



**PEMANFAATAN *FLY ASH* HASIL INSINERASI
PEMBAKARAN RESIN DAN LIMBAH PLASTIK
DALAM PEMBUATAN *PAVING BLOCK***

SKRIPSI

disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Kimia

Oleh

Ina Oktafianingsih

4311416006

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang

Hari : Rabu

Tanggal : 30 September 2020

Semarang, 30 September 2020

Pembimbing



Dr. Triastuti Sulistyaningsih S.Si, M.Si

NIP.197704112005012014

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan

Semarang, 30 September 2020



Ina Oktafianingsih

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "Pemanfaatan *Fly Ash* Hasil Insinerasi Pembakaran Resin dan Limbah Plastik dalam Pembuatan *Paving Block*" karya Ina Oktafianingsih NIM 4311416006 ini telah dipertahankan dalam Ujian Skripsi FMIPA Universitas Negeri Semarang pada tanggal 30 September 2020 dan disahkan oleh Panitia Ujian.

Semarang, 9 Oktober 2020



Dr. Sugianto, M.Si
NIP 196102191993031001

Panitia

Sekretaris,

Dr. Sigit Priatmoko, M.Si
NIP 196504291991031001

Penguji I,

Dr. Jumaeri, M.Si
NIP 196210051993031002

Penguji II,

Dr. Agung Tri Prasetya, S.Si, M.Si
NIP 196904041994021001

Penguji III / Pembimbing,

Dr. Triastuti Sulistyaningsih, S.Si, M.Si
NIP 197704112005012001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

“Ambilah Kebaikan Dari Apa Yang Dikatakan, Jangan Melihat Siapa Yang Mengatakannya”

Persembahan

1. Bapak dan Ibu, yang doa-doanya tak pernah putus
2. Kakak-kakak Sumarsono, Supriyanto, Sri, Ika

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu wa ta'ala Tuhan semesta alam atas limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Nabi besar Muhammad Salallahu alaihi wasalam yang dirindukan syafaatnya di yaumul qiyamah. Alhamdulillah atas berkat rahmat Allah Subhanahu wa ta'ala penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Skripsi berjudul **“Pemanfaatan *Fly ash* Hasil Insinerasi Pembakaran Resin dan Limbah Plastik Dalam Pembuatan *Paving Block*”** dapat diselesaikan dengan baik sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana sains yang telah ditetapkan oleh Jurusan Kimia di Universitas Negeri Semarang. Pada kesempatan ini perkenankanlah 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 Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Triastuti Sulistyarningsih, S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan, saran, dukungan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Dr. Jumaeri, M.Si selaku dosen penguji pertama yang telah memberikan bimbingan, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Dr. Agung Tri Prasetya, S.Si, M.Si selaku dosen penguji kedua yang telah memberikan bimbingan, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
7. Kedua orang tuaku Bapak Rahmat dan Ibu Narsi serta kakak-kakak saya Sumar, Supri, Sri, Ika yang telah memberikan kasih sayang, motivasi

dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik

8. Ardian Nur Widyadmoko Amd, Pel. yang telah memberikan cinta, kasih sayang, motivasi, dorongan, serta dukungan materiil dan imateriil sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
9. Sahabatku Meyta Rahmatika, Angrila Siti Wulandari dan Fadhilatul Rohma yang telah senantiasa menemani penulis selama masa studi.
10. Teman di Laboratorium Fadhilatul Rohma yang telah senantiasa menemani penulis selama masa studi dan penelitian.
11. Teman-temanku di Grup Asisten Kimia Fisik yang telah memberikan motivasi dan dorongan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
12. Teman-teman mahasiswa Kimia angkatan 2016 yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik sebagai sumber informasi maupun sumber inspirasi bagi para pembaca.

Semarang, 30 September 2020

Penulis,

Ina Oktafianingsih

ABSTRAK

Oktafianingsih, Ina. (2020). *Pemanfaatan Fly Ash Hasil Insinerasi Pembakaran Resin dan Limbah Plastik Dalam Pembuatan Paving Block*. Skripsi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Dr. Triastuti Sulistyyaningsih S.Si, M.Si

Kata kunci : *Insinerator Fly Ash, Paving Block, Karakteristik*

Insinerator fly ash merupakan produk utama dari proses insinerasi yang mengandung kontaminan logam berat yang mencemari lingkungan. Sesuai standar SNI, salah satu *insinerator fly ash* digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan *paving block* dan memiliki material yang tinggi. Penelitian ini mengkaji pembuatan *paving block* dari *insinerator fly ash* PT *Eternal Buana Chemical Industries*, dengan penambahan pasir sebagai agregat, dan plastik *polyethelene* sebagai perekat. Benda uji berupa balok dengan ukuran 20 x 10 x 6 cm. Pembuatan *paving block* dimulai dari persiapan bahan, proses pengadukan, pengepresan, dan inkubasi. Hasil *paving block* dilakukan pemeriksaan kuat tekan, absorpsi udara, kehilangan natrium sulfat, dan morfologi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan baku *insinerator fly ash* dapat meningkatkan kuat tekan *paving block* mengikuti standar SNI-03-0691-1996. Pada penelitian ini kuat tekan optimum *paving block* tanpa agregat pasir pada 28 hari adalah 26,49 MPa dan *paving block* dengan penambahan pasir sebesar 25,15 MPa. Daya serap air pada *paving block* tanpa agregat pasir 0,45%, dan *paving block* dengan agregat pasir 0,56%. Uji natrium sulfat untuk *paving block* tanpa agregat pasir kehilangan bobot 0,27%, dan dengan agregat pasir 0,39%. Hasil FTIR menunjukkan pita serapan pada 1090 dan 1029 cm^{-1} yang disebabkan oleh getaran Si-O-Si atau Si-O-Al, dan pita serapan pada 1644 dan 1641 cm^{-1} menunjukkan ikatan C = C yang dapat meningkatkan nilai karakteristik yang tinggi. Analisis morfologi permukaan menggunakan SEM pada sampel *paving block* dengan agregat pasir menunjukkan hasil yang lebih halus dan homogen dibandingkan dengan *paving block* tanpa agregat pasir.

ABSTRACT

Oktafianingsih, Ina. 2020. *Utilization of Fly Ash from Incineration of Resin Burning and Plastic Waste in Making Paving Blocks*. Thesis, Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Semarang. Main Advisor Dr. Triastuti Sulistyaningsih S.Si, M.Si

Keywords: Fly Ash Incenerator, Paving Block, Characteristics

Incinerator fly ash is the main product from the incineration process, which contains heavy metal contaminants that pollute the environment. According to SNI standards, one of the fly ash incinerators uses as a raw material in the making paving blocks and has high material. This study examines the manufacture of paving locks from PT Eternal Buana Chemical Industries fly ash incinerator, with the addition of sand as an aggregate, and polyethylene plastic as an adhesive. The test object is in the form of blocks with a size of 20 x 10 x 6 cm. Making paving blocks starts with the preparation of materials, the process of stirring, pressing, and incubating. The paving blocks result were investigated compressive strength, air absorption, sodium sulfate loss, and morphology. The results showed that the fly ash incinerator's raw material could increase paving blocks' compressive strength following SNI-03-0691-1996 standards. In this study, the optimum compressive strength of paving blocks without sand aggregates at 28 days is 26.49 MPa and paving blocks with the addition of 25.15 MPa of sand. Water absorption in paving blocks without sand aggregate is 0.45%, and paving blocks with sand aggregate are 0.56%. The sodium sulfate test for paving block without sand aggregate lost weight 0.27%, and with sand aggregate is 0.39%. The results of the FTIR showed absorption bands at 1090 and 1029 cm^{-1} , which are caused Si-O-Si or Si-O-Al vibrations, and absorption bands at 1644 and 1641 cm^{-1} showed C=C bonds, which could enhance high values of characteristic. Surface morphological analysis using SEM on paving block samples with sand aggregate showed more smoothly and more homogeneous than paving blocks without sand aggregate.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Insinerator Fly Ash</i>	5
2.2 Proses <i>Insinerator Fly Ash</i>	7
2.3 Pasir.....	9
2.4 <i>Paving block</i>	10
2.5 Kegunaan dan Keuntungan <i>Paving block</i>	11
2.6 Klasifikasi <i>Paving block</i>	12
2.7 Plastik.....	14
2.8 Sifat Plastik	15
2.9 Plastik PE (<i>PolyEthelene</i>)	16
2.10Kuat Tekan	17
2.11Penyerapan Air	18
2.12Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat.....	19

2.13 Uji XRF	20
2.14 Uji SEM	22
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Lokasi Penelitian	25
3.2 Variabel Penelitian	25
3.3 Alat dan Bahan	26
3.4 Prosedur Kerja	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Preparasi	31
4.1.1 Preparasi dan Karakterisasi Bahan Awal	31
4.1.2 Preparasi Bahan	32
4.2 Pembuatan <i>Paving block</i>	32
4.2.1 Komposisi <i>Paving block</i>	32
4.3 Uji <i>Paving block</i>	34
4.3.1 Uji Kuat Tekan	34
4.3.2 Uji Penyerapan Air	35
4.3.3 Uji Natrium Sulfat	38
4.3.3 Karakterisasi FTIR	38
BAB IV PENUTUP	46
5.1 Simpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses <i>Insinerasi Fly Ash</i>	8
Gambar 2.2 Bentuk-bentuk <i>Paving block</i>	13
Gambar 2.3 Prinsip Fluoresensi Sinar X	21
Gambar 2.3 Prinsip SEM	24
Gambar 4.1 Insenerator <i>Fly ash</i> PT EBCI (a) Sebelum dan (b) Setelah dipreparasi	32
Gambar 4.2 Alat Uji Kuat Tekan	35
Gambar 4.3 Diagram Kuat Tekan <i>Paving block</i> dengan Agregat Pasir dan Tanpa Agregat Pasir	36
Gambar 4.4 <i>Paving block</i> direndam Air 24 Jam dan (b) dikeringkan di oven 24 jam (b)	37
Gambar 4.5 Diagram Penyerapan Air <i>Paving block</i> dengan dan Tanpa Agregat Pasir	38
Gambar 4.5 Diagram Uji Natrium Sulfat <i>Paving block</i> dengan dan Tanpa Agregat Pasir	40
Gambar 4.7 Spektra FTIR <i>Insinerator Fly Ash</i> , PE, pasir, <i>paving block</i> dengan dan Tanpa Agregat Pasir	42
Gambar 4.8 Hasil SEM	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Kimia Dalam <i>Insinerator Fly Ash</i> RSUD Dr. Zainoel Abiding.....	5
Tabel 3.1 Komposisi <i>Paving block</i>	27
Tabel 4.1 Komposisi Kimia <i>Insinerator Fly Ash</i> PT EBCI dengan XRF	33
Tabel 4.2 Komposisi <i>Paving block</i>	33
Tabel 4.3 Hasil Trial Penelitian	34
Tabel 4.4 Hasil Analisis Kuat Tekan <i>Paving block</i> dengan dan tanpa Agregat Pasir	35
Tabel 4.5 Hasil Analisis Penyerapan Air <i>Paving block</i> dengan dan tanpa Agregat Pasir	38
Tabel 4.6 Hasil Analisis Uji Natrium Sulfat <i>Paving block</i> dengan dan tanpa Agregat Pasir	40
Tabel 4.7 Hasil Analisis FTIR	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja Penelitian	51
Lampiran 2. Karakterisasi Bahan Awal dan <i>Paving block</i>	52
Lampiran 3. Pengujian <i>Paving block</i>	52
Lampiran 4. Perhitungan Bahan yang diperlukan.....	53
Lampiran 5. Hasil Nilai Uji Kuat Tekan, Penyerapan Air, Natrium Sulfat	54
Lampiran 6. Hasil Uji <i>Insinerator Fly Ash</i> dengan XRF	57
Lampiran 7. Data Spektra FTIR	58
Lampiran 7. Dokumentasi.....	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Insinerasi merupakan salah satu teknologi yang kompetitif untuk pembuangan limbah industri, karena mampu mengefisiensi volume limbah, mensterilisasi dan mendetoksifikasi limbah industri menggunakan proses pembakaran menggunakan suhu tinggi. Saat ini, insinerasi telah terbukti menjadi teknologi yang paling efisien untuk pengolahan limbah industri pada negara maju (Pan *et al.*, 2013). Residu padat yang dihasilkan pada proses insenerasi yaitu *bottom ash* dan *fly ash*. *Insinerator fly ash* (IFA) hasil insenerasi perlu diolah atau dimanfaatkan agar tidak mengganggu lingkungan, mengingat IFA tersebut jumlahnya meningkat setiap harinya. IFA dapat mengakibatkan dampak lingkungan yang cukup membahayakan terutama polusi udara terhadap kehidupan sekitarnya. Hasil pembakaran dengan *insinerator* dapat menghasilkan emisi dan abu pembakaran yang mengandung kontaminan logam berat yang dapat mencemari lingkungan. Upaya untuk meminimalkan pencemaran lingkungan akibat IFA dengan memanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan *paving block*.

Berdasarkan SNI 03-0691-1989, *paving block* adalah 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 *paving block* tersebut. Pembuatan *paving block* umumnya dibuat secara manual (konvensional) dan mekanis. Metode mekanis biasanya menggunakan mesin pencetak *paving block* dengan skala produksi besar, sedangkan untuk metode konvensional, menggunakan alat sederhana dengan bantuan tenaga manusia dalam proses pembuatannya. *Paving block* mempunyai banyak kelebihan baik dari segi pembuatan yang tidak memerlukan alat berat, dapat diproduksi secara massal, ketahanan beban statis maupun dinamik dan pemasangan yang dapat dibongkar

kembali (Sebayang *et al.*, 2011). Keunggulan lainnya dari *paving block* adalah daya serap air yang baik sehingga dapat menjaga ketersediaan air tanah yang dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Beberapa penelitian tentang pemanfaatan IFA sebagai agregat dalam pembuatan *paving block* diantaranya, Anamul *et al.*, (2012) menemukan bahwa IFA dapat dimanfaatkan kembali menjadi bahan konstruksi bangunan sebagai agregat halus dan dapat digunakan dalam pembuatan mortar atau beton ringan seperti untuk *paving block* atau keramik dinding. Selain itu IFA dapat digunakan sebagai bahan geopolymer. Elinwa *et al.*, (2016) menguji penggantian 10% semen dengan IFA untuk menghasilkan beton yang dapat diklasifikasikan sebagai beton normal, namun sebanding dengan penambahan IFA maka kuat tekan beton semakin menurun. Demikian pula dengan hasil yang diperoleh Singh *et al.*, (2016) yang menggunakan IFA sebagai bahan pengganti semen dalam pembuatan beton. Penggantian 10% semen dengan IFA menghasilkan beton dengan ketahanan yang sama seperti beton normal dan penggunaan 7,5% uji tekan beton diatas beton normal. Anastasiadou *et al.*, (2012) mengevaluasi sifat mekanis IFA dalam jumlah bervariasi dengan semen jenis OPC sebagai pengikat. Hasilnya menunjukkan bahwa kuat tekan beton menurun sebanding dengan penurunan persentase semen yang digunakan. Agamuthu *et al.*, (2009) mempelajari solidifikasi atau stabilisasi IFA dengan tiga jenis semen OPC, MSC dan GGBS sebagai bahan pengikat, ditambahkan karbon aktif dan sekam padi sebagai bahan aditif. Dari hasil penelitian diketahui bahwa semua tipe semen dan penambahan aditif mampu mengikat logam berat dalam IFA.

Secara umum karakterisasi kimia dan fisik IFA tergantung pada komposisi abu dan jenis *insinerator*. Komposisi kimia IFA menunjukkan bahwa unsur utama adalah Si, Al, Mg, Fe, Ca, K, Na, Cl (Lam, *et al.*, 2010). Komposisi utama dalam IFA SiO₂ sebesar 16,2%, Al₂O₃ sebesar 6,47%, Fe₂O₃ sebesar 0,93% dan CaO sebesar 15,36% yang dapat digunakan dalam campuran bahan bangunan (Khairuna *et al.*, 2017).

Penelitian ini memanfaatkan IFA hasil insenerasi resin pada PT *Eternal Buana Chemical Industries* (EBCI). Berdasarkan hasil uji TCLP (2012), IFA hasil pembakaran resin pada PT EBCI mengandung logam berat berbahaya yaitu Zn, Ag, Cu, Cr, Ba. Logam berat ini dikategorikan sebagai pencemar lingkungan karena efek beracun pada manusia. Logam berat memiliki sifat yang tidak dapat dihancurkan (*nondegradable*) oleh organisme hidup yang ada di lingkungan. IFA PT EBCI digunakan dalam pembuatan *paving block* sesuai standart SNI, yaitu dengan menambahkan plastik *poliethelene* sebagai perekat dan pasir sebagai agregat. *Paving block* sesuai standart SNI-03-0691-1989 memiliki karakteristik meliputi nilai uji kuat tekan yang tinggi, nilai uji penyerapan air yang rendah dan nilai uji kehilangan natrium sulfat yang rendah. Dalam penelitian ini dilakukan uji *paving block* dengan umur pengeraman tertentu untuk mengetahui sifat fisik dan sifat kimia *paving block*. Sifat kimia *paving block* dapat diketahui dari uji natrium sulfat dan ikatan yang terjadi dalam *paving block*. Sifat fisik *paving block* dapat diketahui melalui uji kuat tekan dan penyerapan air pada *paving block*

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang di atas, diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat kimia dan sifat fisik *paving block* yang berkomposisi IFA, plastik *polyethylene*, dan pasir dengan rasio massa yang berbeda?
2. Bagaimana pengaruh umur pengeraman *paving block* yang berkomposisi IFA, plastik *polyethylene*, dan pasir dengan rasio massa yang berbeda?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui sifat kimia dan sifat fisik *paving block* yang berkomposisi IFA, plastik *polyethylene*, dan pasir dengan rasio massa yang berbeda.

2. Mengetahui pengaruh umur pengeraman *paving block* yang IFA, plastik *polyethylene*, dan pasir dengan rasio massa yang berbeda.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi peneliti, lembaga dan pemerintah yaitu:

1. Manfaat bagi peneliti
 - a. Menambah wawasan dan pengetahuan tentang manfaat IFA dan limbah plastik untuk pembuatan *paving block* yang memiliki nilai ekonomis
 - b. Menambah pengalaman tentang cara karakterisasi, serta aplikasi IFA dan limbah plastik untuk pembuatan *paving block*
2. Manfaat bagi lembaga
 - a. Bahan pustaka di lingkungan Universitas Negeri Semarang khususnya di Program studi Kimia.
 - b. Referensi metode mudah, murah, dan selektivitas tinggi dalam pemanfaatan IFA dan limbah plastik
3. Manfaat bagi pemerintah
 - a. Memberikan inovasi suatu IFA dan limbah plastik dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya
 - b. Mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan akibat IFA yang dihasilkan dari suatu industri

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Insinerator Fly Ash*

Insinerator merupakan tungku pembakaran untuk mengolah limbah padat, yang mengkonversi materi padat (sampah) menjadi materi gas, dan abu, (*bottom ash* dan *fly ash*). Insinerasi merupakan proses pengolahan limbah padat dengan cara pembakaran pada temperatur lebih dari 800°C untuk mereduksi sampah mudah terbakar (*combustible*) yang sudah tidak dapat didaur ulang lagi, membunuh bakteri, virus, dan kimia toksik (Agustiar *et al.*, 2019)

Insinerator fly ash (IFA) merupakan limbah padat B3 yang dihasilkan pada proses insenerasi yang mengandung kontaminan logam berat yang dapat mencemari lingkungan. Proses *insinerator* menggunakan suhu tertentu sehingga limbah padat berubah menjadi abu. Sifat IFA dibedakan menjadi dua yaitu sifat fisika yang meliputi ukuran partikel, kadar air, porositas, permeabilitas. Sifat kimia IFA meliputi komposisi kimiawi, kandungan klorida, kandungan logam berat (Lam *et al.*, 2010). Kandungan IFA sebagian besar terdiri dari oksida-oksida meliputi SiO₂ sebesar 18,8 %, Al₂O₃ sebesar 12,7% , Fe₂O₃ sebesar 1,6%, CaO sebesar 24,3 %, MgO sebesar 2,6, K₂O sebesar 4,3%, Na₂O sebesar 5,8%, SO₃ sebesar 6,4% (Lam, *et al.*, 2010). Tabel 2.1 merupakan kandungan kimia dalam IFA pada penelitian Wilda (2017). IFA berasal dari RSUD Dr. Zainoel abiding

Tabel 2.1 Kandungan Kimia Dalam IFA RSUD Dr. Zainoel Abiding

No	Jenis Unsur Oksida	Persentase (%)
1	SiO ₂	16,21
2	Al ₂ O ₃	6,47
3	CaO	0,93
4	MgO	15,36
5	Na ₂ O	1,91
6	K ₂ O	1,12

IFA adalah material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran *insinerator* (Wardani, 2011). Penumpukan IFA pada pabrik dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan. Hal ini yang menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan, karena IFA hasil dari tempat pembakaran dibuang sebagai timbunan. IFA ini terdapat dalam jumlah yang cukup besar, sehingga memerlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, atau perairan, dan penurunan kualitas ekosistem (Wardani, 2011).

Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 101 Tahun 2014 menyebutkan IFA merupakan limbah B3. IFA produk sampingan dari proses insenerasi industri, yang dapat menyebabkan masalah lingkungan. Di Turki, produksi IFA sekitar 18 juta ton pertahun, di India kira-kira 80 juta ton *insinerator fly ash* dihasilkan setiap tahun. Mengingat jumlah limbah IFA yang sangat besar, maka perlu dilakukan pengelolaan agar tidak mencemari lingkungan. Salah satu penanganan lingkungan yang dapat diterapkan untuk limbah batu bara atau limbah industri ini adalah dengan mengoptimalkan potensinya, salah satunya sebagai komposisi pembuatan *paving block* (Xue *et al.*, 2013)

Menurut ASTM C-618 IFA didefinisikan sebagai butiran halus hasil sisa pembakaran *insinerator* di industri yang digiling halus. Bahan ini berwarna abu-abu dan butirannya berbentuk bulat dan bersifat *pozzolanic* yaitu bila terkena air akan mengeras. Di beberapa Negara maju, IFA telah banyak digunakan sebagai campuran *paving block*. Keuntungan-keuntungan IFA sebagai komposisi pembuatan *paving block* diantaranya dapat menghemat biaya dalam pengerjaan karena IFA sudah tersedia dengan massa yang diperlukan, dapat menggantikan penggunaan material penyusun utamanya yaitu semen, menambah kuat tekan *paving block* dan mengurangi penyerapan air pada *paving block*

2.2 Proses *Insinerator Fly Ash*

Pada plant insinerasi ada 4 kategori proses yaitu :

a. Proses *pre-treatment*

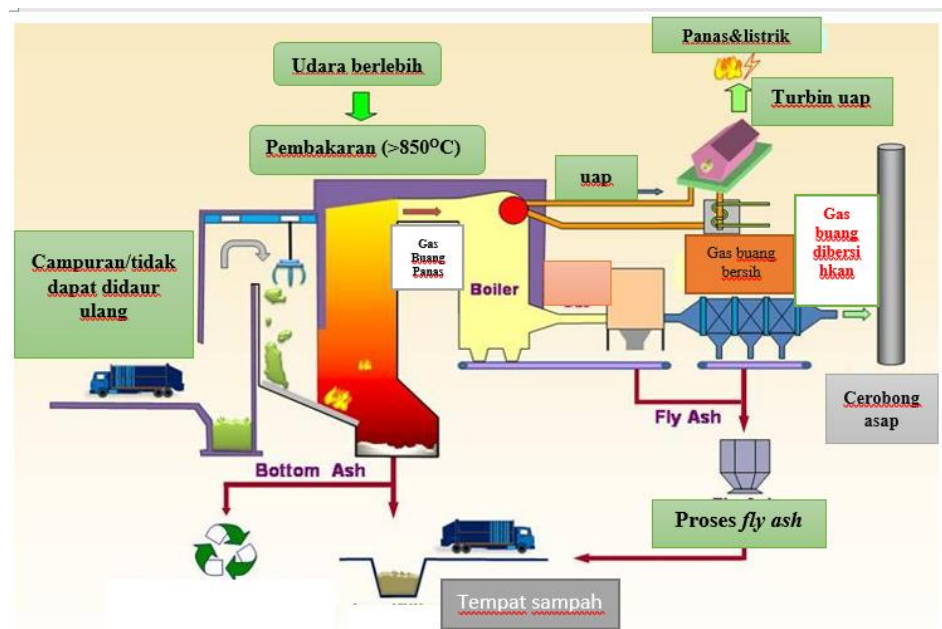
- b. Proses pembakaran
- c. Proses *recovery energy*
- d. Proses penanganan *flue gas* (APC system)

Proses *pre-treatment* merupakan proses yang meliputi kegiatan penyortiran dan homogenisasi. Perlu tidaknya proses *pre-treatment* limbah sebelum masuk *insinerator*, tergantung pada kualitas limbah dan sistem *insinerator*nya. Penyortiran berfungsi untuk meningkatkan nilai kalori limbah sebelum masuk ke *insinerator*. Kebutuhan penyortiran untuk masing-masing sistem *insinerator* berbeda-beda. Untuk tipe *movable grate incinerator*, limbah dapat dibakar tanpa melalui proses penyortiran. Berbeda dengan *fluidized bed incinerator* yang membutuhkan proses penyortiran limbah sebelum masuk *insinerator*. Kegiatan homogenisasi bisa berupa pencampuran limbah (*mixing*) ataupun pencabikan limbah (*shredding*). Pencampuran limbah dilakukan untuk mengontrol masukan energi dan proses insinerasi. Sedangkan pencabikan sampah dilakukan untuk menangani sampah jenis *bulky waste* yang berjumlah besar. Pencabikan limbah merupakan persyaratan minimal untuk *fluidized bed incinerator*.

Proses pembakaran limbah, ada beberapa sistem *insinerator* yang digunakan, diantaranya adalah *moving grate incinerator*, *rotary kiln incinerator* dan *fluidized bed incinerator*. Di antara ketiga sistem *insinerator* tersebut, yang paling banyak digunakan untuk proses insinerasi limbah adalah *moving grate incinerator*.

Proses *energy recovery* merupakan proses pengolahan limbah pada suhu tinggi (di atas 850 °C) pasti akan menghasilkan energi panas. Energi ini akan terbawa keluar oleh *flue gas*. Sebelum *flue gas* masuk ke APC system, suhu *flue gas* harus diturunkan terlebih dahulu dengan menggunakan boiler. Melalui boiler ini, proses *energy recovery* dilakukan. Hasil *energy recovery* tersebut dapat dimanfaatkan sebagai *heat*, *power*, *steam*, gabungan dari steam dan power ataupun gabungan dari *heat dan power*. Setelah pemanfaatan akhir dari proses pemulihan energi ditentukan, barulah menentukan spesifikasi boiler yang layak untuk *energy recovery* tersebut. Setiap sistem *energy recovery* memiliki efisiensi yang berbeda-beda.

Proses penanganan *flue gas* (APC System) merupakan proses insinerasi sampah yang dapat menimbulkan permasalahan kesehatan akibat *flue gas* yang dikeluarkannya. Hal ini karena di dalam *flue gas* terdapat a) *fly ash* yang terdiri dari partikel-partikel yang ikut aliran gas, b) asam dan asam prekursor seperti sulfur dioksida, nitrogen oksida, asam klorida, untuk mengurangi emisi yang ditimbulkan oleh *flue gas* maka harus ada sistem pengendalian polusi udara atau yang lebih dikenal dengan *Air Pollution Control system* (APC system). Pada setiap jenis komponen pada *flue gas* harus ada teknologi penanganannya. Gambar 2.1 merupakan proses insinerasi limbah industri dikota.



Gambar 2.1 Proses *Insinerator Fly Ash* (Lam et al., 2010).

Moving grate insinerator dapat mengakomodasi variasi yang besar dalam komposisi dan nilai kalor limbah serta tungku dapat dibangun hingga kapasitas 1.200 ton/hari. Dalam meningkatkan proses pembakaran, peran prinsip 3T (*temperature, turbulence, time*) sangat penting. *Temperatur*, turbulensi dan waktu memiliki perbandingan lurus terhadap pembakaran. Semakin tinggi *temperatur*, semakin meningkatnya turbulensi dan semakin lamanya waktu tinggal *flue gas* dan limbah maka proses pembakaran juga akan meningkat. Untuk *insinerator* tipe *grate*,

ketentuan yang berhubungan dengan prinsip 3T adalah waktu tinggal limbah dalam grateinsinerasi kurang dari 60 menit, waktu tinggal gas lebih dari 2 detik dan suhu gasnya lebih dari 850 °C. Selama proses pembakaran, persediaan udara harus cukup agar proses pembakaran sampah berlangsung secara sempurna (Lam *et al.*, 2010).

2.3 Pasir

Pasir merupakan material alam yang sering digunakan untuk bahan campuran dasar dalam proses pembautan bahan bangunan. Butiran pasir umumnya berukuran antara 0,0625 sampai 2 milimeter. Pasir merupakan butiran-butiran mineral keras yang bentuknya mendekati bulat, tajam dan bersifat kekal (SNI 03-1750-1990). Pasir adalah salah satu dari bahan campuran beton yang diklasifikasikan sebagai agregat halus, agregat halus digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran *paving block* sehingga dapat meningkatkan kekuatan, mengurangi penyusutan dan mengurangi pemakaian bahan pengikat atau semen. Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan no.8 (2,38 mm) dan tertahan pada saringan no.200 (0,075 mm). Pasir merupakan bahan tambahan yang tidak bekerja secara aktif dalam proses pengerasan, tetapi kualitas pasir sangat berpengaruh pada *paving block*. Mutu dari agregat halus ini sangat menentukan mutu *paving block* yang dihasilkan. Menurut SNI 03-1750-1990 untuk menghasilkan *paving block* yang baik, agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari atau hujan.
2. Susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 1,50-3,80.
3. Kadar zat organik ditentukan dengan larutan natrium hidroksida 3 %, jika dibandingkan dengan warna standar atau pembanding, tidak lebih tua daripada warna standar (Rahman, 2012).

2.4 *Paving block*

Paving block mulai dikenal dan dipakai di Indonesia terhitung sejak tahun 1977-1978. *Paving block* sendiri mempunyai beberapa variasi bentuk untuk memenuhi kebutuhan yang diperlukan. Penggunaan *paving block* ini disesuaikan dengan tingkat kebutuhan, misalnya dapat digunakan sebagai tempat parkir, terminal, jalan setapak dan juga perkerasan jalan di kompleks-kompleks perumahan serta untuk keperluan lainnya. *Paving block* merupakan produk bahan bangunan dari semen yang digunakan sebagai salah satu alternatif penutup atau pengerasan permukaan tanah. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 *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 lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton. Sebagai bahan penutup dan pengerasan permukaan tanah, *paving block* sangat luas penggunaannya untuk berbagai keperluan, mulai dari keperluan yang sederhana sampai penggunaan yang memerlukan spesifikasi khusus. *Paving block* dapat digunakan untuk pengerasan dan memperindah trotoar jalan di kota-kota, pengerasan jalan di komplek perumahan atau kawasan pemukiman, memperindah taman, pekarangan dan halaman rumah, pengerasan area parkir, area perkantoran, pabrik, taman dan halaman sekolah, serta di kawasan hotel dan restoran. *Paving block* dengan kualitas baik adalah *paving block* yang mempunyai nilai kuat desak tinggi (satuan MPa), serta nilai adsorpsi (persentase serapan air) yang rendah (%). Semakin tinggi nilai kuat tekan maka *paving block* semakin bagus. Sedangkan untuk persentase serapan air (absorpsi), semakin rendah nilai absorpsinya, produk *paving block* semakin kuat. Secara umum *paving block* dibuat dari semen portland dan agregat halus maupun kasar. Namun sekarang banyak penelitian telah menemukan alternatif material pengganti pada pembuatan *paving block*, yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas dari *paving*, mengurangi biaya material, dan mencegah kerusakan lingkungan. Sekarang banyak percobaan dikembangkan pembuatan *paving block* memakai *insinerator fly ash* (IFA) yang masih sangat jarang dimanfaatkan

dalam dunia konstruksi sebagai bahan pengganti. Ini disebabkan oleh ukuran partikel *insinerator fly ash* yang halus menutup pori dan mengurangi penyerapan air (Naganathan *et al.*, 2015)

2.5 Kegunaan dan Keuntungan *Paving block*

Paving block mempunyai banyak kegunaan diantaranya sebagai terminal bis, parkir mobil, pejalan kaki, taman kota, dan tempat bermain. Penggunaan *paving block* memiliki beberapa keuntungan, antara lain :

1. Dapat diproduksi secara massal.
2. Dapat diaplikasikan pada pembangunan jalan dengan tanpa memerlukan keahlian khusus
3. *Paving block* lebih mudah dihamparkan dan langsung bisa digunakan tanpa harus menunggu pengerasan seperti pada beton.
4. Tidak menimbulkan kebisingan dan gangguan debu pada saat pengerjaannya.
5. *Paving block* menghasilkan sampah konstruksi lebih sedikit dibandingkan penggunaan pelat beton.
6. Adanya pori-pori pada *paving block* meminimalisasi aliran permukaan dan memperbanyak infiltrasi dalam tanah.
7. Pemeliharaan mudah dan murah, karena dapat dipasang kembali setelah dibongkar jika terjadi kerusakan di salah satu *paving block* yang rusak. Perbandingan harganya lebih rendah dibanding dengan jenis perkerasan konvensional yang lain.
8. Pemasangannya cukup mudah dan biaya perawatannya pun murah.

Syarat mutu *paving block* Menurut (SNI-03-0691-1996), syarat mutu *paving block* sebagai berikut :

1. Sifat tampak

Paving block harus memiliki permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan.

2. Ukuran *paving block* mempunyai ukuran tebal minimal 60 mm dan maksimal 100 mm dengan toleransi 8%
3. Sifat fisika *paving block* apabila diuji tidak boleh cacat, dan kehilangan berat yang diperkenankan maksimal 1%. Tabel 2.2 merupakan sifat fisik dari *paving block*, karena disetiap kegunaan *paving block* memiliki standar kekuatan fisik yang berbeda.

Tabel 2.2 Kekuatan Fisik *Paving block* (SNI 03-0691-1996)

Mutu	Kegunaan	Kuat Tekan (Mpa)		Penyerapan Air (%)	Ketahanan Aus (mm/menit)	
		Rata-rata	Min		Rata-rata	Min
A	Perkerasan Jalan	40	35	3	0,0090	0,103
B	Tempat Parkir Mobil	20	17	6	0,1300	1,149
C	Pejalan Kaki	13	12,5	8	0,1600	1,184
D	Taman Kota	10	8,5	10	0,2190	0,251

2.6 Klasifikasi *Paving block*

Berdasarkan SK SNI T-04-1990-F, klasifikasi *paving block* didasarkan atas bentuk, tebal, kekuatan, dan warna. Klasifikasi tersebut antara lain:

1. Klasifikasi berdasarkan bentuk

Bentuk *paving block* secara garis besar terbagi atas dua macam, yaitu : *paving block* bentuk segi empat dan *paving block* bentuk segi banyak. Gambar 2.2 merupakan bentuk-bentuk dari *paving block*



Gambar 2.2 Bentuk-bentuk *Paving block* (Widodo, 2018)

Dalam hal pemakaian dari bentuk *paving block* dapat disesuaikan dengan keperluan. Baik keperluan konstruksi perkerasan pada jalan dengan lalu lintas sedang sampai berat (misalnya: jalan raya, kawasan industri, jalan umum lainnya) (Artiyani, 2010)

2. Klasifikasi Berdasarkan Ketebalan

Ketebalan *paving block* ada tiga macam, yaitu :

- a. *Paving block* dengan ketebalan 60 mm, diperuntukkan bagi beban lalu lintas ringan yang frekuensinya terbatas pada pejalan kaki
- b. *Paving block* dengan ketebalan 80 mm, diperuntukkan bagi beban lalu lintas sedang yang frekuensinya terbatas pada pick up, truck, dan bus.
- c. *Paving block* dengan ketebalan 100 mm, diperuntukkan bagi beban lalu lintas berat seperti: *crane*, *loader*, dan alat berat lainnya. *Paving block* dengan ketebalan 100 mm ini sering dipergunakan di kawasan industri dan pelabuhan (Artiyani, 2010)

3. Klasifikasi Berdasarkan Kekuatan

Paving block ini memiliki kekuatan berkisar antara 250 kg/cm² sampai 450 kg/cm² bergantung dari bahan dan agregat yang digunakan. Pada umumnya *paving block* yang sudah banyak diproduksi dan memiliki kuat tekan antara 300 kg/cm² sampai dengan 350 kg/cm².

4. Klasifikasi berdasarkan warna

Selain bentuk yang beragam, *paving block* juga memiliki warna dimana dapat menampakkan keindahan juga digunakan sebagai pembatas seperti pada tempat parkir. Warna *paving block* yang ada di pasaran adalah merah, hitam dan abu-abu (Artiyani, 2010).

2.7 Plastik

Plastik mempunyai peranan besar dalam kehidupan sehari-hari biasanya digunakan sebagai bahan pengemas makanan dan minuman karena sifatnya yang kuat, ringan dan praktis. Menurut definisi dari (Serly, 2014) plastik sebagai material polimer. Polimer adalah molekul yang besar yang telah mengambil peran yang penting dalam teknologi karena mudah dibentuk dari satu bentuk ke bentuk lain dan mempunyai sifat, struktur yang rumit. Hal ini disebabkan oleh jumlah atom pembentuk yang jauh lebih besar dibandingkan dengan senyawa yang berat atomnya lebih rendah. Umumnya suatu polimer dibangun oleh satuan struktur yang tersusun secara berulang dan diikat oleh gaya tarik menarik yang kuat yang disebut ikatan kovalen. Plastik adalah polimer rantai panjang dari atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang atau disebut dengan monomer. Istilah plastik mencakup produk polimerisasi sintetik, namun ada beberapa polimer alami yang termasuk plastik. Plastik terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer dan bisa juga terbentuk dengan menggunakan zat lain untuk menghasilkan plastik yang ekonomis (Ningsih, 2010). Plastik adalah senyawa polimer dengan struktur yang terbentuk dari polimerisasi monomer hidrokarbon yang membentuk rantai panjang. Plastik mempunyai titik didih dan titik leleh yang beragam, hal ini berdasarkan pada monomer pembentukannya. Monomer yang sering digunakan dalam pembuatan plastik adalah propena (C_3H_6), etena (C_2H_4), vinil khlorida (CH_2), nylon, karbonat (CO_3), dan styrene (C_8H_8). Hampir semua peralatan atau produk yang digunakan terbuat dari plastik dan sering digunakan sebagai pengemas bahan baku. Namun pada kenyataannya, sampah plastik menjadi masalah lingkungan karena plastik membutuhkan waktu yang cukup

lama untuk mengalami proses daur ulang. Plastik memiliki beberapa keunggulan seperti ringan, fleksibel, kuat, tidak mudah pecah, transparan, tahan air serta ekonomis (Ningsih, 2010).

2.8 Sifat Plastik

Berdasarkan sifat fisiknya plastik terbagi menjadi 2 yaitu :

a. Polimer Termoplastik

Polimer termoplastik adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika polimer jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan didinginkan akan mengeras. Proses tersebut dapat terjadi berulang kali, sehingga dapat dibentuk ulang dalam berbagai bentuk melalui cetakan yang berbeda untuk mendapatkan produk polimer yang baru. Polimer termoplastik memiliki sifat-sifat khusus yaitu berat molekul kecil, tidak tahan terhadap panas, jika dipanaskan akan melunak, jika didinginkan akan mengeras, mudah untuk diregangkan, fleksibel, titik leleh rendah, dapat dibentuk ulang (daur ulang), mudah larut dalam pelarut yang sesuai, memiliki struktur molekul linear atau bercabang

Contoh plastik termoplastik sebagai berikut :

1. *Polietilena (PE)*

Contoh : botol plastik, mainan, bahan cetakan, ember, drum, pipa saluran, isolasi kawat dan kabel, kantong plastik dan jas hujan.

2. *Polivinilklorida (PVC)*

Contoh : pipa air, pipa plastik, pipa kabel listrik, kulit sintetis, ubin plastik, piringan hitam, bungkus makanan, sol sepatu, sarung tangan dan botol detergen.

3. *Polipropena (PP)*

Contoh : karung, tali, botol minuman, serat, bak air, insulator, kursi plastik, alat-alat rumah sakit, komponen mesin cuci, pembungkus tekstil dan permadani.
Polistirena Contoh : insulator, sol sepatu, penggaris, gantungan baju.

b. Polimer Thermoset

Polimer Thermoset adalah polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas. Jika polimer ini dipanaskan, maka tidak meleleh sehingga tidak dapat dibentuk ulang kembali. Susunan polimer ini bersifat permanen pada bentuk cetak pertama kali (pada saat pembuatan). Bila polimer ini rusak/pecah, maka tidak dapat disambung atau diperbaiki lagi. Polimer termoset memiliki ikatan-ikatan silang yang mudah dibentuk pada waktu dipanaskan. Hal ini membuat polimer menjadi kaku dan keras. Semakin banyak ikatan silang pada polimer ini, maka semakin kaku dan mudah patah. Bila polimer ini dipanaskan untuk kedua kalinya, maka akan menyebabkan rusak atau lepasnya ikatan silang antar rantai polimer. Sifat polimer termoset yaitu keras dan kaku (tidak fleksibel), jika dipanaskan akan mengeras, tidak dapat larut dalam pelarut apapun, jika dipanaskan akan meleleh, tahan terhadap asam basa, mempunyai ikatan silang antar rantai molekul. Contoh plastik termoset adalah bakelit atau asbak, fitting lampu listrik, steker listrik, peralatan fotografi, radio dan perekat *plywood*

2.9 Plastik PE (*PolyEthelene*)

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). *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)

2.10 Kuat tekan

SNI-1974-2011 mengemukakan bahwa kuat tekan *paving block* adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji *paving block* hancur bila dibebani per satuan luas, yang menyebabkan benda uji *paving block* hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan *paving block* mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur, semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu *paving block* yang dihasilkan. Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan, dari beda uji *paving block*. Pengujian kuat tekan *paving block* menggunakan alat *compression test*. Pengujian kuat tekan dihentikan setelah pada pembacaan pada alat *compression tes* berhenti. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan dari benda uji tersebut sudah maksimal (Jokrodumuljo, 2012), bahwa kuat tekan *paving block* dipengaruhi faktor-faktor antara lain :

1. Umur beton

Kuat tekan *paving block* bertambah tinggi dengan bertambahnya umur, yang dimaksudkan umur di sini dihitung sejak *paving block* dicetak. Laju kenaikan kuat tekan *paving block* mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu semakin lambat, dan laju kenaikan tersebut menjadi relatif sangat kecil setelah berumur 28 hari, sehingga secara umum dianggap tidak naik lagi setelah berumur 28 hari. Oleh karena itu, sebagai standar kuat tekan *paving block* ialah kuat tekan beton pada umur 28 hari

2. Kepadatan beton

Kekuatan *paving block* berkurang jika kepadatan *paving block* berkurang. *paving block* yang kurang padat berarti berisi rongga sehingga kuat tekannya berkurang.

3. Sifat agregat

Agregat terdiri atas agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil atau batu pecah). Beberapa sifat agregat yang mempengaruhi kekuatan *paving block* antara lain:

- a. Kekasaran permukaan, karena permukaan agregat yang kasar dan tidak licin membuat rekatan antara permukaan agregat dan komposisi yang lain lebih kuat dari pada permukaan agregat yang halus dan licin.
- b. Bentuk agregat, karena bentuk agregat yang bersudut misalnya pada batu pecah, membuat butir-butir agregat itu sendiri saling mengunci dan sulit digeserkan, berbeda dengan batu kerikil yang bulat.
- c. Kuat tekan agregat, karena sekitar 70% volume beton terisi oleh agregat, sehingga kuat tekan beton didominasi oleh kuat tekan agregat. Jika agregat yang dipakai mempunyai kuat tekan rendah akan diperoleh beton yang kuat tekannya rendah pula (Kuhu, 2014). Kuat tekan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$F_c = \frac{P}{A}$$

Dimana:

F_c : Kuat tekan (Mpa)

P : beban tekan (N)

A : luas penampang (mm²)

2.11 Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air adalah persentase dari perbandingan antara selisih massa basah dan massa kering dengan massa kering (Sembiring & Saruksuk, 2017) Uji

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 kemampuannya *paving block* menahan beban, yaitu kuat tekannya akan semakin kecil. Penyerapan air pada *paving blok* dapat dikatakan baik apabila penyerapannya kurang dari 6%. Semakin besar mutu *paving block* maka semakin kecil prosentase penyerapan air.

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. Semakin banyak porositas yang terdapat pada benda uji maka semakin rendah kekuatannya, begitu pula sebaliknya. Pengujian daya resapan dilakukan dengan cara perendaman yaitu dengan cara menimbang *paving block* yang telah direndam selama 1x24 jam. Setelah itu menimbang *paving block* tersebut dalam keadaan basah kemudian *paving block* dikeringkan menggunakan oven selama 1x24 jam dan ditimbang berat keringnya (Sherliana 2016,)

2.12 Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat

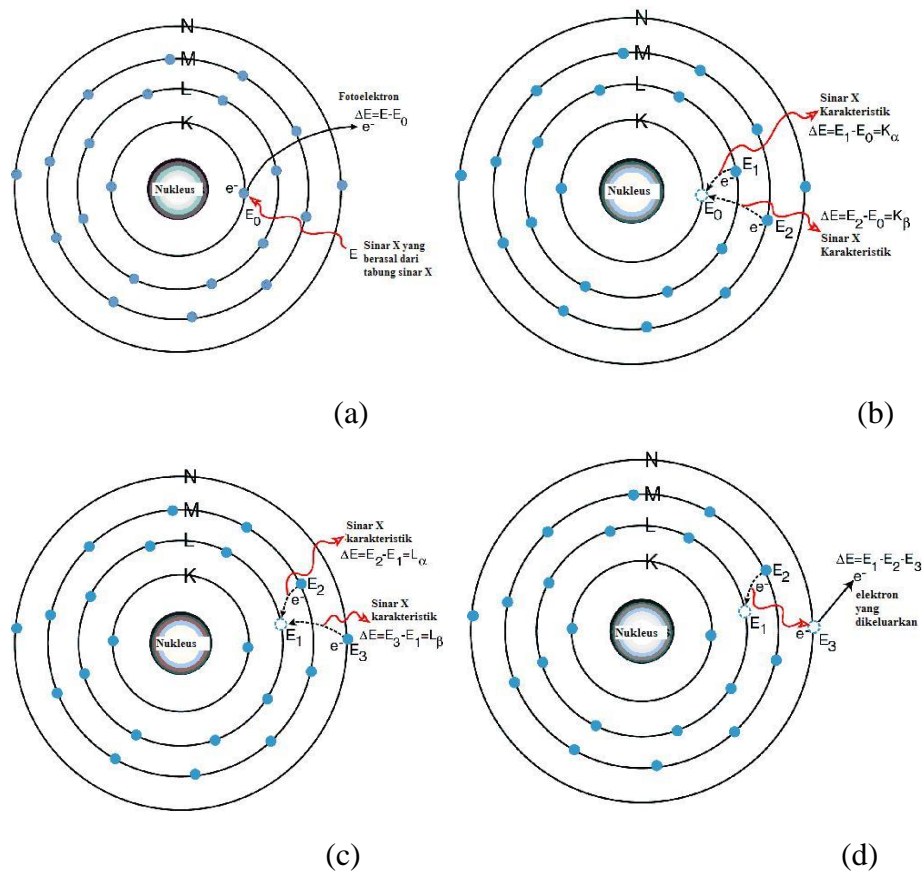
Ketahanan natrium sulfat dinyatakan dalam kehilangan berat untuk satu *paving block*. Menurut SNI-3407-2008, bata apabila diuji tidak boleh cacat, dan kehilangan berat yang diperkenankan maksimum 1%. Uji ketahanan terhadap natrium sulfat yang dinyatakan dalam kehilangan berat untuk satu *paving block*. Prosedur dilakukan untuk mengetahui ketahanan *paving block* terhadap kerusakan dan keretakan akibat pengaruh lingkungan

Sulfat yang umum bersentuhan dengan beton adalah kalsium sulfat, sodium sulfat dan potassium sulfat. Ketiga senyawa ini tidak mudah larut, dan umumnya bereaksi dengan hasil dari proses hidrasi semen. Natrium sulfat dan ferro sulfat yang banyak

digunakan untuk pengolahan air bersifat asam dan agresif untuk menyerang beton (Dewi & Mahyudin, 2018)

2.13 Uji XRF

X-ray Fluorescence (XRF) merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta komposisi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sampel dengan metode spektrofotometri. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang ditunjukkan dengan adanya spektrum unsur pada energi sinar-x. Analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum. XRF memanfaatkan sinar X sebagai sumber energi radiasinya dengan panjang gelombang antara 100 sampai 0,1 Å dan memiliki energi yang besar. Alat XRF mempunyai keunggulan analisis yaitu lebih sederhana, preparasi sampelnya tidak rumit hanya dibentuk menjadi pelet, dan waktu yang dipergunakan untuk satu kali pengukuran tidak membutuhkan waktu yang lama. Alat XRF bersifat tidak merusak sampel ketika proses analisisnya (nondestruktif). Alat XRF dapat menganalisis unsur-unsur yang membangun material, namun untuk unsur ringan tidak dapat teridentifikasi. Terdapat 2 jenis XRF berdasarkan perangkat dalam analisisnya yaitu *Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (ED XRF)* yang membedakan setiap radiasi fluoresens spesifik dari suatu unsur berdasarkan energi foton yang dihasilkan setelah proses radiasi dan *Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence (WD XRF)* yang memisahkan setiap radiasi fluoresens sinar X ke sudut refleksi tertentu berdasarkan panjang gelombangnya (Fansuri, 2010). Uji ini bertujuan untuk mengetahui penggolongan tipe IFA yang digunakan dan juga kandungan oksida IFA. Kandungan oksida dari IFA dapat menentukan apakah FA tersebut merupakan tipe C, tipe F, tipe N. Prinsip fluoresensi sinar X ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Prinsip Fluoresensi Sinar X (Stephenson, 2013)

Keterangan Gambar :

- Saat sinar X mengenai atom sampel
- Timbul sinar X karakteristik akibat eksitasi ke kulit K
- Timbul sinar X karakteristik akibat eksitasi ke kulit L
- Elektron pada kulit terluar kosong

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan sinar-x karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena sinar 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. Sinar-x yang dihasilkan merupakan suatu gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal dari bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal sebagai spektrum sinar-x karakteristik.

2.14 Uji SEM

Scanning Electron Microscope (SEM) Mikroskop pemindai elektron adalah jenis mikroskop elektron yang mencitrakan permukaan sampel oleh pindaian dengan pancaran tinggi elektron. Elektron yang berinteraksi dengan atom yang membentuk sampel menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang sampel dari permukaan topografi, komposisi dan sifat lainnya seperti daya konduksi listrik. SEM adalah sebuah mikroskop elektron yang digunakan untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri (Prasetyo, 2011). SEM memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil Gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek (Martinez, 2010)

Tujuan uji intrumensi SEM di untuk :

- a. Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek
- b. Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya).

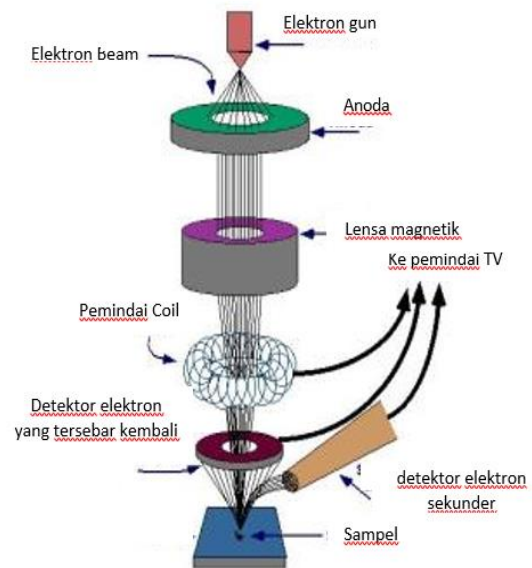
- c. Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktivitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya)

Karena SEM menggunakan kondisi vakum dan menggunakan elektron untuk menghasilkan Gambar, maka harus dilakukan proses preparasi khusus. Kandungan air yang terdapat pada sampel harus dihilangkan dari sampel, karena air akan menguap pada kondisi vakum. Sampel yang berupa metal tidak membutuhkan preparasi khusus. Namun, jika sampel adalah nonlogam harus dilakukan *coating* terlebih dahulu. *Coating* ini bertujuan untuk membungkus sampel dengan material yang bisa menghantarkan listrik, prosesnya dinamakan "*sputter coating*". Langkah-langkah metode SEM sebagai berikut :

1. Sebuah *electron gun* memproduksi *electron beam* dari filamen dan dipercepat dengan anoda.

Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan *tungsten* yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju anoda.

2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai
4. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik *secondary electron* (SE) atau *Back Scattered Electron* (BSE) dari permukaan sampel dan akan dideteksi oleh detektor dan akan dimunculkan dalam bentuk Gambar pada monitor (CRT). Gambar 2.4 menyajikan prinsip dari SEM



Gambar 2.4 Prinsip SEM (Zhou *et al.*, 2016)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di beberapa lokasi. Preparasi bahan, pembuatan *paving block*, uji kuat tekan, uji penyerapan air dan uji ketahanan terhadap natrium sulfat di Laboratorium *waste water treatment* (WWT) PT *Eternal Buana Chemical Industries* (EBCI). Analisis kandungan oksida dengan XRF dilakukan di Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir di Batan, Jakarta. Analisis morfologi permukaan dengan SEM dilakukan di laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang. Analisis gugus fungsi dengan FTIR di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Semarang.

3.2 Variabel Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang ingin dicapai maka variabel yang akan dipelajari dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variasi yang harganya divariasikan dan diselidiki pengaruh terhadap variabel terikat dan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil analisis. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah rasio massa IFA dan rasio massa plastik PE, umur pengeringan.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah faktor yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan terhadap natrium sulfat, morfologi permukaan *paving block*.

3. Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil reaksi, namun dapat dikendalikan agar tidak mempengaruhi variabel bebas. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah suhu, massa pasir, pengadukan

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang dipakai dalam penelitian kali ini meliputi alat untuk preparasi bahan, pembuatan *paving block*, pengujian *paving block* dan karakterisasi. Alat yang dibutuhkan dalam preparasi bahan meliputi ayakan 4 mesh atau 4,750 mm, penumbuk kayu dengan diameter 10 cm dan panjang 100 cm, wadah ember, timbangan A12E. Alat yang dibutuhkan dalam pembuatan *paving block* cetakan kayu ukuran 20 x 10 x 6 cm, alat press dari departemen *maintenance*, pengaduk dari besi, tong besi dengan ukuran diameter 58 cm dengan tinggi 88 cm sebanyak 1, timbangan merk A12E, wadah ember. Alat yang dibutuhkan dalam karakterisasi meliputi *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)* *Fourier Transform Infrared (FTIR)* Analyse 400 Perkin Elmer

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi IFA hasil *insinerator* pembakaran di PT EBCI 30 kg, plastik jenis PE 48 kg dari PT EBCI, pasir 6 Kg. Bahan yang digunakan dalam uji *paving blok* adalah air kran, air panas, natrium sulfat 0,8%

3.4 Prosedur Kerja

a. Pengambilan dan Persiapan *Insinerator Fly Ash* dan Limbah Plastik PE

Agregat yang digunakan adalah IFA yang diambil dari PT EBCI yang kemudian di tumbuk halus dan diayak dengan ayakan 4,75 mm atau 4 mesh, kemudian dikarakterisasi menggunakan XRF, SEM, FTIR. Perekat yang digunakan adalah limbah plastik PE dari PT EBCI, plastik dibersihkan kemudian dipotong menjadi kecil-kecil untuk mempermudah proses pemanasan

b. Persiapan Bahan Campuran

Bahan campuran yang digunakan untuk pembuatan *paving block* antara lain: IFA dan limbah plastik PE, dan IFA ditambah pasir di campur dengan limbah plastik PE

c. Pembuatan paving blok

IFA ditimbang sesuai komposisi untuk 1 *paving block*, kemudian ditumbuk dengan penumbuk kayu, kemudian disaring dengan saringan ukuran 4 mesh. Bahan yang lain yaitu plastik PE yang dibersihkan kemudian dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil, apabila variasi menggunakan pasir maka pasir harus di saring terlebih dahulu dengan ukuran saringan 4 mesh, api di nyalakan kemudian plastik PE di letakan di tong dilelehkan di atas api sampai plastik PE meleleh IFA dimasukkan dalam plastik PE yang telah meleleh, pencampuran tetap di atas api. Kemudian diaduk hingga homogen, setelah homogen campuran dicetak dengan menggunakan cetakan ukuran 20 x10 x 6 cm sesuai dengan SNI 03-0691-1996 dan massa rata-rata 1,5 kg. *Paving block* dibuat dengan perbandingan campuran IFA dan limbah plastik 1 : 2, 1 dan perbandingan campuran IFA dan pasir dan limbah plastik PE 1 : 0,5 : 2. Tabel 3.1 menyajikan komposisi *paving block*. Agregat halus yang digunakan adalah IFA dan pasir. Limbah plastik PE sebagai perekat. *Paving block* dibuat dengan pencampuran agregat halus dengan perekat (IFA, pasir dan limbah plastik PE, kemudian *paving block* dicetak dan dipadatkan dengan metode pres. Komposisi *paving block* di sajikan dalam Tabel 3.1

Tabel 3.1 Komposisi *Paving block*

Variasi	Komposisi (Kg)	Umur Pengeraman (Hari)
IFA : PE : pasir	1 : 2 : 0,5	5, 7, 14, 28
	1,5 : 2 : 0,5	
	2,5 : 2 : 0,5	
IFA + PE	1 : 2	5, 7, 14, 28
	1,5 : 2	
	2,5 : 2	

d. Uji XRF

Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sampel yang digunakan yaitu IFA murni dan sampel uji XRF memerlukan <400 mesh.

e. Uji SEM

Sampel yang digunakan yaitu IFA murni dan *paving blok* dengan komposisi IFA : PE dan *paving blok* dengan komposisi IFA : PE : pasir. Salah satu fungsi uji SEM untuk mengetahui morfologi atau permukaan sampel, sehingga dapat mengetahui permukaan *paving blok* setelah di campur dengan berbagai jenis bahan lainnya (plastik PE dan pasir)

f. Uji FTIR

Analisis dengan FTIR digunakan untuk menentukan karakteristik dan gugus fungsi *paving blok* yang terbentuk. Analisis dilakukan pada IFA dan *paving blok* dengan penambahan agregat pasir dan tanpa penambahan agregat pasir. Teknik yang akan digunakan untuk preparasi sampel *paving blok* adalah teknik KBr dengan perbandingan 2-3 mg sampel dalam 200-300 mg KBr. Data yang dihasilkan berupa intensitas serapan (%T) dan bilangan gelombang (cm^{-1}). Analisis data dilakukan dengan melihat adanya pita-pita serapan pada bilangan gelombang yang menunjukkan adanya ikatan C-C pada *paving blok*. Uji ini dilakukan pada IFA, sampel *paving blok* dengan penambahan agregat pasir dan tanpa penambahan agregat pasir

g. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan berdasarkan standar SNI-1974-2011. Benda uji ditekan dengan alat uji tekan di laboratorium PT *Eternal Buana Chemical Industries* hingga hancur, kecepatan penekanan dan beban yang diberikan dapat diatur dalam waktu 1 sampai 2 menit. *Paving blok* yang diuji berumur 5 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Hari tersebut dihitung dari 21 hari setelah pembuatan

paving block. Skala yang tertera pada benda uji dicatat dan kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan Persamaan berikut :

$$F_c = \frac{P}{A}$$

F_c merupakan kuat tekan benda uji (MPa), P merupakan beban maksimum (N atau kN), dan A merupakan luas penampang benda uji (mm^2)

h. Pengujian penyerapan air

Benda uji ditimbang, kemudian direndam hingga jenuh selama 24 jam, lalu ditimbang massa basah nya, lalu dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada temperatur 100°C . *Paving block* yang diuji berumur 5 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Hari tersebut dihitung dari 21 hari setelah pembuatan *paving block*. Setelah itu dilakukan perhitungan penyerapan air menggunakan Persamaan :

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

A = Berat Basah *Paving block* (Kg).

B = Berat Kering *Paving block* (24 jam).

i. Pengujian ketahanan terhadap natrium sulfat

Uji ini dilakukan untuk mengetahui kualitas *paving block* berbahan dasar FA : plastik, IFA : pasir : plastik PE terhadap ketahanannya pada natrium sulfat. *Paving block* yang diuji berumur 5 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Hari tersebut dihitung dari 21 hari setelah pembuatan *paving block* Uji ini dilakukan dengan perendaman *paving block* ke dalam larutan natrium sulfat 0,8% di dalam bak perendaman. Perendaman ini bertujuan agar natrium sulfat menyerap secara menyeluruh pada *paving block*. Ketahanan natrium sulfat dinyatakan dalam kehilangan berat untuk satu *paving block*. Menurut SNI-3407-2008, bata apabila diuji tidak boleh cacat, dan kehilangan berat yang diperkenankan maksimum 1% .

Paving block yang akan diuji dibersihkan dari kotoran-kotoran yang melekat, kemudian di timbang lalu dikeringkan dalam oven 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 16 sampai dengan 18 jam, setelah itu diangkat dan didiamkan dulu agar cairan yang berlebihan meniris. Selanjutnya masukkan *paving block* kedalam oven pada suhu 105°C selama kurang lebih 2 jam, kemudian dinginkan sampai 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 ($\pm 2-4$ jam), didinginkan dalam eksikator. Kemudian ditimbang lagi sampai ketelitian 0,1 gram. Di samping itu di amati keadaan benda uji apakah setelah perendaman dalam larutan garam sulfat terjadi atau nampak adanya retakan. Perhitungan untuk menentukan apakah *paving block* tahan atau tidak terhadap natrium sulfat digunakan persamaan

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

Pembuatan larutan Na₂SO₄ (ρ 2,664, Mr 142) 0,8% 1 L. Beker gelas diisi dengan aquadest dengan volume sekitar 200 ml kemudian dimasukkan Na₂SO₄ sebanyak 2,13 gram ke dalam nya dan di aduk hingga homogen, setelah homogen pindahkan ke labu takar ukuran 1 L, bilas beker gelas dengan aquadest dan dituang ke labu takar. Tambahkan labu takar sampai tanda batas.

j. Uji SEM

Sampel yang digunakan yaitu *fly ash* murni dan *paving block* dengan komposisi FA + PE dan *paving block* dengan komposisi IFA : PE : pasir. *paving block* yang diuji menggunakan sampel *paving block* yang berumur 28 hari.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan disusun berdasarkan pada urutan penelitian yaitu i). Tahap preparasi, meliputi preparasi bahan awal IFA hasil insenerasi resin, plastik PE (*PolyEthelene*), dan pasir, ii). Tahap pembuatan *paving block*, iii). Tahap karakterisasi menggunakan XRF, SEM dan FTIR.

4.1 Preparasi

4.1.1 Preparasi dan Karakterisasi Bahan Awal

IFA yang digunakan pada penelitian ini adalah IFA hasil pembakaran insenerasi yang berasal dari PT *Eternal Buana Chemical Industries* (EBCI). Secara fisik, kenampakan IFA dari PT EBCI berwarna putih keabu-abuan. Gambar 4.1 menunjukkan kenampakan IFA sebelum dan sesudah dipreparasi. Karakteristik IFA meliputi komposisi kimia dan persentasenya. Komposisi kimia IFA dianalisis menggunakan XRF (*X-ray Fluorosence*). Analisis XRF dilakukan dengan tujuan mengetahui komposisi mineral pada IFA (Tabel 4.1).



(a)

(b)

Gambar 4.1. IFA PT EBCI (a) sebelum dan (b) setelah dipreparasi

Tabel 4.1. Komposisi Kimia IFA PT EBCI dengan XRF

No	Nama Senyawa	Jumlah (%)
1	SiO ₂	2,89
2	Al ₂ O ₃	27,62
3	CaO	14,55
4	Fe ₂ O ₃	2,32

Kandungan oksida dalam IFA adalah CaO, SiO₂, Fe₂O₃, dan Al₂O₃, komposisi tersebut mirip dengan komposisi bahan baku untuk produksi semen, sehingga IFA dapat dimanfaatkan sebagai pengganti semen dalam pembuatan *paving block*. Produksi semen dapat menghabiskan energi dalam jumlah yang besar dan mengeluarkan emisi karbondioksida yang dapat menyebabkan aktivitas industri pemanasan global. Salah satu keunggulan penggunaan IFA adalah pengurangan emisi CO₂ dalam proses produksinya (Lam *et al.*, 2010).

4.1.2 Preparasi Bahan

Pembuatan *paving block* diawali dengan preparasi bahan. Preparasi IFA ditumbuk kemudian diayak dengan tujuan partikel IFA menjadi homogen. Gambar IFA sebelum dan setelah dipreparasi terdapat pada Gambar 4.1. Preparasi plastik dibersihkan kemudian dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil untuk mempermudah proses selanjutnya. Preparasi pasir diayak dengan ayakan ukuran 4,750 mm.

4.2 Pembuatan *Paving block*

4.2.1 Komposisi *Paving block*







Komposisi *paving block* tertera pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Komposisi *Paving block*

sampel	Variasi	Rasio massa (Kg)
1	IFA : PE : pasir	1 : 2 : 0,5
2	IFA : PE : pasir	1,5 : 2 : 0,5
3	IFA : PE : pasir	2,5 : 2 : 0,5
4	IFA : PE	1 : 2
5	IFA : PE	1,5 : 2
6	IFA : PE	2,5 : 2

Dari percobaan yang telah dilakukan dengan perbandingan massa yang berbeda dihasilkan kualitas *paving block* yang berbeda-beda. *Paving block* yang dihasilkan harus memenuhi standart SNI-03-0691-1996 yang menyatakan kenampakan fisik *paving block* tidak boleh ada yang retak dan permukaan *paving block* yang halus. *Paving block* hasil penelitian yang memenuhi syarat standart SNI-03-0691-1996 adalah *paving block* dengan rasio massa IFA : PE : pasir (1 : 2 : 0,5 kg) dan *paving block* dengan rasio massa IFA : PE = 1,5 : 2 kg. Kedua *paving block* tersebut diuji kuat tekan, penyerapan air, ketahanan terhadap natrium sulfat. Rasio massa *paving block* yang lain tidak memenuhi syarat SNI sehingga tidak dilanjutkan pada tahap penelitian. Tabel 4.3 menunjukkan hasil trial *paving block*

Tabel 4.3 Hasil Trial Penelitian

IFA (Kg)	PE (Kg)	Pasir (Kg)	Gambar
1	2	0,5	
1,5	2	0,5	
2,5	2	0,5	
1	2	0	
1,5	2	0	
2,5	2	0	

4.3 Uji *Paving block*

4.3.1 Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan *paving block* dilakukan pada *paving block* yang berumur 5, 7, 15, 28 hari. Umur *paving block* dihitung setelah *paving block* jadi dan didiamkan selama 21 hari. Uji kuat tekan menggunakan alat *digital compression machine* (alat uji kuat tekan) yang ditunjukkan pada Gambar 4.2

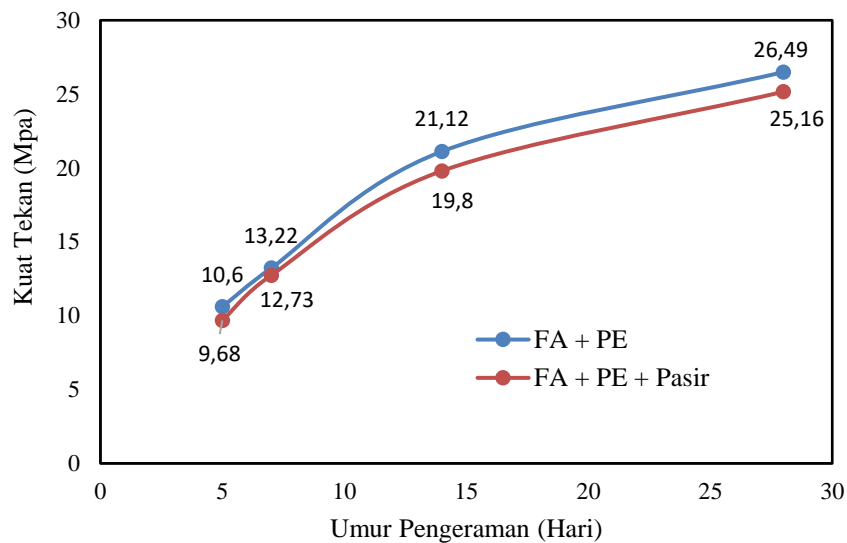


Gambar 4.2 Alat Uji Kuat Tekan

Sampel *paving block* yang diuji kuat tekan adalah *paving block* dengan komposisi rasio massa IFA : PE : pasir 1,5 : 2 : 0,5 dan *paving block* dengan komposisi rasio massa IFA : PE = 1,5 : 2. Hasil pengujian kuat tekan sampel *paving block* dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.3.

Tabel 4.4. Hasil Analisis Kuat Tekan *Paving block* dengan dan tanpa Agregat Pasir

No	Komposisi	Waktu pengeraman (hari)	Kuat tekan (Mpa)
1	IFA : PE	5	10,60
	IFA: PE : Pasir	5	9,68
2	IFA : PE	7	13,22
	IFA : PE : Pasir	7	12,73
3	IFA : PE	14	21,12
	IFA : PE : Pasir	14	19,80
4	IFA : PE	28	26,49
	IFA : PE : Pasir	28	25,16



Gambar 4.3 Diagram Kuat Tekan *Paving block* dengan dan tanpa Agregat Pasir

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa kuat tekan *paving block* dengan rasio massa IFA : PE (1,5 : 2 Kg) dan IFA : PE : pasir (1 : 2 : 0,5 Kg) mengalami kenaikan kuat tekan seiring dengan bertambahnya hari pengerasan. Semakin lama hari pengerasan maka kuat tekan *paving block* semakin meningkat (Mulyati, 2015). Waktu pengerasan yang paling optimum adalah 28 hari. *Paving block* dengan rasio IFA : PE (1,5 : 2 Kg) dan IFA : PE : pasir (1 : 2 : 0,5 Kg) dapat dibandingkan nilai kuat tekan yang dihasilkan

Paving block tanpa penambahan agregat pasir menghasilkan kuat tekan rata-rata pada hari ke 28 sebesar 26,49 MPa yang tergolong ke dalam standart SNI-03-0691-1996 kelas mutu B yang dapat digunakan untuk tempat parkir mobil dan penggunaan lainnya. *Paving block* dengan penambahan agregat pasir menghasilkan kuat tekan rata-rata pada hari ke 28 sebesar 25,16 MPa yang tergolong dalam standart SNI-03-0691-1996 kelas mutu B yang dapat digunakan untuk tempat parkir mobil dan penggunaan lainnya.

Kenaikan kekuatan tekan pada *paving block* disebabkan oleh kekuatan ikatan antar muka polimer dan partikel agregat IFA dan pasir yang meningkat dengan adanya penambahan termoplastik (Jassim, 2017) dan juga disebabkan oleh reaksi *pozzolanic*

yang terdapat pada IFA. Pozzolon yang terdapat di IFA terjadi reaksi antara senyawa-senyawa yang terdapat dalam IFA, reaksi pozzolon tersebut adalah $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Kemudian terdapat ikatan O-H dan Si-O-Si yang terbentuk pada produk *paving block* yang dihasilkan dan dibuktikan dengan analisis FTIR, ikatan tersebut yang menyebabkan adanya kekuatan ikatan dalam *paving block* meningkat. Kuat tekan suatu mutu beton dapat dikategorikan memenuhi syarat sesuai standart SNI 03-2847-2002 yaitu setiap nilai rata-rata dari tiga uji kuat tekan berurutan mempunyai nilai yang sama atau lebih besar sedikit

4.3.2 Uji Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air *paving block* bertujuan untuk mengetahui berapa persen (%) kemampuan *paving block* menyerap air pada masing-masing variasi komposisi massa. Pengujian daya serap air pada *paving block* dilakukan pada *paving block* yang berumur 5, 7, 14, 28 hari. Umur *paving block* dihitung setelah *paving block* berumur 21 hari setelah pembuatan *paving block*. Pengujian daya serap air dilakukan dengan membandingkan berat basah setelah benda uji direndam selama 24 jam dengan berat kering setelah benda uji dikeringkan dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C . *Paving block* direndam air 24 jam dan dikeringkan dalam oven 105°C selama 24 jam ditunjukkan pada Gambar 4.4



(a)



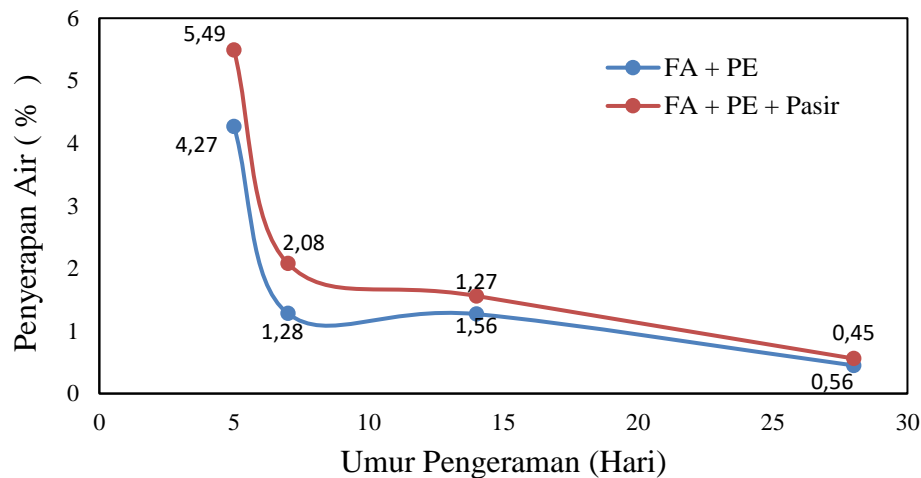
(b)

Gambar 4.4 *Paving block* (a) direndam air 24 jam dan (b) dikeringkan dalam Oven 24 jam

Paving block yang diuji penyerapan air terdiri dari *paving block* tanpa penambahan agregat pasir dengan rasio massa IFA : PE = 1,5 : 2 Kg dan *paving block* dengan penambahan agregat pasir dengan rasio massa IFA : PE : pasir = 1 : 2 : 0,5 Kg. Hasil pengujian penyerapan air *paving block* dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.5. Gambar 4.5 menunjukkan bahwa penyerapan air *paving block* dengan rasio massa IFA : PE 1,5 : 2 Kg dan IFA : PE : pasir 1 : 2 : 0,5 Kg mengalami penurunan penyerapan air seiring dengan bertambahnya waktu pengeraman. Semakin lama waktu pengeraman maka hasil penyerapan air *paving block* semakin menurun.

Tabel 4.4. Hasil Analisis Penyerapan Air *Paving block* dengan dan tanpa Agregat Pasir

	Komposisi	Waktu (hari)	Penyerapan air (%)
1	IFA + PE	5	4,27
	IFA+PE+ Pasir	5	5,49
2	IFA + PE	7	1,28
	IFA+PE+ Pasir	7	2,06
3	IFA + PE	14	1,27
	IFA+PE+ Pasir	14	1,56
4	IFA + PE	28	0,45
	IFA+PE+ Pasir	28	0,56



Gambar 4.5 Diagram Penyerapan Air *Paving block* dengan dan tanpa Agregat Pasir

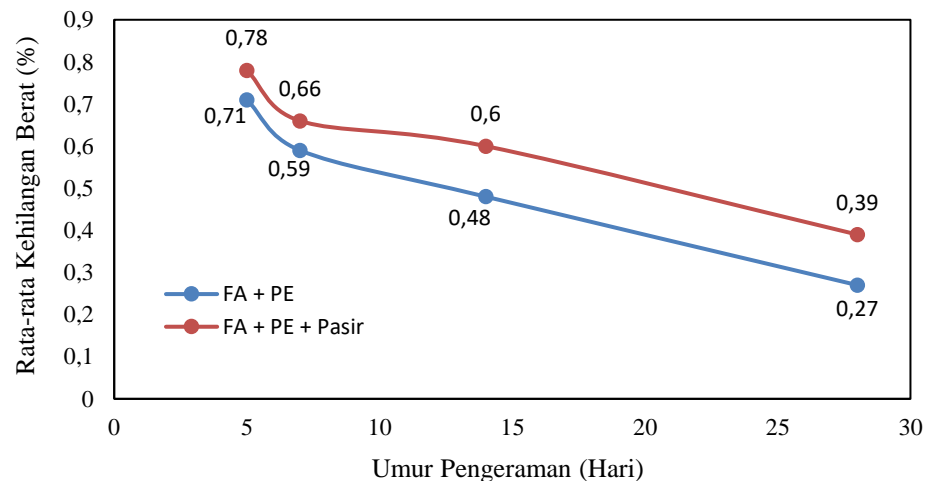
Penyerapan air *paving block* maksimum menurut SNI 03-0691-1996 pada *paving block* mutu A adalah maksimal 3%. Semakin rendah persentase penyerapan air maka mutu *paving block* semakin bagus. Umur pengujian yang digunakan yaitu 5, 7, 14, 28 hari. Hari pengeringan yang paling optimum adalah 28 hari sesuai pada Gambar 4.2. *Paving block* yang memiliki rasio massa yang berbeda dapat dibandingkan nilai penyerapan air dari kedua *paving block* tersebut. Analisis data yang telah dilakukan, hasil penyerapan air *paving block* dengan rasio massa tanpa agregat memiliki persentase yang lebih kecil dibandingkan dengan *paving block* dengan penambahan agregat. Sehingga dapat disimpulkan *paving block* dengan rasio massa tanpa agregat memiliki mutu yang lebih bagus dibandingkan dengan *paving block* dengan penambahan agregat. Penambahan agregat berpengaruh terhadap persentase penyerapan air, *paving block* dengan penambahan agregat pasir memiliki persentase yang besar sehingga mutu *paving block* rendah. Hal tersebut disebabkan karena semakin banyak massa agregat pasir yang digunakan maka akan semakin porous yaitu semakin mudah dan cepat untuk menyerap air. Agymen *et al.*, (2019) mengemukakan semakin rapat material *paving block* yang diuji, maka nilai penyerapan air semakin menurun, sehingga mutu yang dihasilkan termasuk mutu *paving block* dalam kategori bagus.

4.3.3. Uji Natrium Sulfat

Uji natrium sulfat bertujuan untuk mengetahui *paving block* terhadap kerusakan dan keretakan akibat pengaruh lingkungan dan mengetahui seberapa tahan *paving block* terhadap larutan natrium sulfat. Sesuai standart SNI 03-0691-1996 kehilangan berat *paving block* tidak lebih dari 1%. Uji natrium sulfat dinyatakan dalam kehilangan berat *paving block*. Apabila nilai uji natrium sulfat dibawah 1% maka dikatakan *paving block* dalam kondisi baik. Hasil uji natrium sulfat *paving block* disajikan pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.6

Tabel 4.6. Hasil Analisis Uji Natrium Sulfat *Paving block* dengan dan tanpa Agregat Pasir

No	Komposisi	Waktu (hari)	Rata-rata kehilangan berat (%)	Kondisi
1	IFA + PE	5	0,71	Tidak retak
	IFA+ PE + Pasir	5	0,78	Tidak retak
2	IFA + PE	7	0,59	Tidak retak
	IFA+ PE + Pasir	7	0,66	Tidak retak
3	IFA + PE	14	0,48	Tidak retak
	IFA+ PE + Pasir	14	0,6	Tidak retak
4	IFA + PE	28	0,27	Tidak retak
	IFA+ PE + Pasir	28	0,39	Tidak retak

Gambar 4.6 Diagram Uji Natrium Sulfat *Paving block* dengan dan tanpa Agregat Pasir

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa uji natrium sulfat *paving block* dengan rasio massa IFA : PE = 1,5 : 2 Kg dan IFA : PE : pasir = 1 : 2 : 0,5 Kg mengalami penurunan penyerapan natrium sulfat seiring dengan bertambahnya umur pengeraman. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.6, kehilangan berat terbesar *paving block* pada komposisi IFA : PE terdapat pada *paving block* umur 5 hari, yaitu sebesar 0,71% dan

kehilangan berat terkecil terdapat pada umur 28 hari yaitu sebesar 0,27%. Pada *paving block* komposisi IFA : PE : Pasir kehilangan berat terbesar yaitu pada umur 5 hari sebesar 0,78% dan kehilangan berat terkecil terdapat pada umur *paving block* 28 hari yaitu sebesar 0,39%. Semakin lama umur pengerasan maka hasil uji natrium sulfat *paving block* semakin menurun, penurunan berat yang semakin optimum pada *paving block* yang berumur 28 hari menunjukkan bahwa aktivitas *pozzolonic* dalam IFA semakin baik, sehingga sulfat yang mengikis Ca yang terkandung dalam IFA kemungkinan tersisa menjadi lebih sedikit.

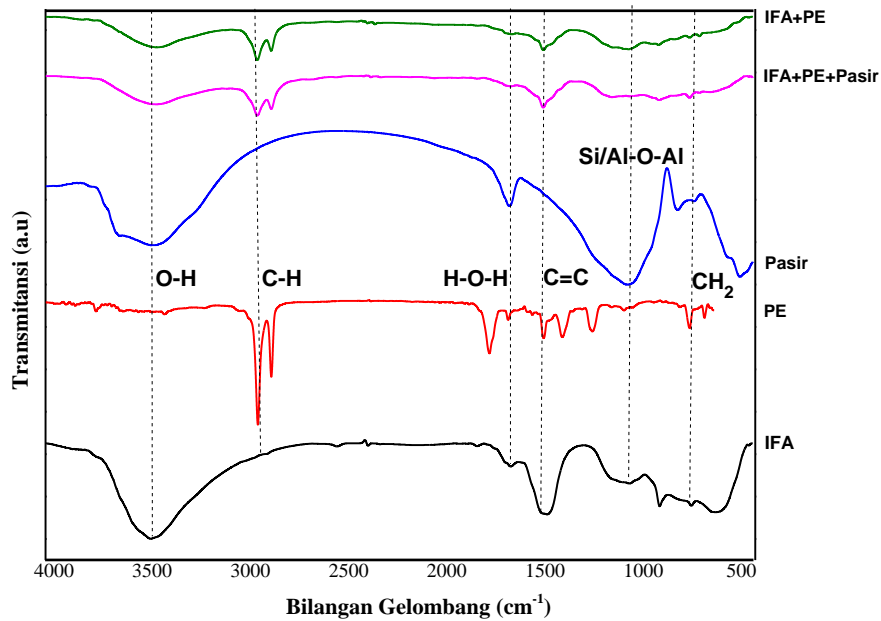
Pada parameter penyerapan air dapat dilihat bahwa nilai penyerapan air *paving block* penambahan agregat pasir memiliki nilai yang lebih besar sehingga untuk uji natrium sulfat juga memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan *paving block* tanpa penambahan agregat pasir. Hal ini menunjukkan *paving block* dengan komposisi penambahan agregat pasir lebih kedap air dibandingkan dengan *paving block* tanpa penambahan agregat pasir sehingga larutan natrium sulfat sedikit masuk ke dalam *paving block* karena permukaan *paving block* ditahan oleh plastik PE . Hal ini sesuai dengan Nety dan Tanzil (2013) yang menyatakan bahwa salah satu cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan *paving block* terhadap ketahanan oleh zat kimia yang bersifat agresif terutama natrium sulfat adalah dengan mengurangi porositas *paving block* sehingga *paving block* lebih kedap air. Faktor lain yang dapat menyebabkan *paving block* menyerap larutan sulfat adalah berhubungan dengan sifat basa yang terkandung dalam IFA dan pasir yang digunakan, yaitu kandungan CaO. Ion Ca^{2+} akan bereaksi dengan natrium sulfat akan membentuk CaSO_4 . Kehilangan berat pada *paving block* menandakan bahwa CaO bereaksi dengan larutan sulfat maka terjadi reaksi $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Kusumastuti *et al.*, 2020)

Kategori *paving block* yang memenuhi standar SNI 03-0691-1996 adalah permukaan sebelum dan sesudah perendaman natrium sulfat tidak terdapat adanya keretakan (meskipun kecil) pada permukaan baik sebelum dan sesudah perendaman natrium sulfat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel *paving block* tidak

mengalami retak-retak kecil, rapuh pada bagian tepi, sehingga memenuhi syarat pengujian.

4.3.4. Karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Identifikasi gugus fungsi pada *paving block* dan material penyusunnya yaitu IFA, PE dan pasir menggunakan spektrofotometer FTIR. Analisis FTIR dilakukan pada IFA, plastik PE, pasir, *paving block* dengan dan tanpa penambahan agregat pasir. Hasil analisis FTIR IFA, plastik PE, pasir, *paving block* dengan penambahan agregat pasir ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Spektra FTIR IFA, PE, Pasir, *Paving block* dengan dan Tanpa Agregat.

Gambar 4.7 merupakan spektra hasil uji FTIR untuk mengetahui gugus fungsi, sampel yang diteliti adalah dua produk *paving block* terbaik dan bahan awal sebagai pembanding. Hasil FTIR *paving block* berbahan dasar IFA dan PE menunjukkan pita serapan pada pada bilangan gelombang 3425 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur (*stretching*) O-H (Caunii *et al.*, 2012). Gugus fungsi O-H ini menunjukkan adanya ikatan hidrogen yang terbentuk dari pencampuran plastik PE dan IFA. Pita serapan

pada bilangan gelombang 2921 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-H yang berasal dari plastik PE. Pita serapan pada bilangan gelombang 1641 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur 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. Pita serapan pada bilangan gelombang 1455 cm^{-1} menunjukkan vibrasi tekuk H-O-H dikarenakan masih terdapat partikel air pada IFA murni pada saat dikarakterisasi. Pita serapan pada bilangan gelombang 1029 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur Si-O-Si atau Si-O-Al. Pita serapan pada bilangan gelombang 671 cm^{-1} menunjukkan pita serapan O-C-O Pita serapan pada bilangan gelombang 719 cm^{-1} terdapat pita penyerapan kecil vibrasi peregangan CH_2 (Caunii *et al.*, 2012)

Tabel 4.7 Hasil Analisis FTIR IFA, plastik PE, pasir, *paving block* dengan penambahan agregat

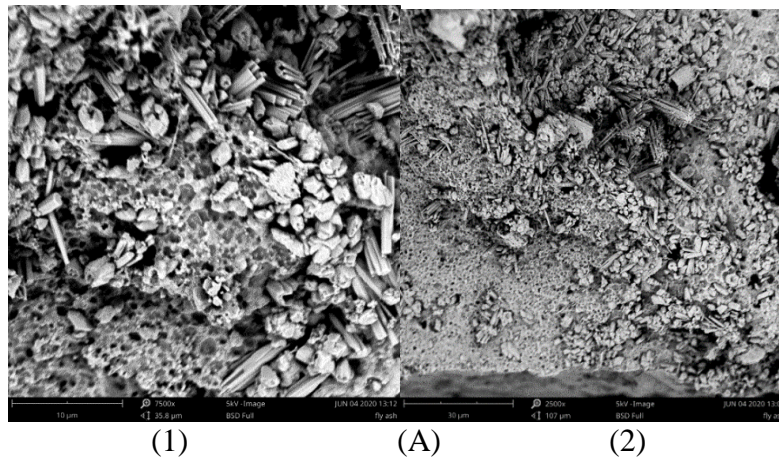
Interpretasi	Penambahan agregat	Tanpa agregat	$1/\lambda$	Refrensi
Vibrasi ulur O-H	3470	3425	3000-3600	(Caunii <i>et al.</i> , 2012)
Ikatan C-H	2922	2921	2929-2850	(Cao <i>et al.</i> , 2017)
Vibrasi tekuk H-O-H	1455	1455	1700-1600	(Wongsa <i>et al.</i> , 2017)
Vibrasi Si/Al-O-Al	1090	1029	1200-950	(Bakharev, 2005)
Ikatan C=C	1644	1641	1680-1620	(Purwanto <i>et al.</i> , 2014)
Vibrasi O-C-O	671	-	575-645	(Hands <i>et al.</i> , 2016)
Vibrasi CH_2	716	719	675-730	(Caunii <i>et al.</i> , 2012)

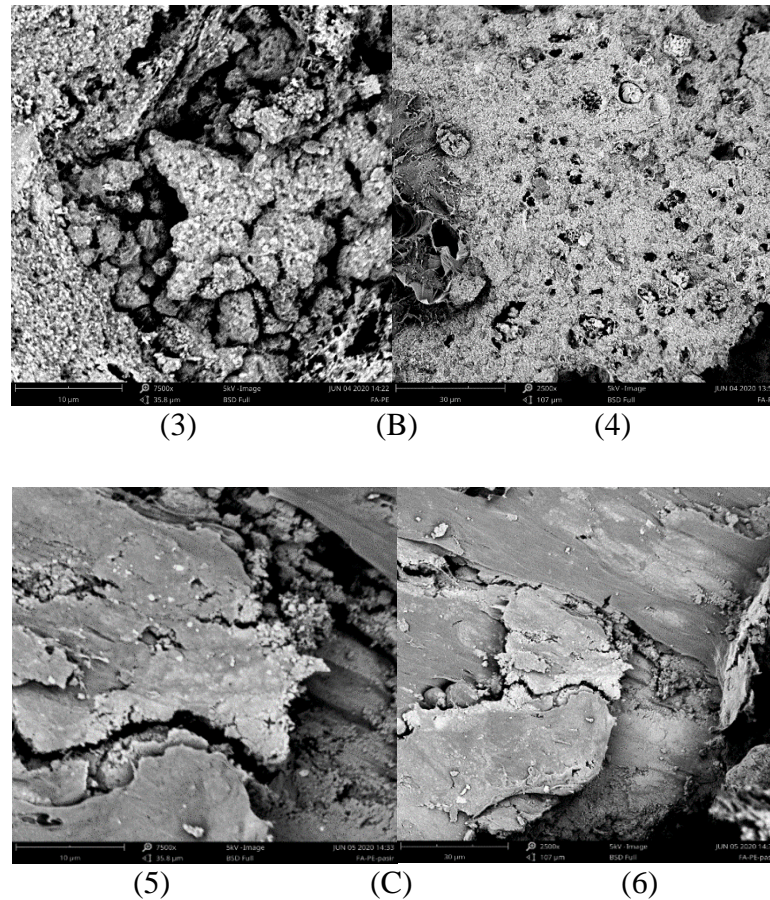
Hasil analisis FTIR pada *paving block* yang dipreparasi menggunakan IFA, PE dan pasir menunjukkan pita serapan pada bilangan gelombang 3425 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur O-H yang berasal dari ikatan yang terjadi antara plastik PE

dengan IFA. Pita serapan pada bilangan gelombang 2921 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-H, Pita serapan pada bilangan gelombang 1455 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur H-O-H, Pita serapan pada bilangan gelombang 1029 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur vibrasi tekuk Si/Al-O-Si. Pita serapan pada bilangan gelombang 1641 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur vibrasi tekuk C=C. Pita serapan pada bilangan gelombang 716 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi CH_2 . Spektrum FTIR menyatakan bahwa *paving block* terikat oleh matrik PE secara fisika dan kimia. *Paving block* ini juga memiliki ikatan fisik yang kuat, ditunjukkan dengan nilai kuat tekan yang besar yang dimiliki oleh *paving block* ini.

4.3.5. Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Analisa SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi IFA dan *paving block* dengan berbeda komposisi. Pengamatan difokuskan pada kehomogenan struktur morfologi, serta pori dan retakan yang ada pada permukaan sampel. Sampel uji yang digunakan yakni IFA, *paving block* dengan penambahan agregat pasir dan *paving block* tanpa penambahan agregat pasir. Pada masing-masing sampel dilakukan perbesaran 2500x dan 7500x. Hasil analisis SEM pada ketiga sampel ditunjukkan pada Gambar 4.9.





Gambar 4.9. Hasil Analisis SEM (A) Sampel IFA Perbesaran 2500x (1) dan 7500x (2), (B) Sampel *Paving Block* tanpa Penambahan Agregat Pasir perbesaran 2500x (3) dan 7500x (4), (C) Sampel *Paving Bock* Penambahan Agregat Pasir Perbesaran 2500x (5) dan 7500x (6),

Pada hasil analisis terdapat perbedaan morfologi *paving block* tanpa penambahan agregat pasir dengan *paving block* penambahan agregat pasir. Penambahan agregat pasir dapat mempengaruhi morfologi *paving block* yang dihasilkan. Pada sampel *paving block* tanpa penambahan agregat pasir banyak didominasi oleh material plastik PE yang tidak dapat bereaksi sempurna sehingga ada bagian *paving block* yang belum homogen sehingga dapat mempengaruhi kualitas *paving block*. Pada sampel penambahan agregat pasir terlihat memiliki permukaan yang lebih halus dan lebih homogen dibandingkan dengan *paving block* tanpa penambahan agregat pasir, namun pada sampel ini memiliki cukup banyak retakan

(*microcracks*) dan lebih banyak material yang tidak bereaksi sehingga menurunkan nilai kuat tekan yang dihasilkan. Hal ini dapat disebabkan pada pembuatan *paving block* proses pengadukan yang belum optimal, akibatnya komponen-komponen *paving block* belum bereaksi secara sempurna.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Uji kuat tekan *Paving block* tanpa penambahan agregat pasir dengan waktu pengeringan optimal 28 hari adalah 26,49 Mpa, *paving block* penambahan agregat pasir adalah 25,16 Mpa. Uji penyerapan air *Paving block* tanpa penambahan agregat pasir dengan waktu pengeringan optimal 28 hari adalah 0,45%, *Paving block* dengan penambahan agregat pasir adalah 0,56%. Uji natrium sulfat *Paving block* tanpa penambahan agregat pasir dengan waktu pengeringan optimal adalah 0,27%, *Paving block* dengan penambahan agregat pasir 28 hari adalah 0,39%. Hasil FTIR *paving block* muncul pita serapan pada 1090 dan 1029 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi Si-O-Si atau Si-O-Al dan pita serapan pada 1644 dan 1641 cm^{-1} menunjukkan ikatan C = C yang dapat meningkatkan nilai karakteristik yang tinggi. Analisis morfologi menggunakan SEM pada sampel *paving block* dengan penambahan agregat pasir menghasilkan permukaan yang halus dan lebih homogen dibandingkan dengan *paving block* tanpa agregat pasir.
2. Pengaruh umur pengeringan untuk uji kuat tekan, uji penyerapan air, uji natrium sulfat mendapatkan kualitas *paving block* paling bagus yaitu pada umur pengeringan optimum 28 hari.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan simpulan yang diperoleh maka saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

1. Waktu pemadatan *paving block* sebaiknya menggunakan waktu tertentu sehingga menghasilkan *paving block* dengan kualitas yang lebih bagus
2. Proses pemanasan bahan yang digunakan dalam pembuatan *paving block* sebaiknya memperhatikan aspek keselamatan seperti api yang digunakan, bahan bakar yang digunakan, waktu pengerjaan dan asap yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agamunthu, P. and S. Chitra. 2009. Cement. *Malaysian Journal of Science*, 28(3), 241-225
- Agustiar, P., Pracoyo, W., & Azharul, F. (2019). Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* [Http://Jurnal.Umsu.Ac.Id/Index.Php/RMME](http://Jurnal.Umsu.Ac.Id/Index.Php/RMME), 2(2), 131–139.
- Anamul, H. M., J. Rahman, and M. Tanvir 2012. Zn and Ni of Bottom Ash as a Potential Diffuse Pollutant and their Application as Fine Aggregate . *Journal of Civil Engineering Research*, 2(6), 64- 72.
- Anastasiadou, K., K. Cristopoulus, E. Mousious, and E. Gidaracos . 2012. Solidification/stabilization of fly and bottom ash from medical waste incineration facility. *Journal of Hazardous Materials*, 207 – 208, 165 -170
- Anonim, S.SNI.T-04-1990-F, *Tata Cara Pemasangan Paving block Untuk Permukaan Jalan*, DPU, 1990
- Artiyani, A. (2010). Pemanfaatan Abu Pembakaran Sampah Sebagai Bahan Alternatif Pembuatan *Paving block*. *Jurnal Spectra*, 8 (16), 1-11
- ASTM C-618, American Society for Testing and Materials, ASTM Specification for *Fly ash* and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, Designation C618, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 2002
- Badan Standarisasi Nasional (BSN)., 1996, SNI 03-0691-1996 *Tentang Pembuatan Bata Beton (Paving block)*, Bandung
- Bakharev, T. (2005). Durability of Geopolymer Materials in Sodium and Magnesium Sulfate Solutions. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1233-1246
- Cao, Z., Wang, Z., Shang, Z., & Zhao, J. (2017). Classification and identification of *Rhodobryum roseum* Limpr. and its adulterants based on fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and chemometrics. *PLoS ONE*, 12(2), e0172359
- Caunii, A., Pribac, G., Grozea, I., Gaitin, D., & Samfira, I. (2012). Design of optimal solvent for extraction of bioactive ingredients from six varieties of *Medicago sativa*. *Chemistry Central journal*, 6, 123

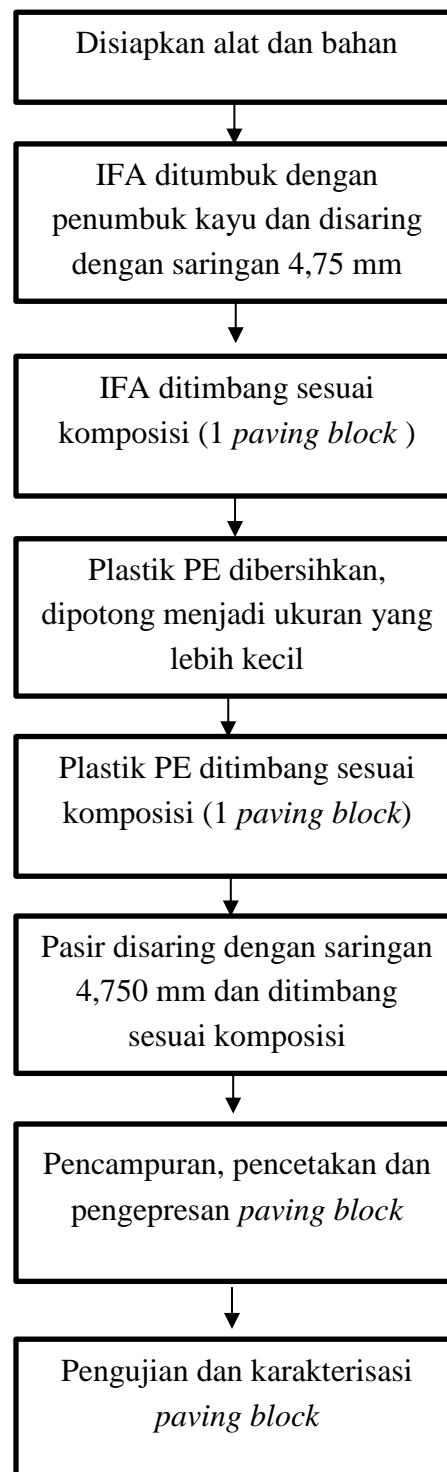
- Elinwa, A.U. 2016. Hospital Ash Waste Ordinary Portland Cement Concrete. *Science Research*. (3), 72-78
- Fansuri,H., 2010.*Modul Pelatihan Operasional XRF*. Laboratorium Energi dan Rekayasa. LPPM ITS
- Hands, J.R., Clemens, G., Stables, R., Ashton, K., Brodbelt, A., Davis, C., Dawson, T.P., Jenkinson, M.D., Lea, R.W., Walker, C., & Baker, M.J. (2016). Brain tumour differentiation: rapid stratified serum diagnostics via attenuated total reflection Fourier-transform infrared spectroscopy. *Journal of Neuro-Oncology*, 127, 463–472
- Jassim, A. K. (2017). Recycling of Polyethylene Waste to Produce Plastic Cement. *Procedia Manufacturing*, 8(October 2016), 635–642.
- Khairuna, W., Suhendrayatna, & Zaki, M. (2017). Pemanfaatan abu dasar *insinerator* sebagai bahan bangunan. *Jurnal Ilmu Kebencanaan (JIKA) Pascasarjana Universitas Syiah Kuala*, 4(4), 126–134.
- Kuhu, 2014. *Kuat Tekan Beton*. UGM:Yogyakarta
- Kusumastuti, E., Ariati, F. I., & Atmaja, L. (2020). Synthesis of volcanic ash-based geopolymer with calcium oxide (CaO) addition for building material application. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(2), 0–6.
- Lam, C. H. K., Ip, A. W. M., Barford, J. P., & McKay, G. (2010). Use of incineration MSW ash: A review. *Sustainability*, 2(7), 1943–1968.
- Lestario.2014. *Jenis Kode Plastik*.USU Press medan
- Martinez, M. 2010. *Sebuah Pemahaman Dasar Scanning Electron Microscopy (SEM) and Mikroskop Elektron (SEM) dan Energy Dispersive X-ray Detection (EDX)*.ITB:Bandung
- Mulyati., Maliar, S., 2015. *Pengaruh Penggunaan Fly ash Sebagai Pengganti Agregat Terhadap Kuat Tekan Paving block*. Institut Teknologi Padang,Sumatra Barat
- Naganathan, S., Mohamed, A. Y. O., & Mustapha, K. N. (2015). Performance of Bricks Made Using *Fly ash* and Bottom Ash. *Construction and Building Materials*, 96, 576 580.
- Nety, dan Tanzil, G. Pengaruh Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Variasi Bubuk Kaca Substitusi Sebagian Pasir dengan W/C 0,4 dan 0,5. *Jurnal. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Sriwijaya. Palembang*

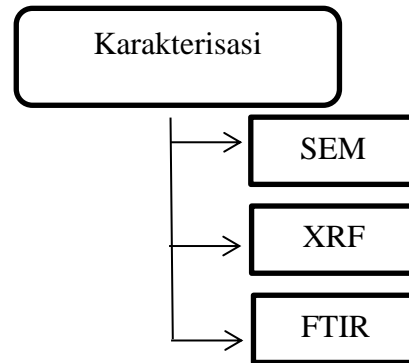
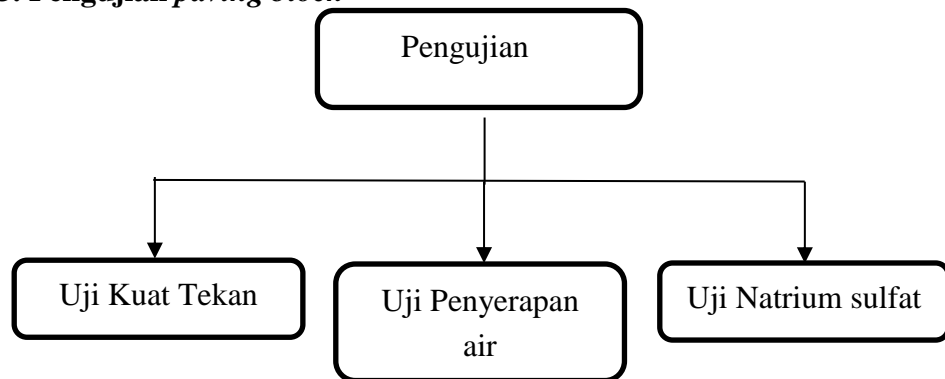
- Ningsih. 2010. *Komposisi Plastik*. Pusat Sains dan Teknologi DPPM Universitas Indonesia Yogyakarta.
- Nurzal., dan Mahmud, J. 2013. *Pengaruh Komposisi Fly ash Terhadap Daya Serap Air Pada Pembuatan Paving block*. Institut Teknologi Padang, Padang.
- Özalp, F., Dils, H., Kara, M., Kaya, Ö., & Aylin, S. (2016). *Effects of recycled aggregates from construction and demolition wastes on mechanical and permeability properties of paving stone , kerb and concrete pipes*. 110, 17–23.
- Pan, X., Yan, J., Xie, Z. 2013. Detoxifying PCDD/Fs and Heavy Metals in Fly Ash from Medical Waste Incinerators with a DC Double Arc Plasma Torch. *Journal of Enviromental Science*. Vol 25. Nomor 7. 1362-1367
- PP Nomor 101 Tahun 2014 – *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*
- Rahman, R., 2012. *Pasir sebagai agregat*. Universitas Indonesia: Jakarta.
- Rais Tutu, Subaer, Usman. *Studi Analisis Karakterisasi Dan Mikrostruktur Mineral Sedimen Sumber Air Panas Sulili Di Kabupaten Pinrang*. Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Universitas Negeri Makassar
- Rahmat, R., & Hendriyani, I. (2016). Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah Reduced Water Dan Accelerated Admixture. *Infoteknik*, 17(2), 205–218.
- Sebayang, S., Diana, I.W., dan Purba, A. 2011. *Perbandingan Mutu Paving block Produksi Manual dengan Produksi Masinal*. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Sembiring, A. C., & Saruksuk, J. J. (2018). Uji Kuat Tekan Dan Serapan Air Pada *Paving block* dengan Bahan Pasir Kasar, Batu Kacang, dan Pasir Halus. *JURITI PRIMA (Jurnal Ilmiah Teknik Industri Prima)*, 1(May).
- Serly, 2014. *Pengertian Plastik dan Pemanfaatan Plastik* . Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung
- Sherliana. (2016). *Kuat Tekan Paving block Dengan Campuran Tanah, Semen, Dan Abu Sekam Padi Menggunakan Alat Pematat Modifikasi*. Skripsi. Sarjana. Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung. Lampung.
- 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.

- SNI 03-1750-1990. 1990. *Agregat beton, Mutu dan Cara Uji*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung..
- Tjokrodinuljo, K.2007. *Teknologi Beton*, Biro Penerbit KMTS FT UGM. Yogyakarta..
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.147>
- 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.
- Xue J. Zhang, L. Yao, T. Huang and A. Yu. " Use of waste for paving blocks" *Journal of Power Sources* 2011.
- Zhou, W., Apkarian, R. P., Wang, Z. L., & Joy, D. (2016). Fundamentals of scanning electron microscopy. *In Scanning microscopy for nanotechnology (pp. 1–40)*. New York: Springer

LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja Penelitian



Lampiran 2. Karakterisasi bahan awal dan *paving block***Lampiran 3. Pengujian *paving block***

Lampiran 4. Perhitungan natrium sulfat 0,8% untuk uji ketahanan *paving block* terhadap narium sulfat

Na_2SO_4 0,8 %

$$\rho = 2,664 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$Mr = 142 \frac{\text{gram}}{\text{mol}}$$

$$M = \frac{\rho \times 10 \times \% \text{ massa}}{Mr}$$

$$= \frac{2,664 \times 10 \times 0,8 \%}{142}$$

$$M = 0,015 \text{ M}$$

$$M = \frac{\text{gram}}{Mr} \cdot \frac{1000}{V}$$

$$0,015 = \frac{\text{gram}}{142} \cdot \frac{1000}{1000 \text{ (mL)}}$$

$$\text{Gram} = 2,13 \text{ gram}$$

Lampiran 5. Hasil Nilai Uji Kuat Tekan, Penyerapan Air, Natrium Sulfat

1. Hasil Nilai Kuat Tekan

Komposisi	Hari	Beban maksimum (Kg) (P)	Luas Penampang (cm ²) (A)	Kuat tekan (Mpa) (P/A)	Kuat tekan rata-rata (Mpa)	Mutu
IFA + PE	5	8188,32	760	10,5	10,6	D
		8208,71	760	10,7		
		8280,09	760	10,6		
IFA+ PE + Pasir	5	7484,72	760	9,6	9,68	D
		7556,1	760	9,75		
		7535,7	760	9,7		
IFA + PE	7	10207,36	760	13,1	13,22	C
		10217,55	760	13,31		
		10278,74	760	13,26		
IFA + PE + Pasir	7	9901,44	760	12,77	12,73	C
		9881,05	760	12,75		
		9840,26	760	12,69		
IFA + PE	14	16325,65	760	21,06	21,12	B
		16437,82	760	21,21		
		16356,24	760	21,10		
IFA + PE + Pasir	14	15316,13	760	19,76	19,8	B
		15407,91	760	19,88		
		15448,7	760	19,93		
IFA + PE	28	20639,05	760	26,63	26,49	B
		20455,5	760	26,39		
		20516,69	760	26,47		
IFA + PE + Pasir	28	19568,35	760	25,25	25,16	B
		19415,39	760	25,05		
		19527,56	760	25,19		

2. Hasil uji Penyerapan Air

Komposisi	Hari	Berat Kering (Kg)	Berat Basah (Kg)	Penyerapan Air (%)	Rata-rata (%)	Mutu
IFA + PE	5	1,315	1,369	4,10	4,27	B
		1,317	1,372	4,17		
		1,320	1,380	4,54		
IFA+ PE + Pasir	5	1,154	1,216	5,37	5,49	B
		1,149	1,214	5,65		
		1,152	1,215	5,46		
IFA + PE	7	1,160	1,184	2,06	2,06	A
		1,165	1,189	2,06		
		1,168	1,192	2,05		
IFA + PE + Pasir	7	1,314	1,336	1,67	1,28	A
		1,324	1,339	1,13		
		1,326	1,340	1,05		
IFA + PE	14	1,321	1,336	1,13	1,27	A
		1,326	1,341	1,13		
		1,330	1,351	1,57		
IFA + PE + Pasir	14	1,162	1,179	1,46	1,56	A
		1,169	1,187	1,53		
		1,172	1,192	1,70		
IFA + PE	28	1,174	1,180	0,51	0,56	A
		1,176	1,182	0,51		
		1,171	1,179	0,68		
IFA + PE + Pasir	28	1,228	1,233	0,40	0,45	A
		1,221	1,227	0,49		
		1,230	1,236	0,48		

3. Hasil uji natrium sulfat

Komposisi	Hari	Berat Kering (Kg)	Berat Basah (Kg)	Kehilangan Berat (%)	Rata-rata (%)
IFA + PE	5	1,442	1,452	0,69	0,71
		1,438	1,449	0,76	
		1,448	1,458	0,69	
IFA+ PE + Pasir	5	1,341	1,351	0,74	0,78
		1,346	1,357	0,81	
		1,349	1,360	0,81	
IFA + PE	7	1,444	1,452	0,55	0,59
		1,439	1,448	0,62	
		1,449	1,458	0,62	
IFA + PE + Pasir	7	1,342	1,351	0,67	0,66
		1,344	1,353	0,66	
		1,345	1,354	0,66	
IFA + PE	14	1,449	1,456	0,48	0,48
		1,446	1,453	0,48	
		1,439	1,446	0,48	
IFA + PE + Pasir	14	1,341	1,349	0,59	0,6
		1,339	1,347	0,59	
		1,442	1,451	0,62	
IFA + PE	28	1,441	1,445	0,27	0,27
		1,445	1,449	0,27	
		1,442	1,446	0,27	
IFA + PE + Pasir	28	1,346	1,351	0,37	0,39
		1,351	1,357	0,44	
		1,341	1,346	0,37	

Lampiran 6. Hasil uji *Insinerator Fly Ash* dengan XRF

BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
PUSAT TEKNOLOGI BAHAN GALIAN NUKLIR
JL. Lebak Bulus Raya No. 9, Pa. Jumat Jakarta 12440, Indonesia
Telp +62-21-7691775, 7695394 Fax, +62-21-7691997

Sample Name :Top
 Method :GeoChemPellet 2
 Job Number :PTBGn2019

Z	Symbol	Concentration	Abs. Error
13	Al ₂ O ₃	27.62 %	0.05%
14	SiO ₂	2.89%	0%
20	CaO	14.55%	0.01%
26	Fe ₂ O ₃	2.32%	0%

Lampiran 7. Data Spektra FTIR

a. IFA

PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00
Monday, August 24, 2020 1:05 PM

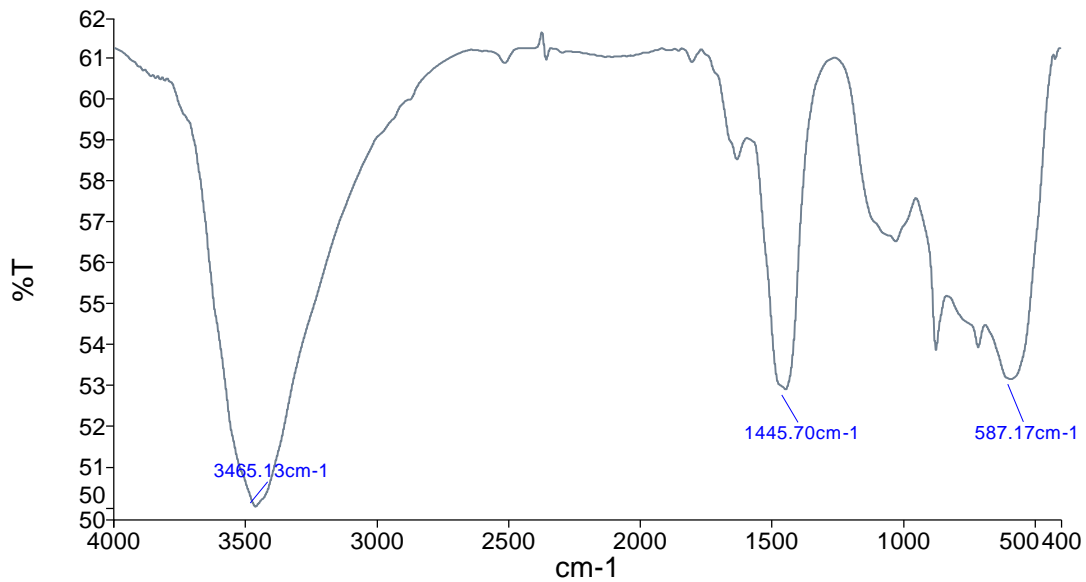
Report Details

Report Location C:\pel_data\reports\Samples View 1_Ina 1_1_1_1_1.rtf
Report Creator Labkim
Report Date Monday, August 24, 2020 1:05 PM

Sample Details

Sample Name Ina 1_1_1_1
Sample Description FA
Analyst Labkim
Creation Date 8/24/2020 12:49:35 PM
X-Axis Units cm-1
Y-Axis Units %T

Spectrum



Name	Description
___ Ina 1_1_1_1	FA

Peak Area/Height Results

Peak	X (cm-1)	Y (%T)	Area (%T)	Start	End	Base1
1	3465.13	50.01	-5342.05	4000	2374.05	4000
2	1445.7	52.89	-2077.84	2374.05	1260.07	2374.05
3	587.17	53.15	-3978.9	1260.07	400	1260.07

b. Plastik PE

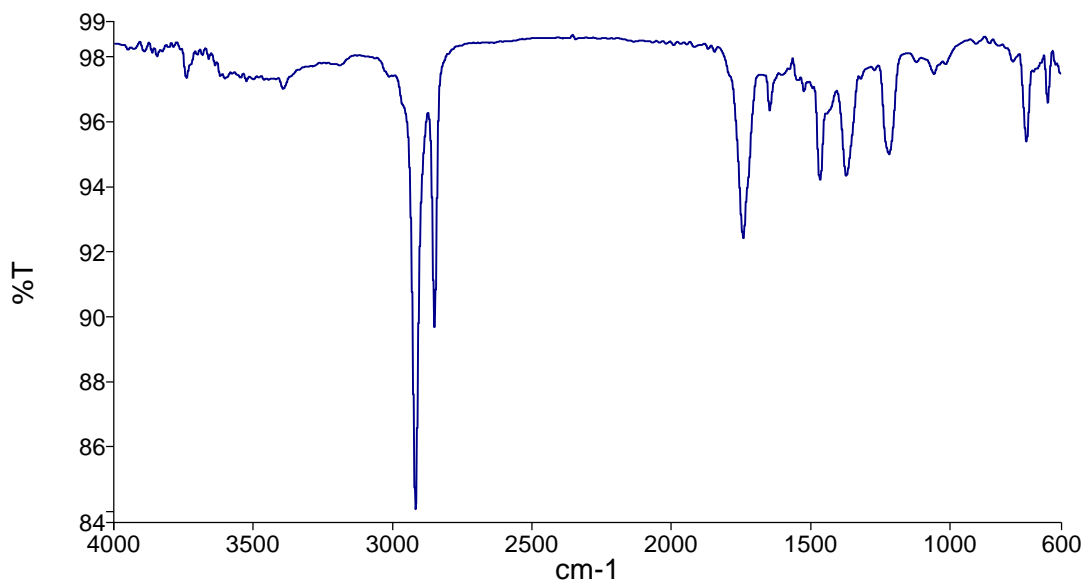
PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00
Wednesday, April 29, 2020 12:27 PM

Report Details

Report Location C:\pel_data\reports\Samples View 1_ila PE.rtf
Report Creator labkim
Report Date Wednesday, April 29, 2020 12:27 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

c. Pasir

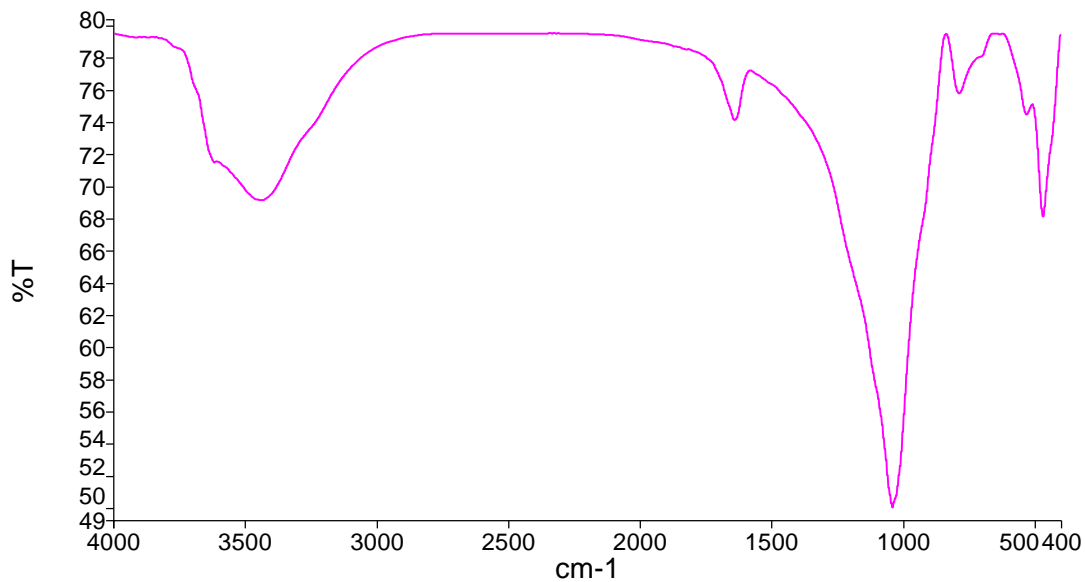
PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00
Tuesday, April 21, 2020 11:13 AM

Report Details

Report Location C:\pel_data\reports\Samples View 2_ila 1 pasir_1_1.rtf
Report Creator labkim
Report Date Tuesday, April 21, 2020 11:13 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

d. *Paving block* tanpa penambahan agregat pasir

PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00
Monday, August 24, 2020 1:06 PM

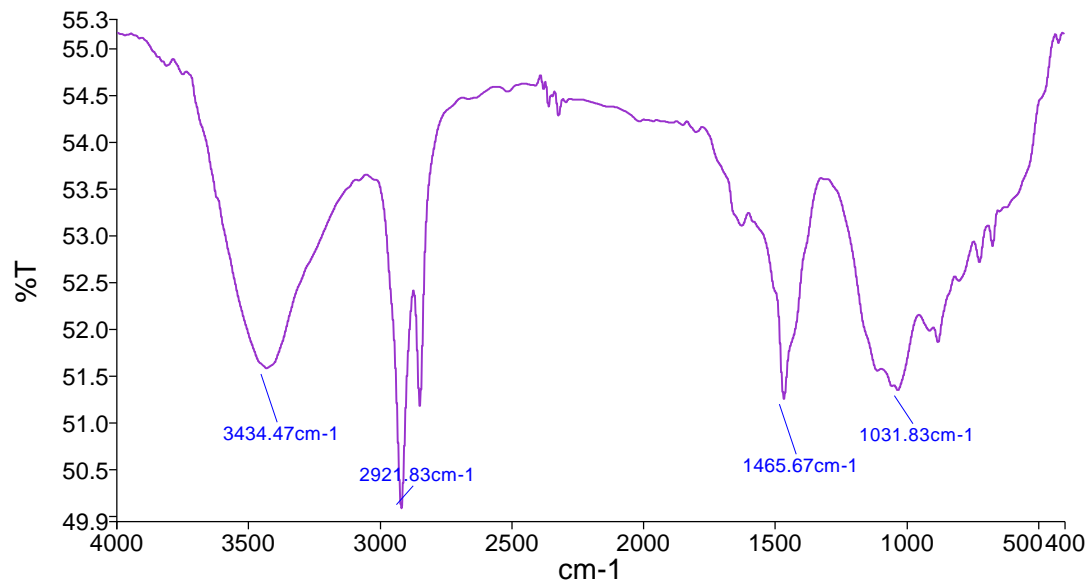
Report Details

Report Location C:\pel_data\reports\Samples View 1_Ina 2_1_1_1_1.rtf
Report Creator labkim
Report Date Monday, August 24, 2020 1:06 PM

Sample Details

Sample Name Ina 2_1_1_1
Sample Description FA + PE
Analyst labkim
Creation Date 8/24/2020 12:54:03 PM
X-Axis Units cm-1
Y-Axis Units %T

Spectrum



Name	Description
Ina 2_1_1_1	FA + PE

Peak Area/Height Results

Peak	X (cm-1)	Y (%T)	Area (%T)	Start	End	Base1
1	3434.47	51.58	-1621.49	4000	3055.69	4000
2	2921.83	50.08	36.69	3055.69	2392.46	3055.69
3	1465.67	51.26	-1014.27	2392.46	1324.81	2392.46
4	1031.83	51.35	-708.45	1324.81	400	1324.81

e. *Paving block dengan penambahan agregat pasir*

PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00
Monday, August 24, 2020 1:07 PM

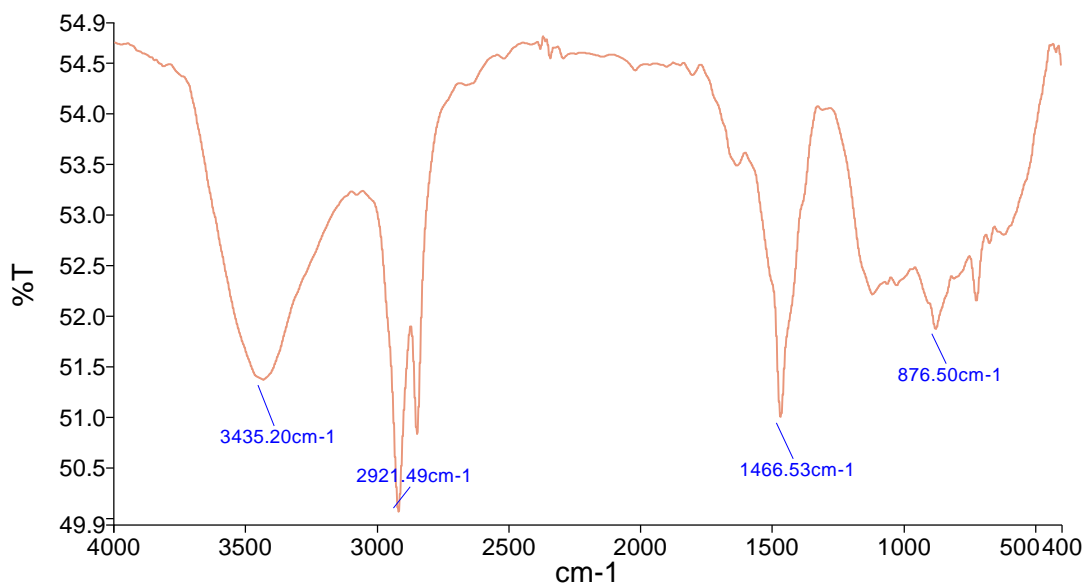
Report Details

Report Location C:\pel_data\reports\Samples View 1_Ina 3_1_1_1_1.rtf
Report Creator labkim
Report Date Monday, August 24, 2020 1:07 PM

Sample Details

Sample Name Ina 3_1_1_1
Sample Description FA + PE + P
Analyst labkim
Creation Date 8/24/2020 12:59:38 PM
X-Axis Units cm-1
Y-Axis Units %T

Spectrum



Name	Description
Ina 3_1_1_1	FA + PE + P

Peak Area/Height Results

Peak	X (cm-1)	Y (%T)	Area (%T)	Start	End	Base1
1	3435.2	51.37	-1499.95	4000	3057.93	4000
2	2921.49	50.05	198.09	3057.93	2369.55	3057.93
3	1466.53	51	-834.12	2369.55	1326.51	2369.55
4	876.5	51.87	-1068.85	1326.51	400	1326.51

Lampiran 8. Dokumentasi



Penimbangan Bahan



Pengadukan Bahan



Pemotongan Plastik PE



Penimbangan Paving



Uji Kuat Tekan



Produk *Paving Block*