktif dapat berfungsi untuk mereduksi kapur bebas ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) hasil hidrasi trikalsium silikat ( $\text{C}_3\text{S}$ ) dan dikalsium silikat ( $\text{C}_2\text{S}$ ) dan sekaligus menghasilkan produk hidrasi tambahan yang bersifat “perekat.” Adanya tambahan bahan “perekat” ini akan mengisi rongga-rongga kapiler besar yang terbentuk pada proses hidrasi semen *portland* pada umumnya. Hal ini mengakibatkan porositas dari pasta semen hidrat maupun daerah transisi antara pasta semen hidrat dan agregat akan berkurang secara signifikan. Konsekuensinya secara simultan kualitas beton akan meningkat [16].

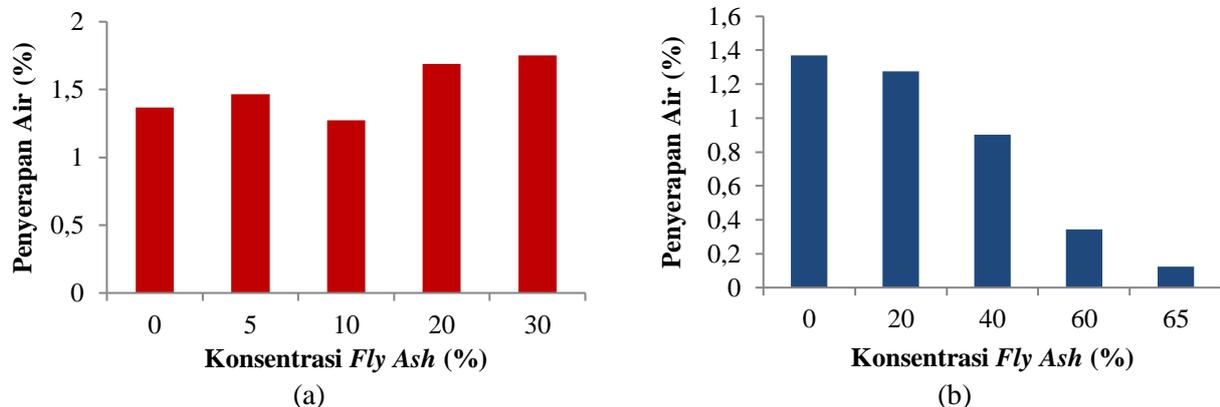
Beton dengan bahan *filler* 10%, dan 20% termasuk dalam beton dengan mutu sedang, sedangkan untuk beton dengan bahan *filler* 30%, 40% dan 50% termasuk dalam beton dengan mutu tinggi yang cocok digunakan untuk beton struktural [17].

## UJI PENYERAPAN AIR

### Pengaruh Konsentrasi *Fly Ash* sebagai Bahan Substitusi terhadap Penyerapan Air Beton

Pengujian penyerapan air beton dilakukan dengan melakukan perendaman sampel beton selama 24 jam setelah beton berumur lebih dari 28 hari. Uji penyerapan air bertujuan untuk mengetahui seberapa besar penyerapan air oleh beton. Berdasarkan hasil uji penyerapan air diperoleh kecenderungan makin besar konsentrasi *fly ash* maka makin menurun penyerapan airnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 3a grafik pengaruh persen *fly ash* sebagai bahan substitusi terhadap penyerapan air beton.

Gambar 3a menunjukkan bahwa konsentrasi *fly ash* dalam campuran komponen yang semakin banyak akan menyebabkan persen penyerapan air (porositas) beton semakin kecil. Nilai penyerapan air benda uji berkisar antara 1,275 % hingga 1,754 %. Daya serap air terbaik sebesar 1,275 % terjadi pada penggunaan *fly ash* sebagai bahan substitusi 10 %.



Gambar 3. Pengaruh Konsentrasi *Fly Ash* sebagai (a) Bahan Substitusi dan (b) Bahan *Filler* terhadap Penyerapan Air Beton

Besar kecilnya penyerapan air oleh beton dipengaruhi pori atau rongga yang terdapat pada beton. Semakin banyak pori yang terkandung dalam beton maka semakin besar pula penyerapan sehingga ketahanan akan berkurang. Rongga (pori) yang terdapat pada beton terjadi karena kurang tepatnya kualitas dan komposisi material penyusunannya [18]. Hubungan penyerapan air dengan konsentrasi *fly ash* adalah linier, semakin tinggi konsentrasi *fly ash*, maka penyerapan air semakin kecil. Hal tersebut disebabkan dari sifat fisika *fly ash* yang memiliki butiran lebih lembut dari semen hal ini memungkinkan *fly ash* mampu mengisi pori yang lebih kecil. Dengan demikian beton yang dihasilkan lebih padat. Penambahan *fly ash* ke dalam campuran beton sebagai bahan substitusi dapat memperkecil porositas [19]. Hal ini akan menyebabkan daya serap air semakin kecil sehingga daya tahan beton semakin kuat dan tahan lama. Penggunaan *fly ash* pada beton ringan, dapat meningkatkan sifat baiknya seperti kuat tekan dan kadar penyerapan air [20].

### Pengaruh Konsentrasi *Fly Ash* sebagai Bahan *Filler* terhadap Penyerapan Air Beton

Penggunaan *fly ash* sebagai bahan *filler* dapat mempengaruhi penyerapan air beton yang dihasilkan. Gambar 3b menunjukkan bahwa konsentrasi *fly ash* dalam campuran komponen yang semakin banyak akan menyebabkan persen penyerapan air (porositas) beton semakin kecil. Nilai penyerapan air benda uji berkisar antara 0,123 % hingga 1,369 %. Daya serap air terbaik sebesar 0,123 % terjadi pada penggunaan *fly ash* sebagai *filler* 65 %.

Hubungan penyerapan air dengan konsentrasi *fly ash* adalah linier, semakin tinggi konsentrasi *fly ash*, maka penyerapan air semakin kecil. Hal tersebut disebabkan dari sifat fisika *fly ash* yang memiliki butiran lebih lembut dari semen yang menambah internal kohesi dan mengurangi porositas sebagai daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam beton [14]. Nilai absorpsi dan abrasi menurun dengan adanya *fly ash*.

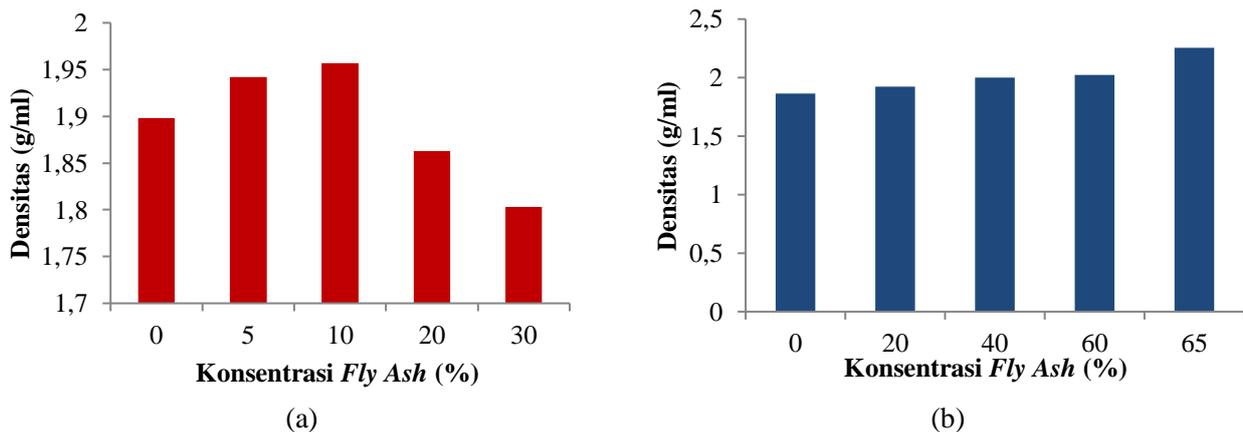
## UJI DENSITAS

### Pengaruh Konsentrasi *Fly Ash* sebagai Bahan Substitusi terhadap Densitas Beton

Pengujian densitas beton dilakukan dengan menggunakan densitas bulk yaitu massa dari kumpulan partikel padatan di sebuah wadah dibagi dengan volume dari wadah tersebut. Uji densitas bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai kerapatan material dari beton. Berdasarkan hasil uji densitas diperoleh kecenderungan makin besar komposisi limbah maka makin menurun densitasnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 4a grafik pengaruh persen *fly ash* sebagai bahan substitusi terhadap penyerapan air beton.

Gambar 4a menunjukkan bahwa persen konsentrasi *fly ash* dalam campuran komponen yang semakin banyak akan menyebabkan kerapatan material pada beton semakin kecil. Nilai Densitas benda uji berkisar antara 1,863 % hingga 1,957%. Densitas terbaik sebesar 1,957 % terjadi pada penggunaan *fly ash* sebagai bahan substitusi 10 %.

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwasanya kandungan *fly ash* lebih dari 10% dalam campuran beton cenderung memberikan pengaruh terhadap massa jenis beton yang semakin rendah yang juga linier dengan penurunan tekanan beton. Hal ini dikarenakan penggunaan *fly ash* dan agregat dalam beton yang membuat rongga-rongga udara sehingga beton menjadi ringan [18].



Gambar 4. Pengaruh Konsentrasi *Fly Ash* Sebagai (a) Bahan Substitusi dan (b) Bahan *Filler* terhadap Densitas Beton

### Pengaruh Konsentrasi *Fly Ash* sebagai Bahan *Filler* terhadap Densitas Beton

Penggunaan *fly ash* sebagai bahan *filler* dapat mempengaruhi densitas yang dihasilkan. Gambar 4b menampilkan grafik pengaruh persen *fly ash* sebagai bahan *filler* terhadap densitas. Berdasarkan Gambar 4b dapat dilihat bahwa persen konsentrasi *fly ash* dalam campuran komponen yang semakin banyak akan menyebabkan persen kerapatan material beton semakin kecil. Nilai densitas benda uji berkisar antara 1,862 % hingga 2,254 %. Daya serap air terbaik sebesar 2,254 % terjadi pada penggunaan *fly ash* sebagai *filler* 65 %.

### Analisis Konsentrasi Fenol Lepas dan Logam Berat dengan Metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS)

Pada analisis konsentrasi fenol lepas dan logam berat dengan metode *atomic absorption spectroscopy* (AAS), difokuskan terhadap logam zink (Zn), tembaga (Cu), dan barium (Ba) yang memiliki komposisi kadar logam masing-masing sebesar 95 ppm, 35 ppm dan 474 ppm yang didapat dari hasil analisis karakterisasi *fly ash* dengan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) [11]. Ketiga logam tersebut telah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Menteri Negara Lingkungan Hidup [21]. Pengujian logam untuk Zn, Cu dan Ba ini dilakukan setelah perendaman. Air hasil perendaman kemudian diuji konsentrasi logam beratnya dengan menggunakan metode AAS. Analisis konsentrasi ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar logam Zn, Cu, Ba dan fenol yang masih terlepas ke lingkungan atau terpapar ke lingkungan setelah *fly ash* dimanfaatkan menjadi campuran beton. Hasil analisis konsentrasi logam Zn, Cu, Ba dan fenol pada campuran beton dapat dilihat pada Tabel 4.

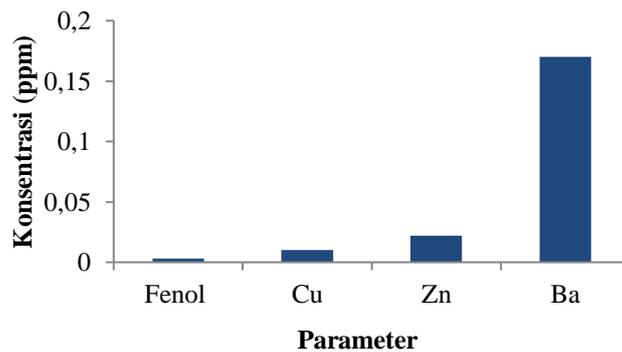
Berdasarkan Tabel 4 konsentrasi logam Zn, Cu dan Ba masing-masing adalah <0,010 ppm; <0,022 ppm dan <0.14 ppm serta untuk fenol adalah <0,003 ppm. Fenol dan logam terkandung dengan ikatan semen - pasir dan terjebak di bagian dalam beton dan susah terhidrolisis oleh air. Jika kuat tekan yang dimiliki suatu beton meningkat akibat penambahan limbah maka ikatan antara semen limbah semakin kuat sehingga kadar Zn, Cu

dan Ba sulit untuk keluar. Kekuatan beton tergantung kekuatan ikat semen dengan limbah dan sifat reaktif dari permukaan limbah dalam berikatan dengan semen [16].

Tabel 4 Hasil Analisis Konsentrasi Logam Zn, Cu dan Ba

Logam	Hasil Uji XRF (ppm) [22]	Baku Mutu (ppm) [21]	Konsentrasi (ppm)
Fenol	-	0,5-1,0	<0,003
Cu	35	10	<0,010
Zn	95	50	<0,022
Ba	474	100	<0,170

Menurut Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor: KEP-03/BAPEDAL/09/1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun menyebutkan bahwa kadar maksimum Zn, Cu, Ba dan fenol hasil S/S masing-masing sebesar 50 ppm, 10 ppm, 100 ppm dan 0,5-1,0 ppm [21]. Demikian konsentrasi logam berat yang lepas dari perendaman beton: <0,010 ppm; <0,022 ppm dan <0,17 ppm masih jauh dibawah baku mutu.



Gambar 5. Konsentrasi Fenol dan Logam

#### 4. Kesimpulan

Penggunaan *fly ash* sebagai bahan substitusi pada 10% menghasilkan beton struktural terbaik dengan beban maksimum sebesar 680 kN, kuat tekan sebesar 32,840 MPa dan penyerapan air 1,276 %. Penggunaan *fly ash* sebagai bahan *filler* 65% menghasilkan beton prategang, dengan beban maksimum yang di peroleh sebesar 825 kN dan kuat tekan sebesar 39,494 MPa. Analisis konsentrasi fenol dan logam berat yang lepas dari perendaman beton dilakukan pada benda uji terbaik yaitu pada filler 65% yaitu fenol = 0,003 ppm, Cu = 0.010 ppm Zn = 0,022 ppm dan Ba = 0.17 ppm masih jauh dibawah baku mutu. Penelitian kedepannya dapat dilakukan pengujian mobilisasi logam berat adanya penambahan waktu perendaman lebih dari 28 hari. Hal itu dilakukan untuk memastikan logam berat yang lepas masih memenuhi baku mutu serta adanya pengujian susut pada beton yang dilakukan guna memperoleh umur beton pada saat beban bekerja.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada PT. SOCI MAS yang berkenan menyediakan sampel *berupa fly ash*, Kepala dan Staf Laboratorium Beton, Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, atas alat yang telah disediakan sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

#### 6. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini

#### Daftar Pustaka

- [1] Anonim, *Publikasi Statistik Pertambangan Non Minyak dan Gas Bumi*, Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2020.
- [2] D. R. W. Syaka, "Pembuatan beton normal dengan *fly ash* menggunakan *mix* desain yang dimodifikasi," Skripsi, Universitas Jember, Jember, 2013.
- [3] A. Zakaria, H. Rochaeni, W. Djasmasari, Y. Purawamargapratala, and A. Taufiq, "Karakterisasi dan pemanfaatan abu terbang aktivasi fisika dalam menyerap ion logam  $Cu^{2+}$ ," in *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan*, 2012, pp. 160–167.

- [4] J. H. Nasution and Iriany, “Pembuatan adsorben dari cangkang kerang bulu yang diaktivasi secara termal sebagai pengadsorpsi fenol,” *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 4, no. 4, pp. 51–57, 2015.
- [5] K. Jitchaiyaphum, T. Sinsiri, and P. Chindaprasirt, “Cellular lightweight concrete containing pozzolan materials,” in *Procedia Engineering*, 2011, vol. 14, pp. 1157–1164.
- [6] Anonim, *Peraturan Pemerintah (PP) Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun*, Jakarta: Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 2014.
- [7] A. Harison, V. Srivastava, and A. Herbert, “Effect of fly ash on compressive strength of portland pozzolona cement concrete,” *Journal of Academia and Industrial Research*, vol. 2, no. 8, pp. 476–479, 2014.
- [8] Q. Tang, Y. Liu, F. Gu, and T. Zhou, “Solidification/stabilization of fly ash from a municipal solid waste incineration facility using portland cement,” *Advances in Materials Science and Engineering*, pp. 1–10, 2016.
- [9] J. Lubis, “Kajian eksperimental pemanfaatan limbah abu terbang (*fly ash*) PLTU Labuhan Angin Sibolga sebagai campuran beton,” Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2016.
- [10] R. Mall, S. Shrama, and R. D. Patel, “Studies of the properties of paver block using fly ash,” *IJSRD-International Journal for Scientific Research & Development*, vol. 2, no. 10, pp. 59–64, 2014.
- [11] Usman, “Potensi limbah abu terbang (*fly ash*) batubara sebagai bahan substitusi dan bahan pengisi (*filler*) pada pembuatan beton,” Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2018.
- [12] D. Dermawan and M. L. Ashari, “Studi komparasi kelayakan teknis dan lingkungan pemanfaatan limbah B3 *sandblasting* dan *fly ash* sebagai campuran beton,” *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, vol. 15, no. 1, pp. 25–30, 2018.
- [13] W. Kushartomo and N. Hendrawan, “Pengaruh perpaduan *copper slag* dan abu terbang terhadap sifat mekanis *reactive powder concrete*,” in *Seminar Nasional Teknologi dan Sains (SNTS) II*, 2016, pp. 1–8.
- [14] M. Munir, “Pemanfaatan abu batubara (*fly ash*) untuk *hollow block* yang bermutu dan aman bagi lingkungan,” Tesis, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
- [15] A. B. Saputro, “Kuat tekan dan kuat tarik beton mutu tinggi dengan *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen,” *RADIAL - Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, vol. 8, no. 1 pp. 25–33, 2008.
- [16] I. M. A. K. Salain, “Penggunaan akselerator pada beton yang menggunakan perekat berupa campuran semen *portland* tipe I dan abu terbang,” in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 1 (SeNaTS 1)*, 2015, pp. 113–118.
- [17] Pedoman Konstruksi dan Bangunan, “*Pedoman Pelaksanaan Pekerjaan Beton untuk Jalan dan Jembatan Pd T-07-2005-B*,” Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 2005.
- [18] D. Sitindaon and M. H. Harahap, “Pengaruh penambahan styrofoam pada pembuatan beton ringan menggunakan pasir merah labuhan batu selatan,” *Jurnal Einstein*, vol. 2, no. 3, pp. 14–19, 2014.
- [19] A. R. J. Nabal, L. R. Cahyaningsih, and H. K. P. Pandong, “Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap kuat tekan beton mutu tinggi,” *Lomba Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi*, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta, 2014.
- [20] K. K. B. Siram, “Cellular light-weight concrete blocks as a replacement of burnt clay bricks,” *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, vol. 2, no. 2, pp. 149–151, 2012.
- [21] Anonim, *Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Jakarta: Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, 1995.
- [22] S. L. Patil, J. N. Kale, and S. Suman, “Fly Ash Concrete: A technical analysis for compressive strength,” *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, vol. 2, no. 1, pp. 128–129, 2012.