

## Pemanfaatan Limbah Padat Debu EAF Pada Perusahaan Peleburan Baja Sebagai Pengganti Semen Pada Campuran Beton

Luthfiana Nur Anisya<sup>1\*</sup>, Moch. Luqman Ashari<sup>2</sup>, Denny Dermawan<sup>3</sup>

<sup>12</sup>Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 6011

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 6011

Email : [eafdust11@gmail.com](mailto:eafdust11@gmail.com)

### Abstrak

Limbah debu EAF merupakan limbah yang berasal dari proses peleburan baja dimana debu tersebut dihasilkan dari proses Tanur Busur Listrik atau *Electric Arc Furnace* (EAF) pada tahapan pemasukkan *scrap* dari *bucket* ke dapur EAF. Menurut Lampiran 1 PP No. 101 tahun 2014, debu EAF tergolong Limbah B3. Jumlah limbah yang dihasilkan cukup besar, yaitu untuk *primary dust collector*  $\pm 4 \text{ m}^3$  dan *secondary dust collector*  $\pm 2 \text{ m}^3$  dan jumlahnya terus bertambah setiap hari. Selama ini pemanfaatan limbah debu EAF ini belum optimal yaitu dibiarkan begitu saja. Oleh karena itu, dilakukan penelitian pemanfaatan limbah debu EAF sebagai bahan baku pembuatan beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat limbah debu EAF, pengaruh penambahan limbah debu EAF terhadap kuat nilai tekan, serta mengetahui kelayakan beton terhadap aspek lingkungan. Penelitian yang dilakukan meliputi pengujian material, perhitungan *mix design*, pembuatan beton, *curing*, pengujian kuat tekan dan pengujian TCLP. Debu EAF digunakan sebagai pengganti semen dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Metode *mix design* yang digunakan yaitu SNI 03-2834-2000 dengan  $f'c$  30 MPa dan nilai slump  $12 \pm 2$  cm. Berdasarkan hasil penelitian, menunjukkan bahwa beton dengan campuran debu EAF yang memenuhi kuat tekan rencana adalah beton debu EAF 5% dan debu EAF 10% dengan nilai kuat tekan masing-masing sebesar 34,3 MPa dan 31,6 MPa. Kandungan logam berat pada beton debu EAF 5% berdasarkan hasil uji TCLP berada di bawah baku mutu sehingga beton debu EAF 5% dinyatakan layak secara teknis dan aman dari segi lingkungan.

**Kata kunci:** Debu EAF, Beton, Uji Kuat Tekan, Uji TCLP.

### PENDAHULUAN

#### Latar belakang

Perusahaan peleburan baja merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang industri pengolahan baja yang dikhususkan untuk memproduksi baja *special steel* yang berlokasi di Jawa Timur, Indonesia. Setiap proses produksi berlangsung, perusahaan ini selalu menghasilkan beberapa limbah yang jumlahnya cukup signifikan salah satunya berupa debu atau biasa disebut dengan debu EAF. Debu EAF merupakan debu logam berat yang dihasilkan dari proses peleburan baja terutama pada saat proses pemasukan *scrap* (besi tua) kedalam proses Tanur Busur Listrik atau *Electric Arc Furnace* (EAF)

Sampai saat ini limbah debu tersebut dibiarkan begitu saja di tempat pembuangan dan belum dimanfaatkan secara optimal. Melihat kondisi tersebut dengan jumlah limbah yang semakin banyak akan memberi dampak buruk pada area perusahaan, apabila keluar ke lingkungan dapat mencemari lingkungan, baik melalui komponen udara,

air maupun tanah dan bagi kesehatan. Menurut PP No. 101 Tahun 2014 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), debu EAF dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) dengan kode limbah B407.

Salah satu limbah industri yang dapat dimanfaatkan adalah limbah debu pengolah baja (*dry dust collector*) yang digunakan sebagai bahan tambah (*additive*) pada campuran beton (Arifin dan Besman, 2015). Uji laboratorium debu limbah ini mempunyai ukuran butiran 20-75 mesh, mengandung unsur utama Iron (Fe), Karbon (C), Oksigen (O), Natrium (Na), Magnesium (Mg), Silika (Si), Kalsium (Ca), Mangan (Mn) dan element lainnya. Secara fisik dan kimia, debu limbah mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai beton. Beberapa hasil penelitian terdahulu menyebutkan bahwa debu limbah pengolahan baja ini dapat digunakan sebagai bahan pengisi pada *conblock* (Murdiani, Apriyandi, Pensa & Fitri, 2006).

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang banyak digunakan dalam pelaksanaan struktur modern. Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland, air, dan agregat serta kadang-kadang bahan tambah (*admixture*) yang berupa bahan kimia, abu, serat, bahan non kimia dengan perbandingan tertentu. Penggunaan beton pada dasarnya memiliki keunggulan-keunggulan diantaranya memiliki kuat tekan yang tinggi, perawatan dan pembentukan yang mudah, serta mendapatkan bahan penyusunnya (Arifin dan Besman, 2015).

Berdasarkan penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa limbah debu EAF dari peleburan baja dapat diolah kembali untuk diaplikasikan dalam bidang Teknik Sipil atau dalam dunia konstruksi bangunan. Oleh karena itu, pada riset ini peneliti akan memanfaatkan limbah debu EAF di Perusahaan Peleburan Baja sebagai bahan campuran beton dan berharap dapat memperoleh komposisi campuran yang menghasilkan kuat tekan optimum dan memenuhi persyaratan kuat tekan minimum pada beton, sehingga beton yang dihasilkan dapat menjadi alternatif pilihan material konstruksi ramah lingkungan, karena menggunakan limbah sebagai bahan tambah dan bernilai ekonomi tinggi.

### **Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi kandungan logam berat yang terdapat dalam limbah debu EAF dan Menganalisa pengaruh penambahan limbah debu EAF sebagai bahan campuran pada pembuatan beton normal terhadap nilai kuat tekan
2. Mengidentifikasi komposisi maksimum debu EAF sebagai campuran pembuatan beton berdasarkan hasil uji kuat tekan dan uji TCLP.
3. Mengidentifikasi komposisi optimal debu EAF sebagai campuran pembuatan beton berdasarkan hasil uji kuat tekan dan uji TCLP

### **Limbah**

Berdasarkan PP Nomor 101 tahun 2014 Limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan sedangkan berdasarkan Keputusan Menperindag RI No. 231/MPP/KEP/1997 Pasal 1 limbah merupakan bahan/barang sisa atau bekas dari suatu kegiatan atau proses produksi yang fungsinya sudah berubah dari aslinya, kecuali yang dapat dimakan manusia atau hewan. Berdasarkan wujudnya limbah dikelompokkan menjadi 3 yaitu limbah padat, limbah cair dan limbah gas. Berdasarkan karakteristiknya limbah dikelompokkan menjadi 2 yaitu limbah B3 dan limbah non B3.

### **Limbah Debu EAF**

Limbah debu EAF merupakan limbah yang berasal dari proses peleburan baja. Limbah debu EAF dihasilkan dari proses Tanur Busur Listrik atau *Electric Arc Furnace* (EAF) pada tahapan pemasukkan *scrap* dari *bucket* ke dapur EAF. *Scrap* merupakan bahan baku proses peleburan yang berupa besi bekas. Besi-besi bekas yang digunakan ini sebagian besar tercampur dengan pasir dan partikel-partikel besi yang sudah mengalami korosi. Pada saat proses *charging* berlangsung debu-debu *scrap* keluar dari atap dapur EAF dan terhirup oleh *dust collector*. Limbah debu EAF memiliki bentuk seperti pasir namun memiliki tekstur yang lebih lembut seperti tepung terigu dan berwarna abu-abu pucat. Berikut ini adalah gambar dan tabel tentang bentuk fisik limbah debu EAF

### **Beton**

Beton adalah campuran pasir, kerikil, batu pecah atau agregat lainnya yang dicampur dengan semen dan air (semen pasta). Kadang-kadang ditambahkan satu atau lebih bahan tambah untuk mengubah karakteristik tertentu dari beton seperti *workability*, *durability*, and waktu pengerasan (McCormac and Brown, 2014). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan ( $f'c$ ) pada usia 28 hari. Kuat tekan beton merupakan suatu nilai yang ditunjukkan oleh besarnya beban tekan yang dapat dipikul oleh benda uji sample dari beton tersebut sampai runtuh (Bahar dkk, 2004). Bila kuat tekannya tinggi, maka sifat-sifat yang lain pada umumnya juga baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari kualitas bahan penyusun, nilai faktor air semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemadatan, dan perawatan), serta umur beton.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Uji SEM-EDX

Melakukan pengujian SEM-EDX yang bertujuan agar peneliti dapat menganalisa kandungan logam berat yang ada di dalam debu EAF. Menurut Cahyadi (2012), pengujian mikrostruktur dari limbah debu EAF dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat bentuk dan ukuran partikel penyusunnya. SEM merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan untuk analisa permukaan material. SEM juga dapat digunakan untuk menentukan elemen atau senyawa. Prinsip kerja SEM adalah dimana dua sinar elektron digunakan secara simultan. Satu strike specimen digunakan untuk menguji dan strike yang lain adalah CRT (*Cathode Ray Tube*) memberi tampilan gambar.

### Benda Uji

Tahapan pada penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan bahan literature yang berhubungan dengan penelitian ini, kemudian dilakukan persiapan bahan (semen, pasir, kerikil, dan air), selanjutnya pada bahan dilakukan pengujian di laboratorium. Setelah pengujian bahan, dilakukan perencanaan campuran beton (*mix design*) guna mendapatkan perbandingan campuran bahan. Selanjutnya dilakukan *slump test* pada beton segar. Kemudian dilakukan pembuatan benda uji sesuai dengan *mix design*. Setelah itu dilakukan perawatan pada benda uji (*curing*) dengan cara merendam benda uji akan menghasilkan data yang akan dianalisis yang kemudian menghasilkan kesimpulan dari penelitian ini. Dengan perhitungan *mix design* diperoleh perencanaan komposisi dan mutu beton berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan mutu beton  $f'c = 30$  MPa dan slump ( $10 \pm 2$ ) cm. Peneliti merencanakan 5 variasi penggunaan campuran limbah debu sebagai pengganti semen dengan menggunakan 3 buah benda uji pada masing-masing variasi campuran. Variasi jumlah limbah debu EAF yang diteliti adalah 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.

### Pengujian Kuat Tekan

Meletakkan benda uji pada mesin tekan secara sentris. Menjalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar anatar 2 sampai 4 kg/cm<sup>2</sup> per detik. Melakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan mencatat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji. Menggambar bentuk pecah dan mencatat keadaan benda uji. Melakukan perhitungan kuat tekan.

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang (cm<sup>2</sup>)

### Uji TCLP

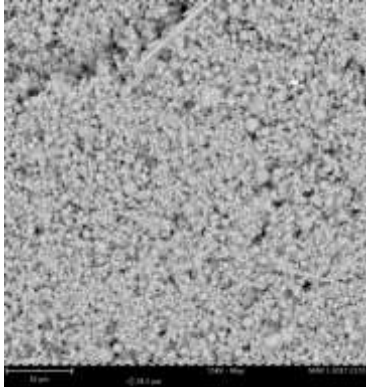
Pada tahap ini dilakukan pengujian toksisitas beton dengan metode *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP). Pengujian ini dilakukan pada beton yang mempunyai nilai uji kuat tekan sesuai dengan mutu beton perencanaan. Pengujian ini menggunakan alat AAS (*Atomic Absorbtion Spectrofotometer*).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Komposisi Debu EAF

Komponen penyusun debu EAF, dianalisis dengan menggunakan alat SEM-EDX (*Scanning Electron Micscopy – Energy Dspersive X-Ray Spectroscopy*) pada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Pengujian SEM

– EDX dilakukan terhadap 4 (empat) titik yang berbeda pada limbah debu EAF dan 1 (satu) secara keseluruhan atau titik *region*. Titik – titik tersebut menunjukkan senyawa penyusun dari limbah debu EAF dan ditampilkan dalam bentuk tabel dengan prosentase berat. Data tersebut tersaji pada Gambar dan Tabel berikut ini.



Gambar 1. Limbah Debu EAF Melalui Alat SEM-EDX

Berdasarkan pengujian SEM-EDX diketahui bahwa didalam limbah debu EAF terdapat senyawa FE (*iron*), Si (*Silicon*), dan Ca (*Calcium*) dimana senyawa tersebut sama dengan senyawa yang dimiliki semen dan dapat bereaksi membentuk reaksi *pozzolanic*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa limbah debu EAF dapat digunakan sebagai bahan substitusi semen berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 1 Hasil Pengujian SEM – EDX Region Limbah Debu EAF

Element Number	Element Symbol	Element Name	Weight Conc. (%)
8	O	Oxygen	36.52
26	Fe	Iron	34.48
30	Zn	Zinc	17.39
25	Mn	Manganese	5.09
20	Ca	Calcium	2.04
17	Cl	Chlorine	1.50
14	Si	Silicon	1.25
42	Mo	Molybdenum	1.08
19	K	Potassium	0.66

### Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Tabel 2 Hasil Pengujian SEM – EDX Region Limbah Debu EAF

Komposisi	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Rata-rata (f'cr)
Normal	A	36,8
Debu EAF 5%	B	34,3
Debu EAF 10%	C	31,6
Debu EAF 15%	D	29,9
Debu EAF 20%	E	27,8

Dapat dilihat dari tabel diatas, terjadi penurunan terhadap kuat tekan beton dari tanpa limbah sampai substitusi limbah 20%. Penurunan nilai kuat tekan beton dengan penggunaan limbah debu EAF sebagai bahan substitusi sebagian semen diakibatkan oleh tingginya kadar Fe pada limbah. Oleh sebab itu, reaksi *pozzolanic* yang terjadi tidak seimbang. Dalam penelitian Amalia (2009), dijelaskan bahwa karena kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada limbah yang cukup

tinggi. Nilai Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada limbah menyebabkan senyawa C<sub>4</sub>AF (Tetrakalsium Alumino Forit 4CaOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) menjadi tinggi. Senyawa ini tidak membahayakan bagi semen, tetapi bila jumlah terlalu banyak akan memperlambat pengerasan semen.

**Hasil Uji TCLP**

Pengujian TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) dilakukan pada beton campuran debu EAF yang memiliki hasil kuat tekan terbaik sesuai dengan mutu yang direncanakan (*f*<sub>c</sub> = 30 MPa). Pada penelitian ini, beton campuran debu EAF yang memiliki kuat tekan terbaik adalah beton campuran debu EAF 5% dengan nilai kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 34,3 MPa. Pengujian TCLP dilakukan untuk mengetahui berapa konsentrasi mineral logam berbahaya yang terkandung pada benda uji setelah dilakukan solidifikasi material limbah menjadi campuran beton. Hasil pengujian TCLP pada beton debu EAF 5% dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut ini.

Tabel 3 Hasil Pengujian Uji TCLP Beton dengan Campuran limbah Debu EAF

No	Jenis Parameter	Satuan	Baku Mutu	Limit Deteksi (LD)	Hasil Pemeriksaan Laboratorium
1	Hg	Ppm	0,05	0,0014	0,0019
2	Pb	Ppm	0,5	0,0405	0,2740
3	Cd	Ppm	0,15	0,0198	0,0551
4	CR 6+	Ppm	2,5	0,0030	<0,0030
5	CU	Ppm	10	0,0378	0,1492
6	NI	Ppm	3,5	0,0378	0,0633
7	ZN	Ppm	50	0,0075	31,208

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil yang didapat pada penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan:

4. Kandungan logam berat yang terdapat pada limbah debu EAF antara lain O (36,52 %), Fe (34,48%), Zn (17,39%), Mn (5,09%), Ca (2,04%), Cl (1,50%), Si (1,25%), Mo (1,08%), dan K (0,66%).
5. Berdasarkan hasil kuat tekan umur 28 hari, beton dengan kode A (normal), B (debu EAF 5%), C (debu EAF 10%), D (debu EAF 15%), dan E (debu EAF 20%) memiliki nilai kuat tekan berturut-turut sebesar 36,8 MPa; 34,3 MPa; 31,6 MPa; 29,9 MPa; dan 27,8 MPa. Beton dengan komposisi debu EAF 5%, 10%, 15% dan 20% mengalami penurunan kuat tekan terhadap beton normal berturut-turut sebesar 6,79 %; 15,16%; 21,83%; 30,1%. beton dengan campuran debu EAF yang memenuhi kuat tekan rencana (30 MPa) adalah beton debu EAF 5% dan debu EAF 10% dengan nilai kuat tekan masing-masing sebesar 34,3 MPa dan 31,6 MPa.
6. Hasil pengujian TCLP dengan menggunakan parameter mineral logam berbahaya yaitu mercury (Hg), timbal (Pb), Cadmium (Cd), krom heksavalen (Cr<sup>6+</sup>), tembaga (CU), nikel (Ni), dan seng (Zn) pada beton kode B (debu EAF 5%) berturut-turut adalah 0,0019 ppm; 0,2740 ppm; 0,0551 ppm; <0,0030 ppm; 0,1492 ppm; 0,0633 ppm; 31,208 ppm. Hasil pengujian TCLP tersebut berada dibawah baku mutu berdasarkan Lampiran IV PP No. 101 Tahun 2014 yaitu 0,05 ppm; 0,5 ppm; 0,15 ppm; 2,5 ppm; 10 ppm; 3,5 ppm; dan 50,0 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa beton dengan campuran debu EAF 5% dapat dinyatakan aman dari segi lingkungan.
7. Komposisi debu EAF yang optimal sebagai campuran pembuatan beton adalah beton EAF 5% dengan nilai kuat tekan yang memenuhi kuat tekan rencana (30 MPa) sebesar 34,4 MPa dan berdasarkan hasil uji TCLP dinyatakan aman dari segi lingkungan.

**SARAN**

2. Menggunakan *water retarder* seperti *additive superblasticizer*, untuk mengurangi penggunaan air, sehingga diharapkan dapat meningkatkan hasil pengujian kuat tekan.
3. Sebaiknya debu EAF ini digunakan untuk penambahan material pada beton, bukan sebagai pengganti material, sehingga kuat tekan akan lebih meningkat.
4. Diperlukan penambahan jumlah sampel, untuk mendapatkan hasil yang lebih detail lagi.

5. Penelitian ini dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya dengan mengganti variasi yang sudah ada, dan mengubah faktor air semen.
6. Sebaiknya uji TCLP dilakukan di awal dan di akhir, agar dapat dianalisis penurunan kandungan logam beratnya.
7. Memanfaatkan limbah B3 lainnya agar lebih bisa dimanfaatkan, bernilai ekonomis dan mengurangi dampak pencemaran lingkungan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Amalia. (2011). Studi Potensi Limbah Debu Pengolahan Baja (*Dry Dust Collector*) sebagai Bahan Tambah pada Beton. *Jurnal Teknik Sipil* Vol. 10 No. 1. Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia.
- Anggraeni, D. (2013). *Analisa SEM dalam Pemantauan Penelitian*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 1990. *SNI 03-1974-1990 Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2000. *SNI 03-2834-2000 Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2002. *SNI 03-2847-2002 Tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Cahyadi, W. D. (2012). Studi Kuat Tekan Beton Normal Mutu Rendah yang Mengandung Abu Sekam Padi (RHA) dan Limbah Adukan Beton (CSW). Tugas Akhir, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia.
- Ferdiana, M. D. (2015). *Pengenalan Dasar Konstruksi Beton Siku dan Pracetak*. Yogyakarta. Penerbit TAKA Publisher.
- Keputusan Menperindag RI No. 231/MPP/KEP/1997 Pasal 1
- Kurniawati, E., Suhandana, R., Nur, A. F., & Bahar, S. (2004). *Pedoman Pekerjaan Beton PT*. Wijaya Karya. Jakarta, Indonesia.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2014). *Design of Reinforced Concrete* (9th ed.). *ACI 318-11 Code* Edition. *United States of America*.
- Murdiani, K. M., Apriyandi, N., Pensa, A., & Fitri, M. (2006). *Pemanfaatan Limbah Gas Kolektor PT. Krakatau Steel Cilegon sebagai Bahan Campuran Conblock*. Laporan PKMP Politeknik Negeri Jakarta.
- Rajagukguk, A., & Surbakti, B. (2015). Pengaruh Penambahan Limbah Debu Pengolahan Baja (*Dry Dust Collector*) dan Penambahan Serat *Polypropylene* terhadap Sifat Mekanis Beton. Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia.