

**TUGAS AKHIR**  
**PEMANFAATAN LIMBAH ABU ALUMINIUM**  
**SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN DALAM**  
**PEMBUATAN *PAVING BLOCK***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan**



**NURUL MUZAYYANAH**  
**17513170**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**  
**2021**



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**TUGAS AKHIR**  
**PEMANFAATAN LIMBAH ABU ALUMINIUM SEBAGAI**  
**SUBSTITUSI SEMEN DALAM PEMBUATAN *PAVING***  
***BLOCK***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan**  
**Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan**



**NURUL MUZAYYANAH**  
**17513170**

Disetujui,  
Dosen Pembimbing:

**(Yebi Yuriandala, S.T., M.Eng.)**

**NIK.**

Tanggal : 15 Juni 2021

**(Fina Binazir Maziya, S.T., M.T.)**

**NIK.**

Tanggal : 15 Juni 2021

Mengetahui:

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



**(Eko Siswono S.T., M.Sc.ES., Ph.D.)**

**NIK. 025100406**

Tanggal : 18 Oktober 2021

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PEMANFAATAN LIMBAH ABU ALUMINIUM SEBAGAI  
SUBSTITUSI SEMEN DALAM PEMBUATAN *PAVING*  
*BLOCK***

**Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji**

**Hari : Kamis**

**Tanggal : 14 Oktober 2021**

**Disusun Oleh :**

**NURUL MUZAYYANAH  
17513170**

**Tim Penguji :**

**Yebi Yuriandala, S.T., M.Eng**

(  )

**Fina Binazir Maziya, S.T., M.T.**

(  )

**Kasam, Dr., Ir., MT**

(  )

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia. *(apabila menggunakan software khusus)*
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 September 2021

Yang membuat pernyataan,



Nurul Muzayyanah

NIM: 17513170

## PRAKATA

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua sehingga penulis telah diberi kemampuan untuk menyelesaikan penulisan Tugas Akhir dengan tema penelitian tentang **Pemanfaatan Limbah Abu Aluminium sebagai Substitusi Semen dalam Pembuatan Paving Block**. Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk memenuhi syarat akademik untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik bagi Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu selama penulisan laporan ini, baik moril maupun materil. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta dan seluruh keluarga tersayang yang selalu memberikan dukungan dengan doa, motivasi, dan kesempatan mendapatkan ilmu.
2. Bapak Yebi Yuriandala, S.T., M.Eng. dan Ibu Fina Binazir Maziya, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing, serta Bapak Kasam, Dr., Ir., MT. selaku reviewer yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memberi pengarahan, nasihat, kritik, dan saran dari awal masa studi hingga proses penelitian ini.
3. Bapak Eko Siswoyo S.T., M.Sc.ES., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan dan seluruh dosen serta staff Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat selama masa studi.
4. Laboran di laboratorium vulkanik, laboratorium bahan konstruksi teknik, laboratorium rancang bangun dan laboratorium kualitas air Universitas Islam Indonesia.
5. Teman-teman seperjuangan di Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Irwan selaku perwakilan dari pengusaha peleburan aluminium di Kecamatan Sumobito.

7. Teman-teman di komunitas Rumah Baca Air Kita, khususnya Bapak Purwanto yang telah membantu mengkomunikasikan ke pihak pengusaha pleburan aluminium.
8. Teman-teman terdekat dan kakak tingkat yang telah memberikan support dan doanya, Gayuh Ajeng Wandansari, Dewi Nadhirah, Ifa Zulkurnaini, Siti Afifah Febriarini, Risalatun Nashihah dan Qurrota Ayyuni Luthfianti, S.T.
9. Pihak-pihak lain terkait yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Demi perbaikan dalam penulisan tugas akhir ini, penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun serta berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan para pembacanya

*Wassalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.*

Yogyakarta, 15 September 2021



Nurul Muzayyanah

## ABSTRAK

Abu slag aluminium akibat aktivitas *home industry* yang berada di Kabupaten Jombang Jawa Timur telah digunakan sebagai penguruk jalan dan tanggul sungai. Limbah slag aluminium yang dibuang di tempat terbuka yang terendam air akan menghasilkan lindi yang dapat meningkatkan kadar amonia, natrium, kalium, klorida dan kadar TDS di lingkungan sekitarnya. Sebanyak 90% semen portland tersusun dari campuran unsur kalsium, silikat, aluminium dan besi yang berikatan menjadi senyawa kompleks tertentu, sehingga abu *slag* aluminium berpotensi menjadi material substitusi semen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi semen dengan abu *slag* aluminium terhadap kuat tekan dan daya serap air pada pembuatan *paving block* dan jenis mutu *paving block* yang sesuai serta mengidentifikasi hasil uji kandungannya. Benda uji yang digunakan adalah *paving block* dengan perbandingan semen dan pasir sebesar 1:3. Sampel komposisi substitusi semen dengan abu *slag* aluminium yang digunakan adalah 5%; 10%; 15%; dan 20%. Pengujian pada penelitian ini adalah pengujian kuat tekan, daya serap air dan TCLP. Hasil pengujian kuat tekan menurun seiring dengan penambahan abu slag aluminium, disebabkan oleh karakteristik limbah slag aluminium yang memiliki sedikit kandungan silika sehingga menyebabkan terhambatnya proses pengerasan, nilai kuat tekan pada substitusi 0%; 5%; 10%; 15%; dan 20% berturut-turut sebesar 43,21 Mpa; 39,23 Mpa; 33,65 Mpa; 28,2 Mpa; dan 17,43 Mpa. Nilai daya serap air cenderung meningkat seiring dengan penambahan abu slag aluminium, disebabkan karena ukuran partikel abu *slag* yang lebih besar dari semen sehingga menghasilkan pori-pori yang lebih besar juga terhadap paving, didapatkan nilai pada substitusi 0%; 5%; 10%; 15%; dan 20% berturut-turut sebesar 6%; 7%; 5%; 8%; dan 10%. Komposisi optimum adalah 10% abu slag aluminium pada substitusi semen. Jenis mutunya adalah paving kategori B yaitu paving yang digunakan untuk peralatan parkir. Hasil TCLP pada paving komposisi 10% didapatkan konsentrasi parameter B3 Cl<sup>-</sup> sebesar 17,016 ppm; Pb sebesar 0,4 ppm; Cu sebesar 0,056 ppm; Zn sebesar 0,579 ppm; Cd sebesar 0,059 ppm; Ag sebesar 0,004 ppm; NO<sub>2</sub>-N sebesar 5 ppm; dan Cr<sup>6+</sup> sebesar 0,01 ppm. Semua parameter berada di bawah baku mutu TCLP yang telah ditetapkan pada Peraturan Pemerintah nomor 22 tahun 2021.

Kata Kunci : Abu Slag Aluminium, *Paving block*, Kuat Tekan, Daya Serap Air, TCLP.



## **ABSTRACT**

*Aluminum slag ash due to home industry activities in Jombang Regency, East Java has been used as road pavers and river embankments. Aluminum slag waste that is disposed of in an open place submerged in water will produce leachate which can increase levels of ammonia, sodium, potassium, chloride and TDS levels in the surrounding environment. As much as 90% of portland cement is composed of a mixture of elements of calcium, silicate, aluminum and iron which are bonded into certain complex compounds, so that aluminum slag ash has the potential to be a cement substitution material. This study aims to analyze the effect of cement substitution with aluminum slag ash on compressive strength and water absorption in the manufacture of paving blocks and the appropriate type of paving block quality and identify the results of the final content test. The test object used was paving block with a ratio of cement and sand of 1:3. The sample composition of cement substitution with aluminum slag ash used was 5%; 10%; 15%; and 20%. Tests in this study were testing compressive strength, water absorption and TCLP. The results of the compressive strength test decreased along with the addition of aluminum slag ash, due to the characteristics of the aluminum slag waste which had a small amount of silica, causing delays in the hardening process, the compressive strength value at substitution was 0%; 5%; 10%; 15%; and 20% respectively at 43.21 Mpa; 39.23 MPa; 33.65 MPa; 28.2 MPa; and 17.43 MPa. The value of water absorption tends to increase with the addition of aluminum slag ash, due to the larger particle size of the slag ash than cement, resulting in larger pores as well as to paving, the value of substitution is 0%; 5%; 10%; 15%; and 20% respectively by 6%; 7%; 5%; 8%; and 10%. The optimum composition is 10% aluminum slag ash in cement substitution. The type of quality is category B paving, namely paving used for parking equipment. The results of TCLP on the 10% composition paving obtained parameter concentrations of B3 Cl- of 17.016 ppm; Pb of 0.4 ppm; Cu of 0.056 ppm; Zn of 0.579 ppm; Cd of 0.059 ppm; Ag of 0.004 ppm; NO<sub>2</sub>-N of 5 ppm; and Cr<sup>6+</sup> of 0.01 ppm. All parameters are below the TCLP quality standard which has been stipulated in Government Regulation number 22 of 2021.*

**Keywords:** Aluminum Slag Ash, Paving block, Compressive Strength, Water Absorption, TCLP.

## DAFTAR ISI

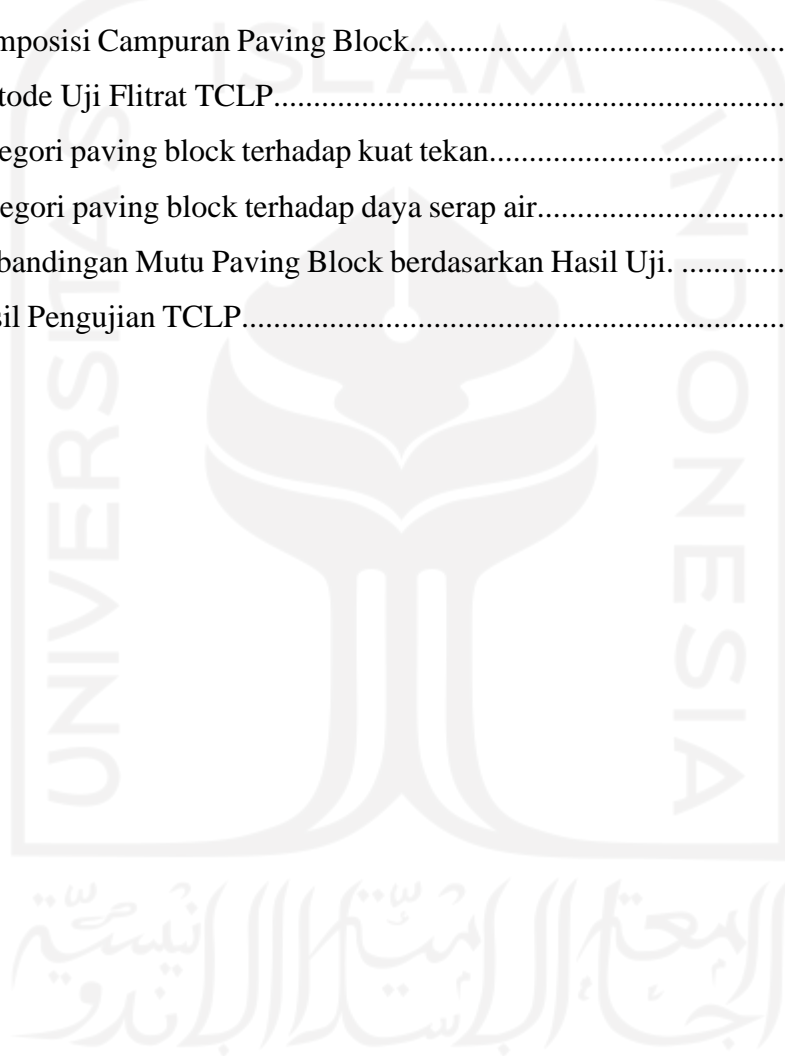
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Abu Slag Aluminium .....	6
2.2 Solidifikasi dan Stabilisasi.....	11
2.3 <i>Paving block</i> .....	11
2.4 Pengujian <i>Paving block</i> .....	13
2.5 Penelitian Terdahulu .....	14
2.6 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya.....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	17
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	18
3.3 Populasi dan Sampel.....	18
3.4 Data Penelitian .....	19
3.5 Variabel Penelitian .....	19
3.6 Prosedur Pembuatan <i>Paving Block</i> .....	20
3.7 Proses Pengujian .....	23
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>27</b>
4.1 Pengujian Kuat Tekan.....	27
4.2 Hasil Pengujian Daya Serap Air.....	30
4.3 Kadar Optimum Campuran .....	32
4.4 Hasil Pengujian <i>Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)</i> .....	34

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	38
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	38
<b>5.2 Saran</b> .....	38
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	39
<b>LAMPIRAN</b> .....	42
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	52



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik Limbah slag Aluminium.....	6
Tabel 2.2. Unsur penyusun limbah berdasarkan ICP.....	8
Tabel 2.3 Klasifikasi Mutu Paving Block.....	11
Tabel 3.1 Rincian Komposisi Paving Block.....	18
Tabel 3.2 Data Primer.....	19
Tabel 3.3 Komposisi Campuran Paving Block.....	21
Tabel 3.4 Metode Uji Flitrat TCLP.....	26
Tabel 4.1 Kategori paving block terhadap kuat tekan.....	28
Tabel 4.2 Kategori paving block terhadap daya serap air.....	31
Tabel 4.3 Perbandingan Mutu Paving Block berdasarkan Hasil Uji.....	33
Tabel 4.4 Hasil Pengujian TCLP.....	34

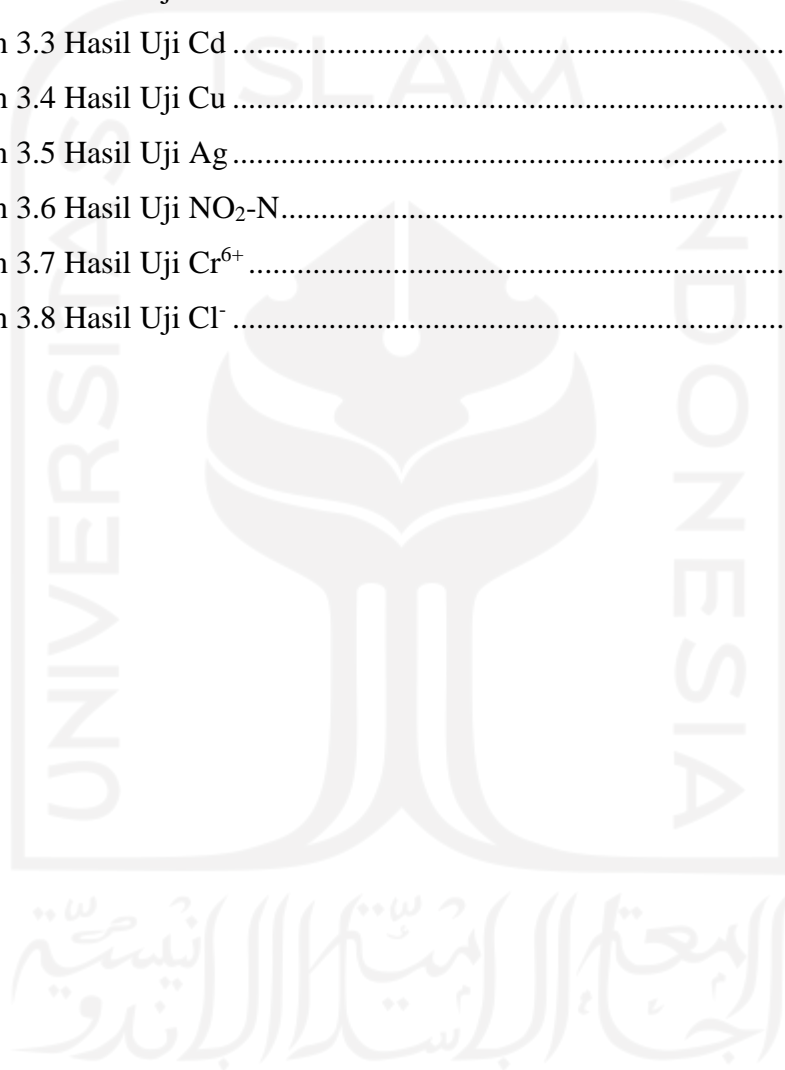


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengolahan Logam Aluminium PT. Sumber Makmur Kedungsari.....	6
Gambar 2.2 Hasil Ayakan Abu Slag Aluminium.....	7
Gambar 2.3 Senyawa dalam limbah slag aluminium berdasarkan XRD.....	9
Gambar 3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	17
Gambar 3.2 Bahan Baku Pembuatan Paving Block.....	21
Gambar 3.3 Proses Pencampuran Bahan.....	22
Gambar 3.4 Proses Pencetakan.....	23
Gambar 3.5 Diagram Alir Preparasi Uji TCLP.....	24
Gambar 3.6 Diagram Alir Uji TCLP.....	26
Gambar 4.1 Pengujian Kuat Tekan paving block.....	27
Gambar 4.2 Hasil uji kuat tekan.....	28
Gambar 4.3 Pengujian Daya Serap Air Paving Block.....	30
Gambar 4.4 Hasil uji daya serap air .....	31
Gambar 4.5 Ekstraksi Pengujian TCLP.....	34

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Uji Kuat Tekan .....	42
Lampiran 2. Hasil Uji Daya Serap Air .....	44
Lampiran 3. Hasil Uji TCLP .....	45
Lampiran 3.1 Hasil Uji Zn .....	45
Lampiran 3.2 Hasil Uji Pb.....	46
Lampiran 3.3 Hasil Uji Cd .....	47
Lampiran 3.4 Hasil Uji Cu .....	48
Lampiran 3.5 Hasil Uji Ag .....	49
Lampiran 3.6 Hasil Uji NO <sub>2</sub> -N.....	50
Lampiran 3.7 Hasil Uji Cr <sup>6+</sup> .....	50
Lampiran 3.8 Hasil Uji Cl <sup>-</sup> .....	51



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri yang terjadi sangat cepat menyebabkan banyak dampak negatif yang ditimbulkan, salah satunya adalah meningkatnya jumlah timbulan limbah industri. Meningkatnya limbah padat industri dihasilkan dari sisa pemrosesan dan bahan yang dianggap tidak berguna dalam proses produksi di pabrik, industri dan pertambangan (Krishna. 2020). Menurut laporan studi Kementerian Perindustrian tentang telaah kedalaman struktur industri baja dan logam non ferrous, di lingkungan wilayah ASEAN, Indonesia merupakan satu-satunya negara yang memiliki industri hulu aluminium, kondisi ini disebabkan karena melimpahnya bahan baku bauksit di Indonesia, sehingga pada kondisi ini banyak timbulan limbah padat dari industri peleburan aluminium yang dihasilkan.

Abu limbah sisa kegiatan industri peleburan aluminium merupakan material yang memiliki kandungan aluminium, silika dan bahan kimia lainnya. Limbah abu aluminium ini termasuk kategori limbah bahan berbahaya dan beracun, sedangkan di Jombang Jawa timur, ratusan ton limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) berupa limbah abu aluminium dikemas dalam sak plastik untuk digunakan sebagai penguruk jalan dan tanggul sungai, ditumpuk dengan menggunakan sak plastik beras dalam jumlah ribuan (Uyun,2018). Dalam kondisi ini banyak masalah yang timbul, mulai dari kualitas air baku, kondisi sawah, dan kualitas udara yang dihirup.

Dampak negatif dari penyalahgunaan limbah *slag* aluminium yang telah dirasakan oleh masyarakat sekitar adalah seperti kualitas lingkungan dan gangguan kesehatan. Menurut penelitian Ramadhani (2019). Limbah pembakaran sekunder aluminium sebagian besar terdiri terdiri dari Al, Na, Cl, K, F, Si, Ca, Fe, Mg, Cu, dan N, didominasi dengan senyawa  $Al_2O_3$  dan pH 8,65. Unsur B3 pada limbah *slag* aluminium adalah Cu dan F dengan konsentrasi 14 dan 71,57 ppm. Unsur-unsur tersebut apabila terakumulasi

dalam tubuh akan dapat menyebabkan alzheimer, silikosis, hingga bronkitis dan sebagainya yang sangat mengancam kesehatan (Adeosun, 2014).

Besarnya risiko yang ditimbulkan tersebut maka perlu adanya pengelolaan limbah B3 secara menyeluruh, terpadu dan berkelanjutan. Dalam penelitian Giedrius (2016) terkait pengolahan limbah aluminium menjelaskan bahwa zeolit sintetis diperoleh dari limbah produksi aluminium fluorida dengan sintesis suhu rendah dan ditambahkan dalam campuran beton hingga 10% dapat dimanfaatkan menjadi pengganti semen Portland. Keterbatasan material dan meningkatnya permintaan material dalam pembuatan konstruksi menyebabkan tingginya biaya kegiatan pembangunan maupun rehabilitas, sehingga diperlukan material alternatif.

Bata beton (*Paving block*) merupakan salah satu alternatif pilihan lapir perkerasan permukaan tanah, yang memiliki kemudahan dalam pemasangan, perawatan dan relatif murah serta memiliki aspek keindahan. Penggunaan paving block pada umumnya digunakan sebagai perkerasan jalan, pedestrian dan trotoar. Selain itu dapat juga paving *block* juga diaplikasikan pada area khusus seperti pelabuhan peti kemas, lahan parkir, area terbuka dan area industri. Kelebihan dari paving *block* dibanding perkerasan yang lain yaitu memiliki daya serap air yang baik, dan dapat menjaga keseimbangan tanah (Sembiring, 2017). Tingginya permintaan paving block, berdampak pada meningkatnya harga dan kebutuhan bahan baku utama yang digunakan, untuk mengatasinya dibutuhkan material berkualitas baik dan teknologi konstruksi alternatif yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap material tertentu (Pratiwi dan Yanti, 2018).

Pengolahan limbah padat yang berkelanjutan penting dalam mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan di suatu kawasan. Pola penggunaan kembali atau daur ulang limbah abu slag aluminium diharapkan dapat mengurangi tingkat polusi udara, air dan tanah. Bukan hanya itu, pengembangan inovasi ini akan bisa menekan biaya produksi untuk material konstruksi, mengingat material yang digunakan merupakan limbah atau buangan yang sudah tidak terpakai lagi.



## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan beberapa permasalahan, diantaranya adalah:

1. Bagaimana pengaruh substitusi semen dengan abu *slag* aluminium terhadap kuat tekan dan daya serap air, pada pembuatan *paving block*?
2. Apakah jenis mutu *paving block* yang sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan terhadap substitusi semen dengan abu slag aluminium?
3. Bagaimana hasil uji potensi pelindian pada *paving block* terhadap substitusi semen dengan abu *slag* aluminium komposisi optimum?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh substitusi semen dengan abu *slag* aluminium terhadap kuat tekan dan daya serap air, pada pembuatan *paving block*
2. Menganalisis jenis mutu *paving block* yang sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan terhadap substitusi semen dengan abu slag aluminium
3. Mengidentifikasi hasil uji kandungan akhir *paving block* terhadap substitusi semen dengan abu *slag* aluminium

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Bagi Peneliti
  - Sebagai wadah untuk menerapkan ilmu pengolahan limbah B3 di lingkungan sekitar agar dapat mengurangi tingkat bahaya kesehatan pada masyarakat.

## 2. Bagi Kawasan *Home Industry*

- Sebagai landasan ilmiah yang dapat digunakan oleh pengusaha untuk mengajukan perizinan pemanfaatan limbah B3 pada kegiatan peleburan Aluminium di Kecamatan Sumobito khususnya Desa Kendalsari.
- Sebagai saran alternatif untuk menekan biaya pembersihan lahan tercemar.
- Berpotensi memiliki peluang lapangan kerja baru bagi masyarakat kecamatan Sumobito khususnya Desa Kendalsari.

## 3. Bagi Masyarakat Umum

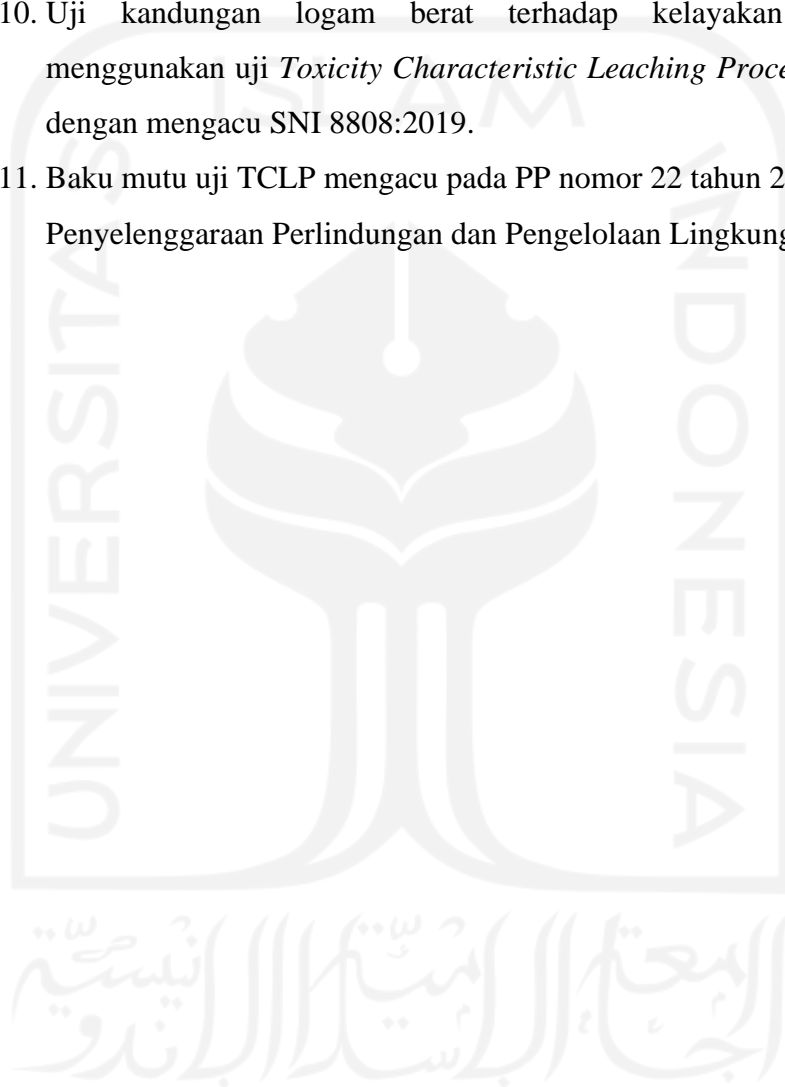
- Sebagai referensi untuk mengembangkan penelitian terkait dimasa mendatang.

### 1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dan batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia.
2. Pembuatan *paving block* dilakukan di laboratorium vulkanik Universitas Islam Indonesia
3. Pengujian kuat tekan dan daya serap air dilakukan di laboratorium bahan konstruksi teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
4. Pengujian TCLP dilakukan di laboratorium rancang bangun dan laboratorium kualitas air Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
5. Limbah *slag* aluminium yang digunakan berasal dari proses proses refining yang diambil dari industri rumahan peleburan aluminium di desa Kendalsari Kecamatan Sumobito Kabupaten Jombang.
6. Material utama yang digunakan dalam pembuatan *paving block* adalah pasir yang berasal dari Gunung Merapi dan menggunakan semen portland tipe 1.

7. Variasi perbandingan volume semen dan pasir pada *paving block* adalah 1:3.
8. Komposisi abu *slag* aluminium yang digunakan sebagai substitusi semen adalah 5%, 10%, 15%, dan 20% dalam satuan volume.
9. Indikator yang akan diuji adalah terkait kuat tekan, daya serap air *paving block* dengan mengacu SNI 03-0691-1996.
10. Uji kandungan logam berat terhadap kelayakan lingkungan menggunakan uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) dengan mengacu SNI 8808:2019.
11. Baku mutu uji TCLP mengacu pada PP nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.



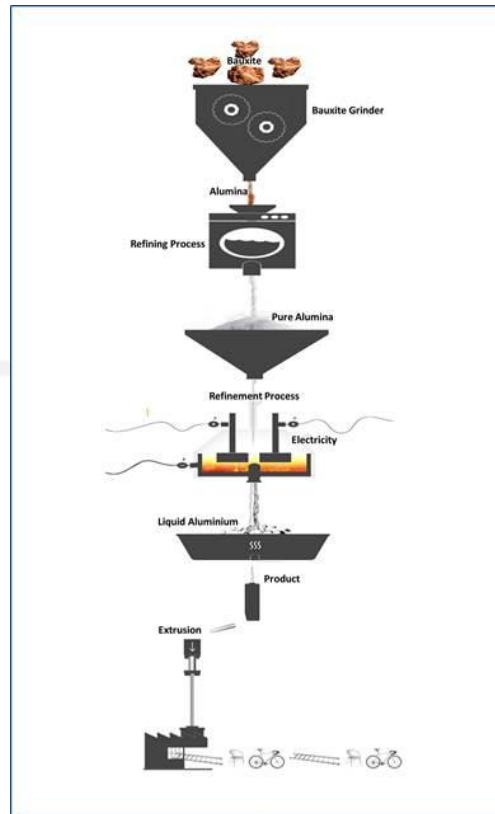
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Abu Slag Aluminium**

*Slag* aluminium masuk kedalam kategori limbah B3 yang memiliki kode B313-2 dalam daftar limbah B3 dari sumber spesifik proses produksi primer dan sekunder berdasarkan lampiran IX PP nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan hidup. Limbah B3 kategori 2 merupakan Limbah B3 yang mengandung B3, memiliki efek tunda (*delayed effect*), dan berdampak tidak langsung terhadap manusia dan Lingkungan Hidup serta memiliki toksisitas subkronis atau kronis. Limbah *slag* aluminium yang dibuang di tempat terbuka jika terendam air akan menghasilkan lindi yang dapat meningkatkan kadar amonia, natrium, kalium, klorida dan kadar TDS di lingkungan sekitar. (Arisandi, 2018).

Limbah *slag* yang berada di kawasan peleburan logam aluminium bekas di Kecamatan Sumobito, Kabupaten Jombang berasal dari abu proses refining atau proses pemurnian. *Refining process* adalah proses pemisahan alumina dari bauksit, kemudian hasil dari proses tersebut dipanaskan dan disaring sehingga di dapatkan alumina murni (*pure alumina*). Residu dari pemurnian berupa abu dan inilah yang biasa disebut sebagai slag aluminium. Tahapan proses kegiatan peleburan aluminium dapat dilihat pada **Gambar 2.1**. *Slag* aluminium ini memiliki rendeman sekitar 30% atau apabila dalam kegiatan peleburan aluminium dapat memproduksi dross sebanyak 1.000kg/hari maka jumlah limbah slag yang dihasilkan sebesar 700 kg/hari (Ramadhani, 2019).



**Gambar 2.1** Proses Pengolahan Logam Aluminium PT. Sumber Makmur Kedungsari

(Sumber : Geologinesia, 2016)

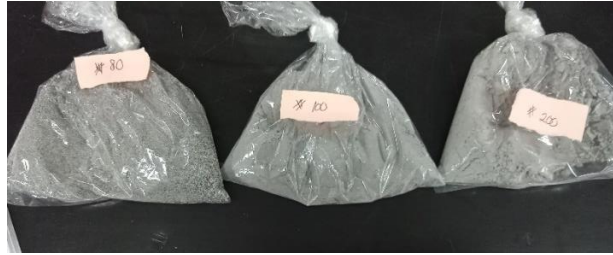
### 2.1.1 Karakteristik Fisika

Sifat fisik material bertujuan untuk mengetahui kualitas material yang digunakan dalam pembuatan *paving block*. Selain memiliki bau yang menyengat abu slag aluminium memiliki ukuran partikel yang berbeda-beda, berikut adalah ukuran partikel limbah slag aluminium berdasarkan hasil uji di Laboratorium rancang bangun Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

**Tabel 2.1** Sifat Fisik Limbah *slag* Aluminium

No	Kandungan	Prosentase
1	Berat Jenis (Bulk)	1,96
2	Berat Jenis (SSD)	2,02
3	Berat Jenis (Semu)	2,08
4	Penyerapan Air	2,93%
5	Material Lolos Ayakan No. 80	41%
6.	Material Lolos Ayakan No. 100	30,4%
7.	Material Lolos Ayakan No. 200	28,6%

(Sumber : Hasil Analisa, 2021)



**Gambar 2.2** Hasil Ayakan Abu Slag Aluminium

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2021)

### 2.1.2 Karakteristik Kimia

Menurut Arisandi (2018), didalam *slag* aluminium tersusun dari fraksi kasar dan fraksi debu halus, dimana fraksi kasar mengandung kadar logam tinggi dan fraksi debu halus yang mengandung oksida logam dan garam. Pada umumnya limbah slag aluminium mengandung logam aluminium sebesar 10-20%, campuran garam flux sebesar 40-55%, dan aluminium oksida sebesar 20-50%. Campuran garam flux tersebut mengandung residu aluminium sebanyak 5-7%, aluminium oksida sebanyak 15-30%, NaCl sebanyak 30-55% NaCl, dan KCl sebanyak 15-30%. Kandungan logam yang mendominasi dalam slag aluminium dalam penelitian Nursyafri, (2014) adalah 69,39% Aluminium Oksida; 8,31% Magnesium Oksida; 4,9% Silikat Oksida; 3,2% Kalsium Oksida; 1,96% Besi Oksida dan 1,9% Titanium Oksida. Soroka (1993) dalam penelitian Ramadhani (2019), menyatakan bahwa 90% semen portland tersusun oleh campuran unsur Kalsium, Silikat, Aluminium dan Besi yang berikatan menjadi senyawa kompleks tertentu sehingga limbah slag aluminium ini dapat berpotensi untuk menjadi material substitusi semen.

Berikut merupakan karakteristik limbah *slag* aluminium :

- Unsur penyusun limbah

Pengujian *Inductively Coupled Plasma* (ICP) adalah salah satu teknik analisis yang digunakan untuk penentuan kadar logam multi-unsur yang menggunakan sumber plasma untuk merangsang atom dalam sampel. Pengujian ini dilakukan pada penelitian Ramadhani (2019) terhadap limbah slag aluminium

yang terdapat di Kecamatan Sumobito sebagaimana terdapat dalam **Tabel 2.2**.

**Tabel 2.2.** Unsur penyusun limbah berdasarkan ICP

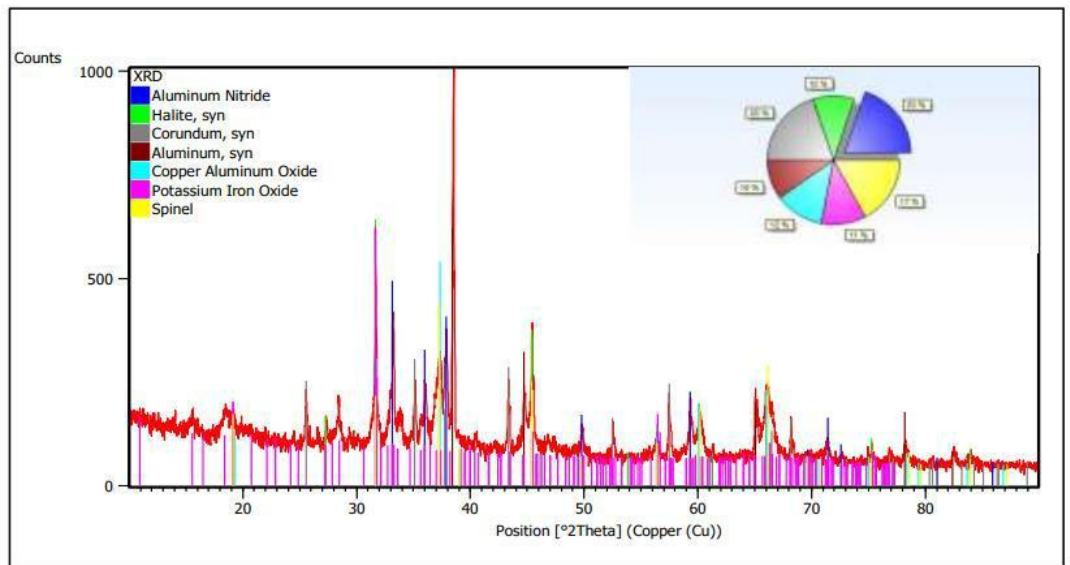
Parameter	Hasil Analisa		Metode
	(%)	ppm	
Natrium (Na)	3,09	309	US EPA SW-846-3050 B & 7770
Magnesium (Mg)	0,21	21	US EPA SW-846-3050 B & 7450 A
Aluminium (Al)	3,91	391	US EPA SW-846-3050 B & 7020
Silika (Si)	0,70	70	US EPA SW-846-3050 B & 3120 B #)
Kalsium (Ca)	0,62	62	US EPA SW-846-3050 B & 7140
Besi (Fe)	0,33	33	US EPA SW-846-3050 B & 7380
Tembaga (Cu)	0,14	14	US EPA SW-846-3050 B & 7450 A
Kalium (K)	0,81	81	US EPA SW-846-3050 B & 7020
pH	8,65	-	4500 H+ B #)
Klorida (Cl)	5,51	551,22	4500 Cl- B #)
Fluorida (F)	0,71	71,57	4500 F- D #)
Nitrogen (N)	0,042	4,20	<i>Kjeldahl Destilation</i>

(Sumber : Ramadhani. 2019)

Pengujian ICP ini mampu membaca kandungan keseluruhan sampel, kemampuan analisis multi elemen, mampu membaca semua unsur logam, tingkat selektivitas tinggi, akurasi tinggi, dan batas deteksi rendah. Unsur yang mendominasi dari limbah *slag* aluminium adalah Aluminium (Al), Natrium (Na), dan Klorida (Cl), sedangkan unsur logam berat yang terdapat dalam limbah *slag* aluminium yaitu Kadmium (Cu) dengan konsentrasi sebesar 14 ppm, dan Fluorida (F) dengan konsentrasi sebesar 71,57 ppm (Ramadhani. 2019).

- Senyawa dalam limbah

Hasil dari senyawa dalam limbah *slag* aluminium pada pengujian XRD yang dilakukan oleh Ramadhani (2019) terdapat dalam **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.3** Senyawa dalam limbah slag aluminium berdasarkan XRD

(Sumber : Ramdhani. 2019)

Berdasarkan **Gambar 2.3**, senyawa yang terdapat dalam limbah *slag* aluminium adalah  $Al_2O_3$ ,  $AlN$ ,  $NaCl$ ,  $AlCuO_4$ ,  $KFeO_2$ ,  $Al_2MgO_4$ . Senyawa-senyawa dalam limbah slag merupakan senyawa dengan fasa kristal. Senyawa pembentuk reaksi pozzolan kebanyakan berasal dari silika oksida dengan fasa amorf, sedikit silika oksida dengan fasa kristal, dan sedikit aluminium oksida dengan fasa kristal (Waani, 2017). Polimer amorf merupakan bahan pozzolan yang bersifat rentan terhadap serangan kimia dan degradasi fisik. Ketahanan pada zat kimia polimer semi-kristal umumnya lebih baik daripada polimer amorf, sehingga limbah *slag* aluminium memiliki keunggulan lebih tahan terhadap zat kimia (Ramadhani. 2019)



## 2.2 Solidifikasi dan Stabilisasi

Dalam Peraturan Pemerintah nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada pasal 357 ayat 1 menyatakan bahwa Pengolahan limbah B3 wajib dilaksanakan oleh setiap orang yang menghasilkan limbah B3. Pengolahan limbah B3 sebagaimana dimaksud adalah termal, stabilisasi dan solidifikasi dan/atau cara lain sesuai perkembangan teknologi. Apabila disesuaikan dengan permasalahan limbah abu slag aluminium pengolahan yang sesuai adalah stabilisasi/solidifikasi

Stabilisasi/solidifikasi adalah proses pencampuran limbah dengan zat pengikat untuk mereduksi pelindian kontaminan baik secara fisik dan kimia. Proses stabilisasi/solidifikasi adalah proses mengkonversi limbah (B3) menjadi bentuk limbah yang dapat diterima oleh lingkungan untuk dibuang ke lahan pembuangan atau digunakan untuk keperluan konstruksi. Proses stabilisasi/solidifikasi telah banyak digunakan untuk mengolah limbah radioaktif tingkat rendah, berbahaya, dan limbah campuran (Spance, 2005).

Menurut Kasman dkk (2016). Stabilisasi sendiri adalah suatu teknik mereduksi pencemar berbahaya dalam limbah dengan mengubah kontaminan seperti memperkecil daya larut, pergerakan dan racunnya, sedangkan solidifikasi adalah teknik mengkapsulasi limbah ke bentuk padat tanpa memerlukan intereaksi secara kimia antara kontaminan dan zat pematat aditif.

## 2.3 Paving block

Bata beton (*Paving block*) merupakan salah satu alternatif pilihan lapir perkerasan permukaan tanah, yang memiliki kemudahan dalam pemasangan, perawatan dan relatif murah serta memiliki aspek keindahan. Penggunaan paving block pada umumnya digunakan sebagai perkerasan jalan, pedestrian dan trotoar. Selain itu dapat juga paving *block* juga diaplikasikan pada area khusus seperti pelabuhan peti kemas, lahan parkir, area terbuka dan area industri. Kelebihan dari paving *block* dibanding

perkerasan yang lain yaitu memiliki daya serap air yang baik, dan dapat menjaga keseimbangan tanah (Sembiring, 2017). Bahan dasar dalam pembuatan *paving block* ini umumnya terdiri dari pasir, semen dan air.

Dalam SNI 03 – 0691 – 1996 tentang paving block, klasifikasi mutu paving block dibagi menjadi 4 mutu yaitu mutu A, B, C dan D. Setiap mutu mempunyai kegunaan masing masing. Karena memiliki kegunaan yang beragam maka setiap mutu mempunyai nilai batas paving block untuk nilai kuat tekan dan daya serap air masing masing. Penjelasan untuk nilai batas uji kuat tekan dan daya serap air dijelaskan pada **Tabel 2.3**.

**Tabel 2.3** Klasifikasi Mutu *Paving Block*

Mutu	Kegunaan	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )		Penyerapan Air Rata-Rata Maks (%)
		Rata-rata	Min	
A	Perkerasan Jalan	400	350	3
B	Tempat Parkir Mobil	200	170	6
C	Pejalan Kaki	150	125	8
D	Taman Kota	100	85	10

(Sumber : SNI 03-0691-1996)

#### 2.2.1 Pasir

Pasir atau agregat halus adalah bahan pengisi pengisi pada beton, yang mencapai 70%-75% dari volume beton, sehingga agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton. Agregat yang baik membuat beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat, tahan lama (*durable*) dan ekonomis. (Iduwin, 2017)

#### 2.2.2 Semen

Semen perlu digunakan dalam pembuatan *paving block* guna untuk pengikat antara satu komponen dengan komponen. Penambahan air pada semen akan menghasilkan suatu pasta semen yang apabila pasta tersebut mengering akan memiliki kekuatan seperti batu, sedangkan apabila ditambah air dan pasir akan menjadi mortar, dan apabila ditambah dengan kerikil atau batu pecah disebut beton (Ramadhani, 2019).

Senyawa kimia utama dari golongan mayor yang menyusun semen Portland yaitu:

- a. Trikalsium Silikat ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) atau  $\text{C}_3\text{S}$  terdapat sebanyak 45%.
- b. Dikalsium Silikat ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) atau  $\text{C}_2\text{S}$  terdapat sebanyak 25%.
- c. Trikalsium Aluminat ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ) atau  $\text{C}_3\text{A}$  terdapat sebanyak 10%.
- d. Tetrakalsium Aluminoforit ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) atau  $\text{C}_4\text{AF}$  terdapat sebanyak 8%.

### 2.2.3 Air

Air merupakan komponen campuran yang penting dalam pembuatan paving *block*. Air ini akan bereaksi dengan semen dan mendukung terbentuknya kekuatan pasta semen. Kualitas air juga mempengaruhi kekuatan paving, maka kemurnian dan kualitas air untuk campuran paving *block* perlu mendapat perhatian. Pada umumnya untuk campuran paving *block* diperlukan air yang memenuhi standar air minum (Ramadhani, 2019).

## 2.4 Pengujian *Paving block*

### 2.3.1 Uji Kuat Tekan

Kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin pembebanan. Hasil nilai kuat tekan tergantung oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan berbagai jenis campuran. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kuat tekan beton (Wiryanto, 2013).

### 2.3.2 Daya Serap Air

Pengujian daya serap air bertujuan adalah untuk mengetahui besarnya persentase penyerapan air *paving block* yang akan digunakan untuk mengetahui kekedapan, kekerasan dan berat jenis *paving block* (Giovan, 2018).

### 2.3.3 Uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

Menurut PP nomor 22 Tahun 2021 TCLP merupakan prosedur laboratorium untuk memprediksi potensi pelindian kadar Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dari suatu limbah. Uji TCLP pada umumnya dilakukan untuk melihat potensi toksisitas logam berat. Pada penelitian ini pengujian kandungan akhir dilakukan untuk mengidentifikasi kandungan logam berat pada *paving block* dengan penambahan abu *slah* aluminium sebagai substitusi semen yang aman apabila diaplikasikan pada lingkungan sesuai dengan standar TCLP.

## 2.5 Penelitian Terdahulu

### 1. Penelitian (Ramdhani, 2019)

Penelitian bertujuan memanfaatkan limbah slag aluminium sebagai material pengganti semen dalam pembuatan beton normal dengan komposisi substitusi sebesar 0%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 11%, 12%, dan 13% dari berat semen. Melalui hasil analisa SEM-EDX, ICP, dan XRD limbah slag berukuran 10-55  $\mu\text{m}$  mengandung unsur Al, Na, Cl, K, F, Si, Mg, Ca, Fe, Cu, N didominasi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebanyak 20%.

Pengujian kualitas material memenuhi standar, kecuali kadar lumpur kerikil 8% pada campuran beton, sehingga harus dicuci, kebutuhan material untuk satu spesimen tanpa substitusi limbah 965 gr semen, 338 gr air, 850 gr pasir, dan 1.579 gr kerikil. Nilai setting time akhir semen diuji dengan jarum vicat mengalami kenaikan pada substitusi limbah 10% dan 11%. Substitusi limbah berpengaruh secara signifikan pada kuat tekan beton yang diuji dengan Kruskal-Wallis. Uji

kandungan B3 akhir dengan ICP menunjukkan Cu 10,3 ppm dan F 5,5 ppm yang memenuhi baku mutu TCLP.

Menurut saran dari peneliti perlunya mengembangkan penelitian ini penambahan nilai variasi substitusi limbah slag aluminium yang lebih variatif seperti 5%; 10%; 15%; dan 20% agar didapatkan hasil yang lebih heterogen, saran lain yaitu menambahkan usia pengujian kuat tekan beton pada usia 7, 14, dan 21 hari untuk mempermudah validasi hasil uji kuat tekan dengan pengawasan penjamin mutu selama proses pembuatan hingga pengujian beton. Selain itu juga dapat dikembangkan menjadi produk beton yang tidak memerlukan mutu kuat tekan diatas 20 MPa, seperti paving, batako, dan beton ringan.

## 2. Penelitian (Nobrian, 2020)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa beton ringan yang disubstitusi abu limbah aluminium dari industri aluminium batangan di Jombang terhadap pasir. Pasir merah dan kerikil porous digunakan untuk mendapatkan berat isi kurang dari 1,860 kg/m<sup>3</sup> dan mengetahui kekuatan tekan tertinggi. Menggunakan 4 variasi abu limbah aluminium yaitu 0%, 5%, 7,5% dan 10% substitusi pasir dan Penelitian dilakukan di Laboratorium Beton Politeknik Negeri Malang. Beton ringan menggunakan 12 silinder Ø 15 x 30 cm yang melalui proses perendaman sehari sesudah pengecoran dan sehari sebelum beton di uji kuat tekan dan kuat tarik belah pada umur 7, 14 dan 28 hari.

Penelitian ini menghasilkan abu limbah aluminium dapat mengembangkan beton dengan prosentase pengembangan rata-rata variasi abu aluminium 5%, 7,5% dan 10% masing-masing adalah 1,22%; 1,78%; dan 3%. Pada hari ke 28 rata-rata kuat tekan variasi abu aluminium 0% , 5%, 7,5% dan 10% masing-masing adalah 22,27 Mpa; 11,06 Mpa; 10,47 Mpa dan 6.60 Mpa untuk kuat tarik belah adalah 2,50 Mpa; 2,22 Mpa; 2.12 Mpa dan 1,46 Mpa.

### 3. Penelitian (Saraswati & Razif, 2020)

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% pada campuran pasir : semen adalah 1:4, karena produk solidifikasi masih mengandung residu aluminium yang akan mengalami pelindian.

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 US EPA dan aman bagi lingkungan.

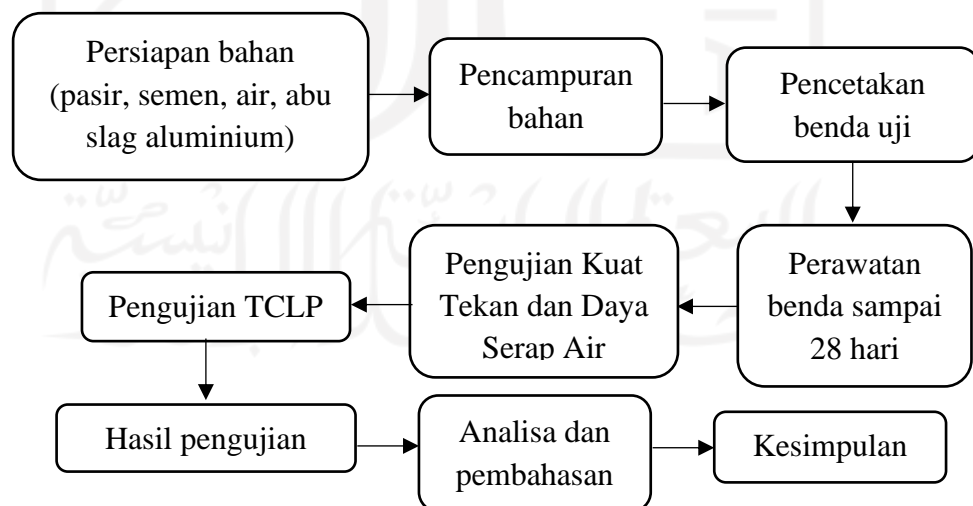
## 2.6 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini, benda uji yang digunakan adalah *paving block*. *Paving block* yang digunakan menggunakan perbandingan campuran semen dan pasir sebesar 1:3. Adapun bahan substitusi semen yang digunakan dalam pembuatan paving block ini adalah abu slag aluminium dari proses refining yang diambil dari industri rumahan peleburan aluminium di desa Kendalsari Kecamatan Sumobito Kabupaten Jombang, dengan sampel komposisi yang digunakan adalah 5%; 10%; 15%; dan 20%. Penambahan slag aluminium ini bersifat substitusi dengan volume semen yang digunakan. Pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah uji kuat tekan, daya serap air dan TCLP.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada pelaksanaan tugas akhir ini metode penelitian yang digunakan berupa metode eksperimen yang bertujuan untuk mendapatkan substitusi semen optimum dengan abu *slag* aluminium pada pembuatan paving block variasi komposisi substitusi semen sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen. Secara umum proses penelitian ini memiliki beberapa tahapan yaitu mulai dari persiapan bahan untuk pembuatan paving *block*, pencampuran semua bahan dalam mesin pengaduk, pencetakan benda uji menggunakan alat cetak, perawatan dengan cara perendaman benda uji selama 28 hari, pengujian kuat tekan dan daya serap air, selanjutnya komposisi optimum yang telah didapatkan dari uji kuat tekan dan daya serap akan dilakukan pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP), setelah hasil uji didapatkan akan dilakukan analisa dan pembahasan sehingga dapat ditarik kesimpulan. Untuk memudahkan peneliti berikut merupakan diagram alir tahapan penelitian yang dilakukan:



**Gambar 3.1** Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

(Sumber : Desain Penelitian, 2021)

### 3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan pada sejak bulan februari 2021 tepatnya setelah proposal ini diterima dan disahkan. Lokasi penelitian berada di laboratorium vulkanik, laboratorium bahan konstruksi teknik, laboratorium rancang bangun dan laboratorium kualitas air Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia.

### 3.3 Populasi dan Sampel

#### 3.3.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah 100 buah *paving block* dengan penambahan abu slag aluminium sebagai substitusi semen pada *paving block* berukuran 20 x 10 x 6 (cm).

#### 3.3.2 Sampel penelitian

Sampel yang digunakan pada penelitian kali ini terdiri dari 80 benda uji *paving block*. Berikut rincian komposisi dalam pembuatan *paving block*.

**Tabel 3.1** Rincian Komposisi *Paving Block*

Komposisi	Jumlah benda uji kuat tekan	Jumlah benda uji daya serap	Jumlah benda uji TCLP	Total Spesiemen
0%	10	5	1	16
5%	10	5	1	16
10%	10	5	1	16
15%	10	5	1	16
20%	10	5	1	16
TOTAL				80

(Sumber : Desain Penelitian, 2021)



### 3.4 Data Penelitian

#### 3.4.1 Data Primer

Pengumpulan data ini dilakukan dengan pengujian secara langsung dengan memperhatikan metode sebagai berikut :

**Tabel 3.2** Data Primer

No	Data Primer	Metode
1.	Syarat mutu kuat tekan dan daya serap air	SNI 03-0691-1996
2.	Potensi pelindian B3	SNI 8808:2019
3.	Cd, Cu, Pb, Zn, Ag, Cr <sup>6+</sup> , Cl <sup>-</sup>	SNI 6986: 2009
4.	NO <sub>2</sub> -N	SNI 06-6989.9-2004
5.	Kondisi lapangan	Observasi dan wawancara

(Sumber: Desain Penelitian, 2021)

#### 3.4.2 Data Sekunder

Pengumpulan data ini dilakukan melalui sumber terpercaya yang diambil dari jurnal, literatur, dan buku yang berhubungan tentang data sifat fisik dan kimia abu slag aluminium serta *paving block*.

### 3.5 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol. Pembuatan *paving block* menggunakan komposisi dari beberapa referensi jurnal yang telah ada. Adapun Variabel yang dicari dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. Variabel bebas = Variabel bebas pada penelitian ini adalah prosentase penambahan limbah slag aluminium sebagai substitusi semen dalam pembuatan *paving block*.
- b. Variabel terikat = Variabel terikat dalam penelitian ini menggunakan sampel komposisi limbah slag aluminium sebesar

0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari volume semen sebagai aluminium pasta agar mengetahui kadar optimum yang sesuai digunakan dalam pembuatan *paving block*.

- c. Variabel kontrol = Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah uji kuat tekan, daya serap air, dan TCLP untuk mengetahui kemampuan abu slag aluminium dalam mensubstitusi aluminium pasta sesuai syarat dalam SNI 03-0691-1996 tentang spesifikasi bata beton (*paving block*), dan PP nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

### 3.6 Prosedur Pembuatan *Paving Block*

#### 3.6.1 Komposisi Bahan

Komposisi campuran yang digunakan dalam pembuatan *paving block* ini untuk semen dan pasir nya adalah 1 : 3. Sedangkan campuran abu slag aluminium yang digunakan untuk menggantikan semen dalam pembautan *paving block*. Adapun jumlah campuran abu slag yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari volume semen. *Paving block* yang dicetak sebanyak 20 buah per komposisi. Sehingga berjumlah 100 buah *paving block*.

Sebelum membuat campuran adukan untuk pembuatan *paving block* bahan atau material yang akan digunakan harus disiapkan terlebih dahulu, untuk perhitungan kebutuhan bahan yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

Volume 1 benda uji ( <i>paving block</i> )	= 20 x 10 x 6 (cm)
	= 1200 cm <sup>3</sup>
Kebutuhan 1 <i>paving block</i>	= 1200 cm <sup>3</sup>
Kebutuhan semen	= $\frac{1}{7}$ x 1200 cm <sup>3</sup> = 300 cm <sup>3</sup>
Kebutuhan pasir	= $\frac{3}{7}$ x 1200 cm <sup>3</sup> = 900 cm <sup>3</sup>

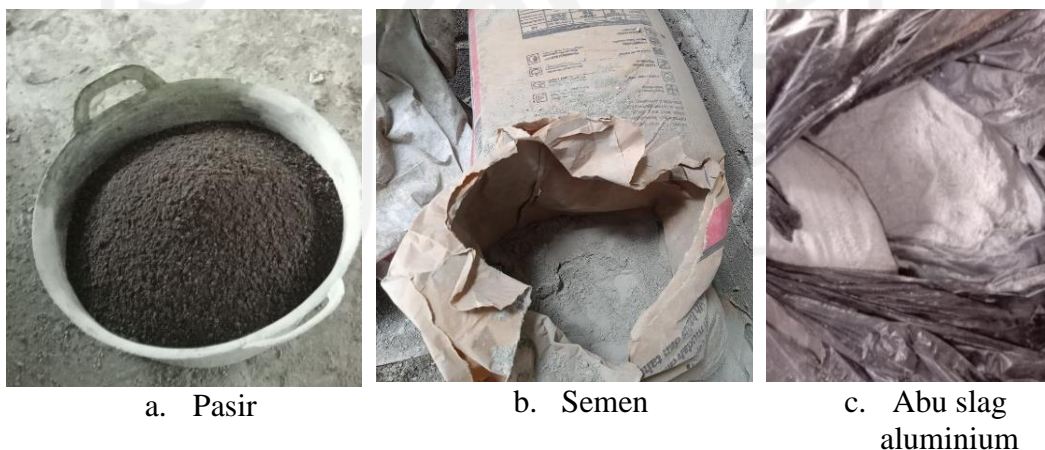
**Tabel 3.3** Komposisi Campuran *Paving Block*

Komposisi	Semen (cm <sup>3</sup> )	Semen (gram)	Pasir (cm <sup>3</sup> )	Pasir (gram)	Abu Slag Aluminium (cm <sup>3</sup> )	Abu Slag Aluminium (gram)
0%	300	945	900	2184,3	0	0
5%	285	897,75	900	2184,3	15	30,3
10%	270	850,5	900	2184,3	30	60,6
15%	255	803,25	900	2184,3	45	90,9
20%	240	756	900	2184,3	60	121,2

(Sumber : Desain Penelitian, 2021)

### 3.6.2 Persiapan Bahan

Sebelum melakukan proses pembuatan *paving block* bahan atau material perlu disiapkan terlebih dahulu. Bahan baku dalam pembuatan *paving block* ini terdiri dari bahan baku utama yaitu semen dan pasir, selain itu bahan tambahan lainnya adalah abu slag aluminium. Bahan baku pembuatan *paving block* dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



**Gambar 3.2** Bahan Baku Pembuatan *Paving Block*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2021)

- a. Pasir yang digunakan dalam pembuatan paving *block* pada penelitian ini adalah pasir yang diambil dari lereng Gunung Merapi. Menurut penelitian dari Lasino (2015) Pasir lereng Gunung Merapi didominasi oleh silika dan alumina, sehingga sangat baik untuk agregat. Rentang ukuran pasir merapi ini sendiri yaitu 0,15 mm – 4,8 mm. Pasir merapi mempunyai berat jenis 2,427 gram/cm<sup>3</sup> (Sari ,2017).
- b. Semen yang digunakan dalam pembuatan paving *block* pada penelitian kali ini adalah semen Portland Tipe 1. Semen Portland biasanya dipakai untuk segala macam konstruksi apabila tidak diperlukan sifat–sifat khusus, semen jenis ini biasa digunakan untuk konstruksi bangunan untuk rumah permukiman, gedung bertingkat, dan jalan raya (Salain, 2009). Semen yang digunakan adalah semen portland tipe 1 dengan berat jenis 3,15 gram/cm<sup>3</sup>.
- c. Abu slag aluminium yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah bekas kegiatan industri peleburan aluminium yang ada di Desa Kendalsari, Kecamatan Sumobito, Kabupaten Jombang. Abu yang digunakan memiliki ukuran partikel yang lolos saringan #80 atau setara dengan partikel berukuran lebih kecil sama dengan 0,180 mm dan memiliki berat jenis 2,02 gram/cm<sup>3</sup>.

### 3.6.3 Pencampuran Bahan dan Pencetakan

Pencampuran semua bahan dilakukan menggunakan mesin pengaduk, dengan cara memasukan pasir, semen dan abu *slag* aluminium kemudian ditambahkan air secukupnya. Proses pencampuran bahan ini dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.



**Gambar 3.3** Proses Pencampuran Bahan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2021)

Setelah bahan tercampur sempurna segera dilakukan pencetakan. Proses pencetakan paving dilakukan secara manual menggunakan alat cetak seperti dilihat pada **Gambar 3.4**.



**Gambar 3.4** Proses Pencetakan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2021)

### 3.7 Proses Pengujian

#### 3.7.1 Uji Kuat Tekan

Berikut merupakan prosedur tahapan uji kuat tekan paving *block* berdasarkan SNI 03-0691-1996:

- Mengambil contoh uji 10 buah yang sudah berbentuk kubus.
- Menekan contoh uji hingga hancur dengan mesin penekan
- Penghitungan kuat tekan dihitung dengan rumus :

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{L}$$

Keterangan :

P = Beban Tekan (N)

L = Luas Bidang Tekan (mm<sup>2</sup>)

Kuat tekan rata-rata diambil dari jumlah kuat tekan dibagi jumlah contoh uji.

#### 3.7.2 Uji Daya Serap Air

Berikut merupakan prosedur tahapan uji daya serap air pada paving *block* berdasarkan SNI 03-0691-1996:

- Mengambil 5 buah benda uji kemudian direndam selama 24 jam
- Menimbang beratnya dalam keadaan basah
- Mengeringkan paving dalam oven selama kurang lebih 24 jam pada suhu kurang dari 105°C
- Menimbang paving yang telah di oven selama 24 jam.

e. Perhitungan Daya serap air menggunakan rumus :

$$\text{Daya Serap Air} = \frac{\text{berat basah} - \text{berat kering}}{\text{berat kering}} \times 100\%$$

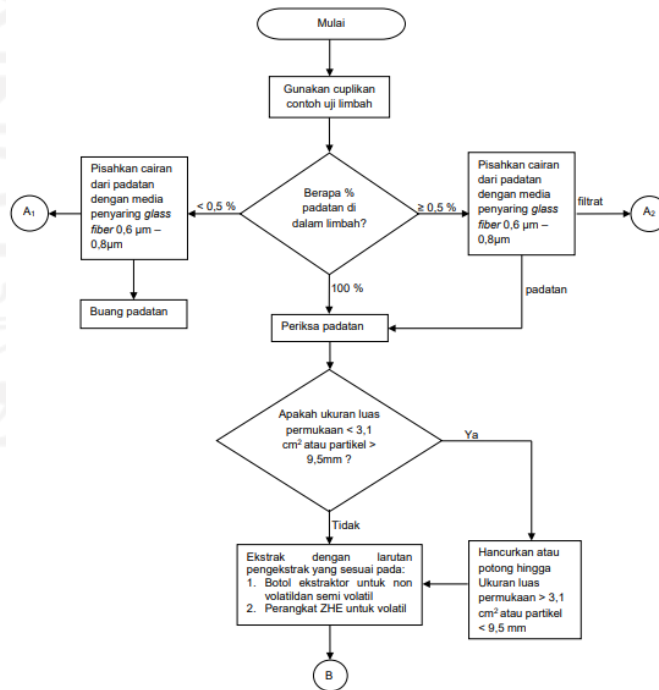
### 3.7.3 Uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

Berdasarkan SNI 8808:2019 berikut dijelaskan mengenai prosedur pengujian pelindian karakteristik beracun dengan karakteristik fasa padat non volatil atau semi volatil, yaitu :

#### o Prinsip

Contoh uji dengan kandungan padatan kering lebih besar dari 0,5 %, fasa padatnya disaring kemudian diekstraksi dengan asam lemah pada pH tertentu menggunakan agitator yang berputar secara end over end pada kecepatan rotasi 30 rpm ± 2 rpm selama 18 jam ± 2 jam selanjutnya ekstrak digabung dengan fasa cairnya. Sedangkan contoh uji dengan kandungan padatan kering kurang dari 0,5 %, langsung disaring menggunakan penyaring serat kaca (glass fiber) berpori 0,6µm - 0,8 µm dan filtratnya dianggap sebagai ekstrak TCLP.

#### o Persiapan Contoh Uji



**Gambar 3.5** Diagram Alir Preparasi Uji TCLP

(Sumber : SNI 8808:2019)



○ **Prosedur**

a. Penentuan pH contoh uji :

- Timbang 5g fasa padat contoh uji dalam gelas piala 50 mL
- Masukkan contoh uji ke dalam gelas piala 500 mL dan tambahkan 96,5 mL air bebas mineral, tutup dengan kaca arloji dan aduk selama 5 menit dengan menggunakan pengaduk magnetik
- Ukur pH contoh uji.

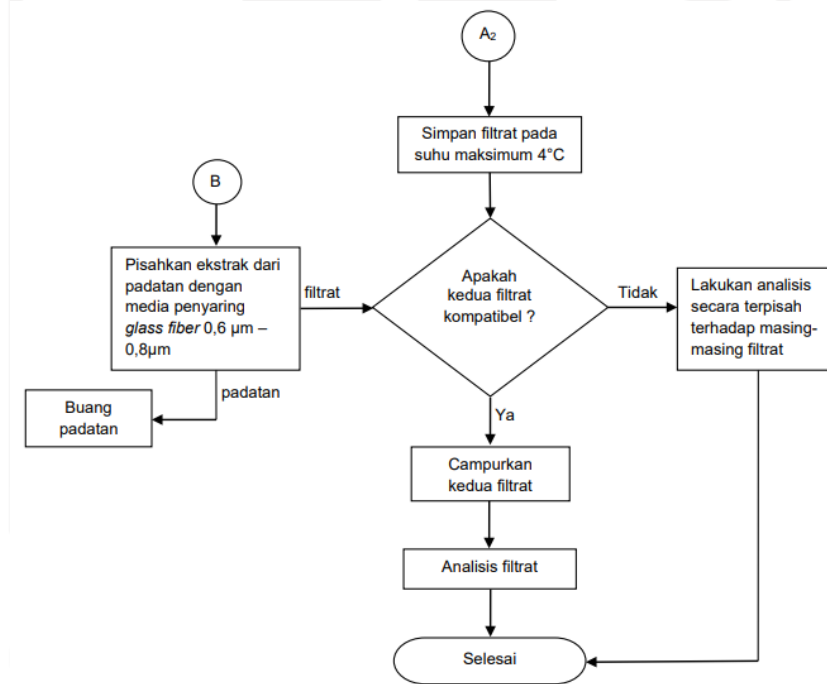
b. Ekstraksi contoh uji

- Mengambil secara kuantitatif contoh uji, masukkan ke dalam botol ekstraksi, kemudian tambahkan larutan pengeksrak yang sesuai (lihat langkah 4.5.1) dengan perbandingan antara berat contoh uji dan volume larutan ekstrak 1:20
- Melakukan ekstraksi selama 18 jam  $\pm$  2 jam dengan kecepatan rotasi 30 rpm  $\pm$  2 rpm pada suhu 23 °C  $\pm$  2 °C;
- Menyaring larutan hasil ekstraksi dengan menggunakan media penyaring glass fiber, tampung dalam botol filtrasi.
- Cuplik filtrat dari langkah sebelumnya dan filtrat dari persiapan contoh uji, langkah kemudian campurkan.
- Filtrat yang sudah berbentuk larutan kemudian dianalisis parameter limbah B3 nya menggunakan metode sebagai berikut :

**Tabel 3.4. Metode Uji Filtrat TCLP**

Parameter	Prosedur Uji	Metode Uji
Cl- (Klorida)	SNI 6986: 2009	Titration Argentometry
Pb (Timbal)	SNI 6986: 2009	Atomic Absorption Spectrophotometry
Cu (Tembaga)	SNI 6986: 2009	Atomic Absorption Spectrophotometry
Zn (Seng)	SNI 6986: 2009	Atomic Absorption Spectrophotometry
Cd (Kadmium)	SNI 6986: 2009	Atomic Absorption Spectrophotometry
Ag (Perak)	SNI 6986: 2009	Atomic Absorption Spectrophotometry
NO <sub>2</sub> -N (Nitrit)	SNI 06-6989.9- 2004	Spectrophotometry

(Sumber : Desain Penelitian, 2021)



**Gambar 3.6 Diagram Alir Uji TCLP**

(Sumber : SNI 8808:2019)



## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISA DATA

### 4.1 Pengujian Kuat Tekan

#### 4.1.1. Hasil Uji

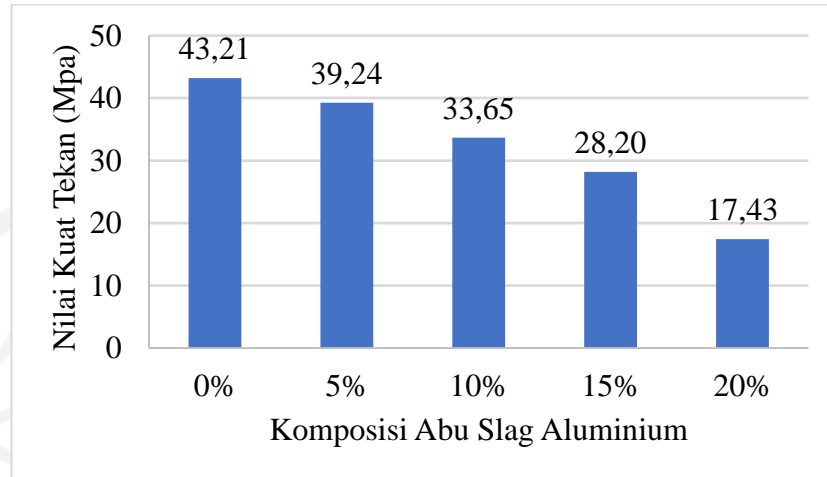
Hasil pengujian kuat tekan *paving block* diambil dari sampel yang telah mencapai umur minimal 28 hari dalam keadaan kering dengan jumlah benda uji sebanyak 10 buah untuk masing-masing komposisi campuran abu slag aluminium sebagai substitusi semen. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menekan *paving block* hingga retak atau bahkan hancur menggunakan alat *compressive strength test*. Adapun contoh *paving block* yang diuji kuat tekannya, dapat dilihat pada **Gambar 4.1**



**Gambar 4.1.** Pengujian kuat tekan *paving block*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2021)

Data hasil pengujian kuat tekan *paving block* dapat dilihat pada **Gambar 4.2**, untuk data lengkap hasil uji dan detail perhitungannya dapat dilihat pada **Lampiran.1**.



**Gambar 4.2** Hasil uji kuat tekan  
(Sumber : Hasil Penelitian, 2021)

Dari hasil pengujian kuat tekan apabila dibandingkan dengan syarat mutu kategori *paving block* sesuai dengan SNI SNI 03-0691-1996 dapat dilihat pada **Tabel 4.1** berikut:

**Tabel 4.1** Kategori *paving block* terhadap kuat tekan

Komposisi	Kuat tekan (Mpa)	Kategori Paving
0%	43,211868	A
5%	39,235629	A
10%	33,65424	B
15%	28,20431	B
20%	17,429684	B

(Sumber : Hasil Penelitian, 2021)

#### 4.1.2. Analisa

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang dapat dilihat di **Gambar 4.2** terlihat bahwa penambahan abu slag aluminium sebagai substitusi semen pada *paving block* dapat menurunkan nilai kuat tekan *paving block*. Penurunan tersebut terjadi, karena beberapa faktor, faktor pertama disebabkan oleh karakteristik limbah slag aluminium yang

memiliki sedikit kandungan silika, sehingga dapat menghambat terjadinya reaksi pozzolan kalsium silikat hidrat atau biasa disebut sebagai CSH (Mailar, 2016). Faktor yang kedua yaitu karena fasa yang terdapat dalam limbah slag aluminium berupa kristal aluminium dan sedikit kristal silika, dimana fasa tersebut tidak mudah bereaksi dengan kalsium dalam semen, sehingga membuat permukaan beton berongga dan dapat mengurangi berat jenis beton (Ramadhani, 2019).

Faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil besar atau kecilnya nilai kuat tekan yaitu ukuran agregat. Menurut Purwati (2014) salah satu cara meningkatkan kuat tekan beton adalah dengan pembuatan beton ekstra padat yang menggunakan gradasi agregat yang baik. Apabila agregat mempunyai ukuran butiran yang lebih halus dan dengan ukuran yang bervariasi, maka volume pori beton menjadi lebih kecil, sehingga bisa ditarik kesimpulan bahwa agregat yang bervariasi dapat mengisi satu sama lain sehingga paving block menjadi lebih padat (Luthfianti, 2018).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Saraswati dan Razif (2020), pemanfaatan slag aluminium terbaik tidak lebih dari 20% sebagai substitusi semen dalam *paving block* yang aman bagi lingkungan. 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 di sebut juga factor air dan semen (FAS). Hal tersebut menyebabkan beberapa sampel mengalami penurunan kuat tekan tekan, selain itu penurunan kuat tekan juga tergantung dari penambahan zat aditif atau zat pengikat yang digunakan, untuk dapat meningkatkan kuat tekan maka perlu ditambahkan zat pengikat, apabila limbah slag yang digunakan terlalu besar dan tidak ada zat pengikat lain dikhawatirkan akan mudah rapuh dan hancur sehingga dapat mencemari lingkungan.

Penelitian Rahmat dkk (2016) menyebutkan bahwa, bahan tambah (*Additive*) adalah bahan tambah yang ditambahkan pada saat proses pembuatan semen, bahan tambah additive yang ditambahkan pada beton

berfungsi untuk meningkatkan kinerja kuat tekan beton. Beton yang kekurangan butiran halus dalam agregat menjadi tidak kohesif dan mudah bleeding, untuk mengatasi kondisi ini biasanya ditambahkan bahan tambah additive yang berbentuk butiran padat yang halus. Penambahan additive dilakukan pada beton yang kekurangan agregat halus dan beton dengan kadar semen biasa tetapi perlu dipompa pada jarak yang jauh.

Menurut hasil penelitian Nobrian (2020), abu slag aluminium yang ada di Kabupaten Jombang dapat digunakan sebagai substitusi semen dalam pembuatan beton ringan (CLC) karena abu limbah aluminium memiliki sifat fisik cukup baik karenanya abu cor aluminium memenuhi persyaratan kecuali kadar organik. Parameter performa beton meliputi berat sendiri beton yang sudah terpenuhi dan pengujian kuat tekan beton pada umur 7,14, dan 28 hari terpenuhi untuk proporsi beton campuran abu limbah aluminium.

## 4.2 Hasil Pengujian Daya Serap Air

### 4.2.1 Hasil Uji

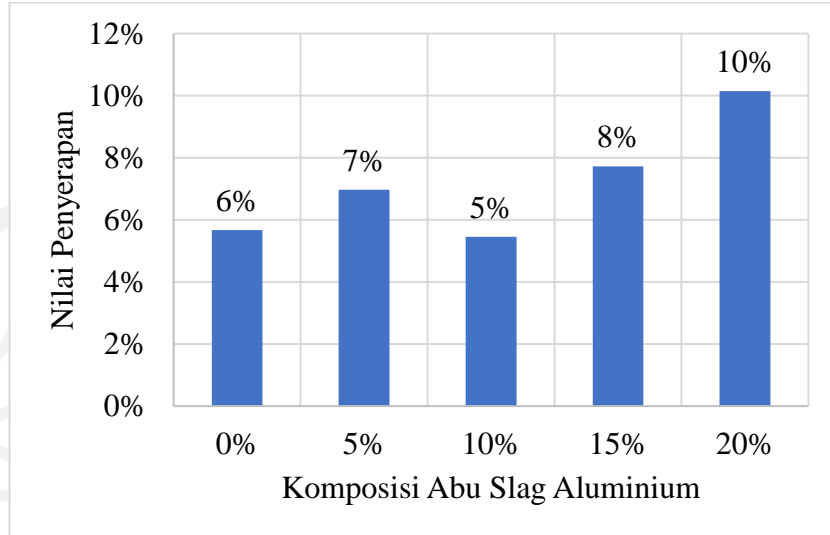
Pengujian terhadap daya serap air *paving block* dilakukan pada sampel *paving block* yang umur minimal 28 hari dalam keadaan kering dengan jumlah benda uji yang diambil adalah 5 buah untuk masing-masing komposisi campuran abu slag aluminium sebagai substitusi semen. Dari setiap komposisi penambahan abu slag aluminium didapatkan daya serap air rata-ratanya. Adapun contoh *paving block* yang diuji kuat tekannya, dapat dilihat pada **Gambar 4.3**



**Gambar 4.3** Pengujian Daya Serap Air *Paving Block*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2021)

Hasil daya serap air rata-rata *paving block* masing-masing komposisi dapat dilihat pada **Gambar 4.4**, untuk data lengkap hasil uji dan detail perhitungannya dapat dilihat pada **Lampiran.2**.



**Gambar 4.4 Hasil uji daya serap air**

(Sumber : Hasil Penelitian, 2021)

Dari hasil pengujian daya serap air apabila dibandingkan dengan syarat mutu kategori *paving block* sesuai dengan SNI 03-0691-1996 dapat dilihat pada **Tabel 4.2** berikut:

**Tabel 4.2** Kategori *paving block* terhadap daya serap air

Komposisi	Penyerapan	Kategori Paving
0%	6%	B
5%	7%	C
10%	5%	B
15%	8%	C
20%	10%	D

(Sumber : Hasil Penelitian, 2021)

#### 4.2.2. Analisa

Berdasarkan hasil yang tertera pada **Gambar 4.3** bahwa penambahan abu slag aluminium sebagai substitusi semen pada *paving block* cenderung dapat menambah nilai daya serap air terhadap paving, kecuali pada persentase penambahan abu slag aluminium komposisi 10%

mengalami penurunan. Menurut Larasati (2016) besar atau kecil nilai daya serap air yang dihasilkan tergantung dari kepadatan dan jumlah rongga yang terdapat pada paving block. Pada penelitian ini bahas substitusi yang digunakan sebagai pengganti semen adalah abu *slag* aluminium, apabila dibandingkan ukuran partikel abu *slag* aluminium lebih besar dari pada ukuran partikel semen, dimana ukuran partikel abu *slag* sebesar 0-0,180 mm sedangkan ukuran partikel semen sebesar 0-0,025 mm. Material pasir yang digunakan menggunakan pasir dari Gunung Merapi yang memiliki rentang ukuran yaitu 0,15 mm – 4,8 mm (Lasino, 2015). Menurut Sebayang dkk (2011) Jumlah campuran yang diberikan untuk tiap-tiap cetakan pada mesin atau alat cetak manual tidak melalui proses penimbangan terlebih dahulu sehingga jumlahnya tidak sama, akibatnya kepadatan sampel menjadi beragam rongga yang tercipta juga beragam.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gencel (2012), penyerapan air pada beton secara alami terjadi berhubungan dengan sifat dari sistem pori dalam beton itu sendiri. Beton yang paling baik memiliki penyerapan di bawah 10%. Apabila dibandingkan dengan penelitian ini, nilai daya serap air yang didapat masih dibawah 10% untuk tiap komposisi penambahan abu slag aluminium. Jika nilai penyerapan masih diatas 10% maka bisa dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan menambahkan bahan campuran lain guna mengurangi porositas dalam beton. Menurut penelitian Putra (2017) *mineral admixture* (bahan tambah mineral), merupakan bahan tambah yang dapat berfungsi untuk memperbaiki kinerja beton dalam hal penyerapan khususnya untuk mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton. Pada saat ini, bahan tambah mineral ini lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja tekan beton, sehingga bahan ini cenderung bersifat penyemenan.

#### **4.3 Kadar Optimum Campuran**

Data hasil pengujian *paving block* dengan penambahan abu slag aluminium sebagai substitusi semen menunjukkan bahwa hubungan hasil uji kuat tekan dan daya serap *paving block* adalah berbanding terbalik.

Dikarenakan masing-masing hasil nilai uji memiliki kategori paving berbeda, sehingga perlu untuk mengetahui kadar optimum campuran komposisi yang sesuai.

Kadar optimum campuran ditentukan melalui mutu *paving block* yang sudah diatur dalam Standar Nasional Indonesia, penentuan mutu *paving block* ini berdasarkan hasil uji kuat tekan dan daya serap air yang telah dilakukan, dari hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan mutu *paving block* seperti yang tertera pada SNI 03-0691-1996. Adapun hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

**Tabel 4.3** Perbandingan Mutu *Paving Block* berdasarkan Hasil Uji

Komposisi Abu Slag Aluminium	Kuat tekan Rata-rata (Mpa)	Mutu paving block berdasarkan kuat tekan	Daya serap air Rata-rata (%)	Mutu paving block berdasarkan daya serap air
0%	43,21	A	6	B
5%	39,23	A	7	C
10%	33,65	B	5	B
15%	28,20	B	8	C
20%	17,43	B	10	D

(Sumber : Hasil Penelitian, 2021)

Berdasarkan **Tabel 4.3**, didapatkan mutu *paving block* dari hasil uji kuat tekan dan daya serap air yang beragam, kadar optimum campuran ditentukan pada paving yang memiliki hasil mutu untuk kuat tekan dan daya serap air yang sama. Pada penelitian ini diketahui bahwa kadar optimum yang didapatkan adalah komposisi campuran 10% dengan hasil kuat tekan sebesar 33,65 Mpa dan kemampuan daya serap air sebesar 5% termasuk pada kategori mutu paving B yang dapat digunakan untuk peralatan parkir.



#### 4.4 Hasil Pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP)

##### 4.4.1. Hasil Uji

Pengujian TCLP dilakukan pada limbah abu slag aluminium murni dan *paving block* campuran 10% abu slag aluminium substitusi semen. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui potensi pelindian B3 pada produk *paving block* yang memiliki komposisi optimum. Adapun pengujian TCLP dapat dilihat pada **Gambar 4.5**



**Gambar 4.5** Ekstraksi Pengujian TCLP

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2021)

Hasil filtrat yang di dapat dari uji TCLP kemudian dilakukan analisis untuk tiap parameterya, hasil pengujian parameter B3 yang didapat akan dibandingkan dengan Baku mutu uji TCLP mengacu pada PP nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran XII. Berikut nilai hasil pengujian tiap parameter B3 dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.



**Tabel 4.4** Hasil Pengujian TCLP

Parameter	Hasil Analisa		Satuan	Baku mutu		Satuan
	Limbah Slag	Paving 10%		TCLP A	TCLP B	
Cl- (Klorida)	2020,65	17,016	ppm	75000	12500	ppm
Pb (Timbal)	3,843	0,41192	ppm	3	0,5	ppm
Cu (Tembaga)	0,82	0,056	ppm	60	10	ppm
Zn (Seng)	49,4	0,357	ppm	300	50	ppm
Cd (Kadmium)	0,138	0,059	ppm	0,9	0,15	ppm
Ag (Perak)	0,006	0,004	ppm	40	5	ppm
NO <sub>2</sub> -N (Nitrit)	25	5	ppm	900	150	ppm
Cr <sup>6+</sup> (Krom Heksavalen)	0,03	0,01	ppm	15	2,5	ppm

(Sumber : Hasil Penelitian, 2021)

#### 4.4.2. Analisa

*Toxicity Characteristic Leaching Prosedur* (TCLP) merupakan metode analisis yang dirancang untuk menentukan mobilitas analit organik maupun nonorganik dalam sampel. Prinsip dari metode Toxicity Characteristic Leaching Prosedur (TCLP) yaitu mengelarutkan kandungan logam dalam tanah kemudian dilakukan proses ekstraksi. Preparasi sampel dengan metode TCLP dilakukan dengan menentukan persen padatan sampel dan penentuan pH sampel (Sabrina, 2020). Pada penelitian ini metode analisis sampel menggunakan :

##### 1. Argentometri

Prinsip dari metode argentometri adalah dalam larutan netral atau sedikit basa, ion perak bereaksi secara kuantitatif dengan ion klorida. Titrasi diakhiri dengan pembentukan perak kromat yang berwarna merah hasil reaksi berlebihan ion perak dengan ion kromat. Parameter B3 yang menggunakan pengujian ini adalah Cl<sup>-</sup> (Klorida). Nilai yang didapatkan dari hasil uji pada parameter Cl<sup>-</sup> adalah 2020,65 ppm untuk limbah asli dan 17,016 ppm untuk komposisi campuran slag 10%.

##### 2. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Prinsip dari metode uji ini adalah analit logam dalam nyala udara-asetilen diubah menjadi bentuk atomnya, menyerap energi radiasi elektromagnetik yang berasal dari lampu katoda dan besarnya serapan

berbanding lurus dengan kadar analit. Parameter B3 yang menggunakan pengujian ini adalah Pb (Timbal), Cu (Tembaga), Zn (Seng), Cd (Cadmium), dan Ag (Perak). Nilai yang didapatkan dari hasil uji pada parameter Pb sebesar 3,843 ppm untuk limbah asli dan 0,41192 ppm untuk komposisi campuran slag 10%. Nilai yang didapatkan dari hasil uji pada parameter Cu sebesar 0,82 ppm untuk limbah asli dan 0,056 ppm untuk komposisi campuran slag 10%. Nilai yang didapatkan dari hasil uji pada parameter Zn sebesar 49,4 ppm untuk limbah asli dan 0,357 ppm untuk komposisi campuran slag 10%. Nilai yang didapatkan dari hasil uji pada parameter Cd sebesar 0,138 ppm untuk limbah asli dan 0,059 ppm untuk komposisi campuran slag 10%. Nilai yang didapatkan dari hasil uji pada parameter Ag sebesar 0,006 ppm untuk limbah asli dan 0,004 ppm untuk komposisi campuran slag 10%.

### 3. Spektrofotometri

Parameter yang menggunakan metode spektrofotometri sebagai metode uji adalah NO<sub>2</sub>-N (Nitrit) dan Cr<sup>6+</sup> (Kromium Heksavalen). Prinsip dari metode ujinya adalah sebagai berikut :

- Prinsip uji NO<sub>2</sub>-N

Nitrit dalam suasana asam pada pH 2,0 – 2,5 akan bereaksi dengan sulfanilamid (SA) dan N-(1-naphthyl) ethylene diamine dihydrochloride (NED dihydrochloride) membentuk senyawa azo yang berwarna merah keunguan. Warna yang terbentuk diukur absorbansinya secara spektrofotometri pada panjang gelombang maksimum 543 nm. Nilai yang didapatkan dari hasil uji adalah 25 ppm untuk limbah asli dan 5 ppm untuk komposisi campuran slag 10%.

- Prinsip uji Cr<sup>6+</sup>

Ion krom heksavalen bereaksi dengan difenilkarbazida dalam suasana asam membentuk senyawa kompleks berwarna merah-uji yang menyerap cahaya tampak pada panjang gelombang 530 nm atau 540 nm. Serapannya diukur pada

panjang gelombang tersebut sebanding dengan kadar ion krom heksavalen. Nilai yang didapatkan dari hasil uji adalah 0,03 ppm untuk limbah asli dan 0,01 ppm untuk komposisi campuran slag 10%.

Berdasarkan **Tabel 4.4**, parameter B3 timbal (Pb) pada slag aluminium yang belum diolah memiliki nilai diatas baku mutu dan memiliki nilai lebih tinggi dari baku mutu TCLP A sehingga limbah ini dapat dikatakan sebagai limbah kategori 1. Apabila dilihat dari keadaan dilapangan limbah ditimbun secara langsung oleh masyarakat sekitar, menurut PP nomor 22 tahun 2021 nantinya slag aluminium ini dipastikan akan berdampak ne berdampak akut dan langsung terhadap manusia dan dapat dipastikan akan berdampak negatif terhadap Lingkungan Hidup.

Pada lampiran XII PP nomor 22 tahun 2021 tentang baku mutu untuk limbah B3 sebelum ditempatkan di fasilitas penimbunan akhir memiliki nilai yang sama dengan baku mutu TCLP B. Berdasarkan pada **Tabel 4.4** setelah karena adanya pengolahan memiliki nilai parameter B3 mengalami penurunan setelah adanya proses satiblisasi/stabilisasi pada limbah slag aluminium. Proses solidifikasi stabilisasi merupakan proses immobilisasi unsur logam, sehingga dapat menurunkan potensi unsur logam dalam mencemari lingkungan (Aprida, 2018). Proses stabilisasi dalam penelitian ini adalah pemanfaatan abu slag aluminium menjadi substitusi senen dan proses solidifikasi dalam penelitian ini adalah dengan cara pembuatan paving block. Apabila dibandingkan dengan hasil pengujian TCLP pada paving block komposisi 10% pada substitusi semen nilai parameter ada dibawah baku mutu dan aman apabila diaplikasikan ke lingkungan.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan serangkaian proses penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian kuat tekan menurun seiring dengan penambahan abu slag aluminium, disebabkan oleh karakteristik limbah slag aluminium yang memiliki sedikit kandungan silika sehingga menyebabkan terhambatnya proses pengerasan, nilai kuat tekan pada substitusi 0%; 5%; 10%; 15%; dan 20% berturut-turut sebesar 43,21 Mpa; 39,23 Mpa; 33,65 Mpa; 28,2 Mpa; dan 17,43 Mpa. Nilai daya serap air cenderung meningkat seiring dengan penambahan abu slag aluminium, disebabkan karena ukuran partikel abu *slag* yang lebih besar dari semen sehingga menghasilkan pori-pori yang lebih besar juga terhadap paving, didapatkan nilai pada substitusi 0%; 5%; 10%; 15%; dan 20% berturut-turut sebesar 6%; 7%; 5%; 8%; dan 10%
2. Komposisi optimum adalah 10% abu slag aluminium pada substitusi semen. Jenis mutunya adalah paving kategori B yaitu paving yang digunakan untuk peralatan parkir
3. Hasil TCLP pada paving komposisi 10% didapatkan konsentrasi parameter B3 Cl<sup>-</sup> sebesar 17,016 ppm; Pb sebesar 0,4 ppm; Cu sebesar 0,056 ppm; Zn sebesar 0,579 ppm; Cd sebesar 0,059 ppm; Ag sebesar 0,004 ppm; NO<sub>2</sub>-N sebesar 5 ppm; dan Cr<sup>6+</sup> sebesar 0,01 ppm. Semua parameter berada di bawah baku mutu TCLP yang telah ditetapkan.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Tugas akhir dapat dikembangkan dengan analisa pengujian ketahanan aus dan ketahanan terhadap natrium sulfat agar sesuai dengan syarat mutu paving block secara lengkap.
2. Tugas akhir ini dapat dikembangkan dengan variasi campuran yang lebih besar dan beragam.
3. Tugas akhir dapat dikembangkan dengan penambahan analisa ekonomi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adeosun S O. (2014). *Physical and Mechanical Properties of Aluminum Dross*. *Advances in Materials*. Vol.3, No.2, pp.6–10. doi: 10.11648/j.am.20140302.11.
- Aprida L F. (2018). *Pemanfaatan Kandungan CaO Limbah Karbit dan Kandungan Silika Abu Sekam Padi sebagai Bahan Pembuatan Bata Beton Pejal*. Laporan Tugas Akhir. Teknik Pengolahan Limbah. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Arisandi P. (2018). *Jejak Beracun*. Gresi: Ecoton.
- Gencel O. (2012). *Properties of Concrete Paving Blocks Made With Waste Marble*. *Journal of Cleaner Production*. Vol.21, No.62, pp.62-70. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.08.023.
- Geologinesia. (2016). *Proses Pengolahan Bauksit menjadi Alumina dan Aluminium*.
- Giedrius Giskas. (2016). *Durability of Concrete Containing Synthetic Zeolite from Aluminium Fluoride Production Waste as a Supplementary Cementitious material*. *Construction and Building Materials* 117(99-106).
- Giovan R A. (2018). *Pengaruh Penambahan Serat Ijuk dan Silica Fume pada Karakteristik Paving Block*. Laporan Tugas Akhir. Teknik Sipil. Universitas Islam Indonesia
- Iduwin Tommy. (2017). *Penggunaan Pasir Laut terhadap Kuat Tekan Beton Kota Bengkulu*. *Jurnal Forum Mekanika*. Vol.6, No.2.
- Kasman M, Suhendra, Herawati P, Sy Salmariza, Hariyanto, Yanti F. (2016). *Imobilisasi Polutan Fe dan Pb dalam Limbah Oli Bekas dengan Solidifikasi/Stabilisasi*. *Jurnal Litbang industri* Vo.6 No.2.
- Krishna R S. (2020). *Industrial Solid Waste Management Through Sustainable Green Technology: Case Study Insights From Steel and Mining Industry in Keonjhar, India*. *Materials Today: Proceedings*. doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.949.
- Larasati. (2016). *Purifikasi Silika dari Pasir Vulkanik Gunung Merapi sebagai Bahan Baku Sel Fotovoltaik*. Yogyakarta : Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Yogyakarta.

- Lasino. (2015). *Pemanfaatan Pasir Merapi untuk Beton Mutu Tinggi*. Bandung : Pusat Penelitian Permukiman Bandung.
- Luthfianti QA, Yuriandala Yebi, Kasam. (2018). *Pemanfaatan Sampah Plastik Jenis Polyethylene Terephthalate(PET) sebagai Substitusi Agregat Halus pada Paving Block*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan. Universitas Islam Indonesia.
- Mailar. (2016). *Investigation of Concrete Produced using Recycled Aluminium Dross for Hot Weather Concreting Conditions*. ResourceEfficient Technologies. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.reffit.2016.06.006.
- Nobrian Rino, Suryadi Akhmad, Pudjowati Utami. (2020). *Analisis Kekuatan Beton Ringan dengan Limbah Abu Aluminium sebagai Substitusi Pasir*. Jurnal Online Skripsi. Manajemen Rekayasa Konstruksi. Politeknik Negeri Malang.
- Nursyafril. (2014). *Pemanfaatan Abu Limbah Pembakaran Barang Mengandung Aluminium untuk Bahan Campuran Mortar*. TEDC Polban, 8, pp. 41–49.
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang *Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Pratiwi & Yanti. (2018). *Pengaruh Zeolit sebagai Agregat Kasar dan Batubara sebagai Bahan Campuran Semen terhadap Kuat Tekan Paving Block*. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara. Vol.14, No.3.
- Putra Alif L A. (2017). *Penggunaan Steel Slag sebagai Agregat Beton Mutu Tinggi*. Tugas Akhir. Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara.
- Rahmat, Hendriyani I, Anwar M S. (2016). *Analisis Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambah Reduced Water dan Accelerated Admixture*. Info Teknik. Vol. 17, No.2.
- Ramadhani Balqis. (2019). *Pemanfaatan Limbah Slag Aluminium sebagai Substitusi Semen dalam Pembuatan Beton Normal*. Laporan Tugas Akhir. Teknik Pengolahan Limbah. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Sabrina Alif Nur. (2020). *Validasi Metode Uji Mangan (Mn) dalam Tanah secara Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) menggunakan ICP-OES di PT Karsa Buana Lestari Jakarta*. Tugas Akhir. Analis Kimia Universitas Islam Indonesia.



- Safitri Endah dan Djumari. (2009). *Kajian Ekonomis Pemanfaatan Limbah Batu Bara (Fly Ash) pada Produksi Paving Block*. Media Teknik Sipil, Vol.IX, No.1.
- Salain. (2009). *Pengaruh Jenis Semen dan Jenis Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton*. Jurnal Teknologi dan Kejuruan. Vol.32, No.1.
- Saraswati & Rzaif. (2020). *Potensi Pemanfaatan Slag Aluminium sebagai Substitusi Semen dalam Proses Stabilisasi/Solidifikasi Limbah B3 dengan Kajian Pustaka (Studi Kasus : PT.X Kecamatan Kesamben, Jombang)*. Jurnal Envirotek. Vol.12, No.2.
- Sebayang S, Diana I W, Purba A. (2011). *Perbandingan Mutu Paving Block Produksi Manual dengan Produksi Masinal*. Jurnal Rekayasa Vol.15, No.2.
- Sembiring AC & Saruksuk JJ. (2017). *Uji Kuat Tekan dan Serapan Air pada Paving Block dengan Bahan Pasir Kasar, Batu Kacang, dan Pasir Halus*. Jurnal Ilmiah Teknik Industri Prima. Vol.1, No.1.
- SNI 03-0691-1996 tentang *Bata Beton (Paving Block)*.
- SNI 06-6989-2009 tentang *Air dan Air Limbah*
- SNI 8808:2019 tentang *Prosedur Pelindian Karakteristik Beracun (Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP)*
- Spence, R.D. dan Shi, C. (2005). *Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive, and Mixed Wastes*. CRC Press.
- Uyun FM. (2018). *Analisis Peran Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur dalam Pengawasan Pencemaran Limbah B3 Industri Slag aluminium di Kabupaten Jombang*. skripsi, UIN Sunan Ampel.
- Waani. (2017). *Substitusi Material Pozzolan Terhadap Semen pada Kinerja Campuran Semen*. 24(3), pp. 237–246. doi: 10.5614/jts.2017.24.3.7.
- Wiryanto NG & Haryanto Yanuar. (2013). *Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah sebagai Nilai Estimasi Kekuatan Sisa pada Beton Serat Kasa Aluminium akibat Variasi Suhu*. Jurnal Dinamika Rekayasa. Vol.9, No.1.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Hasil Uji Kuat Tekan

Contoh perhitungan :

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{\text{Beban Tekan (N)}}{\text{Luas permukaan (mm)}}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan} &= \frac{17907}{785000} \\ &= 43,8376054 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Sampel	Dimensi dalam		Luas area	Beban tekan (KN)	Beban tekan (N)	Kuat tekan (Mpa)	Rerata Kuat tekan (Mpa)
	panjang	lebar					
0-A	190,5	94	17907	785	785000	43,8376054	43,21186799
0-B	188,3	92,2	17361,26	425	425000	24,4797901	
0-C	189,3	89,1	16866,63	763	763000	45,2372525	
0-D	190	93	17670	1000	1000000	56,5930956	
0-E	189	90,1	17028,9	249	249000	14,6222011	
0-F	190,5	91	17335,5	850	850000	49,0323325	
0-G	189,6	91,2	17291,52	940	940000	54,3619069	
0-H	190,5	90	17145	1025	1025000	59,7841936	
0-I	190	94	17860	680	680000	38,0739082	
0-J	190	90,2	17138	790	790000	46,096394	
5-A	190,5	90,5	17240,25	640	640000	37,1224315	39,23562876
5-B	187,6	93,3	17503,08	660	660000	37,7076492	
5-C	187,6	93	17446,8	645	645000	36,9695302	
5-D	194	92,5	17945	690	690000	38,450822	
5-E	191,6	94	18010,4	530	530000	29,4274419	
5-F	191	90,5	17285,5	620	620000	35,8682132	
5-G	194	91,8	17809,2	895	895000	50,2549244	
5-H	190	92,2	17518	805	805000	45,9527343	
5-I	191,6	92	17627,2	595	595000	33,7546519	
5-J	190	91	17290	810	810000	46,847889	
10-A	191,6	90,7	17378,12	675	675000	38,8419461	33,65423988
10-B	192	92	17664	505	505000	28,589221	
10-C	190	91,1	17309	530	530000	30,6199087	
10-D	193	92,2	17794,6	505	505000	28,379396	
10-E	190,5	91,6	17449,8	590	590000	33,8112758	
10-F	191,2	92	17590,4	625	625000	35,530744	



10-G	192	91,7	17606,4	720	720000	40,8942203	28,20430974
10-H	190	90,8	17252	560	560000	32,4600046	
10-I	191,6	91,6	17550,56	620	620000	35,3265081	
10-J	191	93	17763	570	570000	32,0891741	
15-A	190,5	92,7	17659,35	530	530000	30,0124297	
15-B	190	91	17290	328	328000	18,9705032	
15-C	190,5	93,3	17773,65	540	540000	30,3820543	
15-D	190	93	17670	510	510000	28,8624788	
15-E	195	94	18330	585	585000	31,9148936	
15-F	193	91,8	17717,4	400	400000	22,576676	
15-G	193	93,5	18045,5	510	510000	28,2618935	
15-H	191,9	93,4	17923,46	620	620000	34,5915353	
15-I	192	91	17472	425	425000	24,3246337	
15-J	194	91,4	17731,6	570	570000	32,1459992	
20-A	190	92	17480	300	300000	17,1624714	17,42968372
20-B	191	93	17763	480	480000	27,0224624	
20-C	194	90,5	17557	302	302000	17,2011164	
20-D	192	90,5	17376	325	325000	18,7039595	
20-E	192	91	17472	337	337000	19,2880037	
20-F	191	92,4	17648,4	144	144000	8,15937989	
20-G	191	91,3	17438,3	349	349000	20,0134187	
20-H	190	93	17670	227	227000	12,8466327	
20-I	190	92,7	17613	320	320000	18,1683983	
20-J	190	90	17100	269	269000	15,7309942	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2021)

## Lampiran 2. Hasil Uji Daya Serap Air

Contoh perhitungan :

$$\text{Daya Serap Air} = \frac{\text{berat basah} - \text{berat kering}}{\text{berat kering}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Daya Serap Air} &= \frac{2622 - 2434}{2432} \times 100\% \\ &= 7\% \end{aligned}$$

Sampel	Berat basah (gr)	Berat kering (gr)	Nilai penyerapan	Rerata
0-A	2622	2434	7%	6%
0-B	2689	2577	4%	
0-C	2644	2475	6%	
0-D	2663	2501	6%	
0-E	2716	2592	5%	
5-A	2697	2534	6%	7%
5-B	2640	2444	7%	
5-C	2650	2463	7%	
5-D	2668	2484	7%	
5-E	2683	2484	7%	
10-A	2611	2474	5%	5%
10-B	2781	2622	6%	
10-C	2718	2553	6%	
10-D	2749	2643	4%	
10-E	2768	2592	6%	
15-A	2688	2497	7%	8%
15-B	2756	2557	7%	
15-C	2569	2331	9%	
15-D	2692	2481	8%	
15-E	2788	2587	7%	
20-A	2620	2353	10%	10%
20-B	2542	2236	12%	
20-C	2505	2336	7%	
20-D	2667	2377	11%	
20-E	2673	2382	11%	

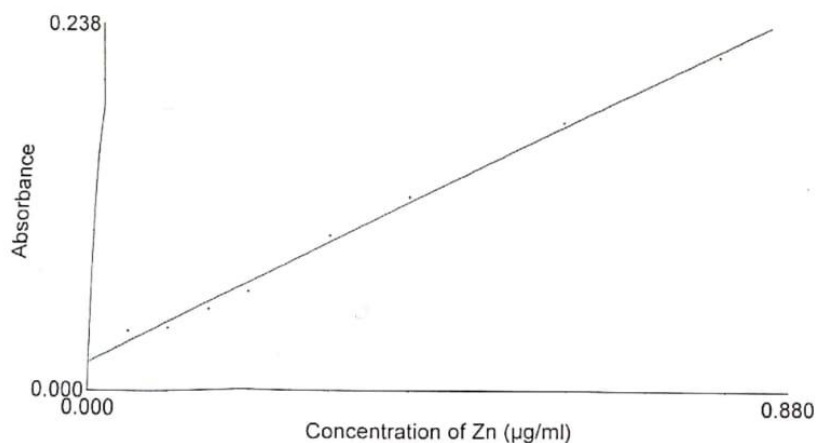
(Sumber : Hasil Penelitian, 2021)

### Lampiran 3. Hasil Uji TCLP

#### Lampiran 3.1 Hasil Uji Zn

Results File D:\GBC AAS\Flame AAS\2021\Methode\TA\_Muza\_TCLP\_Zn.res  
 Analysis C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl  
 Filename Zn,  
 Element Wed Jun 09 09:10:37 2021  
 Date  
 Full Calibration  
 Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0271 R<sup>2</sup> : 0.9947 R : 0.9973  
 Conc = -0.0685 + 3.9344 \* Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.050	-----	0.0370	
Standard 2	0.100	-----	0.0390	
Standard 3	0.150	-----	0.0508	
Standard 4	0.200	-----	0.0625	
Standard 5	0.300	-----	0.0977	
Standard 6	0.400	-----	0.1225	
Standard 7	0.600	-----	0.1730	
Standard 8	0.800	-----	0.2175	



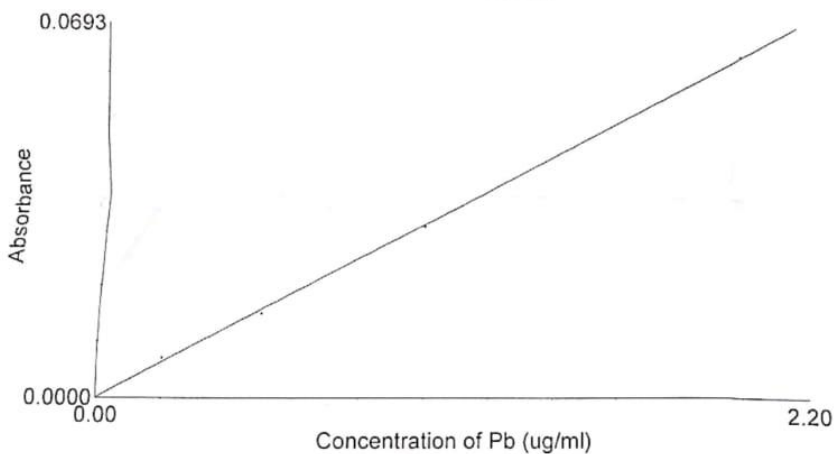
Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	-----	12.21	0.0072	0.0069 0.0064 0.0081
Sampel_1	0.494	2.24	0.1430	0.1395 0.1437 0.1458
Sampel_2	0.357	1.65	0.1080	0.1101 0.1073 0.1068

(Sumber : Hasil Penelitian, 2021)

### Lampiran 3.2 Hasil Uji Pb

Results File D:\GBC AAS\Flame AAS\2021\Methode\TA\_Muza\_TCLP\_Pb.res  
 Analysis  
 Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl  
 Element Pb,  
 Date Thu Jun 03 09:23:08 2021  
 Full Calibration  
 Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0239 R<sup>2</sup> : 0.9993 R : 0.9997  
 Conc = 0.0008 + 31.8686 \* Abs

Sample Label	Conc. (ug/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.20000	-----	0.0070	
Standard 2	0.50000	-----	0.0150	
Standar 3	1.00000	-----	0.0310	
Standard 4	2.00000	-----	0.0630	



Sample Label	Conc. (ug/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	-----	HIGH	0.0009	0.0006 0.0011 0.0010
Sampel_1	0.38430	6.45	0.0120	0.0118 0.0114 0.0129
Sampel_2	0.41192	7.39	0.0129	0.0119 0.0130 0.0138

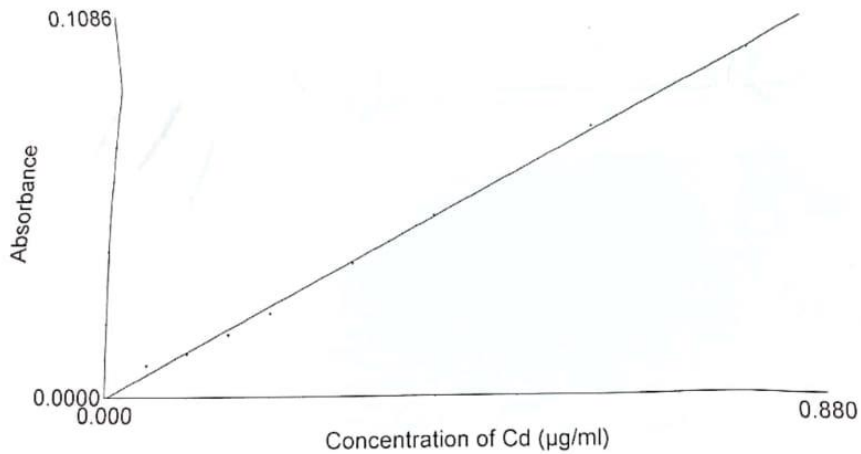
(Sumber : Hasil Penelitian, 2021)

### Lampiran 3.3 Hasil Uji Cd

Results File  
 Analysis  
 Filename  
 Element  
 Date  
 Full Calibration  
 Calibration Mode

D:\GBC AAS\Flame AAS\2021\Methode\TA\_Muza\_TCLP\_cd.res  
 C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl  
 Cd,  
 Thu Jun 03 09:16:13 2021  
 Linear Least Squares Max Error : 0.0220 R<sup>2</sup> : 0.9980 R : 0.9990  
 Conc = 0.0042 + 8.0313 \* Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	----	----	0.0000	
Standard 1	0.050	----	0.0084	
Standard 2	0.100	----	0.0117	
Standard 3	0.150	----	0.0168	
Standard 4	0.200	----	0.0225	
Standard 5	0.300	----	0.0364	
Standard 6	0.400	----	0.0496	
Standard 7	0.600	----	0.0754	
Standard 8	0.800	----	0.0987	



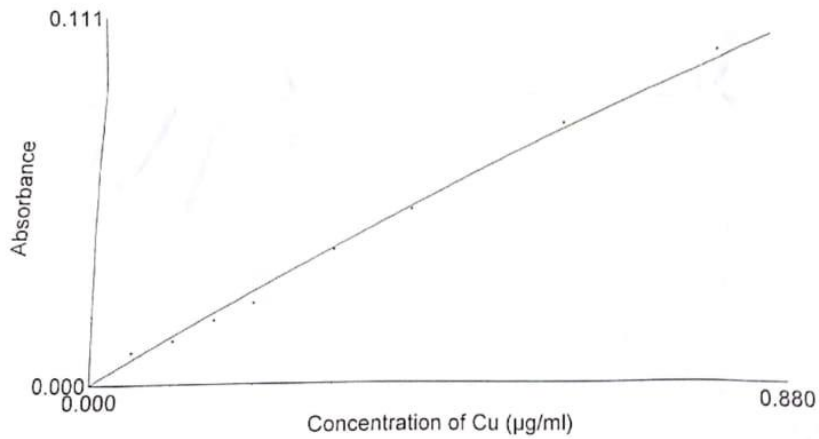
Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	----	HIGH	0.0013	0.0014 0.0000 0.0027
Sampel_1	0.138	2.51	0.0166	0.0167 0.0161 0.0169
Sampel_1	0.059	2.93	0.0068	0.0066 0.0070 0.0068

(Sumber : Hasil Penelitian, 2021)

### Lampiran 3.4 Hasil Uji Cu

Results File D:\GBC AAS\Flame AAS\2021\Method\TA\_Muza\_TCLP\_cu.res  
 Analysis  
 Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl  
 Element Cu,  
 Date Thu Jun 03 09:12:25 2021  
 Full Calibration  
 Calibration Mode Conc Least Squares Max Error : 0.0281 R<sup>2</sup> : 0.9971 R : 0.9986  
 Conc = Abs / ( 0.1425 + -0.2008 \* Abs )

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.050	-----	0.0093	
Standard 2	0.100	-----	0.0125	
Standard 3	0.150	-----	0.0186	
Standard 4	0.200	-----	0.0238	
Standard 5	0.300	-----	0.0397	
Standard 6	0.400	-----	0.0519	
Standard 7	0.600	-----	0.0781	
Standard 8	0.800	-----	0.1012	



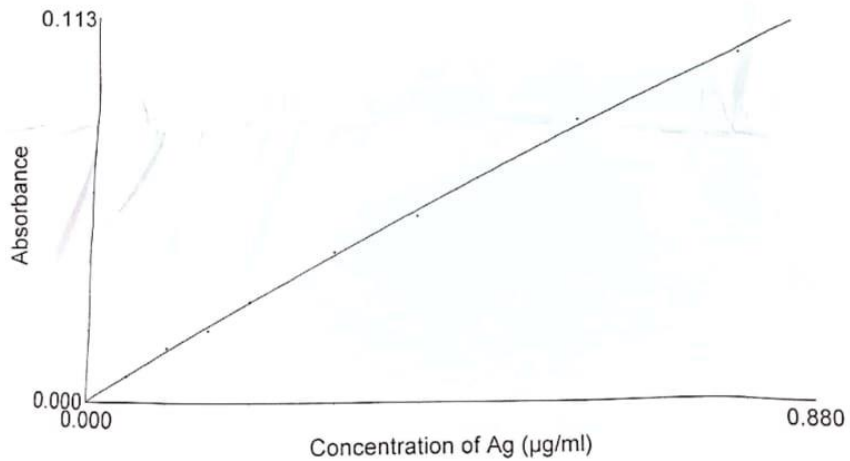
Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	-----	HIGH	-0.0006	-0.0009 -0.0002 -0.0007
Sampel_1	0.041	3.26	0.0058	0.0059 0.0056 0.0058
Sampel_1	0.056	2.33	0.0079	0.0080 0.0077 0.0080

(Sumber : Hasil Penelitian, 2021)

### Lampiran 3.5 Hasil Uji Ag

Results File D:\GBC AAS\Flame AAS\2021\Method\TA\_Muza\_TCLP\_Ag.res  
 Analysis C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl  
 Filename Ag.  
 Element Ag.  
 Date Fri Jun 04 09:16:50 2021  
 Full Calibration Conc Least Squares Max Error : 0.016g R<sup>2</sup> : 0.9985 R : 0.9992  
 Calibration Mode Conc = Abs / ( 0.1435 + -0.1288 \* Abs )

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.050	-----	0.0070	
Standard 2	0.100	-----	0.0150	
Standard 3	0.150	-----	0.0200	
Standard 4	0.200	-----	0.0282	
Standard 5	0.300	-----	0.0423	
Standard 6	0.400	-----	0.0529	
Standard 7	0.600	-----	0.0820	
Standard 8	0.800	-----	0.1027	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	-----	16.66	-0.0023	-0.0019 -0.0024 -0.0026
Sampel_1	0.006	13.83	0.0009	0.0010 0.0009 0.0007
Sampel_2	0.002	HIGH	0.0003	0.0006 0.0005 -0.0002

(Sumber : Hasil Penelitian, 2021)

### Lampiran 3.6 Hasil Uji NO<sub>2</sub>-N

$$\text{Kadar NO}_2\text{-N} = C \times fp$$

Keterangan :

C = Nilai yang terdapat pada hasil pengukuran (mg/l)

Fp = faktor pengenceran

- Komposisi 10% = C x fp  
= 0,5 x 10  
= 5 ppm
- Limbah Asli = C x fc  
= 0,5 x 50  
= 25 ppm

### Lampiran 3.7 Hasil Uji Cr<sup>6+</sup>

$$\text{Kadar Cr}^{6+} = C \times fp$$

Keterangan :

C = Nilai yang terdapat pada hasil pengukuran (mg/l)

Fp = faktor pengenceran

- Komposisi 10% = C x fp  
= 0,01 x 1  
= 0,01 ppm
- Limbah Asli = C x fc  
= 0,03 x 1  
= 0,03 ppm



### Lampiran 3.8 Hasil Uji Cl<sup>-</sup>

$$\text{Kadar Cl}^- = \frac{(A-B) \times N \times 35450}{v} \times f$$

Keterangan :

A = Volume larutan AgNO<sub>3</sub> yang dibutuhkan untuk titrasi sampel (ml)

B = Volume larutan AgNO<sub>3</sub> yang dibutuhkan untuk titrasi blanko (ml)

N = Normalitas larutan AgNO<sub>3</sub>

F = Faktor pengenceran

V = Volume sampel (ml)

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Komposisi 10\%} &= \frac{(A-B) \times N \times 35450}{v} \times f \\ &= \frac{(5-1) \times 0,012 \times 35450}{100} \times 1 \\ &= 17,016 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Limbah Asli} &= \frac{(A-B) \times N \times 35450}{v} \times f \\ &= \frac{(10,5-1) \times 0,012 \times 35450}{100} \times 50 \\ &= 2020,65 \text{ ppm} \end{aligned}$$

## RIWAYAT HIDUP

Saya Nurul Muzayyanah anak pertama dari dua bersaudara, lahir di Kabupaten Jombang Jawa Timur tanggal 1 April 1999 dari orang tua yang bernama Zaenal Arifin dan Nurfiatin. Saya alumni dari SDN Gambiran 2 Mojoagung Jombang, SMP IT Al-Qomar dan MA Sunan Kalijaga Patianrowo Kabupaten Nganjuk Jawa Timur. Saya diberikan kesempatan untuk melanjutkan studi S1 di jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia dengan mendapat beasiswa Bidikmisi dari tahun 2017.

Saya aktif di beberapa kegiatan diluar kuliah untuk menunjang kemampuan antara lain, saya tergabung dalam UII Excellent community (komunitas penerima beasiswa internal di UII), selain itu saya juga aktif di organisasi Laboratorium Mahasiswa selama 3 tahun, Pengajar aktif TPA di UII ayo mengajar selama 2 tahun, dan juga lembaga dakwah fakultas selama 2 tahun.

Pengalaman yang pernah saya ikuti anatara lain, menjadi muallim UII selama 3 tahun, asisten praktikum kimia lingkungan ditahun 2018, asisten praktikum teknik lingkungan 1 ditahun 2019, asisten kuliah lapangan mata kuliah ilmu kebumian di tahun 2019, tergabung dalam tim PKM Corner UII selama 2 tahun, selain itu juga saya juga menjadi *Chief Technology Officer (CTO) of Aikite Indonesia*. Saya juga pernah melakukan sebuah projek penelitian yang berjudul *Bangka's Tin Sea Sand-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> as A Removal of Heavy Metals in By-Product on Tin Ore Processing* yang telah diterbitkan dalam bentuk jurnal oleh *Engineering Research Journal, Vol 167 (Atlantis press)*.