

**POTENSI PEMANFAATAN SLAG ALUMINIUM SEBAGAI  
SUBSTITUSI SEMEN DALAM PROSES  
STABILISASI/SOLIDIFIKASI LIMBAH B3 DENGAN  
KAJIAN PUSTAKA  
(STUDI KASUS : PT.X KECAMATAN KESAMBEN, JOMBANG)**

**Komang Ardy Putri Saraswati dan Mohammad Razif**

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi

Adhi Tama Surabaya

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

**ABSTRAK**

*Slag aluminium tergolong limbah bahan berbahaya beracun (B3) dalam PP 101 tahun 2014 dengan kode B313-2. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi pemanfaatan slag aluminium. Penelitian ini dilakukan dengan kajian pustaka yaitu mengumpulkan data-data terkait berupa hasil wawancara dan data sekunder dari jurnal. Hasil penelitian menunjukkan karakteristik slag memiliki kandungan unsur B3 wajib dikelola, salah satunya dengan Stabilisasi/solidifikasi. Metode analisa pemanfaatan solidifikasi slag aluminium dilakukan dengan penghancuran (crushing), penggilingan (grinding), pemilahan (sorting). Slag berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi seperti beton geopolimer, bata beton, batako, dan paving block. Komposisi slag aluminium dengan solidifikasi menunjukkan tidak melebihi 20% karena produk akan mengalami perlindian. Uji Kuat Tekan slag tertinggi pada PT.X jombang sebagai paving block tertinggi yaitu 36,8 Mpa yang dapat dimanfaatkan sebagai lahan parkir.*

**Kata Kunci :** slag aluminium, solidifikasi, kuat tekan, TCLP

**ABSTRACT**

*According to PP 101 Year 2014, aluminum slag classified as BTS waste in code B313-2. This research aimed at investigating potentials aluminum slag. The researcher carried out review of related literature by collecting related data from interview and secondary data in journal. The results of research, slag contained BTS elements and must be managed, through stabilization/solidification. The process of using slag solidification was conducted by crushing, grinding, sorting. Slag has potentials for construction materials such as geopolymer ,brick, pressed brick, and paving block. The best composition for using aluminium slag is less than 20% because the product will get leaching. The highest compressive strength of slag by 36.8 Mpa at X Ltd in Jombang was for paving block of parking area.*

**Keywords:** aluminium slag aluminium, solidification, compressive strength, TCLP

## PENDAHULUAN

Pembuangan limbah bahan berbahaya beracun terus terjadi khususnya daerah pusat industri peleburan aluminium Jombang, Jawa Timur. Industri peleburan aluminium menghasilkan limbah samping berupa abu slag aluminium yang dibuang di lahan terbuka. Diperkirakan lebih dari 100 juta ton limbah bahan berbahaya dan beracun dari industri peleburan logam ini membuang limbahnya disekitar pemukiman warga. Limbah slag merupakan hasil samping dari proses peleburan dross atau padatan yang tidak mencapai titik didih aluminium sehingga diproses kembali di tungku pembakaran dan menghasilkan abu sekunder yaitu slag. Slag aluminium tergolong limbah bahan berbahaya beracun (B3) dalam PP 101 tahun 2014 yaitu dengan kode B313-2 dari kegiatan industri peleburan aluminium dengan kategori bahaya 2. Untuk mengurangi kadar limbah B3 bisa dilakukan beberapa metode salah satunya yaitu dengan solidifikasi/stabilisasi limbah. Limbah B3 pada S/S dikonversi menjadi senyawa padat atau matriks block sehingga mengurangi tingkat pelindian kontaminan. Perlindungan limbah slag aluminium bisa dilakukan dengan metode S/S dengan pemanfaatannya sebagai bahan-bahan pengeras jalan maupun bahan bangunan lainnya. Upaya pengelolaan limbah slag aluminium ini untuk mengetahui potensi-potensi pemanfaatan slag aluminium yang banyak dilakukan sehingga memiliki nilai lebih dan mengurangi resiko terhadap lingkungan.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik dari slag aluminium dalam pemanfaatannya sebagai bahan solidifikasi dan kaitannya dengan regulasi di Indonesia, serta analisa proses mensolidifikasi slag aluminium dan pemanfaatan produk S/S slag aluminium ditinjau dari segi kualitas yaitu komposisi terbaik dan Uji Kuat Tekan.

Proses peleburan atau pengecoran aluminium primer menghasilkan limbah abu primer atau *dross* yang masih mengandung residu aluminium sebesar 20-45%. *Dross* aluminium merupakan padatan atau serpihan bongkahan berwarna abu-abu, mengandung bahan kimia beracun yang dapat mencemari lingkungan, sehingga perlu kehati-hatian dalam pemanfaatan *dross* dan pembuangan limbahnya.

Selama proses peleburan dross, aluminium akan bereaksi di udara membentuk oksida aluminium pada permukaan aluminium yang mencair. Peleburan dari padatan dross aluminium membutuhkan penambahan dan *flux* untuk mengikat sisa aluminium dalam abu primer, serta larutan asam sulfat dan asam amonia, serta dan menghasilkan limbah abu sekunder atau slag aluminium yang berwarna abu-abu kehitaman.

Menurut (Roger D., 2005) yang dikutip oleh (Anrozi & Trihadiningrum, 2017) stabilisasi/solidifikasi (S/S) merupakan proses yang melibatkan pencampuran limbah dengan zat pengikat untuk mereduksi pelindian kontaminan baik secara fisik dan kimia. Proses S/S mengkonversi limbah (B3) menjadi bentuk limbah yang dapat diterima oleh lingkungan untuk dibuang ke lahan pembuangan atau digunakan untuk keperluan konstruksi. S/S telah banyak digunakan untuk menangani limbah radioaktif tingkat rendah, berbahaya, dan limbah campuran.

Stabilisasi adalah proses penambahan bahan aditif atau reagensia yang bertujuan untuk mengurangi sifat beracun limbah, dengan cara mengubah limbah dan komponen berbahayanya ke bentuk yang dapat mengurangi laju migrasi kontaminan ke lingkungan, atau mengurangi sifat beracun limbah tersebut. Sedangkan solidifikasi adalah proses ditamahnya bahan yang dapat memadatkan limbah agar terbentuk massa limbah yang padat (Anrozi & Trihadiningrum, 2017).

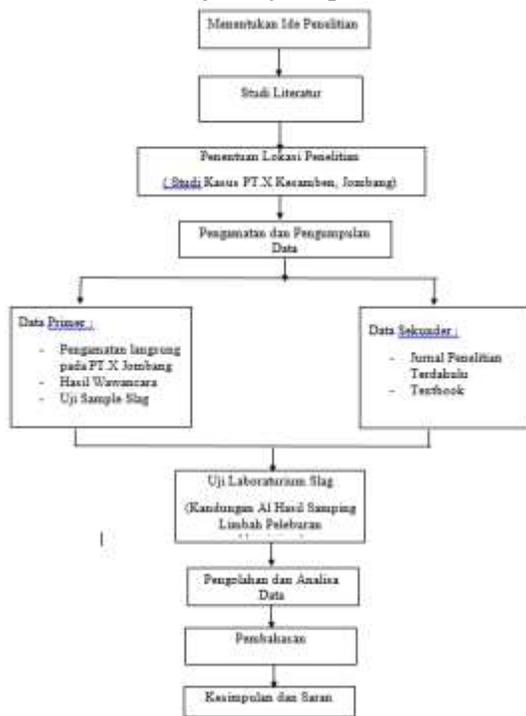
Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-1974-1990). Kuat tekan merupakan parameter kunci yang digunakan sebagai ukuran kemampuan monolith bahan solidifikasi untuk ketahanan tekanan mekanis. Pengujian kuat tekan bahan dilakukan untuk mengetahui kualitas kuat tekan beberapa bahan tersebut dengan satuan luasan bidang tekan tertentu.

Uji Kuat Tekan disebut juga Unconfined Compressive Strength (UCS) terkait dengan pengembangan reaksi hidrasi di dalam produk solidifikasi / stabilisasi dan ketahanan bahan monolith hasil proses solidifikasi / stabilisasi.

**METODE PENELITIAN**

Ide penelitian diperoleh dari masalah akibat munculnya kasus yang diberitakan oleh media bahwa pembuangan limbah slag aluminium terus terjadi dari Industri peleburan logam Aluminium di Jombang Jawa Timur. Penelitian ini bersifat studi literature yang menggunakan buku-buku dan literatur lainnya sebagai objek yang utama.

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk mengumpulkan data penelitian berupa studi pustaka atau literatur yang telah dipilih, dicari, disajikan dan dianalisis. Sumber data penelitian ini mencari data-data kepustakaan yang membutuhkan tindakan pengolahan secara filosofis dan teoritis. Studi pustaka dalam penelitian ini adalah studi pustaka tanpa disertai uji atau eksperimen secara langsung. Data yang disajikan adalah yang berbentuk kata yang memerlukan pengolahan supaya ringkas dan sistematis sesuai dengan tujuan penelitian.



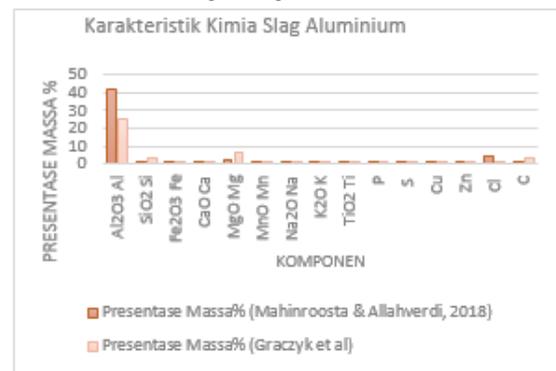
**Gambar 1.** Metodologi Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**1. Analisis Karakteristik Slag Aluminium**

Penentuan karakteristik kimia dari slag aluminium ditinjau dari berbagai macam pustaka salah satunya dengan menyajikan karakteristik

kimia dari slag aluminium. Sebagian besar dilaporkan bahwa slag aluminium sebagai bahan teroksidasi terdiri dari  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $Fe_2O_3$  dan senyawa lainnya. Menurut (Tsakiridis, 2012) karakterisasi menunjukkan bahwa slag aluminium mengandung setidaknya 12 logam utama hadir dalam setidaknya 19 fase yang dapat diidentifikasi. Dalam menentukan tingkatan karakteristik kimia slag aluminium dan memudahkan dalam menganalisis dan membandingkan kandungan karakteristik slag aluminium menurut (Graczyk et al ) dan (Mahinroosta & Allahverdi, 2018) maka data karakteristik dalam tabel tersebut ditampilkan dalam bentuk diagram gambar 2:



**Gambar 2** Karakteristik Slag

Kandungan tertinggi senyawa yaitu pada  $Al_2O_3$  diikuti dengan Cl, MgO serta  $SiO_2$  yaitu masing-masing sebesar 42%, 3.9%, 1.8% dan 1.3%. Kandungan senyawa lain jumlahnya sangat kecil dibandingkan empat senyawa yang disebutkan tersebut yaitu dibawah 1.0%. Unsur logam dalam Gambar 4.3 menunjukkan bahwa kandungan logam tertinggi yaitu Al sebesar 25,5%, karena slag sendiri merupakan limbah dari pembakaran aluminium. Sedangkan unsur lain yang terdapat didalamnya yaitu kandungan Mg 6.69%, Si 3.4%, Fe 1.58% dan C 3.6%. Unsur lain dapat dikatan rendah karena kandungannya berada dibawah 1.0%. Dari perbandingan pustaka tersebut dikatan bahwa karakteristik slag tidak mengalami jumlah yang jauh berbeda, karakterstik kimia yang dikandung didalamnya menyerupai dalam bentuk unsur maupun senyawa. Perbedaan jumlah kandungan dalam presentase massa % bervariasi dari produksi masing-masing industry pengolahan

POTENSI PEMANFAATAN SLAG ALUMINIUM...(KOMANG ARDYA PUTRI SARASWATI DAN M.RAZIF

aluminium sekunder tergantung dari factor pengontrol produksi.

**Tabel 1.** Hasil Uji Lab. Kandungan Al

No.	Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji
1.	Aluminium	Mg/kg	6,50

**Tabel 2.** Hasil Uji Laboratorium Kandungan TCLP Slag

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Ambang Batas	
			TCLP A	TCLP B
Arsenic	mg/l	<0,001	3	0,5
Cadmium	mg/l	<0,06	0,9	0,15
Copper	mg/l	0,22	60	10
Lead	mg/l	<0,07	3	0,5
Mercury	mg/l	<0,002	0,3	0,05
Selenium	mg/l	<0,001	3	0,5
Silver	mg/l	<0,10	40	5
Zinc	mg/l	1,01	300	50
Nickel	mg/l	0,26	21	3,5

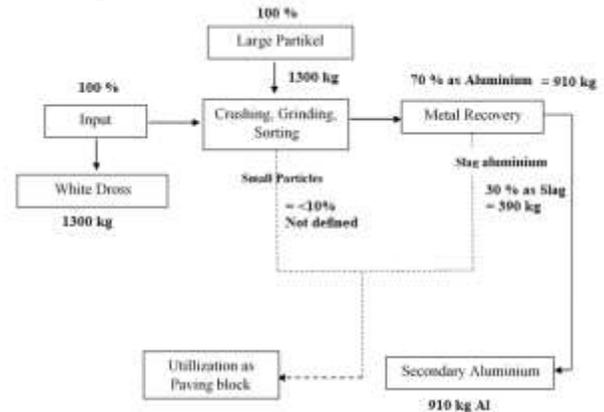
(Sumber : Dokumen Hasil Lab PT.X Kesamben, Jombang)

Karakteristik fisik slag dilakukan dengan analisa secara langsung atau survey ke PT.X Kesamben Jombang. Slag aluminium didapatkan dari pemrosesan dross yang berupa padatan dan menghasilkan abu sekunder yang dinamakan slag. Slag berwarna abu-abu gelap dengan berat jenis slag sebesar 3,96 gram/cm<sup>3</sup> dan ukuran slag bervariasi antara 10 -55 µm. Visual slag aluminium ringan menyerupai pasir dan mudah terbang terbawa angin, slag sangat menyengat apabila tercium berbau seperti logam.

**2. Proses Pemanfaatan Pengolahan Slag Aluminium**

Padatan dross tersebut melalui tahap sortir atau pemilahan dan selanjutnya PT.X melakukan proses pemanasan partikel besar tersebut dalam tungku pembakaran sehingga menghancurkan padatan dross. Proses pemanasan ini disebut sebagai *metal recovery* sehingga menghasilkan daur ulang produk aluminium. Hasil samping dari kegiatan tersebut terbentuklah salt cakes atau slag aluminium dari proses sekunder. Partikel yang telah berubah bentuk menjadi ukuran lebih kecil ini dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi. Berikut merupakan diagram alir proses

solidifikasi slag aluminium di PT.X Kesamben Jombang :



**Gambar 3** Neraca Massa Produksi Slag

Untuk mendukung beberapa proses solidifikasi slag aluminium, pemanfaatan slag ditinjau dari beberapa pustaka yang mendukung seperti : penelitian yang menunjukkan bahwa pemrosesan kompleks slag aluminium memungkinkan untuk menggunakan produk daur ulang sebagai aditif pada cat anti lengket, komposisi beton tahan api untuk lapisan tungku peleburan dan lain lain.

**3. Stabilisasi dan Solidifikasi Slag - Potensi Pemanfaatan**

PT.X Kesamben Jombang melakukan pemanfaatan slag aluminium dengan metode solidifikasi sebagai paving block dan batako yang dipasarkan kembali dengan mutu yang terjaga. Penelitian di lokasi yang sama yaitu Kecamatan Keamben, Jombang telah dilakukan oleh (Balqis Ramadhani, 2019) limbah slag aluminium yang memiliki kandungan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> digunakan sebagai bahan pengganti semen. Penelitian ini memanfaatkan slag aluminium



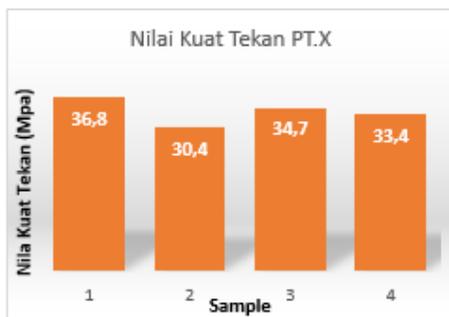
**Gambar 4** Produk Paving Block

untuk mencapai mencapai kuat tekan beton normal. Pemanfaatan beton ini digunakan sebagai struktur utama pengecoran jalan, pembuatan jalan setapak pada sawah, penguatan tanggul yang ditutup dengan limbah slag aluminium. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa produk S/S menggunakan slag aluminium dibidang konstruksi. Beberapa bahan konstruksi tersebut seperti paving block, batako, beton jalan dan lain-lain.

#### - **Komposisi Terbaik**

Komposisi terbaik dari pemanfaatan aluminium jika dilihat dari segi pustaka bahwa, pemanfaatan slag terbaik tidak lebih dari 20% yang aman bagi lingkungan. Hal ini juga tergantung dari penambahan zat aditif atau zat pengikat yang digunakan, dalam beberapa penelitian zat pengikat memiliki presentase yang lebih banyak untuk dicampurkan ke dalam produk. Zat pengikat ini menambah nilai kuat tekan dalam proses pengerasan dan mengikat slag sehingga tidak mudah terlepas ke lingkungan. Dikhawatirkan apabila limbah slag yang digunakan terlalu besar maka mudah rapu dan hancur mencemari lingkungan. Produk S/S berbasis slag juga dalam jangka panjang mengalami perlindian sehingga apabila penggunaannya dalam presentase kecil maka berkemungkinan tidak mencemari lingkungan dalam jumlah yang besar.

#### - **Kualitas (Uji Kuat Tekan)**



**Gambar 5** Nilai Uji Kuat Tekan

Pembuatan produk paving block pada PT.X Kesamben Jombang dilakukan dengan menggunakan komposisi campuran slag sebagai pengganti agregat sebanyak 20%. Misalnya, penggunaan sebanyak 0,40 kg agregat pasir abu gunung dan 20% slag aluminium sebesar 0,20 kg dengan total 0,6 agregat terpakai. Penentuan komposisi ini dipertimbangkan karena selama

beroperasi PT.X mendapatkan kualitas uji kuat tekan dan ketahanan paving block paling tinggi dibandingkan dengan komposisi yang lainnya. Komposisi ini dipilih juga menjamin bahwa limbah slag yang terperangkap dalam paving block tidak mudah hancur saat paving block digunakan sebagai bahan dasar konstruksi bangunan dan aman bagi lingkungan.

Dari ke 4 sampel yang diambil secara acak oleh PT.X Kesamben Jombang didapatkan nilai kuat tekan berkisar antara 36 – 30 Mpa. Nilai uji kuat tekan dipengaruhi daya serap limbah slag terhadap penyerapan air atau hidrolisis. Sifat hidrolisis dari slag tersebut memungkinkan reaksi pengikatan oleh semen dan agregat terganggu. Ini disebabkan karena dalam mengikat agregat dan semen diperlukan air yang cukup atau disebut juga factor air dan semen (FAS). Hal tersebut menyebabkan beberapa sampel mengalami penurunan kuat tekan yaitu terkecil pada sampel 2 sebesar 30,4. Dari Gambar 4.7 dapat diperhatikan bahwa nilai kuat tekan rata-rata dari pemanfaatan slag menjadi paving block sebesar 33,8 Mpa yang artinya memenuhi mutu beton SNI 03-0691-1996 kualitas B yaitu penggunaan paving block sebagai lahan parkir.

#### **KESIMPULAN**

Kesimpulan dari penelitian ini berdasarkan Keputusan Bapedal No. 3 Tahun 1995 tentang Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun limbah slag termasuk kategori limbah B3 sehingga sesuai dengan PP Nomor 101 tahun 2014 limbah slag wajib dikelola dan alternatif proses pengolahan limbah B3 yang dapat memenuhi karakteristik kandungan unsur slag tersebut yaitu stabilisasi/solidifikasi. Pengolahan slag dilakukan dengan analisa kandungan bahan aditif dan pemanfaatannya dalam proses solidifikasi. Slag aluminium berpotensi digunakan dalam pemanfaatan berbagai bahan bangunan konstruksi dan jalan yaitu beton geopolimer, batu bata, paving block, campuran aspal dan mortar. Penentuan komposisi slag aluminium dalam proses solidifikasi dari berbagai pustaka menunjukkan komposisi optimum penggunaan slag yaitu tidak melebihi 20% karena produk solidifikasi masih mengandung residue aluminium yang akan mengalami perlindian. Kualitas pemanfaatan slag aluminium ditinjau

dari uji kuat tekan menunjukkan kuat tekan PT.X sebagai paving block tertinggi yaitu 36,8 Mpa yang dapat dimanfaatkan sebagai lahan parkir. Uji TCLP dari pemanfaatan slag aluminium dari pustaka menyebutkan bahwa pemanfaatan slag aluminium memenuhi standar USEPA dan aman bagi lingkungan.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Anonim. (2014). *Peraturan Pemerintah Nomor 101 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Anonim. (1990) *SNI 03-1974-1990 tentang Uji Kuat Tekan*. Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (1990) *SNI 03-0691-1996 tentang Bata Beton (Paving Block)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Anrozi, R., & Trihadiningrum, Y. (2017). Kajian Teknologi dan Mekanisme Stabilisasi/Solidifikasi untuk Pengolahan Limbah B3. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2).
- Apithanyasai, S., Supakata, N., & Papong, S. (2020). The potential of industrial waste: using foundry sand with fly ash and electric arc furnace slag for geopolymer brick
- Balqis, R. (2019). Pemanfaatan Limbah Slag Aluminium sebagai Substitusi Semen Dalam Pembuatan Beton Normal (Studi Kasus : Kawasan Home Industry Kecamatan Sumobito). *Jurnal Teknik Lingkungan*. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
- Graczyk, D. G., Essling, A. M., Huff, E. A., Smith, F. P., & Snyder, C. T. (1997). Analytical chemistry of aluminum salt cake. *Light Metals: Proceedings of Sessions, TMS Annual Meeting (Warrendale, Pennsylvania)*, 1135–1140.
- Mahinroosta, M., & Allahverdi, A. (2018). Hazardous aluminum dross characterization and recycling strategies: A critical review. *Journal of Environmental Management*, 223(June), 452–468.
- Roger D., Spence, C. S. (2005). *Solidification of Solidification of Hazardous, Hazardous, Radioactive, and Radioactive, and Mixed Wastes* (Vol. 3, Issue 2). CRC Press.
- Tsakiridis, P. E. (2012). Aluminium salt slag characterization and utilization - A review. *Journal of Hazardous Materials*, 217–218, 1–10.