



**PEMBUATAN *PAVING BLOCK* BERBAHAN DASAR  
LIMBAH PLASTIK *POLYETHYLENE*, *BOTTOM ASH*  
HASIL INSENERASI DAN BAHAN TAMBAHAN  
PASIR**

Skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Kimia

oleh

Fadhilatul Rohma

4311416012

**JURUSAN KIMIA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2020**

## PENGESAHAN

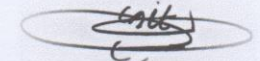
Skripsi yang berjudul “Preparasi *Paving block* Berbahan Dasar Limbah Plastik *Polyethylene*, *Bottom Ash* Hasil Insenerasi dan Bahan Tambahan Pasir” karya Fadhilatul Rohma NIM 4311416012 ini telah dipertahankan dalam Ujian Skripsi FMIPA Universitas Negeri Semarang pada tanggal 5 Agustus 2020 dan disahkan oleh Panitia Ujian.

Semarang, 10 September 2020


Panitia

  
Ketua,  
Dwi Sugiarto, M.Si  
NIP. 196102191993031001

Sekretaris,

  
Dr. Sigit Priatmoko, M.Si  
NIP. 196504291991031001

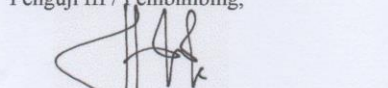
Penguji I,

  
Ella Kusumastuti, S.Si, M.Si  
NIP 198212142009122004

Penguji II,

  
Endah Fitriani Rahayu, S.Si, M.Si  
NIP 198705202014042002

Penguji III / Pembimbing,

  
Dr. Triastuti Sulistyaningsih, S.Si, M.Si  
NIP 197704112005012014

#### HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fadhilatul Rohma

NIM : 4311416012

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Pembuatan *Paving block* Berbahan Dasar Limbah Plastik *Polyethylene*, *Bottom Ash* Hasil Insenerasi dan Bahan Tambahan Pasir” benar-benar hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi manapun. Jika dikemudian hari skripsi ini terbukti merupakan duplikat, tiruan, plagiat dari hasil karya penulis lain, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat sebagai pertanggungjawaban ilmiah tanpa ada paksaan maupun tekanan dari pihak manapun.

Semarang, 15 September 2020

Penulis,



## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrohmanirrohim*

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Sholawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad Salallahu alaihi wasalam beserta keluarganya, sahabat, dan orang-orang yang mengikuti risalah beliau hingga akhir zaman.

Alhamdulillah, setelah melalui perjuangan dengan berbagai kendala, akhirnya penulis diijinkan-Nya untuk menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul "**Pembuatan *Paving Block* Berbahan Dasar Limbah Plastik *Polyethylene, Bottom ash* Hasil Insenerasi dan Bahan Tambahan Pasir**" dengan baik sebagai persyaratan untuk melengkapi kurikulum dan memperoleh gelar sarjana sains yang telah ditetapkan oleh Jurusan Kimia di Universitas Negeri Semarang.

Terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
2. Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
3. Ketua Prodi Kimia Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Triastuti Sulistyaningsih, M.Si. sebagai dosen pembimbing yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, memberikan arahan kepada penulis serta meluangkan waktu untuk selalu memberikan masukan, saran, dan motivasi selama penyusunan skripsi, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Ella Kusumastuti, M.Si. sebagai dosen penguji I dan Endah Fitriani Rahayu M.Sc sebagai penguji II yang telah membimbing dengan penuh

kesabaran dan penuh perhatian serta meluangkan waktu untuk selalu memberikan masukan, motivasi, dan saran selama penyusunan skripsi.

6. Dr. Agung Tri Prasetya, M.Si sebagai dosen wali yang telah memberikan motivasi selama masa perkuliahan.
7. Doni Reinaldi M. Sc sebagai dosen lapangan yang telah membimbing, memberi dukungan dan bantuan saat penelitian di PT EBCI.
8. Ibu dan Bapak tercinta atas doa yang selalu dipanjatkan, semangat yang selalu diberikan, kesabaran yang selalu dicurahkan, dan dukungan moril maupun materil yang tak henti-hentinya diberikan.
9. Adik-adiku tersayang yang selalu menjadi penyemangat dan penghibur dikala suka duka.
10. Mas Wahyu Tri Wijayanto atas motivasi, dukungan, dan doa yang selama ini telah diberikan.
11. Sahabat-sahabatku Mba Siti, Mba Ela, Mba Yuniar, Fernanda, Meyta, Ina, Rizka, Angrila, Setyo, Atika, atas canda tawa dalam menemani dan mendengarkan keluh kesah.
12. Keluarga di Laboratorium PT Eternal Buana Chemical Industries, terimakasih untuk kebersamaannya menjadi teman diskusi dan berkeluh kesah selama ini.
13. Teman-teman Kimia 2016 atas motivasi dan dukungan selama menjalani perkuliahan dan penelitian.
14. Teman-teman Ck Kost B terimakasih atas kebersamaan dan motivasinya.
15. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penulis berharap semoga amal dan budi baiknya semua pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca sebagai sumber informasi maupun sumber inspirasi.

Semarang, Juni 2020

Penulis

## ABSTRAK

Rohma, Fadhilatul. (2020). *Preparasi Paving block Berbahan Dasar Limbah Plastik Polyethylene, Bottom ash Hasil Insenerasi dan Bahan Tambahan Pasir*. Skripsi, Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Semarang. Pembimbing: Dr. Triastuti Sulistyarningsih, S. Si, M. Si

**Kata kunci:** *Paving block, Bottom ash, Limbah Plastik Polyethylene*

Pengelolaan limbah sering menjadi tantangan bagi lingkungan sekitar kita, seperti limbah plastik dan limbah *bottom ash* khususnya bagi industri yang menghasilkan limbah padat. Penelitian ini berupaya untuk memanfaatkan kembali limbah *bottom ash* hasil insenerasi pembakaran limbah resin dan pemanfaatan ulang limbah plastik *polyethylene*. *Paving block* dibuat melalui proses pencampuran dan pencetakan dalam keadaan panas, yang sebelumnya plastik *polyethylene* telah dilelehkan terlebih dahulu kemudian *bottom ash* dicampurkan ke dalamnya. *Paving block* yang sudah jadi kemudian diuji kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan terhadap natrium sulfat. Karakterisasi *paving block* menggunakan *Forier Transform Infra Red (FTIR)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)* dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX)*. Hasil penelitian menunjukkan *paving block* yang berkomposisi BA + PE + Pasir mempunyai hasil yang lebih baik dibanding *paving block* dengan komposisi BA + PE. *Paving block* komposisi BA + PE + Pasir mempunyai kuat tekan 26,69 Mpa, penyerapan air 0,59% dan ketahanan terhadap natrium sulfat 0,39%. *Paving block* komposisi BA + PE mempunyai kuat tekan 25,63 Mpa, penyerapan air 0,56 % dan ketahanan terhadap natrium sulfat 0,24%. *Paving block* yang dihasilkan memenuhi kriteria untuk *paving block* mutu B, namun dengan penyerapan air yang kecil. Hasil FTIR menunjukkan adanya interaksi kimia antara *bottom ash* dan plastik *polyethylene*, ditunjukkan dengan adanya ikatan hidrogen yang terbentuk pada produk, yaitu puncak pada bilangan gelombang  $3434\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya ikatan O-H, dan puncak pada bilangan gelombang  $1033\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi Si-O-Si.

## ***ABSTRACT***

Rohma, Fadhilatul. (2020). Preparation of Paving block Made from Polyethylene Plastic Waste, Bottom ash Results of Incineration and Sand Additives. Skripsi, Chemistry Faculty of Mathematics and Natural Sciences. Universitas Negeri Semarang. Supervisor: Dr. Triastuti Sulistyaningsih, S. Si, M. Sc

**Keywords:** *paving block*, bottom ash, *polyethylene* plastic waste.

Waste management is often challenge to our environment, such as the polyethylene (PE) and bottom ash (BA) waste especially for industries that produce solid waste. This research was conducted to reuse bottom ash from the incineration of resin waste combustion and reuse of polyethylene plastic waste. Paving block is made through a process of mixing and molding in a hot state, which previously polyethylene plastic has been melted first then bottom ash is mixed into it. Finished paving blocks are then tested for compressive strength, water absorption, and resistance to sodium sulfate. The characterization of paving blocks using Forier Transform Infra Red (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX). The results showed that paving block with BA + PE + Sand composition had better results than paving block with BA + PE composition. Paving block composition of BA + PE + Sand has compressive strength of 26.69 MPa, water absorption of 0.59% and resistance to sodium sulfate 0.39%. Paving block composition of BA + PE has a compressive strength of 25.63 Mpa, water absorption of 0.56% and resistance to sodium sulfate 0.24%. The resulting paving block meets the criteria for a quality B paving block. FTIR results show that the chemical interaction between bottom ash and polyethylene plastic, indicated by the existence of hydrogen bonds formed in this product, there is a peak at wave number  $3434\text{ cm}^{-1}$  which indicates the O-H bond formed and peak at wave  $1033\text{ cm}^{-1}$  which indicates the Si-O-Si bond.

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>JUDUL</b> .....	i
PENGESAHAN KELULUSAN .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	ii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1 <i>Bottom ash</i> .....	6
2.2 Pemanfaatan Kembali <i>Bottom ash</i> .....	10
2.3 <i>Bottom ash</i> Sebagai Agregat .....	11
2.4 Agregat.....	13
2.5 <i>Paving block</i> .....	13
2.6 Kuat Tekan.....	17
2.7 Penyerapan Air.....	17
2.8 Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat.....	18
2.9 <i>Polyethylene</i> .....	18
2.10 Interaksi Antara <i>Bottom ash</i> dan <i>Polyethylene</i> .....	20
2.11 Forier Transform Infra Red (FTIR).....	22
2.12 <i>X-Ray Fluoroscene (XRF)</i> .....	24
2.13 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i> .....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	28
3.1 Lokasi Penelitian.....	28



3.2 Variabel Penelitian .....	28
3.3 Alat dan Bahan .....	28
(1) Alat.....	28
(2) Bahan .....	28
3.4 Cara Kerja.....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
4.1 Karakterisasi <i>X-ray Fluoroscene</i> (XRF).....	34
4.2 Pembuatan <i>Paving block</i> .....	35
4.3 Kuat Tekan.....	38
4.4 Penyerapan Air.....	41
4.5 Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat.....	43
4.6 Karakterisasi <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	46
4.7 Karakterisasi Scanning Electron Microscope (SEM) .....	49
4.8 Interaksi Antar Komponen Yang Diusulkan.....	51
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>53</b>
5.1 Simpulan .....	53
5.2 Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>
LAMPIRAN.....	62

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Senyawa Penyusun <i>Bottom ash</i> .....	6
Tabel 2.2 Sifat Fisik <i>Bottom ash</i> .....	7
Tabel 2.3 Kandungan <i>Bottom ash</i> .....	8
Tabel 2.4 Sifat Mekanis <i>Bottom ash</i> .....	8
Tabel 2.5 Syarat Mutu <i>Paving block</i> .....	15
Tabel 2.6 Kombinasi Pola Pemasangan, Mutu, Tebal <i>Paving block</i> .....	15
Tabel 2.7 Densitas dan Melt Flow Index PE.....	20
Tabel 3.1 Variasi 1, Perbandingan BA dan PE dengan Rasio PE Tetap.....	30
Tabel 3.2 Variasi 2, Perbandingan BA dan PE dengan Rasio PE Berbeda .....	30
Tabel 3.3 Variasi 3, Perbandingan Rasio BA : PE : Pasir .....	30
Tabel 4.1 Kandungan Senyawa <i>Bottom ash</i> hasil XRF .....	35
Tabel 4.2 Bentuk <i>Paving block</i> Berdasarkan Variasi 1, Perbandingan BA dan PE dengan Rasio PE Tetap.....	36
Tabel 4.3 Bentuk <i>Paving block</i> Berdasarkan Variasi 2, Perbandingan BA dan PE dengan Rasio PE Berbeda.....	37
Tabel 4.4 Bentuk <i>Paving block</i> Berdasarkan Variasi 3, Perbandingan Rasio BA : PE : Pasir .....	37
Tabel 4.5 Hasil Uji Kuat Tekan, Penyerapan Air dan Natrium Sulfat Pada <i>Paving block</i> Komposisi 1,5 BA + 2 PE.....	38
Tabel 4.6 Hasil Uji Kuat Tekan, Penyerapan Air dan Natrium Sulfat Pada <i>Paving block</i> Komposisi 1 BA + 2 PE + Pasir .....	38
Tabel 4.7 Hasil Interpretasi Spektra FTIR Pada <i>Paving block</i> .....	49

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Morfologi <i>Bottom Ash</i> Hasil SEM .....	8
Gambar 2.2 <i>Paving block</i> Bentuk Segi Empat.....	16
Gambar 2.3 <i>Paving block</i> Bentuk Segi Banyak.....	16
Gambar 2.4 Struktur <i>polyethylene</i> .....	19
Gambar 2.5 Ikatan Sigma pada <i>Polyethylene</i> .....	20
Gambar 2.6 Skematik Spektrometer FTIR.....	23
Gambar 2.7 Prinsip <i>X-Ray Fluorescence</i> .....	24
Gambar 2.8 Kekosongan Elektron Pada Kulit L.....	25
Gambar 2.9 Diagram Skematik Fungsi Dasar dan Cara Kerja SEM.....	27
Gambar 4.1 <i>Bottom Ash</i> .....	34
Gambar 4.2 Diagram Hubungan Kuat Tekan Terhadap Umur Pengeraman ...	40
Gambar 4.3 Diagram Hubungan Penyerapan Air Terhadap Umur Pengeraman.....	42
Gambar 4.4 Diagram Hubungan Kehilangan Berat Terhadap Umur Pengeraman .....	44
Gambar 4.5 Spektra FTIR <i>Paving block</i> dan Prekursor.....	46
Gambar 4.6 Morfologi Hasil SEM Dengan Perbesaran 7500x (a) <i>Bottom Ash</i> (b) <i>Paving block</i> Komposisi BA + PE Dan (c) <i>Paving block</i> Komposisi BA + PE + Pasir .....	50
Gambar 4.7 Morfologi Hasil SEM Dengan Perbesaran 2500x (a) <i>Bottom Ash</i> (b) <i>Paving block</i> Komposisi BA + PE Dan (c) <i>Paving block</i> Komposisi BA + PE + Pasir .....	50
Gambar 4.8 Interaksi Plastik <i>Polyethylene</i> dengan SiO <sub>2</sub> dalam <i>Bottom Ash</i> ...	54

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tingkat produksi limbah padat kota di 28 negara serikat di Eropa sebesar 241 Ton pertahun (Eurostat, 2014), 654 Ton di 34 negara OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) (OECD, 2014) dan 1.840 Ton di seluruh dunia (ISWA/WIERT/ Sweepnet/University of Leeds/SWAPI, 2013) telah dilaporkan. Di Uni Eropa, 27% dari limbah padat hanya dibakar (Eurostat, 2014) dan atas dasar ini, diperkirakan bahwa *bottom ash* yang dihasilkan sebesar 16 Ton per tahunnya (Lynn *et al.*, 2016). Salah satu jenis limbah padat yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara atau industri lainnya adalah abu dasar. Pada tahun 2019 limbah abu dasar yang dihasilkan oleh PLTU dan industri lainnya di Indonesia mencapai 8,7 juta ton (Marsyaf, 2016). Hal tersebut tentunya menjadi masalah tersendiri ketika abu dasar tidak dikelola karena akan mencemari lingkungan sekitar penimbunan.

Membahas tentang limbah *bottom ash*, limbah hasil pembakaran insenerator merupakan limbah padat yang selama ini masih membuat resah bagi perusahaan yang memiliki limbah tersebut, seperti PT Eternal Buana Chemical Industries (EBCI) yang merupakan PT pemproduksi resin dan limbahnya berupa lumpur sebagai limbah padatnya. Lumpur ini kemudian dipres dan dibakar melalui insenerator sehingga menghasilkan *fly ash* dan *bottom ash*. Limbah ini menjadi permasalahan di PT EBCI yang belum terpecahkan, karena setelah dilakukan pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) limbah tersebut merupakan limbah jenis B3 yaitu bahan berbahaya dan beracun, akan tetapi jumlah racun yang terkandung di dalamnya masih berada di bawah ambang batas, sehingga dapat dimanfaatkan kembali.

Peraturan Pemerintah No. 18 tahun 1999 dan No. 85 tahun 1999, menyebutkan bahwa *fly ash* dan *bottom ash* hasil pembakaran insenerator termasuk limbah B3 dari sumber spesifik dengan kode limbah D 223. Pasal 7 peraturan

pemerintah tersebut menyebutkan bahwa limbah B3 dengan kode D220, D221, D222, dan D223 dapat dinyatakan limbah B3 setelah dilakukan uji TCLP dan atau uji karakteristik, karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mengalami pelindihan secara alami dan mencemari lingkungan. *Bottom ash* hasil pembakaran memiliki jumlah konstituen berbahaya yang tinggi, yang mungkin larut ketika terkena air hujan dan dapat mencemari berbagai komponen yang ada di dekatnya, termasuk badan air, sistem air tanah, flora dan fauna (Huber and Fellner, 2018).

Ditinjau dari permasalahan di atas, *bottom ash* merupakan permasalahan yang selama ini membuat resah bagi perusahaan yang limbahnya berupa abu. Residu pembakaran menghasilkan 600-800 juta ton per tahun dan kontribusi *bottom ash* bervariasi dalam kisaran 5–35% (Dou *et al.*, 2017). Dalam beberapa tahun terakhir, *bottom ash* telah dianggap sebagai alternatif untuk bahan konstruksi dan tambalan struktural karena *bottom ash* memiliki sifat yang dekat dengan agregat alami dan semen. SNI 03-6821-2002 menyatakan bahwa agregat ringan buatan didefinisikan sebagai agregat yang dibuat dengan memanaskan bahan-bahan seperti terak yang berasal dari peleburan besi, *diatome*, tanah liat, abu dari pembakaran batubara, batu tulis, batu serpih dan lempung.

Kesepakatan umum tentang penggunaan kembali *bottom ash* insenerator merupakan alternatif sebagai pengganti agregat alami dalam konstruksi seperti semen, kerikil dan beton, ada parameter tertentu yang menjadi pertimbangan dengan adanya persyaratan oleh berbagai peraturan konstruksi (Dou *et al.*, 2017). Hal tersebut muncul karena terdapat dua perspektif yaitu kontrol lingkungan dan sifat mekanis campuran *bottom ash*. Akan tetapi banyak penelitian yang menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat dalam *bottom ash* biasanya lebih rendah dari nilai standarnya. Kemudian pada perspektif yang kedua, beberapa penelitian menyoroti kekhawatiran bahwa penggunaan *bottom ash* dapat mempengaruhi daya beton, karena logam aluminium dan partikel kaca yang mungkin menyebabkan retakan dan reaksi alkali-silika (Tang, *et al.*, 2015).

Permasalahan berikutnya yang dapat mencemari lingkungan yaitu sampah plastik. Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

bahwa total jumlah sampah Indonesia di 2019 mencapai 68 juta ton, dan sampah plastik diperkirakan akan mencapai 9,52 juta ton. Jambeck, (2015) menyatakan bahwa Indonesia masuk dalam peringkat kedua dunia setelah Cina menghasilkan sampah plastik di perairan mencapai 187,2 juta ton. Hal itu berkaitan dengan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang menyebutkan bahwa plastik hasil dari 100 toko atau anggota Asosiasi Pengusaha Ritel Indonesia (APRINDO) dalam waktu 1 tahun saja, telah mencapai 10,95 juta lembar sampah kantong plastik. Jumlah itu ternyata setara dengan luasan 65,7 hektar kantong plastik (Purwaningrum, 2016). Sejauh ini masih banyak masyarakat yang menganggap sepele sampah plastik dengan membuang begitu saja tanpa memperhatikan 3R yaitu *reuse reduce and recycle*. Pengurangan sampah plastik biasanya dilakukan melalui pembakaran, hal ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena dapat melepaskan asap, karbon dioksida, karbon monoksida dan nitrogen oksida, ketiganya merupakan kontributor utama penyebab pemanasan global (gas rumah kaca) dan gas metana sebagai lindi yang mengandung pathogen (Appiah *et al.*, 2017).

Komponen limbah plastik sebagaimana dinyatakan oleh Quartey, *et al.*, (2015) cukup bermasalah jika dibuang ke jalan, selokan, tempat parkir, terminal kendaraan, sekolah, pasar dan rumah tanpa pandang bulu. Karena jika dibiarkan tinggal di lingkungan untuk waktu yang cukup lama dapat menyebabkan semua jenis masalah lingkungan, sosial, kesehatan dan ekonomi. Selain itu, tanah yang mengandung limbah polimer seperti sampah plastik merupakan tanah yang tidak ramah lingkungan karena plastik merupakan bahan non-biodegradable dan tidak ada nilai ekonomisnya.

Limbah plastik dapat didaur ulang untuk keperluan konstruksi (Appiah *et al.*, 2017). Untuk saat ini, penggunaan produk plastik dan turunannya digunakan untuk keperluan pengemasan (tas belanja, kemasan makanan, rapper, pembotolan, gadget komunikasi, dan lain-lain). Produk plastik daur ulang juga dapat digunakan sebagai aplikasi rekayasa di seluruh dunia misalnya di trotoar jalan (aspal dan agregat), furniture, finishing benang, dan lain-lain, tetapi kurang dimanfaatkan untuk produksi unit paving.

Sejalan dengan permasalahan tersebut, sebagai upaya untuk mengurangi adanya limbah plastik dan limbah *bottom ash* maka penelitian ini akan memanfaatkan ulang limbah tersebut sebagai bahan dasar dalam pembuatan *paving block*. Dalam hal ini, *polyethylene* digunakan sebagai perekat karena sifatnya yang termoplastik sehingga dalam aplikasinya akan menghasilkan *paving block* yang tidak mudah retak atau patah, namun pemanfaatan ini mengalami hambatan dikarenakan *Polyethylene* mempunyai sifat yang kurang berpori, sehingga perlu adanya penambahan *bottom ash* dan pasir sebagai zat pengisinya. *Bottom ash* memiliki kandungan senyawa  $\text{SiO}_2$ , yakni senyawa yang juga dimiliki semen dan pasir, sehingga *bottom ash* dijadikan agregat dalam pembuatan *paving block* karena memiliki sifat yang sama seperti pasir dan semen. *Polyethylene* mempunyai rumus  $\text{C}_2\text{H}_4$  dimana gugus tersebut dapat berikatan dengan  $\text{SiO}_2$  sehingga terjadi interaksi antara keduanya. Penelitian ini mengeksplorasi potensi menggunakan limbah plastik sebagai bahan perekat dan *bottom ash* sebagai agregat kemudian diuji kuat tekan, sifat penyerapan air, dan ketahanan terhadap natrium sulfat dari unit *paving block*. Hasil pengujian dibandingkan dengan ambang batas spesifikasi global pada unit *paving block* serta beton ringan struktural.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat fisik (kuat tekan dan penyerapan air) pada *paving block* yang dipreparasi dari *Bottom ash*; plastik *polyethylene*; dan pasir dengan rasio massa yang berbeda?
2. Bagaimana sifat kimia (ketahanan terhadap natrium sulfat, ikatan kimia) pada *paving block* yang dipreparasi dari *Bottom ash*; plastik *polyethylene*; dan pasir dengan rasio massa yang berbeda?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang diuraikan, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui sifat fisik (kuat tekan dan penyerapan air) pada *paving block* yang dipreparasi dari *Bottom ash*; plastik *polyethylene*; dan pasir dengan rasio massa yang berbeda.
2. Mengetahui sifat kimia (ketahanan terhadap natrium sulfat, ikatan kimia) pada *paving block* yang dipreparasi dari *Bottom ash*; plastik *polyethylene*; dan pasir dengan rasio massa yang berbeda.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu:

1. Memberikan pengetahuan dan inovasi pemanfaatan limbah *bottom ash* dan limbah plastik sebagai bahan dasar pembuatan *paving block* untuk meningkatkan nilai ekonomisnya.
2. Mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh *bottom ash* yang dihasilkan dari suatu industri.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Bottom ash*

*Bottom ash* sama halnya dengan *fly ash* merupakan hasil sisa pembakaran limbah padat atau sisa pembakaran batu bara di boiler. Ukuran *bottom ash* lebih besar dari *fly ash*, sehingga *bottom ash* jatuh ke dasar tungku pembakaran (Kevin *et al.*, 2014). Penampilan fisik *bottom ash* mirip dengan pasir sungai alami, dan gradasinya bervariasi seperti pasir halus dan pasir kasar. Ukuran butiran *bottom ash* membuat para peneliti tertarik untuk menggunakannya sebagai bahan pengganti dalam produksi beton (Singh & Siddique, 2015).

Ukuran partikel yang dimiliki *Bottom ash* mengakibatkan *work ability* campuran yang menggunakan *bottom ash* lebih buruk dari pada campuran yang menggunakan semen dan *fly ash*. Secara umum reaksi pozzolan abu berhubungan dengan kehalusan partikel, dalam hal ini *bottom ash* memiliki ukuran partikel yang lebih kasar dan besar dari *fly ash* dimana dipercaya akan menyebabkan reaksi pozzolan yang tidak efektif (Kim, 2015). Unsur penyusun *bottom ash* disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Senyawa Penyusun *Bottom ash*

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode
1.	Silika sebagai SiO <sub>2</sub>	%	53,4	Gravimetri
2.	Aluminium sebagai Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	6,77	Perhitungan
3.	Besi sebagai Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	1,27	AAS
4.	Kalsium sebagai CaO	%	8,74	Titrimetri
5.	Magnesium sebagai MgO	%	4,12	Gravimetri
6.	Sodium sebagai Na <sub>2</sub> O	%	0,06	A A S
7.	Potassium sebagai K <sub>2</sub> O	%	0,08	A A S
8.	Fosfor sebagai P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,13	Spektrofotometri
9.	Sulfur (S)	%	1,05	Gravimetri
10.	Mangan	%	404	A A S

Sumber: Laboratorium Pengujian Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan

*Bottom ash* hasil insenerasi memiliki sifat – sifat yang terdapat didalamnya, seperti sifat fisik, kimia dan mekanis yang dapat mempengaruhi produk yang dihasilkan. Beberapa sifat fisis, kimia dan mekanis yang penting dari *bottom ash* hasil insenerasi:

(1) Sifat Fisik

Sifat fisik dari *bottom ash* berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, *specific gravity*, satuan berat kering dan penyerapan dari *bottom ash*. Tabel 2.2 merupakan sifat fisik *bottom ash*.

Tabel 2.2 Sifat Fisik *Bottom ash*

Sifat Fisik <i>Bottom ash</i>	
Bentuk	Berbutir kecil/granular
Warna	Abu-abu gelap
Tampilan	Seperti pasir, sangat berpori
Ukuran (% lolos ayakan)	1.5 s/d ¾ in (100%) No.4 (50-90%) No.10 (10-60%) No.40 (0-10%)
Spesifik gravity	2,2-2,5
Satuan Berat Kering	510-2283 kg/m <sup>3</sup>
Penyerapan	2,4 – 15,0 %

Sumber: Lynn *et al.*, 2016

(2) Sifat Kimia

Pada prinsipnya *bottom ash* tersusun dari silika (Si), alumunium (Al) dan besi (Fe), dengan persentase yang lebih kecil kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan senyawa lainnya. Kandungan *bottom ash* disajikan dalam Tabel 2.3

(3) Sifat Mekanis

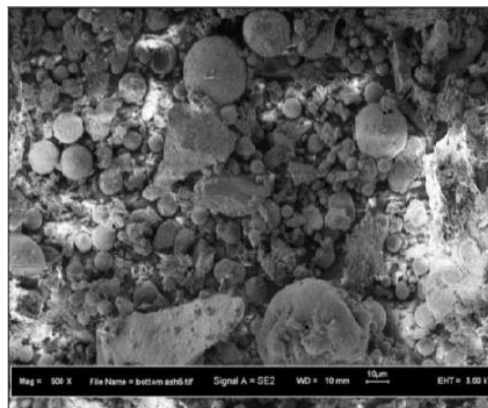
Beberapa nilai dari sifat mekanis *bottom ash* dan *boiler slag*, yaitu karakteristik pemadatan (berat kering dan kelembaban optimum), karakteristik daya tahan (test abrasi Los Angeles), nilai California *Bearing Ratio* (CBR). Sifat mekanis *Bottom ash* disajikan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.3 Kandungan *Bottom ash* (Agoes, 2013)

Parameter	Hasil Analisa	
	Kadar	Satuan
Si	29,40 ± 0,03	%
Mg	1,17	%
Ca	14,55 ± 6,13	%
Fe	590,33 ± 0,89	ppm
Al	0,2576 ± 0,0001	%

Tabel 2.4 Sifat Mekanis *Bottom ash* (lynn *et al.*, 2016)

Sifat Mekanis <i>Bottom Ash</i>	
Maks. Berat kering	2283 kg/m <sup>2</sup>
Kelembaban Optimum	12-24 % (umumnya < 20)
Tes loss on ignition (%kehilangan)	5 - 8
Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat (%kehilangan)	1,5-10
Kuat Geser (sudut geser)	38-42 % 38-45 % (ukuran butir < 95 mm)
Koefisien Permeabilitas	10 <sup>-2</sup> – 10 <sup>-3</sup> cm/det

(4) Morfologi *Bottom ash*Gambar 2.1 Morfologi *bottom ash* hasil SEM (Marto dan Choy, 2016)

Gambar 2.1 merupakan morfologi *bottom ash* hasil SEM. *Bottom ash* insinerasi telah ditemukan mengandung partikel berbentuk sudut yang tidak beraturan dengan struktur mikro berpori, terbentuk dari pemanasan dan

pendinginan selama pembakaran (Lynn *et al.*, 2016). Ketidakteraturan dan luas permukaan spesifik yang dihasilkan lebih tinggi, dikombinasikan dengan tingginya sifat penyerapan yang terkait dengan porositas tinggi, bahan tersebut mungkin membutuhkan air yang lebih banyak ketika digunakan dalam aplikasi beton.

#### (5) Penyerapan Air

Sesuai dengan sifat morfologi, air hasil penyerapan telah dilaporkan untuk *bottom ash*, mulai dari 2,4 hingga 15,0%, dengan nilai rata-rata 9,7% (Lynn *et al.*, 2016). Sifat penyerapan bahan secara substansial lebih tinggi dari pasir alami yang biasanya 1-3% (Gal & Kryvoruk, 2010). Perbandingan fraksi *bottom ash* yang halus dan kasar menunjukkan bahwa fraksi halus umumnya memiliki nilai penyerapan yang lebih tinggi karena area permukaan yang lebih besar (Keulen *et al.*, 2016). Baik aktivitas pozzolan dan efek retensi air dari *bottom ash*, partikel *bottom ash* dapat menyerap air ke dalam pori-pori pada usia dini dan melepaskan air secara bertahap dari pori-pori kemudian (Chen & Poon, 2017).

#### (6) Komposisi Oksida

Oksida utama yang ada di *bottom ash* adalah  $\text{SiO}_2$  (konten rata-rata dari 37,5%),  $\text{CaO}$  (22,2%) dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10,3%) dan lainnya seperti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (8,1%),  $\text{Na}_2\text{O}$  (2,9%),  $\text{SO}_3$  (2,4%),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (2,4%),  $\text{MgO}$  (1,9%) dan  $\text{K}_2\text{O}$  (1,4%) juga muncul dalam jumlah yang lebih kecil (Lynn *et al.*, 2016). Untuk penggunaan *bottom ash* dalam beton, konten sulfat, diukur dalam bentuk  $\text{SO}_3$ , yaitu konstituen yang sangat penting yang dapat berpotensi menyebabkan kerusakan pada semen. Sebagai patokan, EN 450 (1995) menetapkan batas  $\text{SO}_3$  sebesar 3% untuk penggunaan abu sebagai komponen semen dalam beton. Dengan konten  $\text{SO}_3$  rata-rata 2,4%, kontribusi *bottom ash* sebagai agregat mungkin perlu dipertimbangkan kadar sulfat di dalamnya. Magnesium juga dapat mempengaruhi kekuatan campuran beton, meskipun kandungan yang ada di *bottom ash* rendah.

### (7) Mineralogi

Kuarsa telah diidentifikasi sebagai mineral paling banyak di *bottom ash*, Bersama dengan kalsit yang biasa ditemukan, hematit, magnetit dan gehlenit dan berbagai macam lainnya lebih jarang ditemukan seperti silikat, aluminat, aluminosilikat, sulfat, oksida dan fosfat. Seiring dengan puncak kristal intensitas tinggi pada hasil difraksi sinar-X, fase amorf juga telah diakui pada *bottom ash*, jumlahnya mulai dari 15% hingga 70% (Wei *et al.*, 2011).

### (8) Komposisi Unsur

Si, Ca, Fe dan Al adalah unsur yang paling berlimpah dalam *bottom ash*. Unsur racun tambahan seperti Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Cd dan As hadir dalam jumlah yang lebih rendah. Masalah logam aluminium di *bottom ash* mengarah ke pembentukan gas hidrogen di lingkungan semen basa, hal ini dianggap sebagai masalah penting (Weng *et al.*, 2015). Reaksi ekspansif tersebut dapat membahayakan kekuatan dan kinerja daya tahan dalam beton, kecuali jika diaplikasikan dalam beton ringan, di mana reaksi ekspansif dapat diinginkan. Dengan demikian, jumlah logam Al yang lebih rendah dalam *bottom ash* lebih disukai. *Bottom ash* juga memiliki kandungan klorida rata-rata 0,9%, terutama yang timbul dari polivinil klorida plastik dalam limbah (Wu *et al.*, 2016

## 2.2 Pemanfaatan Kembali *Bottom ash*

*Bottom ash* dari berbagai macam pembakaran limbah sering memiliki sifat yang hampir sama, meskipun input limbah ke boiler dapat sangat bervariasi (Astrup *et al.*, 2016). *Bottom ash* yang dihasilkan dapat dikategorikan sebagai material yang heterogen dan terdiri dari partikel dengan ukuran berbeda. *Bottom ash* mengandung residu anorganik yang tidak mudah terbakar (kaca, mineral, logam dan campuran logam), bahan organik yang tidak terbakar dan bahan lebur (gelas, mineral silikat dan mineral oksida) (Astrup *et al.*, 2016). *Bottom ash* biasanya mengandung 50-75% mineral, 5-13 % logam besi (besi dan baja), logam nonferrous (terutama aluminium dan stainless steel), 2 -5% logam nonferrous berat (terutama tembaga dan seng), 15-30% partikel kaca dan keramik dan 0,2-5% bahan yang tidak terbakar (Astrup *et al.*, 2016).

Distribusi ukuran partikel dari *bottom ash* telah dilaporkan sama dengan distribusi ukuran kerikil berpasir, lebih rendah 5% dari berat partikel dengan ukuran lebih besar dari 40 mm dan partikel halus dengan ukuran lebih kecil dari 63  $\mu\text{m}$  (Izquierdo *et al.*, 2011). Fraksi mineral dan fraksi logam dari *bottom ash* memiliki potensi daur ulang, di mana fraksi mineral dapat digunakan sebagai agregat atau dimasukkan ke dalam semen, beton atau aspal (Astrup *et al.*, 2016).

*Bottom ash* hasil insenerasi yang dihasilkan banyak digunakan sebagai sumber daya sekunder yang berpotensi dalam konstruksi. Sejumlah penelitian telah menyelidiki aplikasi geoteknis *bottom ash* lumpur untuk perbaikan tanah menggunakan teknik solidifikasi dan stabilisasi. Penggunaan kombinasi *bottom ash* dengan pengikat tradisional termasuk semen (Smol *et al.*, 2015) dan *bottom ash* lumpur memiliki potensi besar untuk digunakan dalam perkerasan jalan aplikasi (Dhir *et al.*, 2017c). Selain itu, telah disarankan untuk menggunakan abu insenerasi dalam produksi bahan konstruksi, seperti ubin yang disinter (Nakić *et al.*, 2017), mortar (Vouk *et al.*, 2017), beton (Chen *et al.*, 2018), batu bata dan paving (Li *et al.*, 2017). Pembuatan agregat ringan, produksi keramik kaca dan bahan semen ringan aerasi juga dieksplorasi dalam beberapa aplikasi (Lynn *et al.*, 2016). Penelitian lain juga menggunakan *bottom ash* dalam memproduksi semen atau sebagai bahan semen tambahan untuk sebagian penggantian semen (Donatello *et al.*, 2010).

Negara-negara Eropa seperti Belgia, Denmark, Jerman dan Belanda telah memanfaatkan potensi ini, menggunakan 100, 98, 86 dan 80% dari *Bottom ash* Insenerasi yang diproduksi masing-masing, terutama sebagai bahan pengisi dan konstruksi jalan (An *et al.*, 2014). Sekitar setengah dari *Bottom ash* insenerasi dihasilkan di Inggris digunakan dalam konstruksi, termasuk sebagai agregat di blok beton (Dhir *et al.*, 2011).

### **2.3 *Bottom ash* Sebagai Agregat**

Dilakukan proyek eksperimental dimana penggunaan *bottom ash* dianggap sebagai pengganti agregat dalam campuran aspal, bahan dasar untuk jalan, tanggul dan aplikasi kelautan (misalnya erosi pantai) dan pembuatan campuran beton (Kuo

*et al.*, 2013). Dou (2017) telah melaporkan bahwa penerapan *bottom ash* dalam beberapa aspek konstruksi sangatlah luas seperti aspal paving, beton, semen Portland, penutup TPA, dan lain-lain.

*Bottom ash* membawa rekayasa sifat yang dekat dengan agregat alami dan semen, dan karenanya sangat cocok untuk penggunaan paving dan mudah untuk disatukan dengan agregat konvensional dalam rasio tinggi (Song *et al.*, 2015). Secara studi geoteknik seperti pemadatan, kekuatan geser dan uji kohesi menunjukkan bahwa *bottom ash* menunjukkan kekuatan dan ukuran yang cukup baik membuatnya layak untuk digunakan di tanggul dan pangkalan jalan (Dou *et al.*, 2017).

*Bottom ash* memiliki potensi untuk digunakan sebagai agregat tidak terikat atau terikat misalnya pada konstruksi jalan atau dalam campuran beton atau aspal (Astrup *et al.*, 2016). *Bottom ash* telah digunakan dalam konstruksi jalan di lapisan dasar, sebagai agregat yang tidak terikat di beberapa negara, misalnya Denmark, Belgia dan Belanda (Sahlin, 2013). Astrup *et al* (2016) menyatakan bahwa *bottom ash* belum digunakan sebagai agregat terikat di negara mana pun karena sifat teknis dan produk itu sendiri mungkin menjadi perhatian. Telah dilaporkan penggunaan *bottom ash* sebagai agregat dalam beton, hasilnya menunjukkan kekuatan tekan yang lebih rendah dan penyerapan air yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton dengan pasir dan kerikil alami (Tang *et al.*, 2015).

Dalam aplikasinya, ada pergeseran kontrol kualitas beton, termasuk kekuatan tekan, kuat tarik, ekspansi dan retak yang disebabkan oleh penambahan *bottom ash* sebagai pengganti agregat alami yang rendah biaya (Abbà *et al.*, 2014). Beberapa metode sudah tersedia untuk menangkal kontra dalam mendaur ulang *bottom ash*. Pelapukan alami mengubah mineralogi komponen bahan, dan sekaligus pozzolan reaktivitas (Zhen *et al.*, 2013), dimana kualitas *bottom ash* dapat diubah menjadi aplikasi yang tidak berbahaya. Penelitian tentang *bottom ash* terus berkembang dalam meminimalisasi polusi, karena *bottom ash* memiliki sifat geoteknik yang sama dengan pasir atau kerikil yaitu meliputi distribusi ukuran, kepadatan massa jenis, kekuatan mekanik dan komposisi kimia, hal ini menunjukkan bahwa *bottom ash* dapat diaplikasikan sebagai agregat ringan (Dou *et al.*, 2017).

## 2.4 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Berdasarkan ukuran butiran, agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

### a. Agregat kasar

Agregat kasar adalah material hasil disintegrasi bumi dari batuan alam (kerikil) atau berupa batu pecah (split) dengan ukuran butir lebih besar atau sama dengan 4,75 mm (3/16 in) atau yang lolos saringan no. 4 menurut standar ASTM C-33-93.

### b. Agregat halus

Agregat halus adalah butiran mineral alami yang memiliki ukuran lebih kecil dari 4,75 mm. Agregat halus dapat berupa pasir alam, hasil disintegrasi batu alam atau debu hasil pecahan batu (crusher). Agregat halus berfungsi mengisi pori-pori yang ada di antara agregat kasar, sehingga dapat meminimalkan kandungan udara dalam beton yang dapat mengurangi kekuatan beton. Selain itu gradasi agregat halus juga berpengaruh terhadap kualitas beton. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama volume pori akan besar. Sebaliknya bila butir-butir agregat bervariasi volume pori akan kecil. Hal ini karena butiran yang lebih kecil akan mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga beton memiliki kerapatan yang tinggi.

## 2.5 *Paving block*

*Paving block* adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen Portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu (SNI 03-0691-1996).

*Paving block* beton banyak digunakan dalam konstruksi sipil karena memiliki penerapan yang luas dan biaya terkait yang lebih rendah (Santos *et al.*, 2018). Secara umum, blok beton disiapkan dengan menggunakan semen, agregat (seperti pasir, kerikil dan bubuk batu) dan air (Yang *et al.*, 2017). Bata beton dapat bewarna seperti warna aslinya atau diberi zat warna pada komposisinya dan digunakan untuk halaman baik di dalam maupun di luar bangunan. (SNI 03-0691-1996).



### **(1) Keuntungan Penggunaan *Paving block***

Adapun keuntungan dari penggunaan *paving block* yaitu sebagai berikut:

- a. Dalam pelaksanaannya mudah, karena tidak perlu memiliki keahlian khusus serta tidak memerlukan alat berat dalam pemasangan, sehingga memberikan kesempatan kerja yang luas kepada masyarakat.
- b. Dapat diproduksi secara massal, untuk mendapatkan mutu yang tinggi diperlukan tekanan pada saat pencetakan.
- c. Pemeliharaan mudah dan murah, karena dapat dipasang kembali setelah dibongkar jika terjadi kerusakan di salah satu *paving block* yang rusak.
- d. Tahan terhadap beban vertikal dan horizontal yang disebabkan oleh rem atau kecepatan kendaraan berat
- e. Adanya pori-pori pada *paving block* dapat meminimalisasi aliran permukaan dan memperbanyak infiltrasi dalam tanah.
- f. Pada saat pengerjaan tidak menimbulkan kebisingan dan gangguan debu.
- g. Mempunyai nilai estetika yang unik terutama jika didesain dengan bentuk dan warna yang indah.

### **(2) Syarat Mutu *Paving block***

Menurut SNI-03-0691-1996, syarat mutu bata beton (*Paving block*) sebagai berikut:

#### a. Sifat tampak

Bata beton harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan.

#### b. Ukuran

Bata beton harus mempunyai ukuran tebal minimal 60 mm dengan toleransi  $\pm 8\%$ .

#### c. Sifat Fisika

Bata beton untuk lantai harus mempunyai kekuatan fisika seperti pada tabel 2.5

#### d. Ketahanan terhadap natrium sulfat

Bata beton apabila diuji tidak boleh cacat, dan kehilangan berat yang diperkenankan maksimum 1%.

Tabel 2.5 Syarat Mutu *Paving block*

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan Air Rata-rata Maksimal
	Rata-rata	Min	Rata-rata	Min	(%)
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17,0	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

Sumber: SNI-03-0691-1996

Tabel 2.6 Kombinasi Pola Pemasangan, Mutu, Tebal *Paving block*

No	Penggunaan	Kombinasi		
		Kelas	Tebal (mm)	Pola
1	Trotoar dan Pertamina	I	60	SB,AT,TI
2	Tempat Parkir dan Garasi	II	60	SB,AT,TI
3	Jalan Lingkungan	I/II	60/80	TI
4	Terminal Bus	I	80	TI
5	Container Yard, Taxy Way	I	100	TI

Sumber: SK SNI T-04-1990-F

Catatan pola: SB = Susunan Bata, AT = Anyaman Tikar, TI =Tulang Ikan

### (3) Klasifikasi *Paving block*

Berdasar SK SNI T-04-1990-F, *paving block* diklasifikasikan berdasarkan bentuk, tebal, kekuatan, dan warna.

#### a. Klasifikasi Berdasarkan Bentuk

*Paving block* secara garis besar terbagi atas dua macam.

1. *Paving block* bentuk segi empat (Gambar 2.2)
2. *Paving block* bentuk segi banyak (Gambar 2.3)



Gambar 2.2 *Paving block* Bentuk Segi Empat (Mulyati, 2015).



Gambar 2.3 *Paving block* Bentuk Segi Banyak (Mulyati,2015)

#### **b. Klasifikasi Berdasarkan Ketebalan**

Ketebalan *Paving block* terbagi menjadi tiga macam yaitu:

1. *Paving block* dengan ketebalan 60 mm, untuk beban lalu lintas ringan.
2. *Paving block* dengan ketebalan 80 mm, untuk beban lalu lintas sedang sampai berat.
3. *Paving block* dengan ketebalan 100 mm, untuk beban lalu lintas *super* berat.

#### **c. Klasifikasi Berdasarkan Kekuatan**

Pembagian kelas *Paving block* berdasarkan mutu betonnya adalah:

1. *Paving block* dengan mutu beton A dengan nilai  $f'c$  35 – 40 Mpa digunakan untuk jalan raya.
2. *Paving block* dengan mutu beton B dengan nilai  $f'c$  17 – 20 Mpa digunakan untuk lahan parkir.
3. *Paving block* dengan mutu beton C dengan nilai  $f'c$  15 – 12,5 Mpa digunakan untuk pejalan kaki.
4. *Paving block* dengan mutu beton D dengan nilai  $f'c$  10 – 8,5 Mpa digunakan untuk taman dan penggunaan lain.

#### d. Klasifikasi Berdasarkan Warna

Abu-abu, hitam, dan merah. *Paving block* yang berwarna kecuali untuk menambah keindahan juga dapat digunakan untuk memberi batas seperti tempat parkir, tali air dan lain sebagainya.

### 2.6 Kuat Tekan

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Uji kuat tekan juga didefinisikan sebagai ketahanan benda uji terhadap beban di bawah aksi gaya tekan dan merupakan properti parametrik yang digunakan untuk mengukur kinerja material atau mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan besarnya beban tekan maksimum yang dapat diterima oleh *paving block*. Kosmatka *et al* (2011) berpendapat bahwa ketahanan beton terhadap benturan dan abrasi dikaitkan dengan kuat tekan dan jenis agregat. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat pada benda uji kubus sampai hancur. Untuk standar pengujian kuat tekan digunakan SNI 03- 6805 – 2002 dan ASTM C 39/C 39M-04a.

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.1)}$$

$f'c$ : Kekuatan tekan benda uji (Mpa)

$P$  : Gaya tekan maksimum (N atau Kn)

$A$  : Luas penampang benda uji ( $m^2$ )

### 2.7 Penyerapan Air

Pengujian daya serap adalah persentase dari perbandingan antara selisih massa basah dan massa kering dengan massa kering. Penyerapan air atau daya serap dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume rongga-rongga kosong yang dimiliki oleh zat padat dengan jumlah dari volume zat padat yang ditempati oleh zat padat. Daya serap pada suatu material dinyatakan dalam persen (%) rongga fraksi volume dari suatu rongga yang ada dalam material tersebut.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase air yang diserap oleh *paving block*. Uji penyerapan air menunjukkan kemampuan *paving block* dalam menyerap air. Semakin besar kemampuan *paving block* dalam menyerap air maka akan mempengaruhi kemampuan *paving block* dalam menahan beban, yaitu kuat tekannya akan semakin kecil. Menurut SNI-03-0691-1996, penyerapan air pada *paving block* dapat dikatakan baik apabila penyerapannya kurang dari 6%. Semakin besar mutu *paving block* maka semakin kecil persentase penyerapan air. Besar persentase penyerapan air dapat dihitung melalui persamaan:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100 \% \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.2})$$

A = Berat sampel basah (kg).

B = Berat sampel kering (kg).

## 2.8 Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat

Ketahanan natrium sulfat dinyatakan dalam kehilangan berat untuk satu *paving block*. Menurut SNI-03-0691-1996, bata apabila diuji tidak boleh cacat, dan kehilangan berat yang diperkenankan maksimum 1%. Kategori *paving block* yang memenuhi standar SNI 03-0691-1996 adalah permukaan sebelum dan sesudah perendaman natrium sulfat tidak terdapat adanya retak-retak (meskipun kecil), dan rapuh. Uji ketahanan terhadap natrium sulfat yang dinyatakan dalam kehilangan berat untuk satu *paving block* dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$NA = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.3})$$

NA = Kehilangan Berat (%)

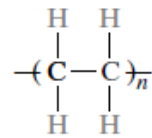
A = Berat benda uji sebelum direndam (kg)

B = berat benda uji setelah direndam (kg)

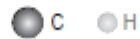
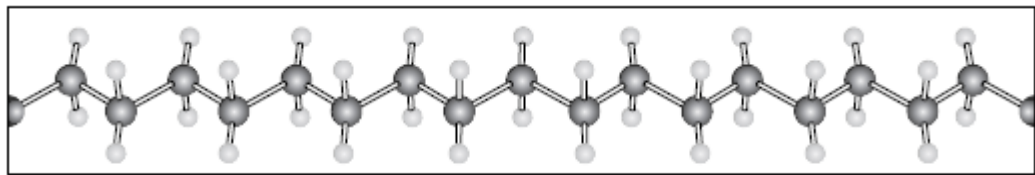
## 2.9 Polyethylene

*Polyethylene* (PE) adalah salah satu termoplastik paling serbaguna dan banyak digunakan dalam dunia karena sifatnya yang sangat baik bisa seperti ketangguhan, penyerapan uap mendekati nol, kelembaman kimia yang sangat baik, koefisien gesekan yang rendah, kemudahan pemrosesan dan sifat listrik yang

rendah. Komposit polimer matriks termoplastik telah memperoleh kesuksesan komersial di semifinal dan aplikasi plastik (Khanam & AlMaadeed, 2015).



(a)



(b)

Gambar 2.4 (a) Struktur *Polyethylene* dan, (b) Perspektif molekul, menunjukkan zig-zag struktur tulang punggung. (Callister, 1991)

*Polyethylene* digunakan dalam banyak aplikasi seperti pipa, lembaran, wadah dan produk-produk lain. *Polyethylene* digunakan sebagai isolasi listrik bahan untuk aplikasi kawat dan kabel karena tingginya kekuatan dielektrik dan konduktivitas listrik yang sangat rendah, sifat mekanik dan fisik PE tergantung secara signifikan pada plastik seperti luas dan jenis percabangan, struktur kristal dan berat molekul. *Polyethylene* komposit dapat digunakan dalam kemasan, listrik, energi panas penyimpanan, aplikasi otomotif, biomedis dan ruang aplikasi. *Polyethylene* dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori berbeda tetapi sebagian besar tidak tergantung pada kepadatan dan percabangannya. Bentuk utama PE adalah High-density *Polyethylene* (HDPE), HDPE dengan berat molekul tinggi (HMWHDPE), *Polyethylene* molekul sangat tinggi densitas berat (UHMW-HDPE), *Polyethylene* dengan kerapatan linier rendah (LLDPE), dan *Polyethylene* dengan densitas sangat rendah (VLDPE). Ini dibagi berdasarkan kepadatan dan percabangan. Secara umum, nilai PE yang paling banyak digunakan adalah HDPE, kepadatan rendah *Polyethylene* (LDPE) dan *Polyethylene* densitas menengah (MDPE).

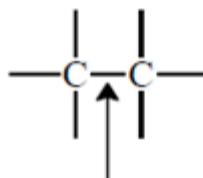
Tabel 2.7 Densitas dan Melt Flow Index PE (Khanam &amp; AlMaadeed, 2015)

Tipe PE	Densitas ( $\text{gcm}^{-3}$ )	Melt Flow Index (g/10min)
HDPE	0,941-0,965	0,2-3,0
MDPE	0,926-0,940	1-2,0
LDPE	0,915-0,925	0,3-2,6
LLDPE	0,915-0,925	0,1-10,0
VLDPE	0,870-0,914	0,026-01

PE: *Polyethylene*; HDPE: high-density *Polyethylene*; LLDPE: linear low-density *Polyethylene*; VLDPE: very low-density *Polyethylene*; LDPE: low-density *Polyethylene*; MDPE: medium-density *Polyethylene*.

## 2.10 Interaksi Antara *Bottom ash* dan *Polyethylene*

*Polyethylene* memiliki ikatan antara unsur C dengan unsur H (C-H) dan ikatan antara unsur C dengan unsur C (C-C), keduanya merupakan ikatan kovalen, yakni ikatan yang terjadi antara unsur non logam dengan unsur non logam lain dengan cara pemakaian bersama pasangan elektron. Ikatan kovalen terjadi akibat ketidakmampuan salah satu atom yang akan berikatan untuk melepaskan elektron menjadi ion positif khususnya terjadi pada atom non logam yang cenderung menerima elektron. Ikatan yang terjadi antara atom C dengan atom C pada plastik *polyethylene* merupakan ikatan tunggal (sigma) sehingga ikatannya kuat yang menyebabkan *paving block* sulit dilelehkan kembali karena adanya ikatan kovalen yang kuat antara atom C-C.



Ikatan sigma (tunggal)

Gambar 2.5 Ikatan Sigma pada *polyethylene*

Ikatan yang terjadi dalam *paving block* merupakan *adhesive bonding* atau ikatan adesi, yaitu ikatan antara unsur satu dengan unsur yang lainnya yang tidak sejenis, yakni ikatan antara C-H dalam *polyethylene* dengan  $\text{SiO}_2$  dalam *bottom ash*

(Siregar, 2015). Campuran *polyethylene* dan Si memiliki suhu transisi gelas yang rendah (120 °C), energi permukaan rendah, permeabilitas tinggi terhadap gas, UV termal yang baik dan tahan api (Jalali *et al.*, 2003). *Polyethylene* adalah poliolefin yang banyak digunakan dalam banyak aplikasi karena prosesnya yang mudah melebur bersama dengan sifat kimia dan mekanik yang baik.

Terjadi interaksi antara *bottom ash* dan plastik *polyethylene* membentuk ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen merupakan ikatan antara molekul yang memiliki atom H yang terikat pada atom yang memiliki keelektronegativitas yang tinggi. Ikatan hidrogen juga dapat didefinisikan sebagai sejenis gaya tarik antar molekul yang terjadi antara dua muatan listrik parsial dengan polaritas yang berlawanan. Walaupun lebih kuat dari kebanyakan gaya antar molekul, ikatan hidrogen jauh lebih lemah dari ikatan ion dan ikatan kovalen. Ikatan hidrogen memiliki kesamaan seperti interaksi dipol-dipol dari Van der Waals, namun gaya yang dihasilkan oleh ikatan hidrogen lebih kuat dibandingkan Gaya Van der Waals. Perbedaannya adalah muatan parsial positifnya berasal dari sebuah atom hidrogen dalam sebuah molekul, sedangkan muatan parsial negatifnya berasal dari sebuah molekul yang dibangun oleh atom yang memiliki elektronegativitas yang besar, seperti atom Fluoro (F), oksigen (O), dan nitrogen (N). Muatan parsial negatif tersebut berasal dari pasangan elektron bebas yang dimilikinya (Prananto, 2013).

Berdasarkan adanya ikatan hidrogen pada senyawa, terdapat 2 jenis:

1. Ikatan Hidrogen Intermolekular, yaitu ikatan hidrogen yang terjadi pada molekul yang berbeda (antar molekul). Contohnya reaksi antara H<sub>2</sub>O dengan Cl<sup>-</sup> terdapat beberapa ikatan hidrogen yang terjadi antar molekul, yaitu H<sup>δ+</sup> dan Cl<sup>δ-</sup> sebanyak pasangan elektron bebas disekitar ion Cl. (4 pasang elektron bebas):
2. Ikatan Hidrogen Intramolekular, yaitu ikatan hidrogen yang terjadi pada satu molekul (dalam satu senyawa). Contohnya molekul air (H<sub>2</sub>O), dalam air terdapat ikatan hidrogen sejumlah pasangan elektron bebas pada pusat senyawa. Ikatan hidrogen intramolekular banyak ditemukan dalam makromolekul seperti protein dan asam nukleat dimana ikatan hidrogen terjadi antara dua bagian dari molekul



yang sama yang berperan sebagai penentu bentuk molekul keseluruhan yang penting.

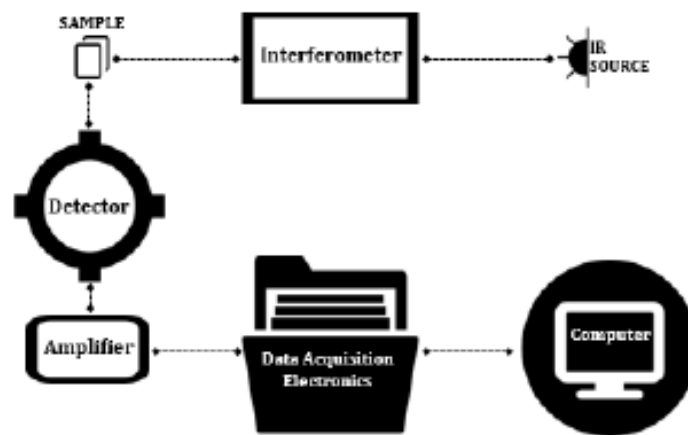
### 2.11 Forier Transform Infra Red (FTIR)

*Forier Transform Infra Red* (FTIR) adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari absorbansi, emisi, fotokonduktivitas atau *Raman Scattering* dari sampel padat, cair, dan gas. Karakterisasi dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom. FTIR juga digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan anorganik melalui identifikasi gugus fungsi penyusun senyawa, serta untuk menganalisa kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu (Hindrayawati, 2010; Mujiyanti *et al.*, 2010).

Terdapat tiga teknik pengukuran sampel yang umum digunakan dalam pengukuran spektrum menggunakan FTIR yaitu *Photo Acoustic Spectroscopy* (PAS), *Attenuated Total Reflectance* (ATR), dan *Difuse Reflectance Infrared Fourier Transform* (DRIFT). Setiap teknik memiliki karakteristik spektrum vibrasi molekul tertentu (Beasley *et al.*, 2014). Metode pembacaan spektrum vibrasi molekul pada FTIR ada dua macam, yaitu metode reflektansi dan metode transmisi. Metode transmisi memerlukan teknik khusus dalam preparasi sampel yaitu harus dalam bentuk *pellet disk* (Sulistya dan Huda, 2018). Pengujian dengan spektroskopi FT-IR tidak memerlukan persiapan sampel yang rumit dan bisa digunakan dalam berbagai fase baik padat, cair maupun gas. Metode spektroskopi yang digunakan adalah metode spektroskopi adsorpsi yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi infra merah oleh molekul suatu materi.

Radiasi elektromagnetik yang berinteraksi dengan suatu zat dapat diserap, ditransmisikan, dipantulkan, tersebar, atau memiliki photoluminescence (PL), yang memberikan informasi signifikan tentang molekul struktur dan transisi tingkat energi dari zat itu (Cui *et al.*, 2017; Bakar *et al.*, 2016). Sampel ditempatkan di jalur sinar inframerah akan menyerap dan mengirimkan cahaya dan kemudian sinyal cahaya akan menembus sampel ke detektor. Detektor mengukur intensitas radiasi yang bergerak ke dalam sampel dan intensitas transmisi radiasi melalui sampel.

Gambar 2.6 menunjukkan diagram skematik spektrometer FTIR. Keluarannya sebagai fungsi waktu diubah menjadi plot penyerapan bilangan gelombang oleh komputer menggunakan metode transformasi Fourier (Bakar *et al.*, 2016).



Gambar 2.6 Skematik spektrometer FTIR (Munajad, 2018)

Analisis menggunakan spektrometer FTIR memiliki beberapa kelebihan utama dibandingkan dengan metode konvensional yaitu:

- a. Dapat digunakan pada semua frekuensi dari sumber cahaya secara simultan, sehingga analisis dapat dilakukan lebih cepat dari pada menggunakan cara *scanning*.
- b. Sensitivitas FTIR adalah 80-200 kali lebih tinggi dari instrumentasi dispersi standar karena resolusinya lebih tinggi (Razi, 2012). Sensitivitas dari metoda Spektrofotometri FTIR lebih besar dari pada cara dispersi, sebab radiasi yang masuk ke sistem detektor lebih banyak karena tanpa harus melalui celah (*slitless*) (Giwangkara S, 2012).
- c. Pada FTIR, mekanik optik lebih sederhana dengan sedikit komponen yang bergerak dibanding spektroskopi infra merah lainnya, dapat mengidentifikasi material yang belum diketahui, serta dapat menentukan kualitas dan jumlah komponen sebuah sampel (Hamdila, 2012).

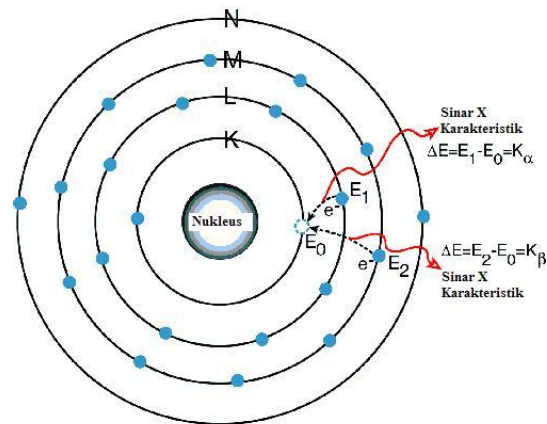
## 2.12 X-Ray Fluorescence (XRF)

*X-Ray Fluorescence* (XRF) merupakan salah satu metode analisis yang digunakan untuk analisis unsur dalam bahan secara kualitatif dan kuantitatif. Prinsip Kerja metode analisis XRF berdasarkan terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel (bahan) oleh sinar-X dari sumber sinar-X (Kriswarini *et al.*, 2010). Hasil analisis kualitatif ditunjukkan oleh puncak spektrum yang mewakili jenis unsur sesuai dengan energi sinar-X karakteristiknya, sedangkan analisis kuantitatif diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan standar. Dalam analisis kuantitatif, faktor-faktor yang berpengaruh dalam analisis antara lain matriks bahan, kondisi kevakuman dan konsentrasi unsur dalam bahan, pengaruh unsur yang mempunyai energi karakteristik berdekatan dengan energi karakteristik unsur yang dianalisis (Kriswarini *et al.*, 2010).

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efekfotolistrik. Efekfotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Skematik proses identifikasi dengan XRF tampak pada Gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7 Prinsip X-Ray Fluorescence



Gambar 2.8 Kekosongan elektron pada kulit L (Fansuri, 2010)

Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap elektron untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat massif, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi).

### 2.13 Scanning Electron Microscopy (SEM)

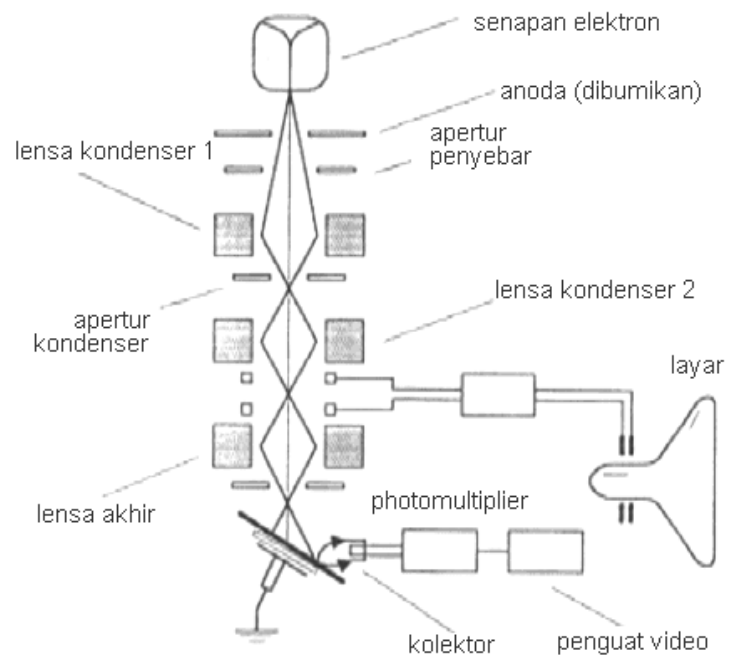
Pengujian SEM pada hakekatnya merupakan pemeriksaan dan analisa morfologi. Data atau tampilan yang diperoleh adalah data dari bentuk morfologi atau dari lapisan yang tebalnya sekitar 20  $\mu\text{m}$  dari permukaan. Gambar permukaan yang diperoleh merupakan morfologi dengan segala tonjolan, lekukan dan lubang pada permukaan (Murali *et al.*, 2017).

Gambar morfologi diperoleh dari penangkapan elektron sekunder yang dipancarkan oleh spesimen. Sinyal elektron sekunder yang dihasilkan ditangkap oleh detektor dan diteruskan ke monitor. Pada monitor akan diperoleh gambar yang

khas yang menggambarkan struktur permukaan spesimen. Selanjutnya gambar di monitor dapat dipotret dengan menggunakan film hitam putih.

SEM digunakan dalam situasi yang membutuhkan pengamatan permukaan kasar dengan pembesaran berkisar antara 20 kali sampai 500.000 kali. Sebelum melalui lensa elektromagnetik terakhir *scanning raster* mendefleksikan berkas elektron untuk men-*scan* permukaan sampel. Hasil *scan* ini tersinkronisasi dengan tabung sinar katoda dan gambar sampel akan tampak pada area yang di-*scan*. Tingkat kontras yang tampak pada tabung sinar katoda timbul karena hasil refleksi yang berbeda-beda dari sampel.

Berkas elektron menumbuk permukaan sampel kemudian sejumlah elektron direfleksikan sebagai *backscattered electron* (BSE) dan yang lain membebaskan energi rendah *secondary electron* (SE). Emisi radiasi elektromagnetik dari sampel timbul pada panjang gelombang yang bervariasi akan tetapi pada dasarnya panjang gelombang yang lebih menarik untuk digunakan adalah daerah panjang gelombang cahaya tampak (*cathodoluminescence*) dan sinar-X. Elektron-elektron BSE dan SE yang direfleksikan dan dipancarkan sampel dikumpulkan oleh sebuah *scintillator* yang memancarkan sebuah cahaya pada elektron yang datang. Cahaya yang dipancarkan kemudian diubah menjadi sinyal listrik dan diperbesar oleh *photomultiplier*. Setelah melalui proses pembesaran sinyal tersebut dikirim ke bagian *grid* tabung sinar katoda. *Scintillator* biasanya memiliki potensial positif sebesar 5 – 10 Kv untuk mempercepat energi rendah yang dipancarkan elektron agar cukup untuk mengemisikan cahaya tampak ketika menumbuk *scintillator*. *Scintillator* harus dilindungi agar tidak terkena defleksi berkas elektron utama yang memiliki potensial tinggi. Pelindung *metal* yang mengandung *metal gauze* terbuka yang menghadap sampel memungkinkan hampir seluruh elektron melalui permukaan *scintillator*.



Gambar 2.9 Diagram skematik fungsi dasar dan cara kerja SEM  
(Anggraeni, 2014)

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

Pengujian karakterisasi *bottom ash* dengan menggunakan XRF dilakukan di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Tangerang, karakterisasi *paving block* menggunakan SEM dan FTIR dilakukan di lab jurusan Kimia Universitas Negeri Semarang. Pembuatan dan pengujian *paving block* dilakukan di laboratrium *Waste Water Treatment* (WWT) dan laboratorium *Quality Control* (QC) PT Eternal Buana Chemical Industries (EBCI) Tangerang.

#### **3.2 Variabel Penelitian**

Variabel penelitian ini dibagi menjadi 3 yaitu:

##### **1. Variabel bebas**

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah rasio berat *bottom ash* : PE : pasir pada pembuatan *paving block*.

##### **2. Variabel terikat**

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat tekan, penyerapan air, ketahanan terhadap natrium sulfat pada *paving block*.

##### **3. Variabel kontrol**

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah suhu pelelehan plastik, suhu pengadukan, waktu pengeraman *paving block*, waktu pengrepresan, dan suhu pengeringan.

#### **3.3 Alat dan Bahan**

##### (1) Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cetakan kayu ukuran 20 x 10 x 6 cm (SK-SNI-T-04-1990-F), alat press modifikasi, pengaduk besi, drum pembakar dan pencampuran, timbangan digital, oven, eksikator, sendok semen, penumbuk kayu, kompor tungku, ayakan, ember,

beaker glass, pengaduk kaca, labu ukur. Karakterisasi dalam penelitian ini menggunakan *X-ray Fluoroscene* (XRF), *Forier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

(2) Bahan

a. Pembuatan *Paving block*

Bahan yang digunakan dalam pembuatan *paving block* adalah *bottom ash* hasil pembakaran lumpur limbah resin di PT ETERNAL BUANA CHEMICAL INDUSTRIES 144 kg , limbah plastik jenis *polyethylene* (PE) sebanyak 152 kg, pasir 19 kg.

b. Uji *Paving block*

Bahan yang digunakan dalam uji *paving block* adalah aquades, air, Barium Clorida, Natrium Sulfat kadar 8%.

### 3.4 Cara Kerja

a. Pengambilan dan Preparasi *Bottom ash* dan Limbah Plastik PE

Agregat yang digunakan adalah *bottom ash* yang diambil dari PT Eternal Buana Chemical Industries. Kemudian ditumbuk untuk memperoleh bentuk dan ukuran yang kecil, lalu diayak dengan menggunakan ayakan no 4 (Ganjian *et al.*, 2015). Penghalusan ini bertujuan agar dapat mengurangi pori-pori dan ukuran partikel yang meningkatkan *workability* sehingga meningkatkan efektivitas penggunaan dari *bottom ash* tersebut (Kim, 2015), sehingga memudahkan pengikatan *bottom ash* oleh plastik yang sudah dicairkan. Selanjutnya *bottom ash* dikarakterisasi menggunakan XRF yang bertujuan untuk mengetahui unsur penyusun dari *bottom ash*, dan uji SEM untuk mengetahui morfologi *bottom ash*. Preparasi pasir dilakukan dengan mengayak pasir menggunakan ayakan no 4 yang bertujuan untuk memperoleh ukuran partikel pasir yang sama.

Perekat yang digunakan adalah limbah plastik *Polyethylen* (PE) dari PT Eternal Buana Chemical Industries. Limbah plastik jenis PE dipilih karena jumlahnya yang melimpah dan sifatnya yang elastis sehingga tidak



mudah retak jika diaplikasikan sebagai perekat. Plastik dibersihkan Preparasi plastik dilakukan dengan mencuci plastik lalu dikeringkan hingga kering, hal ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada plastik. Selanjutnya mencacah plastik menjadi ukuran lebih kecil untuk mempermudah pelelehan plastik. kemudian dicacah untuk mempermudah proses pelelehan. Plastik dilelehkan dengan suhu 160 °C (Basuki, 2018) menggunakan tungku dan drum sebagai wadahnya.

## b. Pembuatan *Paving block*

### (1) Tahap Pencampuran

Metode pencampuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pencampuran sederhana, yaitu mencampurkan *bottom ash* dan plastik yang sudah leleh kemudian diaduk menggunakan pengaduk kayu dalam keadaan masih dipanaskan (Widodo, 2018). Pada tahap pengadukan harus benar-benar merata agar pengikatan *bottom ash* oleh plastik PE dapat optimal. Perbandingan yang digunakan adalah massa *bottom ash* : plastik PE : pasir. tersaji pada Tabel 3.1, Tabel 3.2, dan Tabel 3.3

Tabel 3.1 Variasi 1, perbandingan BA : PE dengan rasio PE tetap.

<i>Bottom ash</i> (Kg)	PE (Kg)	Pasir (Kg)
1	2	0
1,5	2	0
2	2	0

Tabel 3.2 Variasi 2, perbandingan BA : PE dengan rasio PE berbeda.

<i>Bottom ash</i> (Kg)	PE (Kg)	Pasir (Kg)
1,5	2	0
1,5	3	0
1,5	4	0

Tabel 3.3 Variasi 3, perbandingan rasio BA : PE : Pasir

<i>Bottom ash</i> (Kg)	PE (Kg)	Pasir (Kg)
1	2	0,5
1,5	2	0,5
2	2	0,5

## (2) Tahap Pencetakan

Setelah bahan tercampur dengan baik, tahapan selanjutnya adalah pencetakan. Pencetakan sampel dilakukan dalam keadaan panas menggunakan cetakan kayu berukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm, kemudian dipres menggunakan alat pres modifikasi selama 5 menit dan didiamkan 15 menit sampai permukaan mengeras, proses pengeringan dibantu dengan menyiramkan air pada paving yang permukaannya sudah mengeras.

### c. Pengujian *Paving block*

#### (1) Uji Kuat Tekan (SNI-1974-2011)

Benda uji ditekan dengan menggunakan mesin uji tekan Universal Testing Machine yang ada di PT EBCI. Uji kuat tekan dilakukan berdasarkan variasi pengeraman *paving block*, yaitu ketika *paving block* berumur 5 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. *Paving block* ditekan dengan kecepatan penekanan dan beban yang diberikan secara perlahan dan diamati hingga *paving block* hancur. Melalui skala yang muncul pada mesin uji kuat tekan dapat diketahui besarnya kekuatan tekan suatu bahan secara sistematis menggunakan persamaan 2.1.

#### (2) Uji Penyerapan Air (SNI-03-0691-1996)

Uji ini bertujuan untuk mengetahui persentase air yang diserap oleh *paving block*. Uji penyerapan air dilakukan dengan menimbang benda uji yang sudah dioven dengan suhu 105 °C selama 1 jam, kemudian direndam kedalam 2 liter air hingga jenuh selama 24 jam untuk mencapai perbedaan massa *paving block* sebagai berat kering dan sebagai berat basah setelah direndam dengan air. Tahap selanjutnya yaitu membersihkan paving dari air yang ada dipermukaan paving menggunakan kain dan menimbang *paving block* dalam keadaan basah. kemudian dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada temperatur 105 °C. Perhitungan penyerapan air menggunakan Persamaan 2.2.

(3) Uji Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat (SNI-3407-2008)

Uji ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan *paving block* terhadap garam natrium sulfat. Ketahanan natrium sulfat dinyatakan dalam kehilangan berat untuk satu *paving block*. SNI-03-0691-1996, menyatakan bahwa bata apabila diuji tidak boleh cacat, dan kehilangan berat yang diperkenankan maksimum 1%. Pengujian dilakukan dengan cara merendam *paving block* kedalam larutan jenuh garam natrium sulfat 0,8% selama 18 jam. Perendaman ini bertujuan agar natrium sulfat menyerap secara menyeluruh pada *paving block*.

*Paving block* yang akan diuji di bersihkan dari kotoran-kotoran yang melekat, kemudin ditimbang dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 105 °C hingga berat tetap, lalu didinginkan dalam eksikator. Setelah dingin ditimbang sampai ketelitian 0,1 gram, kemudian direndam dalam larutan jenuh garam natrium sulfat 0,8 % selama 18 jam, *paving block* diangkat dan didiamkan terlebih dahulu agar larutan yang berlebihan meniris. Selanjutnya masukkan *paving block* ke dalam oven pada suhu 105 °C selama kurang lebih 2 jam, kemudian didinginkan hingga suhu kamar. Ulangi perendaman dan pengeringan ini sampai 5 kali berturut-turut. Pada pengeringan yang terakhir, benda uji dicuci dengan air panas bersuhu kurang lebih 40 -50 °C sampai tidak ada lagi sisa sisa garam sulfat yang tertinggal. Setelah pencucian sampai bersih, benda uji dikeringkan dalam oven sampai berat tetap (4 jam), didinginkan dalam eksikator, kemudian ditimbang lagi sampai ketelitian 0,1 gram. Diamati pula keadaan benda uji apakah setelah perendaman dalam larutan garam sulfat tampak adanya retakan atau tidak. Perhitungan dapat dilakukan menggunakan persamaan 2.3.

d. Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Uji SEM merupakan uji yang dilakukan untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. Uji ini dilakukan untuk mengetahui morfologi yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek. Fungsi lain dari pengujian SEM ini dapat mengetahui informasi

kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktifitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya), sehingga dapat mengetahui permukaan *paving block* apakah bahan yang dicampurkan dapat tercampur dengan homogen atau tidak. Sampel yang digunakan untuk uji ini berupa serpihan *paving block* berukuran kurang lebih 1 cm dari *paving block* yang terbaik setelah dilakukan ketiga uji di atas, yaitu uji kuat tekan, uji penyerapan air, dan uji ketahanan terhadap natrium sulfat.

e. Uji *Fourier Transform Infra Red Spectroscopy* (FTIR)

Pengujian dengan FTIR dilakukan untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom. Uji ini dilakukan pada *paving block* untuk menganalisis gugus fungsi dari material *paving block* dan membandingkan dengan gugus fungsi dari material penyusunnya yaitu *Bottom ash*, PE, dan pasir. Serta untuk mengetahui apakah terbentuk ikatan atau tidaknya dalam pembuatan *paving block* tersebut. Pengujian FTIR dilakukan dengan menggunakan FTIR laboratorium Jurusan Kimia Universitas Negeri Semarang. Sampel yang digunakan berupa serbuk *paving block*, *bottom ash*, plastik PE dan pasir. Masing masing sebanyak 0,1 gram.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan disusun secara sistematis berdasarkan urutan tahapan penelitian, yakni preparasi, sintesis, dan karakterisasi. Tahap preparasi menyajikan hasil dan membahas karakterisasi awal bahan. Tahap sintesis berisi hasil sintesis berupa produk *paving block*. Tahap karakterisasi menyajikan hasil dan pembahasan uji kuat tekan, uji penyerapan air, uji ketahanan terhadap natrium sulfat, karakterisasi FTIR dan SEM.

#### 4.1 Karakterisasi *X-ray Fluoroscence (XRF)*

Karakterisasi XRF pada penelitian ini dilakukan di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Tangerang, Banten. Karakterisasi ini berfungsi untuk mengetahui senyawa penyusun *bottom ash*. Pada data XRF suatu senyawa memiliki penyusun material tertentu dengan hasil data persentase. Komposisi kimia pada *bottom ash* (BA) memiliki hasil sebagaimana yang telah disajikan pada Tabel 4.1



Gambar 4.1 *Bottom ash*

*Bottom ash* mengandung silika sebanyak 30,1% bersama dengan komponen logam utama lainnya seperti 35,62 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2,06 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan 11,81 %  $\text{CaO}$ . Warna abu-abu mengkilap menunjukkan *bottom ash* banyak mengandung unsur Al, hal ini sesuai dengan hasil uji XRF yang menunjukkan komposisi yang paling banyak pada *bottom ash* ini yaitu unsur Al.

Tabel 4.1 Kandungan Seyawa dalam *Bottom ash* hasil XRF

Senyawa	Konsentrasi (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,62
SiO <sub>2</sub>	30,1
CaO	11,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,06

#### 4.2 Pembuatan *Paving block*

*Paving block* adalah solusi modern untuk aplikasi fleksibilitas lantai luar ruangan. *Paving block* adalah unit paving beton pra-cetak beton padat dan tidak bertulang yang digunakan dalam perkerasan permukaan jalan. Mereka adalah cetakan beton kekuatan tinggi dalam berbagai bentuk, ukuran dan warna yang sesuai dengan imajinasi arsitek dan esensi alam. Jenis *paving block* ini dibuat dengan bahan dasar plastik *polyethylene* (PE) dan *bottom ash* (BA), serta dengan tambahan pasir sebagai agregatnya. PE merupakan termoplastik yang mempunyai sifat lentur karena memiliki struktur rantai C yang panjang. Karena itu, mereka tidak mudah retak, pecah atau melengkung.

Pembuatan *paving block* pada penelitian ini terdapat 3 variasi yang digunakan yaitu, variasi perbandingan BA : PE dengan rasio PE tetap, variasi perbandingan BA:PE dengan rasio PE berbeda, dan variasi perbandingan BA : PE : Pasir. Bentuk *paving block* disajikan pada Tabel 4.2 - 4.4.




Hasil yang diperoleh dari pembuatan *paving block* tidak semua variasi dapat diuji lanjut, dikarenakan bentuk produk yang tidak sesuai dengan standar uji SNI. Pada rasio massa 1 BA : 2 PE dalam variasi 1, memiliki bentuk yang tidak sesuai dengan standar SNI, seperti gambar yang tertera pada Tabel 4.2, hal ini dikarenakan kurangnya filler atau agregat yang mengakibatkan campuran antara keduanya didominasi oleh plastik atau matriks sehingga terdapat ruang kosong didalamnya yang mengakibatkan spesimen mengalami keretakan pada saat di cetak dan dipress. Pada rasio massa 2 BA : 2 PE, spesimen mengalami keruntuhan ketika cetakan diangkat dari spesimen, hal ini dikarenakan banyaknya agregat yang

mengakibatkan matriks yang tersedia tidak mampu mengikat partikel BA karena daerah ikatan antar muka melemah.




Pada variasi 2, komposisi 1,5 BA + 3 PE dan 2 BA + 4 PE juga memiliki bentuk yang tidak sesuai dengan SNI, dikarenakan matriks yang berperan sebagai pengikat tidak berperan dengan maksimal, karena jumlah matriks yang ada didalamnya lebih banyak daripada filler, sehingga mengalami kekosongan dalam matriks tersebut yang mengakibatkan permukaan tidak rata karena terdapat cekungan dari permukaan hingga bagian dalam pada spesimen tersebut. Oleh karena itu, pada spesimen dengan komposisi ini tidak dapat dilanjutkan untuk diuji secara fisik atau kimia.

Pada variasi 3, komposisi rasio 1,5 BA : 2 PE : 0,5 pasir dan 2 BA : 2 PE : 0,5 Pasir, spesimen dari komposisi ini memiliki bentuk spesimen yang tidak sesuai dengan standart, yaitu permukaan spesimen tidak rata dikarenakan agregat tidak terikat secara menyeluruh oleh matriks, sehingga tidak ada ikatan di zona transisi antar muka dan matriks heterogen (Gao, 2017), oleh karenanya spesimen mengalami keruntuhan ketika dicetak.




Tabel 4.2 Bentuk *paving block* berdasarkan variasi 1, perbandingan BA : PE dengan rasio PE tetap.

BA (Kg)	PE (Kg)	Pasir (Kg)	Bentuk Paving
1,5	2	0	
1,5	3	0	
1,5	4	0	

Tabel 4.3 Bentuk *paving block* berdasarkan variasi 2, perbandingan BA : PE dengan rasio PE berbeda.

BA (Kg)	PE (Kg)	Pasir (Kg)	Bentuk paving
1,5	2	0	
1,5	3	0	
1,5	4	0	

Tabel 4.4 Bentuk *paving block* berdasarkan variasi 3, perbandingan rasio BA : PE : Pasir

BA (Kg)	PE (Kg)	Pasir (Kg)	Bentuk Paving
1	2	0	
1,5	2	0	
2	2	0	

Dari ke 9 percobaan komposisi diatas, komposisi paling baik yaitu komposisi dengan perbandingan rasio 1,5 BA : 2 PE, sedangkan pada komposisi yang ditambahkan dengan pasir komposisi terbaik terdapat pada rasio 1 BA : 2 PE : 0,5 pasir. Kedua komposisi tersebut kemudian di uji kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan terhadap natrium sulfat dengan variasi waktu pengeringan *paving block*.



Adapun Variasi pengeraman *paving block* yaitu 5, 7, 14, dan 28 hari. *Paving block* dikarakterisasi menggunakan FTIR dan SEM.

### 4.3 Kuat Tekan

Hasil uji kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan terhadap natrium sulfat pada *paving block* komposisi 1,5 kg BA + 2 kg PE dan 1 kg BA + 2 kg + 0,5 Pasir disajikan dalam Tabel 4.5 dan 4.6

Tabel 4.5 Hasil Uji kuat tekan, penyerapan air dan natrium sulfat pada *paving block* komposisi 1,5 BA + 2 PE

Hari	Uji Kuat Tekan (Mpa)	Uji Penyerapan Air (%)	Uji Natrium Sulfat (%)
5 hari	9,90	5,66	0,88
7 hari	12,99	1,71	0,66
14 hari	20,28	1,68	0,48
28 hari	25,63	0,59	0,39

Tabel 4.6 Hasil Uji kuat tekan, penyerapan air dan natrium sulfat pada *paving block* komposisi 1 BA + 2 PE + 0,5 Pasir

Hari	Uji Kuat Tekan (Mpa)	Uji Penyerapan Air (%)	Uji Natrium Sulfat (%)
5 hari	10,82	3,66	0,69
7 hari	13,60	1,23	0,50
14 hari	21,58	1,4	0,43
28 hari	26,69	0,56	0,24

Kuat tekan *paving block* dianalogikan dengan kuat tekan beton yaitu besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu dihasilkan oleh mesin uji tekan (*Universal Testing Machine*). Beton yang baik adalah beton yang memiliki kekuatan tekan tinggi, dengan kata lain bisa dikatakan bahwa kualitas beton ditinjau hanya dari kekuatan tekan saja (Hastuty, 2018). *Paving block* yang telah berumur 28 hari memiliki kuat tekan yang baik dibandingkan dengan yang berumur 14, 7, dan 5 hari, yaitu sebesar 25,63 Mpa untuk komposisi BA + PE dan 26,69 Mpa pada komposisi BA + PE + Pasir (Tabel 4.5 – 4.6). Dari hasil yang diperoleh

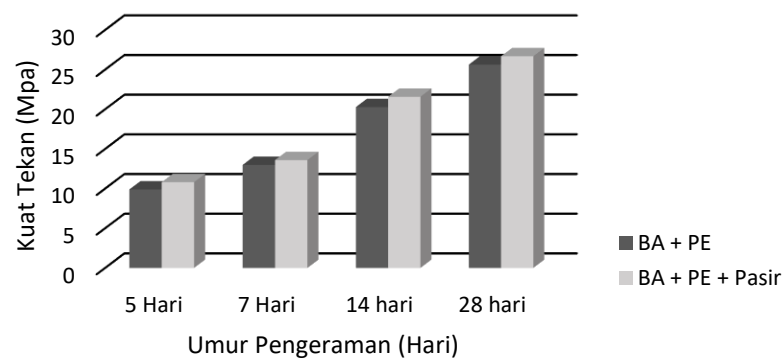
menunjukkan bahwa *paving block* mempunyai mutu paving B, dimana mutu B dapat digunakan untuk lahan parkir, taman, dan jalan setapak.

Kenaikan kekuatan tekan pada *paving block* ini (Gambar 4.2) disebabkan oleh kekuatan ikatan antar muka polimer dan partikel agregat (*bottom ash*/pasir) yang meningkat dengan adanya penambahan termoplastik (Asthana, 2004; Jassim *et al.*, 2017) dan juga disebabkan oleh reaksi pozzolanic yang ada pada BA (Goh *et al.*, 2003). Hal ini berhubungan dengan keberadaan kalsium, silika dan alumina dalam BA yang digunakan (Chindaprasirt *et al.*, 2009). Karena keberadaan BA meningkatkan kadar ion kalsium bebas ( $\text{Ca}^{2+}$ ) yang tersedia akan bereaksi dengan silikat untuk membentuk gel kalsium silikat hidrat (CSH) (Rattanasak *et al.*, 2011). Pengisian pori-pori oleh kalsium silikat hidrat dari reaksi pozzolanic menyebabkan peningkatan kepadatan (Lin dan Lin 2006) sehingga kekuatan tekan juga meningkat. Okeye *et al* (2016) melaporkan bahwa keberadaan silika meningkatkan kekuatan tekan pada beton. Kemudian terdapat ikatan O-H dan Si-O-Si yang terbentuk pada produk *paving block* yang dibuktikan dengan analisis FTIR (Gambar 4.6), ikatan tersebut yang menyebabkan adanya kekuatan ikatan dalam *paving block* ini meningkat.

Karakteristik polimer yang mengisi pori agregat juga dapat meningkatkan kekuatan mekanik dari material *paving block* (Frigione, 2010). Meningkatnya kekuatan juga disebabkan oleh ukuran partikel BA dengan kehalusan yang tinggi (Wongsa *et al.*, 2017), oleh karena itu agregat yang digunakan dalam penelitian ini dihaluskan terlebih dahulu untuk memperoleh ukuran partikel yang kecil. Ukuran partikel mempengaruhi kuat tekan dan penyerapan air. Hal ini disebabkan tingkat kerapatan susunan antar partikel pada ukuran diameter kecil lebih tinggi dibandingkan ukuran diameter yang besar, sehingga rongga antar partikel yang terjadi pada susunan diameter kecil lebih rendah dibandingkan dengan diameter besar.

Partikel dengan ukuran yang besar akan mengurangi kemampuan material *paving block* dalam menerima beban, sebab ikatan antar unsur penyusun melemah. Dalam hal ini partikel yang sangat halus mengisi rongga kosong antara agregat dan pengikatnya. Dengan partikel halus mengisi rongga, lapisan *paving block* sudah

jenuh untuk meningkatkan kekuatan tekan *paving block*. Adanya rongga pada *paving block* juga dapat mempengaruhi kuat tekan, yaitu bagian *paving block* yang berongga menjadi tempat konsentrasi tegangan titik inisiasi/awal retak, sehingga kekuatan tekan akan menurun (Kardiman, 2018; Nurhidayat dan Susilo 2013).



Gambar 4.2 Diagram hubungan kuat tekan terhadap umur pengeraman.

Gambar 4.2 menyajikan hasil kuat tekan terhadap umur pengeraman *paving block*, yang menunjukkan adanya peningkatan nilai kuat tekan dengan bertambahnya umur pengeraman *paving block*. Kuat tekan meningkat juga dipengaruhi dengan adanya perbedaan pengeraman umur *paving block*, semakin lama umur *paving block* maka semakin tinggi kuat tekannya, hal ini dibuktikan dengan *paving block* yang berumur 28 hari mempunyai kuat tekan yang tinggi dibandingkan dengan *paving block* yang berumur 5 hari. Menurut Jassim, (2017), peningkatan kekuatan rekat luas permukaan antara limbah plastik dengan partikel agregat mempengaruhi kekuatan tekan. Berkaitan dengan itu, *bottom ash* maupun pasir yang digunakan dalam waktu yang semakin lama dapat menutupi dan mengisi rongga-rongga antar partikel sehingga membentuk suatu kerapatan partikel material bahan penyusun serta mampu meningkatkan daya rekatnya *paving block* (Rino & Dahlan, 2017).

Kuat tekan suatu mutu beton dapat dikategorikan memenuhi syarat jika dua hal berikut terpenuhi (SNI 03-2847-2002):

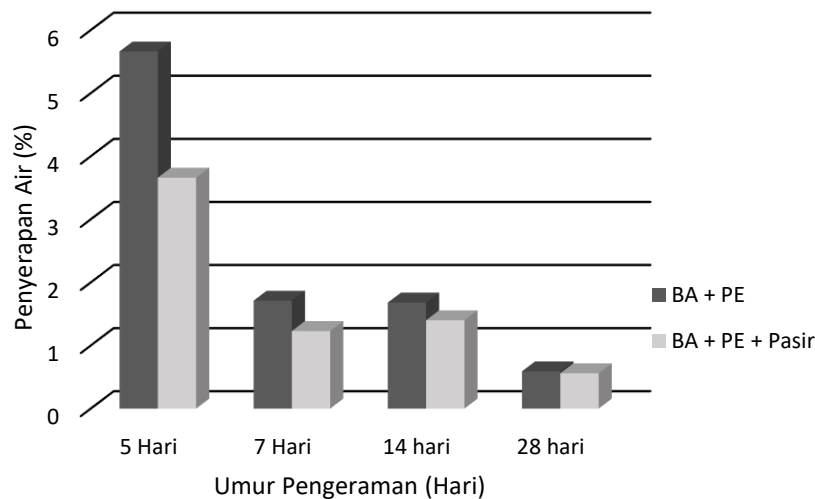
- a. Setiap nilai rata-rata dari tiga uji kuat tekan yang berurutan mempunyai nilai yang sama atau lebih besar sedikit.
- b. Tidak ada nilai uji kuat tekan yang dihitung sebagai nilai rata-rata dari dua hasil uji.

#### 4.4 Penyerapan Air

Tujuan dari uji penyerapan air adalah untuk menentukan kapasitas penyerapan air dari berbagai spesimen (Sharwa, 2017). Berdasarkan Gambar 4.3, tingkat penyerapan air setelah 24 jam untuk komposisi BA + PE + pasir pada umur paving 28 hari adalah 0,56%, lebih sedikit dibandingkan dengan paving yang berkomposisi BA + PE. Hasilnya menunjukkan bahwa *paving block* menyerap lebih sedikit menyerap air atau bersifat hidrofobik. Hasil ini sesuai dengan SNI-03-0691-1996 syarat mutu *paving block* yang menyatakan bahwa penyerapan air pada *paving block* mutu B tidak boleh melebihi 6%, dari semua hasil yang telah diuji telah memenuhi syarat tersebut. Daya serap air rata-rata dari produk yang dihasilkan sudah memenuhi SNI 03-0691-1996 yaitu tidak lebih dari 10%. *Paving block* ini masuk ke dalam kelas mutu A, karena rata-rata daya serap airnya tidak lebih dari 3%.

Sharma dan Batra (2016) menyatakan bahwa kapasitas penyerapan uap air dari *paving block* tidak boleh lebih dari 6% massa dan dalam sampel individu itu harus dibatasi hingga 7%. Namun hasil pada *paving block* ini memiliki daya serap air yang tergolong kecil. Kelebihan dari nilai penyerapan air yang kecil dapat menguntungkan untuk aplikasi bahan bangunan karena dapat mengurangi resiko yang disebabkan oleh penetrasi air ke dalam rongga-rongga dari material bangunan yang dapat menyebabkan kerusakan seperti retakan dan tumbuhnya mikroorganisme yang tidak diinginkan. *Paving block* ini cocok digunakan pada daerah yang dekat dengan pantai, yang airnya mengandung banyak garam sehingga dengan nilai penyerapan air yang kecil maka akan mengurangi kerusakan yang diakibatkan oleh adanya penetrasi air yang mengandung garam ke dalam *paving block*. Namun terdapat kekurangan pada *paving block* ini jika digunakan untuk

bahan bangunan yang tujuannya digunakan untuk media penyerapan air hujan atau air genangan, dikarenakan memiliki kapasitas penyerapan air yang kecil.



Gambar 4.3 Diagram hubungan penyerapan air terhadap umur pengeraman.

Gambar 4.3 merupakan diagram penyerapan air terhadap umur pengeraman, yang menunjukkan hasil penyerapan air yang menurun dengan bertambahnya umur *paving block*. Dengan bertambahnya umur pengujian, kondisi *paving block* semakin mengering, sehingga penyerapannya akan semakin menurun. Hal ini berkaitan dengan sifat pozzolan dalam bottom ash menunjukkan semakin baik. Reaksi pozzolan antara agregat ringan dan proses hidrasi terjadi pada *paving block*, sehingga struktur pada *paving block* menjadi lebih padat (Lo dan cui, 2004) didukung dengan ukuran partikel yang halus menyebabkan meningkatnya aktivitas pozzolan pada bottom ash (Cheriat *et al.*, 1999). Berdasarkan aktivitas pozzolan dan efek retensi air dari bottom ash, partikel bottom ash dapat menyerap air ke dalam pori-pori pada usia dini dan melepaskan air secara bertahap kemudian (Chen dan Poon, 2017).

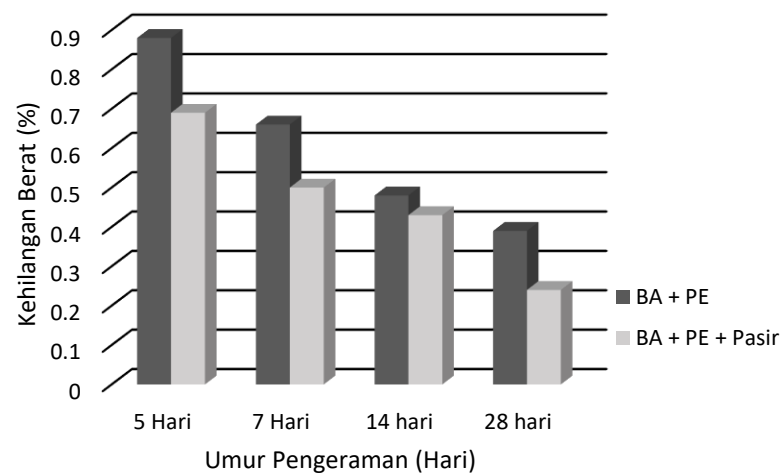
Penurunan nilai *absorbability* diakibatkan juga oleh karakteristik polimer yang mengisi pori antar partikel agregat (Asthana, 2004). Selain itu sifat alami dari polimer yang hidrofobik juga mengakibatkan turunnya nilai penyerapan air (Putra *et al.*, 2018). Berkaitan dengan hal tersebut, struktur pori atau rongga yang terdapat pada beton sangat mempengaruhi besar kecilnya penyerapan air (Angin, 2010; Domagala, 2015).

Walaupun *paving block* ini berbahan dasar plastik akan tetapi paving dapat menyerap air, hal ini disebabkan karena *bottom ash* termasuk agregat yang porous, walaupun sudah berikatan dengan plastik namun masih mampu untuk menyerap air. Plastik *polyethylene* merupakan polimer dimana secara umum dikenal tidak dapat menyerap air, akan tetapi *polyethylene* juga mempunyai permeabilitas air yaitu sebesar  $68 \times 10^{-13} \text{ (cm}^3\text{STP)/ (cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa)}$  (Brandrup *et al.*, 1999) sehingga *paving block* ini dapat menyerap air.

#### 4.5 Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat

Uji ketahanan terhadap natrium sulfat dapat pula dikatakan sebagai uji kehilangan berat pada spesimen yang diuji, uji ini bertujuan untuk mengetahui seberapa tahan *paving block* ini terhadap larutan natrium sulfat, untuk mengetahui hal tersebut, kita dapat menghitung hilangnya massa pada spesimen setelah dilakukan uji dengan cara direndam menggunakan larutan natrium sulfat. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.4, kehilangan berat terbesar *paving block* pada komposisi BA+PE terdapat pada *paving block* umur 5 hari, yaitu sebesar 0,88% dan kehilangan berat terkecil terdapat pada umur 28 hari yaitu sebesar 0,39%. Pada *paving block* komposisi BA + PE + Pasir kehilangan berat terbesar yaitu pada umur 5 hari sebesar 0,69 % dan kehilangan terkecil terdapat pada umur paving 28 hari yaitu sebesar 0,24%. Penurunan berat pada kedua tipe ini memenuhi SNI 03-0691-1996 karena penurunan tidak lebih dari 1%.

Interaksi *paving block* dengan larutan asam dapat menukar ion Na dalam *paving block* dengan ion hidrogen dalam larutan asam. Hal ini dapat diikuti dengan serangan asam pada ikatan Si-O-Al yang mengakibatkan pelepasan ion aluminium dan asam silikat. Ion aluminium terlarut dari permukaan paving menjadi larutan asam. Proses ini dapat menyebabkan kehilangan massa dan penurunan kuat tekan (Bakharev 2005).



Gambar 4.4 Diagram hubungan kehilangan berat terhadap umur pengeraman.

Dari hasil analisis (Gambar 4.4) diperoleh bahwa kehilangan berat semakin menurun dengan adanya penambahan umur pengeraman, penurunan berat yang semakin baik pada *paving block* yang berumur 28 hari menunjukkan bahwa aktivitas *pozzolanic* dalam BA semakin baik. Sehingga sulfat yang mengikis Ca yang kemungkinan tersisa menjadi lebih sedikit.

Tingkat kerusakan atau kehilangan berat berhubungan dengan sifat basa yang berasal dari komponen *bottom ash* dan pasir yang digunakan, yakni kandungan CaO.  $\text{Ca}^{2+}$  akan bereaksi dengan Natrium sulfat membentuk  $\text{CaSO}_4$ . Kehilangan berat pada *paving block* menandakan bahwa CaO bereaksi dengan larutan sulfat, berikut reaksi yang terjadi  $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Kusumastuti *et al.*, 2020). Pada komposisi BA + PE + Pasir memiliki kehilangan berat yang lebih sedikit karena adanya penambahan CaO yang berasal dari komponen pasir yang ditambahkan. Menurut Kusumastuti *et al.* (2020), adanya penambahan CaO akan menghasilkan ketahanan terhadap natrium sulfat yang lebih besar.

Berdasarkan diagram batang pada Gambar 4.4 dapat dilihat tingkat kerusakan akibat natrium sulfat pada *paving block* cenderung stabil pada komposisi BA + PE + Pasir, untuk komposisi tanpa menggunakan pasir memiliki kehilangan berat yang lebih besar dibandingkan dengan paving yang ditambahkan dengan pasir. Hasil ini sesuai dengan teori yang ada, dengan adanya penambahan pasir pada

komposisinya dan lama umur pengeraman maka ketahanan terhadap natrium sulfat cenderung menurun, hal ini menunjukkan hasil yang baik.

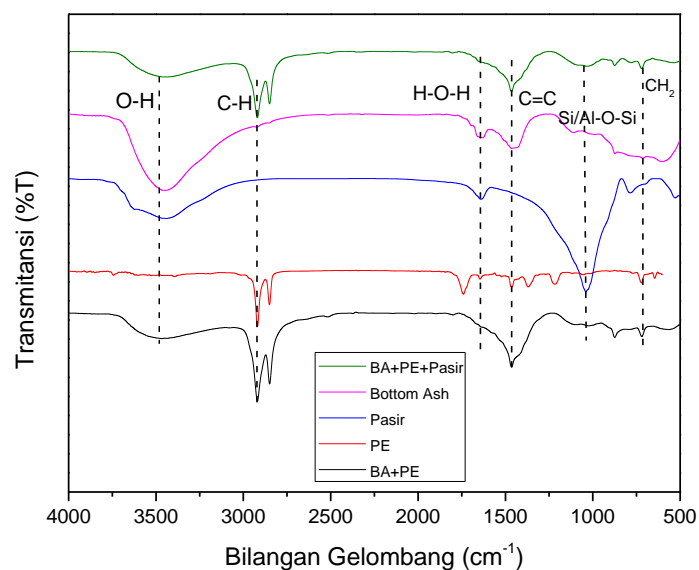
Tingkat kerusakan juga berhubungan dengan sifat porositasnya. Porositas menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi ketahanan *paving block* karena larutan natrium sulfat masuk melalui pori-pori pada permukaan *paving block*. Jones (2002) menyatakan bahwa faktor yang mempengaruhi ketahanan sulfat beton bukan hanya akibat reaksi kimia dengan matriks semen tetapi juga akibat pengaruh permeabilitas dan kualitas keseluruhan beton. Pada parameter porositas dapat dilihat dari nilai penyerapan air pada spesimen tersebut, bahwa nilai penyerapan air pada *paving block* yang berkomposisi BA + PE + Pasir memiliki penyerapan air yang lebih sedikit daripada yang berkomposisi tanpa tambahan pasir, hal ini menunjukkan bahwa *paving block* yang berkomposisi menggunakan tambahan pasir mempunyai porositas lebih kecil, sehingga memiliki rongga yang lebih kecil dibandingkan dengan *paving block* yang komposisinya tanpa menggunakan pasir. Hal ini menunjukkan *paving block* dengan komposisi yang ditambahkan dengan pasir lebih kedap air dibandingkan dengan *paving block* tanpa tambahan pasir, sehingga larutan natrium sulfat yang masuk kedalam *paving block* jumlahnya lebih sedikit karena permukaan *paving block* udah tertutup oleh partikel pasir yang membantu kerapatan pada *paving block*.

Hasil ini sesuai dengan penelitian Nety dan Tanzil (2013) yang menyatakan bahwa salah satu cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap serangan oleh zat kimia yang bersifat agresif terutama magnesium sulfat adalah dengan mengurangi porositas beton sehingga beton lebih kedap air. Kategori *paving block* yang memenuhi standar SNI 03-0691-1996 untuk diuji adalah *paving block* yang tidak terdapat adanya keretakan (meskipun kecil) pada permukaannya, baik sebelum dan sesudah perendaman natrium sulfat. Kedua tipe produk *paving block* pada penelitian ini tidak mengalami retak-retak kecil, gugus dan rapuh pada bagian tepi sebelum diuji, sehingga sudah memenuhi syarat pengujian.



#### 4.6 Karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Pengujian dengan alat FTIR dilakukan untuk menemukan gugus fungsi dari material *paving block* dan membandingkan dengan gugus fungsi dari material penyusunnya yaitu LDPE, *bottom ash* dan pasir. Pengujian FTIR dilakukan di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.



Gambar 4.5 Spektra FTIR *Paving block* komposisi BA + PE; BA + PE + Pasir dan Prekursor

Gambar 4.5 merupakan spektra hasil uji FTIR untuk mengetahui gugus fungsi pada sampel. Sebagai sampel yang diteliti adalah dua produk *paving block* terbaik dan bahan awal sebagai pembanding. Hasil FTIR *paving block* berbahan dasar BA dan PE menunjukkan adanya vibrasi O-H pada bilangan gelombang  $3466\text{ cm}^{-1}$ . Gugus ini menandakan adanya ikatan hidrogen yang terbentuk dari pencampuran plastik PE dengan BA yang digunakan. Pada senyawa PE tidak menunjukkan puncak OH karena produk berupa plastik padat yang molekulnya sangat rapat. Pada BA murni terdapat puncak di bilangan gelombang  $3449\text{ cm}^{-1}$  yang mana puncak ini dimungkinkan karena adanya gugus OH dari peregangan ikatan dari kelompok silanol (Amin, 2016). Vibrasi tersebut tidak dikatakan vibrasi O-H yang berasal dari air karena terdapat puncak O-H lain pada bilangan

gelombang  $1630\text{ cm}^{-1}$ , vibrasi O-H yang berasal dari air dapat di katakan apabila hanya ada 1 puncak di bilangan gelombang sekitar  $3500\text{ cm}^{-1}$ , namun apabila terdapat puncak lain pada bilangan gelombang sekitar  $1600\text{ cm}^{-1}$  maka yang merupakan O-H yang berasal dari air yaitu puncak yang muncul pada bilangan  $1600\text{ cm}^{-1}$ . Vibrasi O-H air yang muncul pada bilangan gelombang  $1630\text{ cm}^{-1}$  dikarenakan masih terdapat partikel air dalam BA murni pada saat dikarakterisasi.

Puncak pada bilangan gelombang  $2919\text{ cm}^{-1}$  merupakan pita serapan ikatan C-H yang berasal dari plastik PE, kemudian pada bilangan gelombang  $1463\text{ cm}^{-1}$  terdapat pita serapan C=C dari plastik PE, ikatan ini terbentuk dari etena yang merupakan monomer pembentukan polimer PE yang kemungkinan adanya proses polimerisasi yang tidak sempurna dalam pembuatan plastik tersebut. Puncak  $1039\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya regangan Si-O-Si (Ulhaq *et al.*, 2014). Puncak pada bilangan gelombang  $874\text{ cm}^{-1}$  adalah pita serapan O-C-O yang berasal dari  $\text{CO}_2$  yang tertangkap oleh *paving block* ketika dituang ke dalam cetakan. Dan puncak pada bilangan gelombang  $719\text{ cm}^{-1}$  terdapat pita penyerapan kecil vibrasi peregangan  $\text{CH}_2$  (Ni'mah *et al.*, 2009).

Hasil FTIR *paving block* yang dipreparasi menggunakan BA, PE, dan pasir menunjukkan adanya puncak pada bilangan gelombang  $3434\text{ cm}^{-1}$  yaitu vibrasi ikatan O-H yang berasal dari ikatan yang terjadi antara plastik PE dengan BA. Puncak pada bilangan gelombang  $2920\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ikatan C-H. Puncak pada bilangan gelombang  $1465\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ikatan C=C, kemudian pada puncak bilangan gelombang  $1033\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ikatan Si-O-T yaitu Si-O-Si/Al (Kovalchuk *et al.*, 2007; Ulhaq, *et al.*, 2014). Dalam hal ini, pasir menambah jumlah Si dalam *paving block* ini yang ditunjukkan dengan intensitas puncak pada *paving block* komposisi ini memiliki puncak yang lebih tajam dibandingkan puncak pada *paving block* berkomposisi BA + PE. Puncak sekitar  $880\text{ cm}^{-1}$  terdapat ikatan Si-O (Bobrowski *et al.*, 2012) dan pada puncak bilangan gelombang  $720\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi  $\text{CH}_2$ . Hasil penelitian ini sama seperti penelitian yang dilakukan oleh (Putra *et al.*, 2018).

Pada Gambar 4.5 menunjukkan spektra FTIR *paving block* dibandingkan dengan tiga prekursor, yaitu *bottom ash*, pasir dan plastik *polyethylene* murni. Pada

spektrum BA dan pasir terdapat puncak OH yang tajam pada bilangan gelombang sekitar  $3000\text{ cm}^{-1}$ , namun setelah dicampurkan dengan plastik PE, spektrum mengalami penurunan ketajaman pada puncak OH, dapat dilihat puncak OH pada produk *paving block* lebih rendah daripada puncak OH pada prekursor BA dan pasir. Penurunan intensitas ini disebabkan oleh jumlah sampel yang tidak sama ketika dijadikan pellet, sehingga menghasilkan intensitas ketajaman yang dihasilkan berbeda. Kemudian pada bilangan gelombang sekitar  $1600\text{ cm}^{-1}$  pada sampel BA murni terdapat vibrasi O-H, akan tetapi pada produk *paving block* tidak terdapat puncak yang muncul pada bilangan gelombang sekitar  $1600\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini menunjukkan hilangnya kandungan air pada BA ketika BA telah dicampurkan dengan plastik PE dengan proses pemanasan. Kemudian muncul puncak pada bilangan gelombang  $874\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan pita serapan O-C-O yang sebelumnya tidak ditemukan pada ketiga prekursor tersebut, gugus karbonat yang muncul menunjukkan adanya  $\text{CaCO}_3$  (Reig *et al.*, 2002) yang berasal dari BA yang digunakan (Wongsa *et al.*, 2017). Namun terdapat kemungkinan gugus karbonat berasal dari hasil reaksi antara alkali hidroksida dengan  $\text{CO}_2$  di atmosfer (Purbasari *et al.*, 2018), karena dalam proses pembuatan spesimen *paving block* terdapat proses pemanasan di atas tungku, walaupun prosesnya dalam kondisi tertutup akan tetapi masih terdapat celah pada saat pencetakan yang kemungkinan dalam proses tersebut spesimen dapat menangkap  $\text{CO}_2$ .

Spektrum FTIR menyatakan bahwa *paving block* terikat oleh matrik PE secara fisika dan kimia. Hasil dari pengujian FTIR tidak ditemukan adanya puncak baru namun melalui serapan O-H yang muncul pada bilangan  $3466\text{ cm}^{-1}$  dan  $3434\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan hidrogen yang terbentuk melalui jembatan hidrogen (Siregar, 2015), sehingga dapat dibuktikan bahwa *paving block* dengan komposisi BA + PE + pasir berikatan secara kimia. Sama halnya dengan *paving block* yang berkomposisi BA + PE. *Paving block* ini juga memiliki ikatan fisik yang kuat, ditunjukkan dengan nilai kuat tekan yang besar yang dimiliki oleh *paving block* ini, hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan Siregar dan Bambang, 2015.

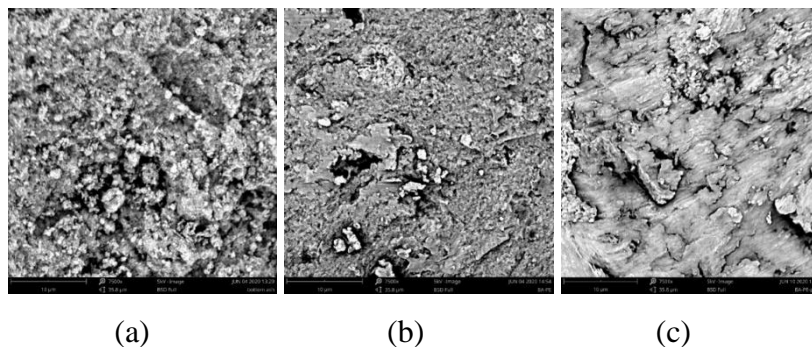
Tabel 4.7 Hasil Interpretasi Spektra FTIR pada *Paving block*

Bilangan Gelombang pada literatur (cm <sup>-1</sup> )	Bilangan gelombang pada Hasil (cm <sup>-1</sup> )	Gugus Fungsi
3750–3000 (Dachriyanus, 2004; Diantomo dan lukman, 2013; Siregar dan Bambang, 2015)	3466; 3434,	O-H stretching
2913 – 2925 (Giat <i>et al.</i> , 2015)	2920	Ulur simetri C-H
2844 – 2847 (Giat <i>et al.</i> , 2015)	2849	Ulur asimetri C-H
1469 – 1452 (Siregar dan Bambang, 2015)	1465	Ulur C=C
829 – 876 (Giat <i>et al.</i> , 2015)	874	O-C-O
715 – 721 (Giat <i>et al.</i> , 2015)	719; 720	CH <sub>2</sub>
1200 – 950 (Timakul <i>et al.</i> , 2016)	1033	Ulur asimetris Si/Al-O-Si
940 – 880 (Hajimohammadi <i>et al.</i> , 2011; Bobrowski <i>et al.</i> , 2012)	880	Regangan asimetri Si-O

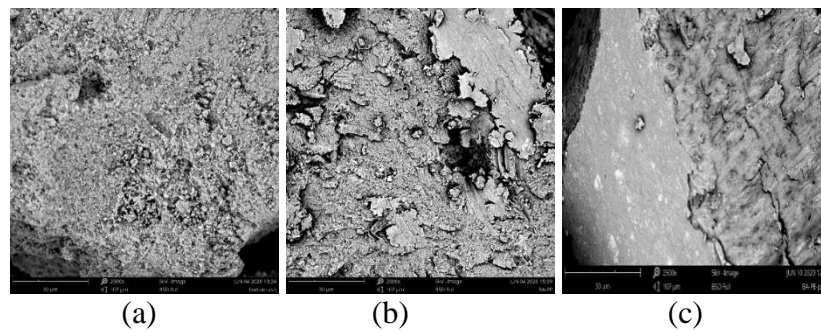
#### 4.7 Karakterisasi Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian SEM pada hakekatnya merupakan analisis morfologi. Data atau tampilan yang diperoleh adalah data dari bentuk morfologi atau dari lapisan yang tebalnya sekitar 20 µm dari permukaan. Gambar permukaan yang diperoleh merupakan morfologi dengan segala tonjolan, lekukan dan lubang pada permukaan (Murali *et al.*, 2017).

Morfologi dari *bottom ash* dan spesimen *paving block* ditunjukkan dengan fotomikrograph SEM (Gambar 4.6 dan 4.7). Pengamatan morfologi dilakukan dengan perbesaran sebesar 2500x dan 7500x.



Gambar 4.6 Morfologi hasil SEM dengan perbesaran 7500x (a) *bottom ash*, (b) *paving block* komposisi BA + PE, dan (c) *paving block* komposisi BA + PE + Pasir



Gambar 4.7 Morfologi hasil SEM dengan perbesaran 2500x (a) *bottom ash*, (b) *paving block* komposisi BA + PE, dan (c) *paving block* komposisi BA + PE + Pasir

Berdasarkan Gambar 4.6 dan 4.7 (a) partikel *bottom ash* dengan ukuran dan bentuk telah diamati. Rongga dalam jumlah besar juga diidentifikasi, yang sebagian disebabkan oleh sifat bahan awal tersebut, dan sebagian disebabkan oleh proses pembakaran. Struktur berongga akan berpengaruh negatif terhadap mekanik kekuatan BA ketika digunakan sebagai agregat, dan meningkatkan penyerapan air (Gao, 2017). Pada morfologi *paving block* komposisi BA + PE dan BA + PE + Pasir menunjukkan adanya rongga yang lebih sedikit karena BA telah bercampur dengan plastik PE, sehingga keduanya saling mengisi. Kehalusan BA dan pasir yang digunakan memungkinkan pengisian yang lebih padat (Goh *et al.*, 2003) dan pengisian pori-pori oleh kalsium silikat hidrat dari reaksi pozzolanic (Lin dan Lin, 2006) yang menyebabkan peningkatan kepadatan dan homogenitas. Matriks yang rapat dan homogen akan mengarah pada *paving block* yang memiliki kuat tekan tinggi (Boonserm *et al.*, 2012).

Karakterisasi fisio-kimia dilakukan dengan instrument SEM. SEM digunakan untuk mendeskripsikan permukaan (morfologi) 2 spesimen *paving block* dengan komposisi berbeda, menganalisa *interface* antara PE dan agregat. Berdasarkan Gambar 4.6 (b) dan (c) terlihat bahwa terdapat perbedaan morfologi dari masing-masing spesimen *paving block*. Perbedaan pada persebaran dan ukuran rongga pada dasarnya diakibatkan pada proses pembuatan, biasanya pada saat pencampuran dan juga komposisi dari *paving block* yang berbeda pada tiap spesimen tersebut. Gambar 4.6 dan 4.7 (b) menunjukkan morfologi spesimen uji dengan komposisi 2 kg PE + 1,5 kg BA. Gambar 4.6 dan 4.7 (c) menunjukkan morfologi spesimen uji

dengan komposisi 2 kg PE + 1 kg BA + 0,5 kg pasir. Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan 4.7 (b) menunjukkan bahwa permukaan morfologi spesimen uji *paving block* memiliki permukaan yang lebih rata dan tampak homogen sehingga mengakibatkan jumlah rongga yang sangat sedikit pada *paving block*, sehingga memiliki kuat tekan yang besar. Masih terdapat BA yang kurang menyatu dengan plastik yang disebabkan karena pada saat pengadukan kurang optimal sehingga belum homogen. Pada Gambar 4.6 dan 4.7 (c) terlihat lebih merata pada semua bagian dan permukaan antara PE, agregat BA dan pasir yang lebih homogen, karena keberadaan pasir dalam spesimen tersebut menambah kerapatan pada matriksnya. Setiap gambar diamati pada jarak/rentang 107  $\mu\text{m}$ .

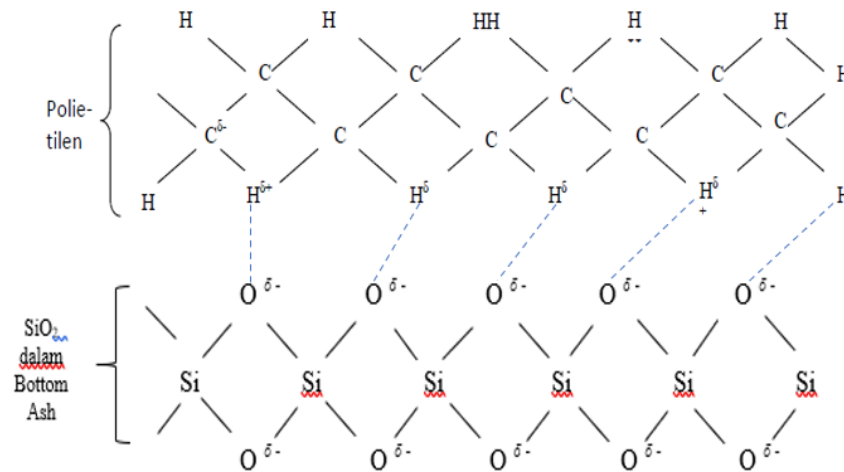
#### **4.8 Interaksi Antar Komponen yang Diusulkan.**

Dalam *paving block* ini terjadi interaksi antara BA, PE dan pasir sebagai komponen penyusunnya. Dimana *paving block* ini prinsipnya seperti polimer matriks komposit. Yang didalamnya terdapat reinforcement (penguat) dan matriks (pengisi). Penguat dalam hal ini yaitu filler, dimana BA dan pasir yang berperan sebagai filler, filler menambah daya rekat yang kuat dalam suatu spesimen *paving block*. Sedangkan plastik PE berperan sebagai matriks atau perekat.

Perekat adalah zat yang digunakan untuk mengikat permukaan dua bahan padat (adherend). Ada dua jenis mekanisme ikatan: mekanis dan kimia. Dalam ikatan mekanis ada penetrasi perekat ke dalam dalam pori-pori permukaan dan celah-celah, dalam hal ini plastik PE masuk ke dalam pori-pori dan celah-celah BA dan pasir yang berperan sebagai agregat.

Ikatan kimia pada *paving block* melibatkan gaya antar molekul antara perekat dan adherend, yang kekuatannya mungkin kovalen dan / atau van der Waals (interaksi tarik menarik antar molekul yang memiliki muatan). Tingkat ikatan van der Waals ditingkatkan ketika bahan perekat mengandung grup kutub seperti vinil.  $\text{C}_2\text{H}_4$  merupakan grup vinil yang terdapat dalam struktur PE, kelompok vinil akan mengganggu kristalinitas  $\text{SiO}_2$ , oleh karena itu meningkatkan fleksibilitas pada suhu rendah (Smallman dan Bishop, 2000).

Pada plastik PE gaya tarik menarik secara molekul rantainya rendah, sehingga jika dipanaskan molekul mudah meleleh secara viskositas. Apabila polimer bercabang dan tidak linear maka cabang pada rantai berdekatan akan saling terkait sehingga mengurangi mobilitas relative.



Gambar 4.8 Interaksi plastik *polyethylene* dengan SiO<sub>2</sub> dalam *bottom ash*

*Polyethylene* mempunyai kerangka C-H yang Panjang. Akibat pencampuran kedua material tersebut maka O<sup>δ-</sup> pada SiO<sub>2</sub> dalam BA dengan H<sup>δ+</sup> pada PE terikat secara fisik dan kimia. Hal ini ditunjukkan dengan adanya vibrasi O-H di bilangan gelombang 3434 cm<sup>-1</sup> pada hasil analisis FTIR yang terbentuk melalui jembatan hidrogen. Terjadi gaya tarik akibat distribusi elektron yang tidak merata (tidak setangkup) antara atom O<sup>δ-</sup> yang berikatan sehingga terjadi interaksi antar atom H<sup>δ+</sup> tetangga (dipole sementara). Interaksi antara PE dengan BA ditunjukkan pada gambar 4.7. Dengan adanya interaksi tersebut, maka polimer akan mengisi rongga-rongga *bottom ash* dengan ikatan yang kuat (Siregar, 2015). Terjadi reaksi pozzolanik pada BA dan pasir yang digunakan, yang mendukung bertambahnya kekuatan pada produk ini.

Didukung dengan adanya ikatan Si-O-Si yang dibuktikan melalui puncak pada bilangan gelombang 1033 cm<sup>-1</sup>, dimana ikatan ini menambah kekuatan dari *paving block*. Kemudian terdapat ikatan C-H pada bilangan gelombang 2919 cm<sup>-1</sup> yang berasal dari plastik PE yang juga mengakibatkan produk *paving block* mempunyai sifat yang jauh lebih kuat dari sifat polimer itu sendiri.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil analisis yang didapatkan, maka disimpulkan bahwa:

1. Sifat fisika berdasarkan kuat tekan dan penyerapan air pada *paving block* dengan umur pengeringan 28 hari memiliki kuat tekan sebesar 25,63 Mpa dan penyerapan air sebesar 0,59 % pada *Paving block* dengan komposisi 1,5 kg BA + 2 kg PE. Pada *paving block* dengan komposisi 1 kg BA + 2 kg PE + 0,5 Pasir memiliki kuat tekan sebesar 26,69 Mpa dan penyerapan air sebesar 0,56 %. Kedua *paving block* tersebut masuk kedalam kategori paving mutu B menurut SNI-1974-2002.
2. Sifat kimia *paving block* dapat diketahui melalui uji ketahanan terhadap natrium sulfat dan hasil uji FTIR. Berdasarkan hasil uji ketahanan terhadap natrium sulfat, kedua *paving block* memiliki hasil terbaik pada umur pengeringan 28 hari. Pada komposisi 1,5 kg BA + 2 kg PE yaitu sebesar 0,39 %, dan pada komposisi 1 kg BA + 2 kg PE + 0,5 kg Pasir yaitu sebesar 0,24 %. Hasil ini sesuai dengan SNI-3407-2008 dimana kehilangan berat *paving block* tidak boleh melebihi 1 %. Interaksi yang terjadi pada *paving block* berbahan dasar *bottom ash*, plastik *polyethylene* dan bahan tambahan pasir, terjadi melalui ikatan hidrogen yang dibuktikan pada hasil FTIR bilangan gelombang  $3466\text{ cm}^{-1}$  pada *paving block* BA + PE dan  $3434\text{ cm}^{-1}$  pada *paving block* BA + PE + Pasir, vibrasi tersebut merupakan vibrasi O-H dan terdapat ikatan Si-O-Si pada bilangan gelombang sekitar  $1033\text{ cm}^{-1}$  yang terbentuk pada produk *paving block* ini.

#### 5.2 Saran

Adapun saran yang disampaikan untuk pengembangan penelitian kedepannya adalah sebagai berikut:



1. Pada pembuatan *paving block* ini dapat ditambahkan variasi komposisi yang lebih banyak lagi.
2. Dapat dilakukan inovasi baru agar *paving block* dapat diproduksi dalam jumlah banyak dengan waktu yang singkat, sehingga dapat diaplikasikan secara luas.
3. Perlu adanya tambahan karakterisasi seperti uji densitas, uji porositas pada *paving block*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbà, A., Collivignarelli, M. C., Sorlini, S., & Bruggi, M. (2014). On the reliability of reusing *bottom ash* from municipal solid waste incineration as aggregate in concrete. *Composites Part B: Engineering*, 58, 502–509.
- Aminaton Marto, Choy Soon Tan (2016). Plants In Malaysia And Its Suitability As Geotechnical Engineering Material. *Jurnal Teknologi* 5, 1–10.
- An, J., Kim, J., Golestani, B., Tasneem, K. M., Al Muhit, B. A., Nam, B. H., & Behzadan, A. H. (2014). *Evaluating the Use of Waste-to-Energy Bottom ash as Road Construction Materials*. (February 2014), 97.
- Appiah, J. K., Berko-Boateng, V. N., & Tagbor, T. A. (2017). Use of waste plastik materials for road construction in Ghana. *Case Studies in Construction Materials*, 6, 1–7.
- Astrup, T., Muntoni, A., Poletini, A., Pomi, R., Van Gerven, T., & Van Zomeren, A. (2016). Treatment and Reuse of Incineration *Bottom ash*. In *Environmental Materials and Waste: Resource Recovery and Pollution*
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 1990, SNI T-04-1990-F Tentang Pola *Paving block*.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 1996, SNI 03-0691-1996 Tentang Pembuatan Bata Beton (*Paving block*), Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6821-2002 Agregat Ringan Untuk Batu Cetak Beton Pasangan Dinding*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2002, SNI 1974-2002 Tentang Uji Kuat Tekan *Paving block*.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2008, SNI 3407-2008 Tentang Uji Ketahanan terhadap natrium sulfat *Paving block*.
- Bakar, N.A.; Cui, H.; Abu-Siada, A.; Li, S. A review of spectroscopy technology applications in transformer condition monitoring. In *Proceedings of the International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*, Xi'an, China, 25–28 September 2016
- Bakharev T, Sanjayan JG, Cheng YB. Resistance of alkali-activated slag concrete to acid attack. *Cement and Concrete Research* 2003;33: 1607–11.
- Bobrowski, A., Stypula, B., Hutera, B., Kmita, A., Drożyński, D., & Starowicz, M. (2012). FTIR spectroscopy of water glass - The binder moulding modified by ZnO nanoparticles. *Metalurgija*, 51(4), 477–480.
- Boonserm, K., Sata, V., Pimraksa, K., Chindaprasirt, P., 2012a. Improved geopolymerization of bottom ash by incorporating fly ash and using waste gypsum as additive. *Cement and Concrete Composites*. 34, 819-824.
- Burhanudin Basuki, MRS Darmanijati. (2018). Use Of Used Plastik Waste For Major Materials Of Paving Block, 18(1), 1–7. Teknik lingkungan Institut Teknologi Yogyakarta.
- Callister, W. D. (1991). Materials science and engineering: An introduction (2nd edition). *Materials & Design*, 12(1), 59.
- Chen, Z., Li, J. S., & Poon, C. S. (2018). Combined use of sewage sludge ash and

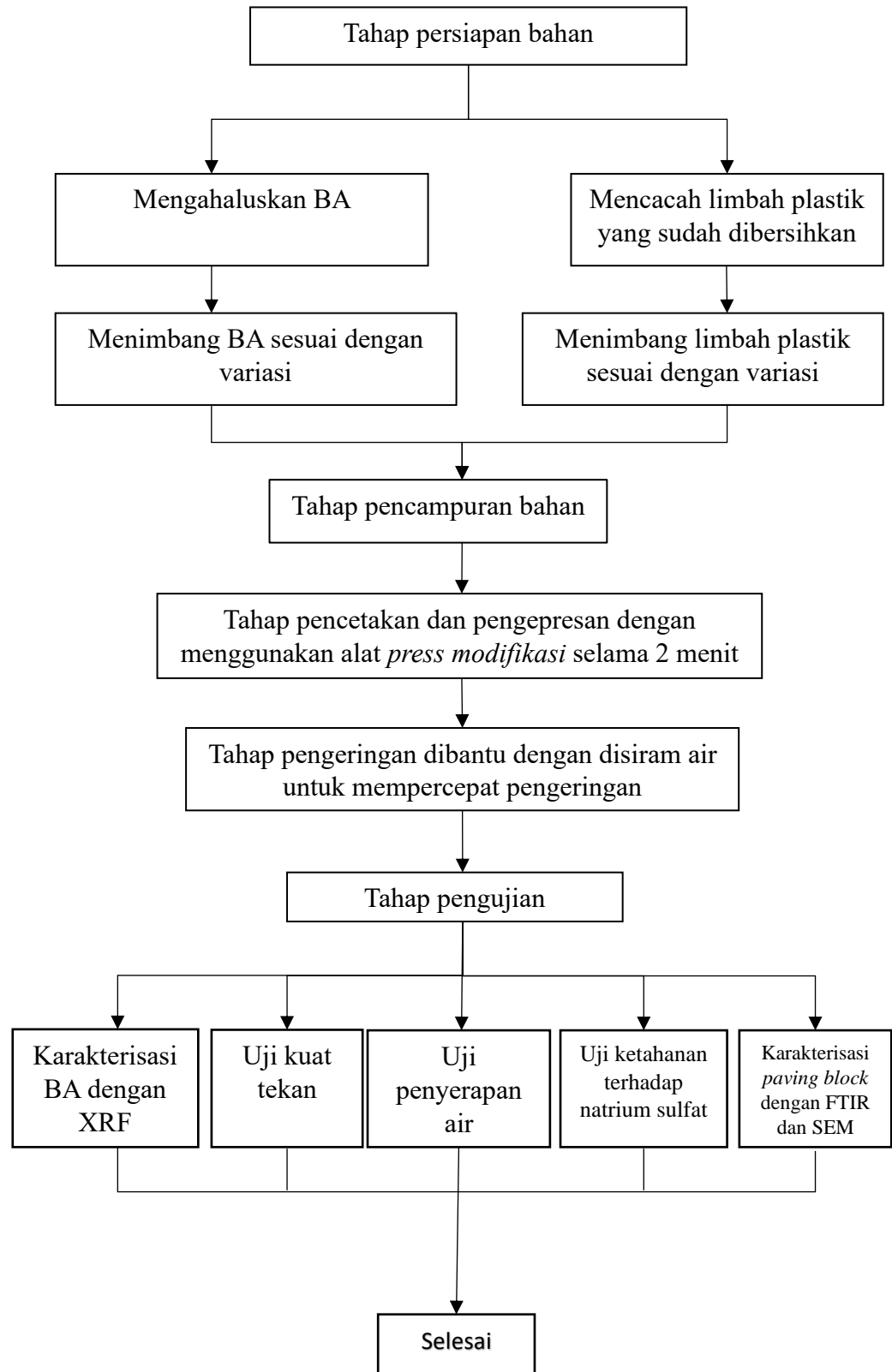
- recycled glass cullet for the production of concrete blocks. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1447–1459.
- Chen, Z., & Poon, C. S. (2017). Comparative studies on the effects of sewage sludge ash and fly ash on cement hydration and properties of cement mortars. *Construction and Building Materials*, 154, 791–803.
- Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., Chalee, W., Rattanasak, U., 2009. Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers. *Waste Management*. 29, 539-543.
- Cui, H.; Abu-Siada, A.; Li, S.; Islam, S. Correlation between dissolved gases and oil spectral response. In Proceedings of the 1st International Conference on Electrical Materials and Power Equipment (ICEMPE), Xi'an, China, 14–17 May 2017
- C, S. D. W., Hidayat, F., & Tanzil, G. (2013). Variasi Bubuk Kaca Substitusi. 1(1), 1–6.
- Dachriyanus. (2004). Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi.
- Diantomo, Zakaria Wahyu dan Atmaja, L. (n.d.). *Pengaruh Variasi Waktu Refluks Pada Proses Daur Ulang Polietilen Tereftalat Dengan Metode Hidrolisis*. 1–9.
- Domagała, L. (2015). The effect of lightweight aggregate water absorption on the reduction of water-cement ratio in fresh concrete. *Procedia Engineering*, 108, 206–213.
- Donatello, S., Tyrer, M., & Cheeseman, C. R. (2010). Comparison of test methods to assess pozzolanic activity. *Cement and Concrete Composites*, 32(2), 121–127.
- Dou, X., Ren, F., Nguyen, M. Q., Ahamed, A., Yin, K., Chan, W. P., & Chang, V. W. C. (2017). Review of MSWI *bottom ash* utilization from perspectives of collective characterization, treatment and existing application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79(May), 24–38.
- E Kusumastuti, C. (2020). Synthesis of volcanic ash-based geopolymer with calcium oxide ( CaO ) addition for building material application. *Journal of Physics: Conference Series*. 1567 022030
- Eurostat, Eurostat Database, Municipal Waste. Available from: [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_wasmun&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en), 2019 (accessed 10 December 2019).
- Frigione, M. (2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste Management*, 30(6), 1101–1106.
- Gal, E., & Kryvoruk, R. (2010). Properties of concrete. In *Computational Modelling of Concrete Structures*.
- Ganjan, E., Jalull, G., & Sadeghi-pouya, H. (2015). Using waste materials and by-products to produce concrete paving blocks. *Construction and Building Materials*, 77, 270–275.
- Gao, X., Yuan, B., Yu, Q. L., Yuan, B., & Yu, Q. L. (2017). *Accepted Manuscript*.
- Giat, S. G. S., Sudirman, S., Anwar, D. I., Lukitowati, F., & Abbas, B. (2015). Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit High Density Polyethylene (HDPE) – Hydroxyapatite (HAp) Dengan Teknik Iradiasi Gamma. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 37(1), 53.

- Goh, C., Show, K., Cheong, H., 2003. Municipal solid waste fly ash as a blended cement material. *Materials in Civil Engineering*, 15, 513-523.
- Hastuty, I. P., & Sembiringand Nursyamsi, I. S. (2018). Comparison of compressive strength of *paving block* with a mixture of Sinabung ash and *paving block* with a mixture of lime. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 309(1).
- Hoegh-Guldberg, O., Cai, R., Poloczanska, E., Brewer, P., Sundby, S., Hilmi, K., ... Jung, S. (2015). Plastik waste inputs from land into the ocean. *Science*, (September 2014), 1655–1734.
- ISWA/WIERT/ Sweepnet/University of Leeds/SWAPI. (2013). *Waste Atlas Report.44*. Retrieved.
- Izquierdo, M., Querol, X., & Vazquez, E. (2011). Procedural uncertainties of Proctor compaction tests applied on MSWI *bottom ash*. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2–3), 1639–1644.
- Jalali-Arani, A., Katbab, A. A., & Nazockdast, H. (2003). Preparation of Thermoplastik Elastomers Based on Silicone Rubber and *Polyethylene* by Thermomechanical Reactive Blending: Effects of *Polyethylene* Structural Parameters. *Journal of Applied Polymer Science*, 90(12), 3402–3408.
- Keulen, A., Van Zomeren, A., Harpe, P., Aarnink, W., Simons, H. A. E., & Brouwers, H. J. H. (2016). High performance of treated and washed MSWI *bottom ash* granulates as natural aggregate replacement within earth-moist concrete. *Waste Management*, 49(2016), 83–95.
- Khanam, P. N., & AlMaadeed, M. A. A. (2015). Processing and characterization of *polyethylene*-based composites. *Advanced Manufacturing: Polymer and Composites Science*, 1(2), 63–79.
- Kim, H. K. (2015). Utilization of sieved and ground coal *bottom ash* powders as a coarse binder in high-strength mortar to improve workability. *Construction and Building Materials*, 91, 57–64.
- Kovalchuk, G., Fernández-Jiménez, A., & Palomo, A. (2007). Alkali-activated fly ash: Effect of thermal curing conditions on mechanical and microstructural development - Part II. *Fuel*, 86(3), 315–322.
- Kumi-Larbi, A., Yunana, D., Kamsouloum, P., Webster, M., Wilson, D. C., & Cheeseman, C. (2018). Recycling waste plastiks in developing countries: Use of low-density *polyethylene* water sachets to form plastik bonded sand blocks. *Waste Management*, 80, 112–118.
- Kuo, W. Ten, Liu, C. C., & Su, D. S. (2013). Use of washed municipal solid waste incinerator *bottom ash* in pervious concrete. *Cement and Concrete Composites*, 37(1), 328–335.
- Li, J. S., Guo, M. Z., Xue, Q., & Poon, C. S. (2017). Recycling of incinerated sewage sludge ash and cathode ray tube funnel glass in cement mortars. *Journal of Cleaner Production*, 152, 142–149.
- Lin, K.L., Lin, D.F., 2006. Hydration characteristics of municipal solid waste incinerator bottom ash slag as a pozzolanic material for use in cement. *Cement and Concrete Composites*. 28, 817-823.
- Lynn, C. J., Dhir OBE, R. K., & Ghataora, G. S. (2016). Municipal incinerated *bottom ash* characteristics and potential for use as aggregate in concrete.

- Construction and Building Materials*, 127, 504–517.
- Marsyaf, M. I., (2016). ESDM Dorong Pemanfaatan Limbah Batubara, *Koran Sindo*, 17 Februari, 2016
- M. Frigione, *Concrete with Polymers*. Italy: University of Salento, 2010.
- Murali, B., Vijaya Ramnath, B., & Chandramohan, D. (2017). Crash Test Analysis on Natural Fiber Composite Materials for Head Gear. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(8), 1–5.
- Nakić, D., Vouk, D., Donattelo, S., & Anić Vučinić, A. (2017). Environmental impact of sewage sludge ash. *Engineering Review*, 37(2), 222–234.
- Ni'mah, Y. L., Atmaja, L., & Juwono, H. (2010). Synthesis and Characterization of Hdpe Plastic Film for Herbicide Container Using Fly Ash Class F As Filler. *Indonesian Journal of Chemistry*, 9(3), 348–354.
- Noor-Ul-Amin, Faisal, M., Muhammad, K., & Gul, S. (2016). Synthesis and characterization of geopolymer from bagasse bottom ash, waste of sugar industries and naturally available China clay. *Journal of Cleaner Production*, 129, 491–495.
- OEDC, OECD data on municipal waste, generation and treatment. Available at: <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MUNW>, 2019 (accessed 20 November 2019).
- Okoye, F.N., Durgaprasad, J., Singh, N.B., 2016. Effect of silica fume on the mechanical properties of fly ash based-geopolymer concrete. *Ceramics International*. 42, 3000-3006.
- Padmanabhan, S. K., & Licciulli, A. (2014). Synthesis and characteristics of fly ash and bottom ash based geopolymers – A comparative study. *Ceramics International*, 40(2), 2965–2971.
- Prananta Yuniar. (2013). Ikatan Hidrogen. 1-4
- Purwaningrum, P. (2016). Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik Di Lingkungan. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 8(2), 141.
- Putra, D. P., Wicaksono, S. T., Rasyida, A., & Bayuaji, R. (2018). Studi Pengaruh Penambahan Binder Thermoplastik LDPE dan PET Terhadap Sifat Mekanik Komposit Partikulat untuk Aplikasi Material Bangunan. *Jurnal Teknik ITS*, 7(1).
- Quartey, E. T., Tosefa, H., Danquah, K. A. B., & Obrsalova, I. (2015). Theoretical framework for plastik waste management in ghana through extended producer responsibility: Case of sachet water waste. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 9907–9919.
- Rattanasak, U., Pankhet, K., Chindaprasirt, P., 2011. Effect of chemical admixtures on properties of high-calcium fly ash geopolymer. *International Journal of Minerals Metallurgy and Materials* 18, 364-369.
- Reig, F.B., Adelantado, J.V.G., Moya Moreno, M.C.M., 2002. FTIR quantitative analysis of calcium carbonate (calcite) and silica (quartz) mixtures using the constant ratio method. Application to geological samples. *Talanta* 58, 811-821.
- R.K. Dhir, K.A. Paine, S. Callskan. 2011. Use of recycled materials and industrial byproducts in concrete: Incinerator ashes. *Research Information Digest*
- Santos, C. C., Dalla Valentina, L. V. O., Cuzinsky, F. C., & Witsmiszyn, L. C.

- (2018). Interlocking concrete *paving blocks* produced with foundry sand waste. *Materials Science Forum*, 912 MSF, 191–195.
- Sata, V., Sathonsaowaphak, A., Chindaprasirt, P., 2012. Resistance of lignite bottom ash geopolymer mortar to sulfate and sulfuric acid attack. *Cement and Concrete Composites*. 34, 700-708.
- Singh, M., & Siddique, R. (2015). Properties of Concrete Containing High Volumes of Coal *Bottom ash* as Fine Aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 91, 269–278.
- Siregar, T. dan B. A. W. (2015). Pembuatan Material Komposit Polietilen dengan Bahan Pengisi Zeolit Alam. *Jurnal Matematika Dan Sains*, 20(1), 18–26.
- Sharma, P., & Batra, R. K. (2016). Cement Concrete Paver Blocks for Rural Roads. *International Journal of Current Engineering and Scientific Research (IJCESR)*, 3(1), 115–121.
- Sharma, P., & Sharma, M. (2017). Utilization of Quarry Dust in Cement Concrete Paver Blocks for Rural Roads. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science Journal of Advanced Engineering and Science*, 2(1), 118–124.
- Smallman, R.E., dan Bishop, R.J., 2000, *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material* Edisi Keenam, Erlangga, Jakarta.
- Smol, M., Kulczycka, J., Henclik, A., Gorazda, K., & Wzorek, Z. (2015). The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 95, 45–54.
- SNI-1974-2011.
- Song, Y., Li, B., Yang, E. H., Liu, Y., & Ding, T. (2015). Feasibility study on utilization of municipal solid waste incineration *bottom ash* as aerating agent for the production of autoclaved aerated concrete. *Cement and Concrete Composites*, 56, 51–58.
- Sumarjo, J. (2018). Analysis of Mechanical Properties on Morphology Form of Composite Boards of Rice Head as Alternative Materials Substitute of Glass Fiber. *Jurnal Riset Sains dan Teknologi* 2(1), 21–26.
- Tang, P., Florea, M. V. A., Spiesz, P., & Brouwers, H. J. H. (2015). Characteristics and application potential of municipal solid waste incineration (MSWI) *bottom ashes* from two waste-to-energy plants. *Construction and Building Materials*, 83, 77–94.
- Timakul, P., Rattanaprasit, W., & Aungkavattana, P. (2016). Enhancement of compressive strength and thermal shock resistance of fly ash-based geopolymer composites. *Construction and Building Materials*, 121, 653–658.
- Vouk, D., Nakic, D., Stirmer, N., & Cheeseman, C. R. (2017). Use of sewage sludge ash in cementitious materials. *Reviews on Advanced Materials Science*, 49(2), 158–170.
- Waste Atlas, Waste Atlas 2013 Report. Waste Atlas Partnership, ISSN: 2241 – 2484, 2013.
- Wei, Y., Shimaoka, T., Saffarzadeh, A., & Takahashi, F. (2011). Mineralogical characterization of municipal solid waste incineration *bottom ash* with an emphasis on heavy metal-bearing phases. *Journal of Hazardous Materials*, 187(1–3), 534–543.

- Weng, M. C., Wu, M. H., Lin, C. L., Syue, D. K., & Hung, C. (2015). Long-term mechanical stability of cemented incineration *bottom ash*. *Construction and Building Materials*, *93*, 551–557.
- Widodo, S., Nyoman, N., Marleni, N., & Firdaus, N. A. (2018). Pelatihan Pembuatan Paving block dan Eco-Bricks dari Limbah Sampah Plastik di Kampung Tulung Kota Magelang. *3*(2), 63–66.
- Wongsa, A., Boonserm, K., Waisurasingha, C., Sata, V., & Chindaprasirt, P. (2017). Use of municipal solid waste incinerator (MSWI) bottom ash in high calcium fly ash geopolymer matrix. *Journal of Cleaner Production*, *148*, 49–59.
- Wu, B., Wang, D., Chai, X., Takahashi, F., & Shimaoka, T. (2016). Characterization of chlorine and heavy metals for the potential recycling of *bottom ash* from municipal solid waste incinerators as cement additives. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, *10*(4), 1–9.
- Yang, J. M., Shin, H. O., Yoon, Y. S., & Mitchell, D. (2017). Benefits of blast furnace slag and steel fibers on the static and fatigue performance of prestressed concrete sleepers. *Engineering Structures*, *134*, 317–333.
- Zhen, G., Lu, X., Zhao, Y., Niu, J., Chai, X., Su, L., ... Hu, Y. (2013). Characterization of controlled low-strength material obtained from dewatered sludge and refuse incineration *bottom ash*: Mechanical and microstructural perspectives. *Journal of Environmental Management*, *129*, 183–189.

**Lampiran 1. Bagan Alir Prosedur Kerja**



**Lampiran 2, Perhitungan Kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan terhadap natrium sulfat**

Komposisi	Hari	Tekanan (Kg)(P)	Luas (cm <sup>2</sup> ) (A)	Kuat tekan (Mpa) (P/A)	Kuat tekan rata-rata (Mpa)	Mutu
BA+ PE + Pasir	5	8280,09	760	10,89	10,82	D
		8199,32	760	10,79		
		8188,32	760	10,77		
BA + PE	5	7576,49	760	9,97	9,90	D
		7464,32	760	9,82		
		7535,7	760	9,92		
BA + PE + Pasir	7	10339,92	760	13,61	13,60	C
		10288,93	760	13,54		
		10370,51	760	13,65		
BA + PE	7	9830,06	760	12,93	12,99	C
		9901,44	760	13,03		
		9881,05	760	13,00		
BA + PE + Pasir	14	16356,24	760	21,52	21,58	B
		16427,62	760	21,62		
		16407,23	760	21,59		
BA + PE	14	15438,5	760	20,31	20,28	B
		15377,32	760	20,23		
		15428,3	760	20,30		
BA + PE + Pasir	28	20720,63	760	27,26	26,69	B
		20690,04	760	27,22		
		20669,64	760	27,20		
BA + PE	28	19395	760	25,52	25,63	B
		19517,36	760	25,68		
		19527,56	760	25,69		

1. Kuat Tekan

$$\text{Persamaan : } f'c = \frac{P}{A}$$

$f'c$  = Kekuatan tekan benda uji (Mpa)

P = Gaya tekan maksimum (N atau Kn)

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

$$\begin{aligned} F'c \text{ BA+PE+Pasir 5 hari} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{8222,58}{760} \\ &= 10,82 \text{ Mpa} \\ F'c \text{ BA+PE 5 hari} &= \frac{7525,50}{760} \\ &= 9,90 \text{ Mpa} \\ F'c \text{ BA+PE+Pasir 7 hari} &= \frac{10333,12}{760} \\ &= 13,60 \text{ Mpa} \\ F'c \text{ BA+PE 7 hari} &= \frac{9870,85}{760} \\ &= 12,99 \text{ Mpa} \\ F'c \text{ BA+PE+Pasir 14 hari} &= \frac{16397,03}{760} \\ &= 21,58 \text{ Mpa} \\ F'c \text{ BA+PE 14 hari} &= \frac{15414,71}{760} \\ &= 20,28 \text{ Mpa} \\ F'c \text{ BA+PE+Pasir 28 hari} &= \frac{20693,44}{760} \\ &= 26,69 \text{ Mpa} \\ F'c \text{ BA+PE 28 hari} &= \frac{19479,97}{760} \\ &= 25,63 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

## 2. Penyerapan Air

Komposisi	Hari	Berat Kering (Kg)	Berat Basah (Kg)	Penyerapan Air (%)	Rata-rata (%)	Mutu
BA + PE	5	1,142	1,212	6,12	5,66	B
		1,152	1,214	5,38		
		1,148	1,211	5,48		
BA+ PE + Pasir	5	1,317	1,367	3,79	3,66	B
		1,321	1,365	3,65		
		1,319	1,366	3,56		
BA + PE	7	1,163	1,185	1,89	1,71	A
		1,169	1,182	1,11		
		1,165	1,190	2,14		
BA + PE + Pasir	7	1,324	1,339	1,13	1,23	A
		1,313	1,337	1,82		
		1,320	1,330	0,75		
BA + PE	14	1,172	1,192	1,70	1,68	A
		1,165	1,187	1,88		
		1,161	1,178	1,46		
BA + PE + Pasir	14	1,331	1,351	1,50	1,4	A
		1,327	1,342	1,13		
		1,331	1,352	1,57		
BA + PE	28	1,227	1,236	0,73	0,59	A
		1,221	1,236	0,48		
		1,230	1,228	0,57		
BA + PE + Pasir	28	1,173	1,180	0,59	0,56	A
		1,181	1,189	0,67		
		1,178	1,173	0,42		

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{A-B}{B} \times 100 \%$$

A = Berat basah *paving block* (Kg)

B = Berat kering *paving block* (Kg)

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air BA + PE 5 hari} &= \frac{A-B}{B} \times 100 \% \\ &= \frac{1,121-1,147}{1,147} \times 100\% \\ &= 5,66 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air BA + PE + pasir 5 hari} &= \frac{A-B}{B} \times 100 \% \\ &= \frac{1,366-1,319}{1,319} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 3,66 \%$$

Penyerapan air BA + PE 7 hari  $= \frac{A-B}{B} \times 100 \%$

$$= \frac{1,186-1,166}{1,166} \times 100\%$$

$$= 1,71 \%$$

Penyerapan air BA + PE + pasir 7 hari  $= \frac{A-B}{B} \times 100 \%$

$$= \frac{1,335-1,319}{1,319} \times 100\%$$

$$= 1,23 \%$$

Penyerapan air BA + PE 14 hari  $= \frac{A-B}{B} \times 100 \%$

$$= \frac{1,186-1,166}{1,166} \times 100\%$$

$$= 1,68 \%$$

Penyerapan air BA + PE + pasir 14 hari  $= \frac{A-B}{B} \times 100 \%$

$$= \frac{1,348-1,330}{1,330} \times 100\%$$

$$= 1,4 \%$$

Penyerapan air BA + PE 28 hari  $= \frac{A-B}{B} \times 100 \%$

$$= \frac{1,233-817}{817} \times 100\%$$

$$= 0,59 \%$$

Penyerapan air BA + PE + pasir 28 hari  $= \frac{A-B}{B} \times 100 \%$

$$= \frac{1,181-1,177}{1,177} \times 100\%$$

$$= 10,56 \%$$

### 3. Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat

Komposisi	Hari	Berat Kering (Kg)	Berat Basah (Kg)	Kehilangan Berat (%)	Rata-rata (%)
BA + PE	5	1,342	1,353	0,81	0,88
		1,344	1,356	0,89	
		1,346	1,359	0,96	
BA+ PE + Pasir	5	1,441	1,451	0,69	0,69
		1,438	1,449	0,76	
		1,448	1,457	0,62	
BA + PE	7	1,341	1,350	0,67	0,66
		1,351	1,360	0,66	
		1,345	1,354	0,66	
BA + PE + Pasir	7	1,444	1,451	0,48	0,50
		1,451	1,459	0,55	
		1,442	1,450	0,48	
BA + PE	14	1,342	1,348	0,44	0,48
		1,339	1,346	0,52	
		1,441	1,448	0,48	
BA + PE + Pasir	14	1,448	1,454	0,41	0,43
		1,445	1,451	0,41	
		1,441	1,448	0,48	
BA + PE	28	1,345	1,350	0,37	0,39
		1,349	1,355	0,44	
		1,344	1,349	0,37	
BA + PE + Pasir	28	1,442	1,446	0,27	0,24
		1,445	1,450	0,27	
		1,446	1,449	0,20	

Ketahanan terhadap natrium sulfat

$$NA = \frac{A-B}{B} \times 100 \%$$

NA = Kehilangan Berat (%)

A = Berat benda uji sebelum direndam (kg)

B = berat benda uji setelah direndam (kg)

$$\begin{aligned} NA \text{ BA+PE 5 hari} &= \frac{1,356-1,344}{1,344} \times 100 \% \\ &= 0,88 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NA BA+PE+Pasir 5 hari} &= \frac{1,452-1,442}{1,442} \times 100 \% \\ &= 0,69 \% \\ \text{NA BA+PE 7 hari} &= \frac{1,355-1,346}{1,346} \times 100 \% \\ &= 0,66 \% \\ \text{NA BA+PE+Pasir 7 hari} &= \frac{1,453-1,446}{1,446} \times 100 \% \\ &= 0,5 \% \\ \text{NA BA+PE 14 hari} &= \frac{1,381-1,374}{1,374} \times 100 \% \\ &= 0,48 \% \\ \text{NA BA+PE+Pasir 14 hari} &= \frac{1,451-1,445}{1,445} \times 100 \% \\ &= 0,43 \% \\ \text{NA BA+PE 28 hari} &= \frac{1,351-1,346}{1,346} \times 100 \% \\ &= 0,39 \% \\ \text{NA BA+PE+Pasir 28 hari} &= \frac{1,445-1,444}{1,444} \times 100 \% \\ &= 0,24 \% \end{aligned}$$

### Lampiran 3. Data Karakterisasi FTIR

#### a. Bottom ash (BA)

PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00  
Tuesday, April 21, 2020 11:22 AM

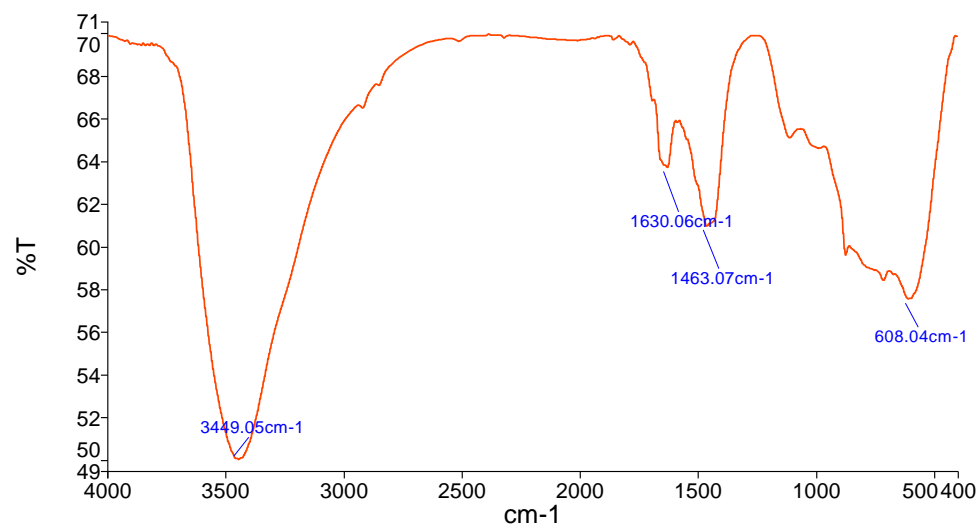
#### Report Details

Report Location C:\pel\_data\reports\Samples View 1\_ila 4\_1\_1\_1.rtf  
Report Creator labkim  
Report Date Tuesday, April 21, 2020 11:22 AM

#### Sample Details

Sample Name ila 4\_1\_1  
Sample Description BA ( Bottom ash)  
Analyst labkim  
Creation Date 4/21/2020 11:21:50 AM  
X-Axis Units cm-1  
Y-Axis Units %T

#### Spectrum



Name	Description
ila 4_1_1	BA ( Bottom ash)

#### Peak Area/Height Results

Peak	X (cm-1)	Y (%T)	Area (%T)	Start	End	Base1
1	3449.05	50	-9252.28	4000	2388.24	4000
2	1630.06	63.76	-787.71	2388.24	1579.5	2388.24
3	1463.07	61.01	-92.23	1579.5	1245.98	1579.5
4	608.04	57.57	-5959.81	1245.98	400	1245.98

b. Plastik polyethylene (BA)

PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00  
Wednesday, April 29, 2020 12:28 PM

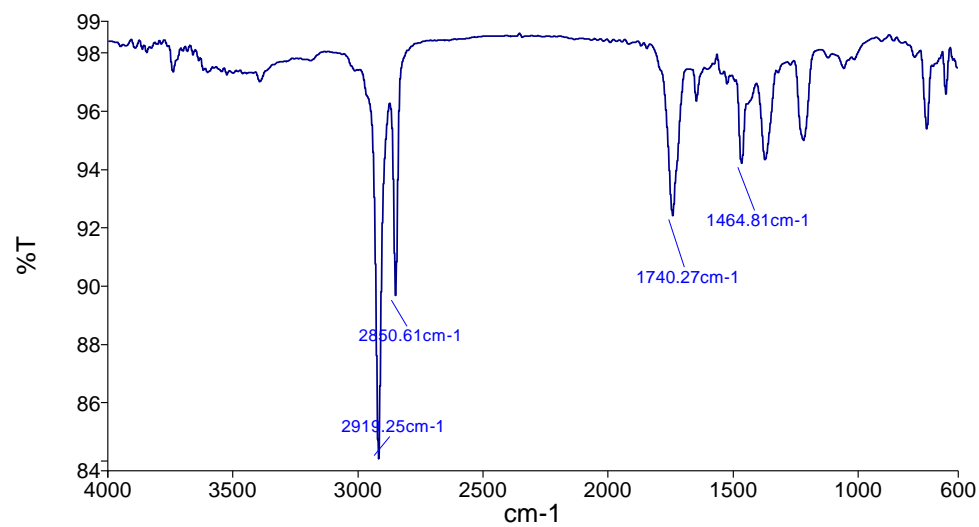
### Report Details

Report Location C:\pel\_data\reports\Samples View 1\_ila PE\_1.rtf  
Report Creator labkim  
Report Date Wednesday, April 29, 2020 12:28 PM

### Sample Details

Sample Name ila PE  
Sample Description PE  
Analyst labkim  
Creation Date 4/29/2020 12:18:24 PM  
X-Axis Units cm-1  
Y-Axis Units %T

### Spectrum



Name	Description
ila PE	PE

### Peak Area/Height Results

Peak	X (cm-1)	Y (%T)	Area (%T)	Start	End	Base1
1	2919.25	84.04	-1162.6	4000	2874.7	4000
2	2850.61	89.68	932.11	2874.7	2355.24	2874.7
3	1740.27	92.45	-645.86	2355.24	1562.44	2355.24
4	1464.81	94.24	-495.45	1562.44	872.78	1562.44



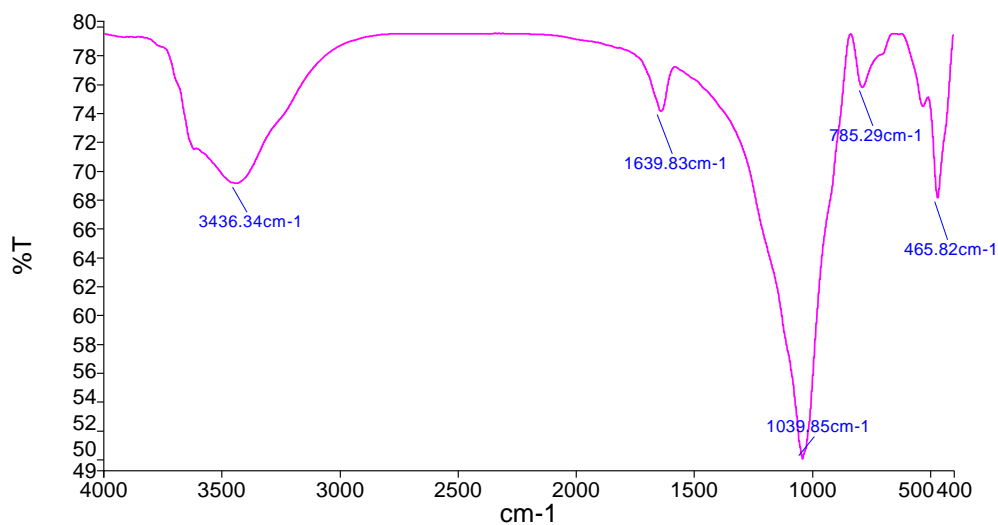
c. Pasir

PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00  
Tuesday, April 21, 2020 11:14 AM**Report Details**

Report Location C:\pel\_data\reports\Samples View 2\_ila 1 pasir\_1\_1\_1.rtf  
 Report Creator labkim  
 Report Date Tuesday, April 21, 2020 11:14 AM

**Sample Details**

Sample Name ila 1 pasir\_1\_1  
 Sample Description pasir  
 Analyst labkim  
 Creation Date 4/21/2020 10:47:09 AM  
 X-Axis Units cm-1  
 Y-Axis Units %T

**Spectrum**

Name	Description
ila 1 pasir_1_1	pasir

**Peak Area/Height Results**

Peak	X (cm-1)	Y (%T)	Area (%T)	Start	End	Base1
1	3436.34	69.22	-4619.67	4000	2344.13	4000
2	1639.83	74.25	-807.21	2344.13	1580.26	2344.13
3	1039.85	50	-6846.06	1580.26	835.61	1580.26
4	785.29	75.91	-318.52	835.61	657.77	835.61
5	465.82	68.2	-1013.26	657.77	400	657.77

## d. BA + PE

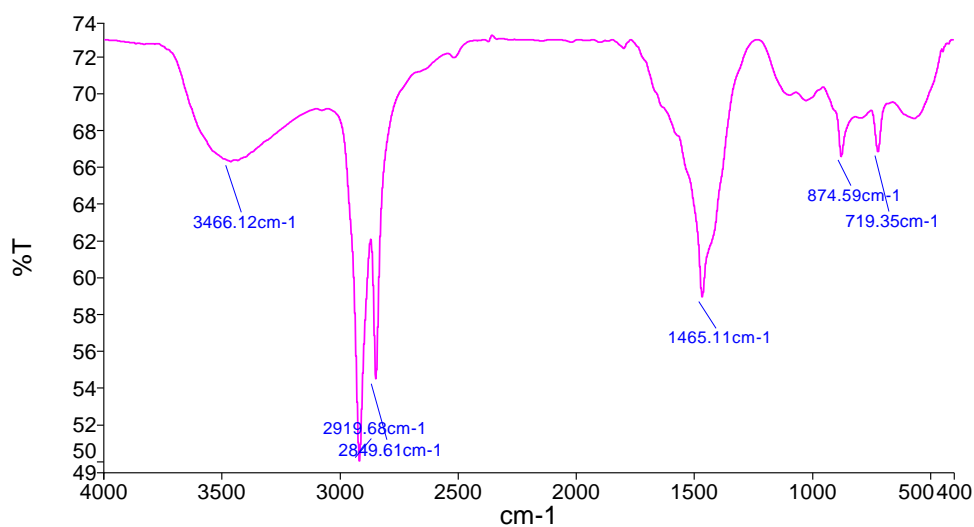
PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00  
 Tuesday, April 21, 2020 11:13 AM

**Report Details**

Report Location C:\pel\_data\reports\Samples View 3\_ila 2\_1\_1\_1.rtf  
 Report Creator labkim  
 Report Date Tuesday, April 21, 2020 11:13 AM

**Sample Details**

Sample Name ila 2\_1\_1  
 Sample Description BA+ PE  
 Analyst labkim  
 Creation Date 4/21/2020 11:00:10 AM  
 X-Axis Units cm-1  
 Y-Axis Units %T

**Spectrum**

Name	Description
ila 2_1_1	BA+ PE

**Peak Area/Height Results**

Peak	X (cm-1)	Y (%T)	Area (%T)	Start	End	Base1
1	3466.12	66.36	-3078.63	4000	3103.12	4000
2	2919.68	50	-1180.49	3103.12	2871.98	3103.12
3	2849.61	54.5	4222.9	2871.98	2357.14	2871.98
4	1465.11	58.95	-2889.97	2357.14	1230	2357.14
5	874.59	66.64	-1507.55	1230	748	1230
6	719.35	66.89	239.9	748	400	748

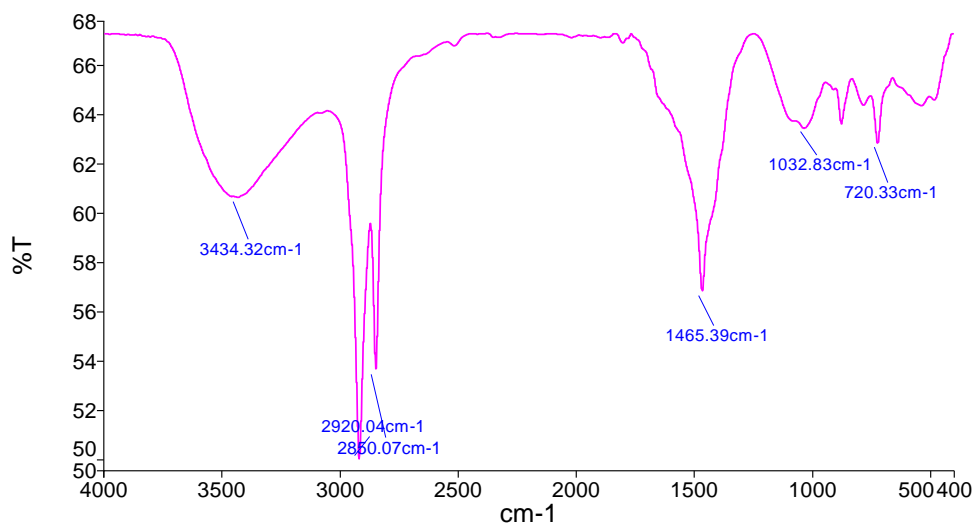
e. BA + PE + Pasir

PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00  
Tuesday, April 21, 2020 11:19 AM**Report Details**

Report Location C:\pel\_data\reports\Samples View 1\_ila 3\_1\_1\_1.rtf  
 Report Creator labkim  
 Report Date Tuesday, April 21, 2020 11:19 AM

**Sample Details**

Sample Name ila 3\_1\_1  
 Sample Description BA + PE + Pasir  
 Analyst labkim  
 Creation Date 4/21/2020 11:17:01 AM  
 X-Axis Units cm-1  
 Y-Axis Units %T

**Spectrum**

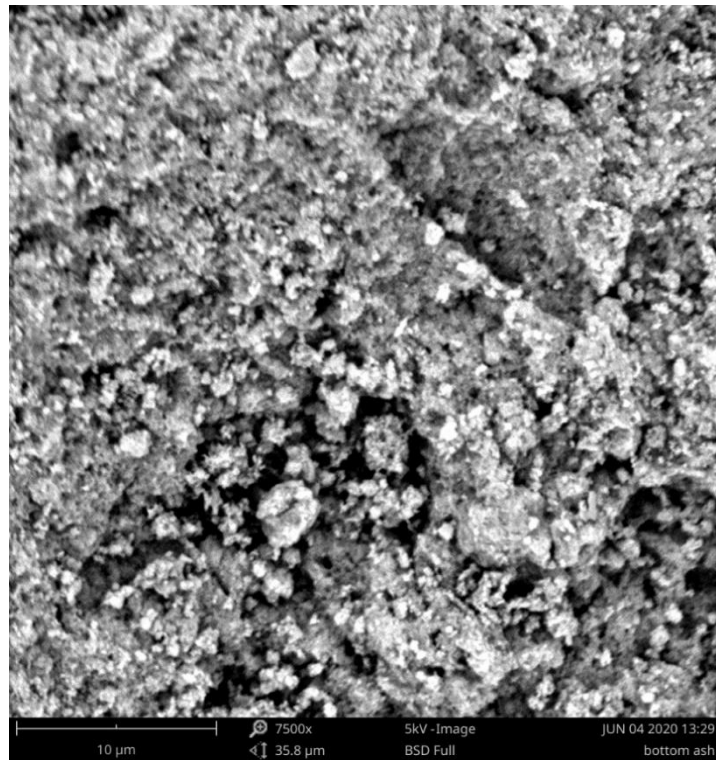
Name	Description
ila 3_1_1	BA + PE + Pasir

**Peak Area/Height Results**

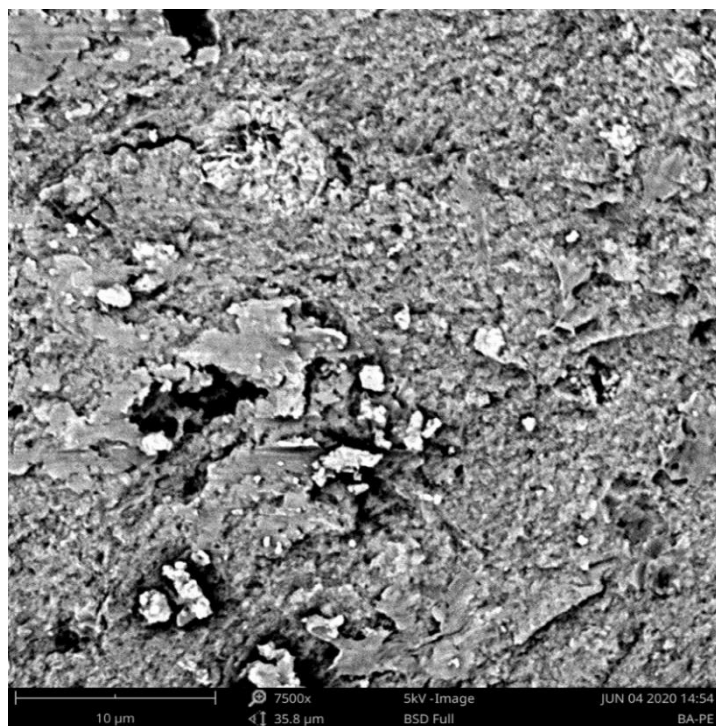
Peak	X (cm-1)	Y (%T)	Area (%T)	Start	End	Base1
1	3434.32	60.66	-3079.37	4000	3055.73	4000
2	2920.04	50	-845.26	3055.73	2872.98	3055.73
3	2850.07	53.66	2973.31	2872.98	2375.71	2872.98
4	1465.39	56.85	-1886.26	2375.71	1246.15	2375.71
5	1032.83	63.49	-1007.62	1246.15	830.16	1246.15
6	720.33	62.87	-225.1	830.16	400	830.16

#### Lampiran 4. Data SEM

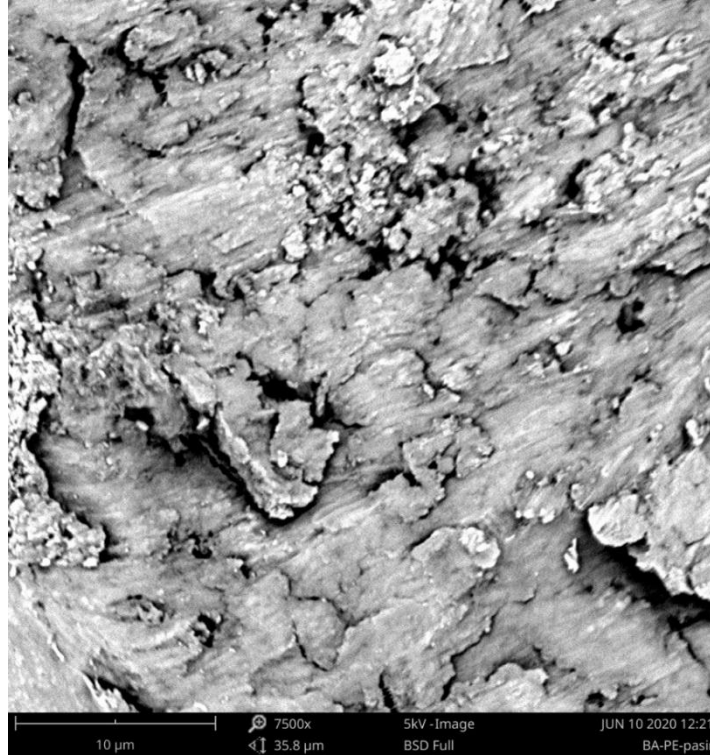
##### a. Morfologi *bottom ash*







##### b. Morfologi *paving block BA + PE*



c. Morfologi *paving block* BA + PE + Pasir



## Lampiran 5. Hasil uji TCLP

	<p>Certificate No. 03548/DBBPAF Date: February 21, 2012</p> <p><b>KAN</b> Komite Akreditasi Nasional Laboratorium Pengujian I.P. - 024 - IDN</p>	<p> <b>SUCOFINDO</b> Issuing Office: Jl. Arteri Tol Cibitung No. 1, Cibitung Bekasi 17520, Indonesia Phone/Facs: +62 21 88321176/88321166 Email: jum.cbt@sucofindo.co.id</p>
<b>REPORT OF ANALYSIS</b>		
CLIENT	:	ETERNAL BUANA CHEMICAL INDUSTRIES, PT Jl. Raya Serang KM. 14, Dukuh, Cikupa Tangerang
TYPE OF SAMPLE	:	SLUDGE
DATE RECEIVED	:	30/01/2012
DATE OF ANALYSIS	:	30/01/2012 to 21/02/2012
TESTED FOR	:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Measurement Inorganic and Organic analysis compliance with Government Regulation No.85/1999 jo Government Regulation No.18/1999 TCLP (US EPA-SW-846 Method 1311)</li> <li>• Acute Toxicity Test LD 50</li> </ul>
DESCRIPTION OF SAMPLE	:	Sample was submitted by client Packing : Unsealed plastic bag
SAMPLE IDENTIFICATION	:	Abu Incenerator
YOUR REFERENCE	:	-
The attachment available is an integral part of this certificate		
<p><small>This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at <a href="http://www.sucofindo.co.id">www.sucofindo.co.id</a></small></p> <p>Registered as Environmental Laboratory at Ministry of Environment Republic of Indonesia No. 0036/LP/J/LABLING-1/LRK/KLH</p>		
CBT.36.0291.12.30		<p><b>SBU General Services</b></p> <p><b>Rofie Firdaus Soemardi</b></p>
 1045988 SCI-2007A		

Attachment  
To Certificate No. 03548/DBBPAF  
Date: February 21, 2012



Page 1 of 2

Issuing Office:  
Jl. Arteri Tol Cibitung No. 1, Cibitung Bekasi 17520, Indonesia  
Email: jum.cbi@sucofindo.co.id

### REPORT OF ANALYSIS

Code	Parameter	Unit	Test Results	Detection Limit	Requirement **)	Methods Part Number
<i>Inorganic</i>						
D 4002	Arsenic	mg/L	< 0.003	0.003	5.0	US EPA SW-846-7061
D 4003	Barium	mg/L	0.12	0.10	100.0	US EPA SW-846-6010 B
D 4005	Boron	mg/L	0.05	0.008	500.0	US EPA SW-846-6010 B
D 4006	Cadmium	mg/L	< 0.02	0.02	1.0	US EPA SW-846-6010 B
D 4011	Chromium	mg/L	< 0.1	0.1	5.0	US EPA SW-846-6010 B
D 4012	Copper	mg/L	< 0.1	0.1	10.0	US EPA SW-846-6010 B
D 4017	Free Cyanide	mg/L	< 0.01	0.01	20.0	US EPA 335.2
D 4024	Fluoride	mg/L	< 0.02	0.02	150.0	4500-F.D *
D 4029	Lead	mg/L	< 0.09	0.09	5.0	US EPA SW-846-6010 B
D 4031	Mercury	mg/L	< 0.001	0.001	0.2	US EPA SW-846-7470
D 4035	Nitrate + Nitrite	mg/L	0.65	0.11	1000.0	4500-NO <sub>3</sub> -E / 4500-NO <sub>2</sub> -B *
D 4036	Nitrite	mg/L	< 0.03	0.03	100.0	4500-NO <sub>2</sub> -B *
D 4043	Selenium	mg/L	< 0.02	0.02	1.0	US EPA SW-846-7740
D 4044	Silver	mg/L	< 0.1	0.1	5.0	US EPA SW-846-6010 B
D 4053	Zinc	mg/L	< 0.2	0.2	50.0	US EPA SW-846-6010 B
<i>Organic</i>						
D 4001	Aldrine + Dieldrin	mg/L	< 0.001	0.001	0.07	US EPA SW-846-8081 A
D 4004	Benzene	mg/L	< 0.001	0.001	0.5	US EPA SW-846-8260 B
D 4007	Carbon Tetrachloride	mg/L	< 0.001	0.001	0.5	6232 B *
D 4008	Chlordane	mg/L	< 0.001	0.001	0.03	US EPA SW-846-8081 A
D 4009	Chlorobenzene	mg/L	< 0.001	0.001	100.0	US EPA SW-846-8260 B
D 4010	Chloroform	mg/L	< 0.001	0.001	6.0	6232 B *
D 4013	o-Cresol	mg/L	< 0.001	0.001	200.0	US EPA SW-846-8270 C
D 4014	m-Cresol	mg/L	< 0.001	0.001	200.0	US EPA SW-846-8270 C
D 4015	p-Cresol	mg/L	< 0.001	0.001	200.0	US EPA SW-846-8270 C
D 4016	Total Cresol	mg/L	< 0.001	0.001	200.0	Calculation
D 4018	2,4-D	mg/L	< 0.001	0.001	10.0	US EPA SW-846-8151 A
D 4019	1,4 Dichlorobenzene	mg/L	< 0.001	0.001	7.5	US EPA SW-846-8270 C
D 4020	1,2 Dichloroethane	mg/L	< 0.001	0.001	0.5	US EPA SW-846-5030
D 4021	1,1 Dichloroethylene	mg/L	< 0.001	0.001	0.7	6232 B *
D 4022	2,4 Dinitrotoluene	mg/L	< 0.001	0.001	0.13	US EPA SW-846-8270 C
D 4023	Endrin	mg/L	< 0.001	0.001	0.02	US EPA SW-846-8081 A
D 4025	Heptachlor + H. Epoxide	mg/L	< 0.001	0.001	0.008	US EPA SW-846-8081 A
D 4026	Hexachlorobenzene	mg/L	< 0.001	0.001	0.13	US EPA SW-846-8270 C
D 4027	Hexachlorobutadiene	mg/L	< 0.001	0.001	0.5	US EPA SW-846-8270 C
D 4028	Hexachloroethane	mg/L	< 0.001	0.001	3.0	US EPA SW-846-8270 C
D 4030	Lindane	mg/L	< 0.001	0.001	0.4	US EPA SW-846-8081 A
D 4032	Metoxychlor	mg/L	< 0.001	0.001	10.0	US EPA SW-846-8081 A
D 4033	Methyl Ethyl Kethon	mg/L	< 0.015	0.015	200.0	US EPA SW-846-8260 B
D 4034	Methyl Parathion	mg/L	< 0.001	0.001	0.7	US EPA SW-846-8270 C
D 4037	Nitrobenzene	mg/L	< 0.001	0.001	2.0	US EPA SW-846-8270 C
D 4038	Nitrotriacetic Acid	mg/L	< 0.001	0.001	5.0	US EPA SW-430.1
D 4039	Pentachlorophenol	mg/L	< 0.001	0.001	100.0	US EPA SW-846-8270 C
D 4040	Pyridine	mg/L	< 0.001	0.001	5.0	US EPA SW-846-8270 C
D 4041	Parathion	mg/L	< 0.001	0.001	3.5	US EPA SW-846-8270 C
D 4042	PCBs	mg/L	< 0.001	0.001	0.3	US EPA SW-846-8082
D 4045	Tetrachloroethylene	mg/L	< 0.001	0.001	0.7	6232 B *
D 4046	Toxaphene	mg/L	< 0.001	0.001	0.5	US EPA SW-846-8081 A
D 4047	Trichloroethylene	mg/L	< 0.001	0.001	0.5	6232 B *
D 4048	Trihalomethane	mg/L	< 0.001	0.001	35.0	6232 B *
D 4049	2,4,5 Trichlorophenol	mg/L	< 0.001	0.001	400.0	US EPA SW-846-8270 C
D 4050	2,4,6 Trichlorophenol	mg/L	< 0.001	0.001	2.0	US EPA SW-846-8270 C
D 4051	2,4,5-TP (Slivex)	mg/L	< 0.001	0.001	1.0	US EPA SW-846-8151 A
D 4052	Vinyl Chloride	mg/L	< 0.001	0.001	0.2	US EPA SW-846-8260 B

\*) Standard Methods, 21<sup>st</sup> Edition 2005, APHA-AWWA-WEF

\*\*\*) Requirement means threshold limit value of parameter in Sludge required by requirement Government Regulation No.85/1999/jo No.18/1999

< = Less than the detection limit indicated



0507348



SCI-2007P

Attachment  
To Certificate No. 03548/DBBPAF  
Date: February 21, 2012



Issuing Office:  
Phone/Fax: +62 21 88321176/88321166  
Jl. Arteri Tol Cibitung No. 1, Cibitung Bekasi 17520, Indonesia  
Email: jum.cbt@sucofindo.co.id

Page 2 of 2

### REPORT OF ANALYSIS

Client : ETERNAL BUANA CHEMICAL INDUSTRIES, PT  
Jl. Raya Serang KM.14, Dukuh, Cikupa  
Tangerang

Reference : -  
Work Order : 36 / 0291 / 01 / 2012  
Test Type : ACUTE TOXICITY TEST LD 50  
Test Initiation : February 14 to 21, 2012

**SAMPLE**  
Identification : Abu Incenerator  
Amount Received : More than 5 kgs  
Date Collected : -  
Date Received : January 30, 2012  
Solubility in Water : Suspended  
Dosage from : Suspension  
Total Dosage : 5 (five) dosage and 5 (five) control

**CONTROL**  
Medium : Aquabidest  
pH : 5.9

**TEST SPECIES INFORMATION**  
Organism : *Mus musculus*  
Source : BPLPP – Bogor  
Collect. Date / Batch : February 7, 2012  
Age : 1.0 – 1.5 months  
Conditioned on Laboratory : 7 days  
Means of Weight : 19.53 grams

**TEST CONDITION**  
Temperature : 24 – 26 °C  
Humidity : 60.0 – 69.0 %  
Noise : 57.0 – 70.0 dB  
No. Organism / Cage : 10

No	Group	LD50 (mg/kg)
1	Extremely Toxic	< 1
2	Highly Toxic	1 – 50
3	Moderately Toxic	51 – 500
4	Slightly Toxic	501 – 5,000
5	Practically Non Toxic	5,001 – 15,000
6	Relatively Harmless	> 15,000

Toxicity Test Result (Calculated by Probit Analysis) : more than 20,011.27 mg/kg BW

Conclusion :  
Based on Acute Toxicity test LD50 this sample is relatively harmless more than 15,000 mg/kg (PPRI No.74/2001)



0507349



SCI-2007P