

TA/TL/2023/1666

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KUALITAS KUAT TEKAN DAN
STRUKTUR MIKRO BATAKO DENGAN CAMPURAN
ABU TERBANG**

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



MUHAMMAD FADLY SAHDA

19513180

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

2023

TUGAS AKHIR
ANALISIS KUALITAS KUAT TEKAN DAN
STRUKTUR MIKRO BATAKO DENGAN CAMPURAN
ABU TERBANG

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



MUHAMMAD FADLY SAHDA
19513180

Disetujui:

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Kasam, M.T.

NIK. 925110102

Tanggal: 19 Oktober 2023

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res Eng)., Ph.D.

NIK. 045130401

Tanggal: 21 Oktober 2023

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS KUALITAS KUAT TEKAN DAN
STRUKTUR MIKRO BATAKO DENGAN CAMPURAN
ABU TERBANG

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jumat

Tanggal : 13 Oktober 2023

Disusun Oleh:

MUHAMMAD FADLY SAHDA

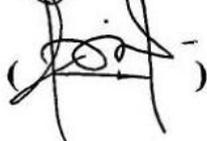
19513180

Tim Penguji :

Dr. Ir. Kasam, M.T.

Hudori, S.T., M.T., Ph.D.

Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

()
()
()

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 14 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Fadly Sahda

NIM: 19513180

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PRAKATA

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji syukur dipanjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Allah Subhanahu Wataala, atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat dan salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW yang menjadi suri tauladan sepanjang zaman, sehingga penyulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Analisis Kualitas Kuat Tekan dan Struktur Mikro Batako dengan Campuran Abu Terbang”. Tugas akhir ini dilaksanakan dari bulan Maret 2023 hingga bulan September 2023. Tugas akhir ini merupakan mata kuliah terakhir yang ditempuh mahasiswa untuk menyelesaikan pendidikan tingkat sarjana di bidang Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.

Hal yang menjadi perhatian utama penulis dalam penelitian ini adalah mendorong upaya pemanfaatan limbah *fly ash* batu bara PLTU Paiton Jawa Timur agar dijadikan sebagai bahan konstruksi yang ramah lingkungan. Melihat kondisi yang ada di Indonesia, terdapat penumpukan limbah dari bahan baku yang akan digunakan dalam penelitian ini. Sehingga, penelitian ini dapat diharapkan bisa dijadikan sebagai acuan untuk memanfaatkan limbah *fly ash* atau abu terbang serta dapat turut serta mengurangi timbulan limbah tersebut.

Selama pengerjaan akhir ini, bantuan dan dukungan banyak mengalir dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dukungan tersebut sangatlah berharga bagi penulis dan merupakan hal yang patut penulis apresiasi. Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan apresiasi kepada pihak-pihak yang terlibat dan telah mendukung proses penelitian ini.

Dengan tulus hati, ucapan terima kasih dan apresiasi ini disampaikan kepada:

1. Kedua orang tua dan adik penulis.

2. Bapak Dr. Ir. Kasam, M.T. selaku pembimbing pertama bagi penulis.
3. Bapak Hudori, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji pertama bagi penulis.
4. Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji kedua bagi penulis.
5. Segenap dosen dan pengajar di Program Studi Teknik Lingkungan UII.
6. Bapak Heriyanto, A.Md. dan Ibu Ratna Widiastuti, S.Kom. selaku admin Program Studi Teknik Lingkungan UII.
7. Bapak Iwan dan para Laboran di Laboratorium Teknik Lingkungan yang telah membantu kelancaran penelitian.
8. Bapak Warno dan para laboran di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil yang telah membantu kelancaran penelitian.
9. Bapak Sulo dan tim selaku pembimbing pada proses pembuatan Batako di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi, Sleman, DIY.
10. Seluruh teman teman penyusun yang selama pelaksanaan Tugas Akhir ini senantiasa memberikan dukungan serta semangat kepada penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 15 Juli 2023

Penulis



Muhammad Fadly Sahda

NIM : 19513180

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRACT

The generation of waste fly ash, commonly known as coal-fired power plant (PLTU) fly ash, is increasing over time. Therefore, it is necessary to find ways to utilize this waste. One of the approaches is to use it as an environmentally friendly construction material, such as fly ash concrete bricks. Hence, this study was conducted to investigate the compressive strength and microstructure characteristics (microcracks and pore width) of fly ash bricks made from fly ash mixtures. Five composition variations were utilized, consisting of merapi sand (PM), portland pozzolana cement (PPC), water (A), and fly ash (FA), namely (75%:20%:5%:0%), (65%:20%:5%:10%), (55%:20%:5%:20%), (45%:20%:5%:30%), and (35%:20%:5%:40%), with five samples of fly ash bricks for each variation.

The test results from the five variations of fly ash bricks indicate that all tested brick variations meet the SNI-03-0349-1989 standard for compressive strength. However, when considering the fly ash composition variations, the best compressive strength was achieved by brick variation B at 14.05 MPa, while the lowest compressive strength was observed in variation E at 7.21 MPa. It is evident that the addition of fly ash as a substitute for sand in the range of 10%-30% can enhance compressive strength. However, if the mixture exceeds 30%, the compressive strength tends to decrease. Furthermore, the microstructure test results reveal that variation B exhibits smaller microcracks and pores, whereas variation E displays larger microcracks and pores. Fly ash content exceeding 30% can render bricks more brittle, with wider microcracks and larger pores, consequently leading to a decrease in compressive strength.

Keywords: Compressive Strength, Concrete Brick, Fly ash, Microstructure.

“Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

Timbulan limbah abu terbang atau biasa yang sering dikenal dengan kata *fly ash* batu bara PLTU semakin meningkat seiring berjalannya waktu. Sehingga, perlu dilakukan pemanfaatan dari limbah tersebut. Salah satunya dijadikan sebagai sumber konstruksi yang ramah lingkungan, yaitu batako dari campuran *fly ash*. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas kuat tekan batako *fly ash* dan ukuran struktur mikro (*microcrack* dan lebar pori) batako dari campuran *fly ash*. Terdapat lima variasi komposisi yang digunakan adalah pasir merapi (PM), semen (PPC), air (A), dan *fly ash* (FA), yaitu (75%:20%:5%:0%), (65%:20%:5%:10%), (55%:20%:5%:20%), (45%:20%:5%:30%), dan (35%:20%:5%:40%) yang dimana setiap variasi terdapat lima buah sampel batako *fly ash*.

Hasil uji dari kelima variasi batako *fly ash*, menunjukkan bahwa semua variasi batako yang telah di uji kuat tekan telah memenuhi SNI-03-0349-1989. Namun dengan adanya variasi komposisi abu terbang, kuat tekan batako terbaik yaitu batako variasi B sebesar 14,05 MPa. Sedangkan nilai kuat tekan terendah yaitu variasi E sebesar 7,21 MPa. Terlihat bahwa penambahan *fly ash* sebagai pengganti pasir dengan syarat 10%-30% dapat meningkatkan kuat tekan. Akan tetapi jika melebihi 30% campurannya akan mengalami penurunan kuat tekan. Selain itu, hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa variasi B memiliki ukuran *microcrack* dan pori yang kecil, sedangkan variasi E memiliki ukuran *microcrack* dan pori yang besar. Kandungan *fly ash* yang lebih besar dari 30% akan membuat batako menjadi lebih rapuh, memiliki *microcrack* yang lebar, dan ukuran pori yang besar sehingga kuat tekan cenderung menurun.

Kata kunci: Abu Terbang, Batako, Kuat Tekan, Struktur Mikro.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iv
PRAKATA	vi
ABSTRACT	ix
ABSTRAK	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Ruang Lingkup TA.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Batako.....	5
2.2 Standar Batako	6
2.3 Pasir Alam	7
2.4 Semen Portland 1.....	10
2.5 Air.....	12
2.6 <i>Fly ash</i>	13
2.7 Faktor Yang Mempengaruhi Kualitas Batako.....	14

2.7.1 Uji Bahan Susun	14
2.7.2 Komposisi Bahan Susun Batako	15
2.7.3 Kuat Tekan	15
2.7.4 Struktur Mikro.....	17
2.8 Penelitian Terdahulu.....	17
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	21
3.2 Metode Penelitian.....	21
3.3 Instrumen Penelitian (Alat dan Bahan)	22
3.4 Prosedur Kerja	28
3.4.1 Perencanaan Komposisi Batako.....	29
3.4.2 Perencanaan Pembuatan dan Perawatan Batako	30
3.5 Metode Analisis Data	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Pengujian Kuat Tekan Batako	35
4.2. Pengujian Struktur Mikro Batako.....	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1. Kesimpulan.....	45
5.2. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	51
RIWAYAT HIDUP	69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Syarat-Syarat Fisik Batako Beton	6
Tabel 2.2 Ukuran Batako Berlubang	6
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Pasir Alam Merapi	8
Tabel 2.4 Pengujian Lolos Saringan No.200 (uji kadar lumpur)	10
Tabel 2.5 Bahan-Bahan Utama Penyusun Semen Portland	11
Tabel 2.6 Komposisi Kimia <i>Fly ash</i> Tipe C PLTU Paiton	13
Tabel 2.7 Rasio Kuat Tekan Beton Terhadap Umur	16
Tabel 2.8 Tinjauan Hasil Penelitian Terdahulu	18
Tabel 3.1 Alat Pengambilan Sampel dan Alat Penelitian	23
Tabel 3.2 Bahan Baku Penelitian	27
Tabel 3.3 Komposisi Batako dalam %	29
Tabel 3.4 Komposisi Campuran 1 Sampel Batako <i>Fly ash</i>	29
Tabel 3.5 Komposisi Campuran 1 Variasi Batako <i>Fly ash</i>	30
Tabel 4.1 Hasil Kuat Tekan rata-rata Batako <i>Fly ash</i>	35
Tabel 4.2 Hasil Konversi Kuat Tekan Batako 28 Hari.....	36
Tabel 4.3 Ukuran Lebar Microcrack dan Pori-pori	42
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	51
Tabel 5.2 Gradasi Agregat Halus	52
Tabel 5.3 Hasil Gradasi Daerah II.....	52
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200	53
Tabel 5.5 Berat Bahan Susun	54
Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Bahan Susun	55
Tabel 5.7 Komposisi Campuran 1 Sampel Batako Fly ash	56
Tabel 5.8 Komposisi Campuran 1 Variasi Batako Fly ash	56
Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Batako	57
Tabel 5.10 Kuat Tekan Batako Fly ash	58
Tabel 5.11 Ukuran Lebar Microcrack dan Pori-pori Batako.....	64

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Analisa Saringan Agregat Halus Daerah II.....	9
Gambar 2.2 Skema Uji Kuat Tekan Batako	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian.....	22
Gambar 3.2 Flowchart Pembuatan Batako <i>Fly ash</i>	31
Gambar 4.1 Grafik Nilai Kuat Tekan Batako <i>Fly ash</i>	36
Gambar 4.2 Grafik Nilai Kuat Tekan Batako Umur 28 Hari	37
Gambar 4.4 Hasil Pengujian SEM Variasi A	40
Gambar 4.5 Hasil Pengujian SEM Variasi B	40
Gambar 4.6 Hasil Pengujian SEM Variasi C	41
Gambar 4.7 Hasil Pengujian SEM Variasi D	41
Gambar 4.8 Hasil Pengujian SEM Variasi E.....	41
Gambar 5.1 Grafik Analisa Saringan Agregat Halus Daerah II.....	53
Gambar 5.2 Uji SEM Variasi A	59
Gambar 5.3 Uji SEM Variasi B.....	60
Gambar 5.4 Uji SEM Variasi C.....	61
Gambar 5.5 Uji SEM Variasi D	62
Gambar 5.6 Uji SEM Variasi E.....	63
Gambar 5.7 Pengayakan Bahan Baku Pasir Merapi.....	64
Gambar 5.8 Pengambilan Bahan Baku Semen PPC.....	64
Gambar 5.9 Pengambilan Fly ash Tipe C PLTU Paiton Jawa Timur.....	65
Gambar 5.10 Penimbangan Bahan Baku	65
Gambar 5.11 Proses Mixing Bahan Susun Batako di Mixer Machine.....	65
Gambar 5.12 Proses Cetak Batako menggunakan Mesin Press	65
Gambar 5.13 Hasil Jadi Batako	66
Gambar 5.14 Batako Variasi A (75%:20%:5%:0%)	66
Gambar 5.15 Batako Variasi B (65%:20%:5%:10%)	66
Gambar 5.16 Batako Variasi C (55%:20%:5%:20%)	67
Gambar 5.17 Batako Variasi D (45%:20%:5%:30%)	67
Gambar 5.18 Batako Variasi E (35%:20%:5%:40%).....	67
Gambar 5.19 Pengujian Kuat Tekan Batako Fly ash.....	68
Gambar 5.20 Pengujian SEM Mikrostruktur Batako	68

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel pengujian hasil pengujian analisa saringan agregat halus	51
Lampiran 2. Tabel standar gradasi analisa saringan agregat halus	51
Lampiran 3. Tabel hasil pengujian lolos saringan no. 200 (uji kadar lumpur) ...	53
Lampiran 4. Tabel pemeriksaan bahan susun batako.....	54
Lampiran 5. Perhitungan komposisi batako <i>fly ash</i>	55
Lampiran 6. Pengujian kuat tekan batako	57
Lampiran 7. Pengujian <i>microcrack</i> dan pori-pori pada uji <i>scanning electron microscope</i>	59
Lampiran 8. Dokumentasi proses pembuatan batako <i>fly ash</i>	64
Lampiran 9. Pengujian batako <i>fly ash</i>	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batako sebagai bahan bangunan konstruksi seperti dinding sangat populer digunakan oleh masyarakat di Indonesia. Batako adalah bahan bangunan yang berupa bata cetak alternatif pengganti batu bata yang terbuat dari campuran antara semen dan pasir. Penggunaan bata beton dinilai lebih praktis karena bahannya mudah didapat, pemasangan mudah, dan pemasangannya tidak membutuhkan banyak bahan pendukung serta penggunaan tenaga kerja yang relatif lebih sedikit. Indonesia memiliki banyak bahan-bahan lokal yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan untuk campuran bahan susun bata beton berlubang terutama bahan ikatnya. Semen portland di Indonesia merupakan salah satu tumpuan komoditi ekspor khususnya untuk Asia Tenggara, maka perlu diusahakan adanya bahan pengikat alternatif yang diperuntukkan pada bangunan struktural maupun non struktural. Salah satu bahan susun alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi pemakaian pasir merapi adalah abu terbang atau *fly ash*.

Fly ash atau abu terbang sebagai abu sisa hasil pembakaran batubara pada proses insenerator merupakan satu diantara beberapa sumber yang berpotensi untuk menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Limbah *Fly ash* insenerator mengandung logam beracun dan konsentrasi yang jauh lebih tinggi apabila dilepaskan ke lingkungan oleh pembangkit listrik berbahan bakar batu bara. *Fly ash* memiliki potensi untuk digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi, termasuk dalam pembuatan batako (Lokeshappa dan Dikshit, 2012).

Dalam lampiran XIV Peraturan Pemerintah (PP) 22/2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup yang terbit pada 2 Februari 2021, *fly ash* dan *bottom ash* tak lagi tergolong limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Sebelum berlakunya peraturan tersebut perusahaan atau PLTU penghasil limbah *fly ash* dan *bottom ash* mengirimkan limbah tersebut ke PT.

Prasadha Pamunah Limbah Industri (PPLI). Akan tetapi semenjak berlakunya peraturan terbaru tentang *fly ash* dan *bottom ash*, limbah tersebut yang dihasilkan dari pelaku usaha banyak tertimbun di lokasi pelaku usaha. Maka dari itu, pemerintah meminta kepada pelaku usaha untuk memiliki komitmen dalam mengelola limbah yang dihasilkan dari kegiatan usaha tersebut. Salah satu bentuk pengelolaan limbah *fly ash* dan *bottom ash* yang terbaik yaitu melakukan pemanfaatan sebagai material konstruksi salah satunya batako dari campuran abu terbang atau *fly ash*.

Pada penelitian ini perlu dilakukan penentuan karakteristik abu terbang (*fly ash*) yang bersumber dari PLTU Paiton Jawa Timur tersebut yang meliputi kandungan komposisi kimianya, uji kuat tekan sampel dan uji struktur mikro distribusi ukuran partikel sampel. Sedangkan penentuan struktur mikro ukuran partikel dimaksudkan untuk mengetahui distribusi ukuran lebar *microcrack* (retakan) dan lebar pori pada batako *fly ash*. Distribusi struktur mikroskopi ukuran *microcrack* dan pori sangat erat kaitannya dengan kuat tekan sampel dari produk akhir yang dihasilkan dari solidifikasi *fly ash* yang berupa batako.

Butiran abu terbang atau *fly ash* secara umum lebih halus dari butiran pasir dan semen sehingga dapat menjadi bahan pengisi (*filler*) ruang kosong (porositas) diantara butiran-butiran pasir dan semen di dalam batako yang dampaknya adalah batako menjadi lebih padat karena pori-pori yang ada terisi oleh butiran abu terbang. Kepadatan batako selain akan mempengaruhi mutu kuat tekan dan kerapatan pori, juga akan berpengaruh pada jumlah pasir yang berkurang secara signifikan sehingga akan menurunkan biaya material (Pangestuti, 2011).

Berdasarkan penjelasan diatas maka penting untuk dilakukan penelitian pemanfaatan *fly ash* sebagai material bangunan yang ramah lingkungan. Dalam hal ini sampel batako perlu dilakukan uji kuat tekan sampel dan uji struktur mikro sangat penting, hal ini dikarenakan saling berkaitan, bahwasanya semakin rendah atau rapat ukuran *microcrack* dan lebar pori semakin besar pula kualitas kekuatan tekan sampel batako.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil analisis uji kuat tekan sampel pada kualitas batako yang dihasilkan dari *fly ash*?
2. Bagaimana hasil analisis uji struktur mikro ukuran *microcrack* dan lebar pori melalui uji citra SEM pada kualitas batako yang dihasilkan dari *fly ash*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis uji kuat tekan sampel pada kualitas batako dari campuran *fly ash*.
2. Menganalisis uji struktur mikro berupa *microcrack* dan lebar pori batako dari campuran *fly ash*.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh informasi tentang kuat tekan dan struktur mikro sampel solidifikasi batako dari limbah *fly ash*.
2. Memberikan informasi tentang pemanfaatan limbah *fly ash* menjadi bahan solidifikasi batako.
3. Dimanfaatkan untuk referensi dalam penelitian di masa depan agar mendapatkan gagasan teknologi terbaru untuk mengolah *fly ash* menjadi solidifikasi.

1.5 Ruang Lingkup TA

Adapun ruang lingkup atau batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan cetakan batako tipe berlubang dengan ukuran dimensi 36 x 19,5 x 10 cm sesuai dengan SNI 03-0349-1989.
2. Variabel penelitian berupa pengujian distribusi ukuran partikel melalui uji kuat tekan dan uji struktur mikro berupa microcrack dan pori batako.
3. Pengambilan sampel untuk *fly ash* tipe C didapatkan dari PLTU Paiton Jawa Timur. *Fly ash* yang diambil yaitu sebanyak 80 Kg.
4. Pengambilan sampel untuk semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen PPC (*Portland Pozzolan Cement*) kelas 1 didapatkan dari toko bangunan Nuno.
5. Pengambilan sampel untuk material filler berupa pasir Gunung Merapi yang tersedia di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII.
6. Pembuatan sampel batako sebanyak 5 buah sampel/variasi.
7. Variasi Sampel ada 5 macam, variasi A tanpa penambahan *fly ash* sebagai variabel kontrol, variasi B penambahan 10% *fly ash*, variasi C penambahan 20% *fly ash*, variasi D penambahan 30% *fly ash*, serta variasi E penambahan 40% *fly ash*.
8. Penambahan *fly ash* sebagai pengganti persentase pasir dalam komposisi.
9. Pembuatan sampel batako di produksi pada Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII, Sleman, DIY.
10. Pengujian sampel batako diambil 1 sampel/variasi untuk di analisis uji mikrostruktur dan semua sampel/variasi untuk uji kuat tekan.
11. Pengujian kualitas kuat tekan batako *fly ash* dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII
12. Pengujian struktur mikro berupa *microcrack* dan lebar pori batako *fly ash* dilakukan di Laboratorium Instrumen Teknik Lingkungan FTSP UII.
13. Data pelengkap yang digunakan meliputi jurnal dan publikasi penelitian-penelitian terdahulu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batako

Batako merupakan salah satu bahan bangunan yang umumnya dibuat dengan mencampurkan semen dan pasir. Campuran tersebut kemudian dicetak dengan mesin cetak untuk membentuk batako. Bahan ini seringkali digunakan sebagai alternatif bagi batu bata bakar yang terbuat dari tanah liat. Batako umumnya digunakan sebagai bahan dinding non-struktural.

Berdasarkan standar SNI 03-0349-1989, batako adalah bagian dari struktur bangunan yang terbuat dari campuran semen, pasir, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan seperti damdex. Batako ini dicetak sesuai dengan persyaratan tertentu agar bisa digunakan sebagai bahan untuk pasangan dinding.

Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (1982) dalam pasal 6 mendefinisikan batako sebagai bata yang dibuat dengan mencetak campuran tras kapur, kapur, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya. Setelah dicetak, batako yang masih segar harus ditempatkan dan dipelihara di lingkungan yang lembab.

Dari penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa batako adalah bahan bangunan yang dibentuk dengan mencampurkan semen, pasir, dan air, tanpa melalui proses pembakaran. Selain itu, untuk menjaga kualitasnya, batako yang baru dicetak perlu ditempatkan dan dirawat di lingkungan yang lembab. Hal ini membuatnya cocok sebagai material untuk pasangan dinding.

Berdasarkan Frick Heinz dan Koesmartadi (1999), pemakaian batako lebih menguntungkan secara ekonomis dibandingkan dengan menggunakan bata merah. Beberapa keuntungan dari penggunaan batako meliputi:

1. Penggunaan batako untuk dinding membuat luas permeter persegi jadi lebih sedikit.
2. Penghematan dalam penggunaan adukan plester sampai 75%
3. Berat tembok menjadi lebih ringan, hal itu membuat beban yang diterima pondasi akan berkurang.

4. Kualitas batako dapat membuat dinding tidak perlu diplester jika permukaan batako sudah bagus.
5. Batako dapat dibuat dengan menggunakan alat-alat atau mesin yang sederhana tanpa memerlukan proses pembakaran

2.2 Standar Batako

Syarat fisik dan ukuran batako yang sesuai dengan SNI 03-0349-1989 dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 seperti sebagaimana berikut ini.

Tabel 2.1 Syarat-Syarat Fisik Batako Berlubang

No	Syarat Fisik	Satuan	Tingkat Mutu Batako Berlubang			
			I	II	III	IV
1	Kuat desak bruto* rata-rata min.	kg/cm ²	70	50	35	20
2	Kuat -tekan bruto masing-masing benda uji min.	kg/cm ²	65	45	30	17
3	Penyerapan air rata-rata, maks.	%	25	35	-	-

Sumber: SNI 03-0349-1989.

Tabel 2.2 Ukuran Batako Berlubang

No	Jenis	Ukuran, mm		
		Panjang	Lebar	Tinggi
1	Batako berlubang	390: +3 atau -5	190: +2 atau -2	100: +2 atau -2

Sumber: SNI 03-0349-1989.

Berdasarkan persyaratan SK SNI S-04-1989-F, mutu beton dibagi menjadi empat tingkatan mulai dari mutu I hingga mutu IV dengan keterangan sebagai berikut:

1. Mutu I: Bata beton mutu I digunakan untuk konstruksi yang tidak terlindungi (berada di luar atap). Bata beton berlubang mutu I harus memiliki kuat tekan bruto rata-rata minimal 7 Mpa atau 70 kg/cm².
2. Mutu II: Bata beton mutu II digunakan untuk konstruksi yang menopang beban, tetapi penggunaannya hanya untuk konstruksi yang terlindung dari cuaca (berada di bawah atap). Bata beton berlubang mutu II memiliki kuat tekan bruto rata-rata 5 Mpa atau 50 kg/cm².
3. Mutu III: Bata beton mutu III digunakan untuk konstruksi yang tidak menopang beban, seperti dinding penyekat atau konstruksi lainnya (berada di bawah atap). Bata beton berlubang mutu III memiliki kuat tekan bruto rata-rata 3,5 Mpa atau 35 kg/cm².
4. Mutu IV: Bata beton mutu IV digunakan untuk konstruksi seperti yang digunakan dalam mutu III, namun bata beton mutu IV harus terlindungi dari hujan dan terik matahari (berada di bawah atap dan diplester). Bata beton berlubang mutu IV memiliki kuat tekan bruto rata-rata 2 Mpa atau 20 kg/cm².

Pemilihan mutu beton ini mempertimbangkan fungsi dan kondisi penggunaannya dalam konstruksi, serta menetapkan batas kuat tekan bruto yang harus dipenuhi untuk memastikan kualitas dan keandalan material bata beton.

2.3 Pasir Alam

Pasir atau agregat halus merupakan jenis pasir yang dapat berasal dari pemecahan batuan secara alami atau diproduksi oleh industri batuan. Pasir tersebut memiliki ukuran agregat butir sebesar 4,75 mm atau sejajar dengan ukuran mesh no.4 berdasarkan standar SNI 1970 tahun 2016. Ukuran pasir sendiri berkisar antara 0,063 hingga 4,75 mm, yang mencakup dua kategori utama, yaitu pasir kasar (*coarse sand*) dan pasir halus (*fine sand*).

Agregat halus yang digunakan wajib memenuhi syarat sesuai dengan Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI, 1971) antara lain.

- a. Agregat halus terdiri dari butiran yang besarnya beraneka ragam dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan pada Pasal 3,5 ayat 1 (PBI, 1971), harus memenuhi syarat yaitu:
 1. Sisa ayakan di atas 4 mm, harus minimum 2% berat;

2. Sisa ayakan di atas 1 mm, harus minimum 10% berat; dan
 3. Sisa ayakan di atas 0,25 mm, harus berkisar 80% - 95% berat;
- b. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan dari berat kering). Jika kandungan lumpur melebihi 5% maka agregat halus harus dicuci.
 - c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organis yang terlalu banyak dan harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abraham Harder menggunakan larutan NaOH.
 - d. Agregat halus terdiri dari butiran yang tajam, keras, dan bersifat kekal yang artinya tahan dan tidak pecah terhadap cuaca.

Pada penelitian kali ini menggunakan pasir alam yang berasal dari merapi, adapun sifat-sifat kimia dari pasir alam merapi dapat dilihat pada Tabel 2.3 yang dinilai berpotensi untuk dijadikan bahan solidifikasi berupa batako.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Pasir Alam Merapi

Unsur Kimia Pasir Merapi	Kandungan (%)
SiO ₂	45,7
Al ₂ O ₃	14,0
FeO ₃	18,2
CaO	16,1
K ₂ O	3,86

Sumber: Kusumastuti, 2012.

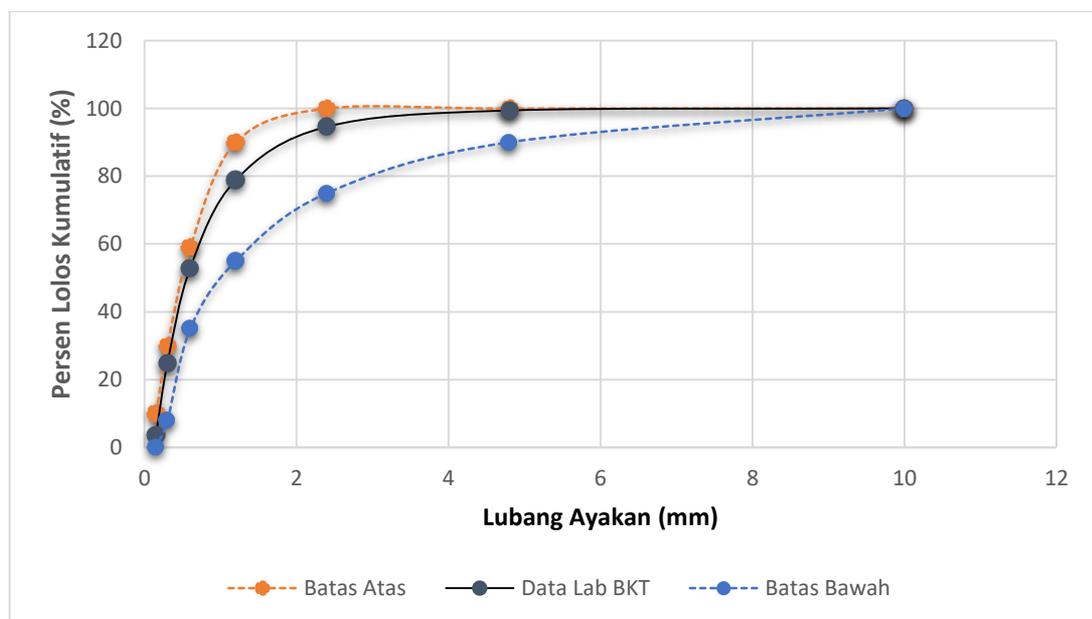
Hasil analisis komposisi kimia abu vulkanik Merapi berdasarkan Tabel 2.1 menyatakan bahwa pasir merapi mengandung komponen yang heterogen dengan komponen utama (jumlahnya mayor) yakni 45,7% berat SiO₂ ; 14,00% berat Al₂O₃ ; 16,1% berat CaO; 18,2% berat Fe₂O₃ dan 3,86% berat K₂O. Hasil analisis kandungan pasir merapi terlihat bahwa material ini termasuk pozzolanik yakni mempunyai kandungan silikat (SiO₂) dan aluminium oksida (Al₂O₃) yang tinggi.

Pada data sekunder yang diperoleh meliputi hasil pengujian analisa saringan agregat dan pengujian lolos saringan no. 200 (uji kadar lumpur) yang telah didapatkan dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII. Adapun hasilnya sebagai berikut. Hasil saring agregat halus berdasarkan metode dan standar SNI 03-1968-1990 yang dilakukan untuk mengetahui serta memperoleh nilai Modulus Hasil Butir (MHB).

Berdasarkan data pada lampiran 1 dan perhitungan diatas dapat dihitung nilai MHB menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\Sigma \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\ &= \frac{345,60}{100} \\ &= 3,456 \end{aligned}$$

Berdasarkan data sekunder diatas modulus halus butir (MHB) agregat halus umumnya memiliki nilai 1,5 – 3,8 (SNI 03-1990). Penelitian ini memperoleh hasil pengujian sebesar 3,456 yang mana memenuhi. Sehingga dari hasil tabel berikut akan didapatkan kurva gradasi agregat halus pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Grafik Analisa Saringan Agregat Halus Daerah II

Berdasarkan kurva analisa pada Gambar 2.1 bahwasanya agregat halus yang digunakan sebagai penelitian solidifikasi berupa batako dengan campuran abu terbang ini termasuk ke dalam daerah gradasi II (pasir bersifat agak kasar) dalam artian pasir alam merapi yang digunakan memenuhi standar karena masuk kedalam daerah gradasi II yang telah ditentukan dan termasuk gradasi yang baik serta semua ukuran butir terwakili dalam setiap saringan (SNI 03-2834-2000).

Pengujian kadar lumpur pasir, untuk melewati saringan nomor 200 menjadi patokan dalam menentukan persentase kandungan lumpur dalam pasir sebagai syarat

mutu, mengacu pada standar SNI 03-4142-1996. Informasi hasil dari pengujian melewati saringan nomor 200 dapat ditemukan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 (uji kadar lumpur)

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500
Berat Agregat Kering Oven Setelah Dicuci (W2), gram	484,5
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	3,1 %

Sumber: Lab Bahan Konstruksi Teknik UII, 2023

Berdasarkan Tabel 2.4, diketahui bahwa pasir alam merapi memiliki kadar lumpur rata-rata sekitar 3,10%. Kandungan lumpur pada pasir ini berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan oleh PBI 1982 tentang, yaitu sebesar 5%. Pentingnya kandungan lumpur yang rendah ini terletak pada fakta bahwa jika pasir memiliki kandungan lumpur lebih dari 5%, maka lumpur tersebut dapat menghambat lekatan yang kuat antara agregat halus dan semen, sehingga menyebabkan kekuatan tekan batako menjadi rendah. Oleh karena itu, pasir yang digunakan dalam pengujian ini memenuhi syarat dan dapat digunakan dalam penelitian karena memiliki kandungan lumpur yang berada di bawah batas yang telah ditetapkan.

Kadar lumpur di pasir yang digunakan dalam konstruksi harus dijaga di bawah 5% karena kandungan lumpur yang tinggi dapat merusak sifat-sifat mekanis dan fisik material konstruksi. Kadar lumpur yang melebihi batas ini dapat mengurangi daya dukung, kekuatan, dan kekerasan pasir, serta mengganggu pengikatan antar partikel (Tjokrodinuljo dan Kardiyono, 1996).

2.4 Semen Portland 1

Menurut ASTM C-150, semen portland adalah jenis semen hidrolik yang dihasilkan melalui penggilingan klinker. Klinker tersebut terdiri dari kalsium silikat hidrolik dan umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama dengan bahan utama lainnya. Fungsi utama semen adalah untuk merekatkan butiran-butiran agregat dan mengisi rongga-rongga di antara agregat sehingga membentuk suatu massa batako yang padat. Meskipun hanya

sekitar 10% dari volume beton, semen memegang peran penting dalam kekuatan dan kualitas beton (Tjokrodimuljo, 2007).

Semen yang digunakan dalam sebuah bangunan harus sesuai dengan perencanaan dan tujuan penggunaan bangunan tersebut. Komposisi bahan utama dalam semen portland meliputi kapur, silika, alumina, magnesia, dan kadang-kadang ditambahkan sedikit alkali. Oksida besi juga ditambahkan untuk mengontrol komposisi semen, sementara gipsium digunakan untuk mengatur waktu pengerasan semen. Bahan-bahan penyusun dalam semen portland tersebut dapat dilihat dalam Tabel 2.5 berikut ini.

Tabel 2.5 Bahan-Bahan Utama Penyusun Semen Portland

No	Komposisi Kimia Semen Portland	Persen (%)
1	Kapur (CaO)	60-65
2	Silika (SiO ₂)	17-25
3	Alumina (Al ₂ O ₃)	3-8
4	Besi (Fe ₂ O ₃)	0.5-6
5	Magnesia (MgO)	0.5-4
6	Sulfur (SO ₃)	1-2
7	Soda / Potash (Na ₂ O + k ₂ O)	0.5-1

Sumber : Tjokrodimulyo, 2007.

Sesuai dengan SNI 15-2049- 2004 penggunaan komposisi senyawa kimia yang berbeda variasinya membuat semen portland dibagi menjadi 5 kategori sebagai berikut:

- a. Jenis I, yaitu semen portland yang penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- b. Jenis II, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- c. Jenis III, yaitu semen portland yang penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- d. Jenis IV, yaitu semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

- e. Jenis V, yaitu semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

2.5 Air

Air adalah bahan dasar pembuat batako yang penting dan merupakan bahan dengan harga yang paling murah. Dalam pembuatannya air yang diperlukan harus memenuhi:

- 1) Bereaksi dengan semen portland.
- 2) Menjadi bahan pelumas antara butir agregat, agar mudah dikerjakan (diaduk, dituang, dan dipadatkan).

Agar dapat bereaksi dengan semen portland, air diperlukan dalam jumlah yang tepat, yaitu berkisar antara 25-30% dari berat semen. Namun, dalam kenyataannya seringkali digunakan lebih dari 40% air, yang berarti nilai faktor air semen (*water-cement ratio*) lebih dari 0,40 (Tjokrodimulyo, 2007). Penambahan air dalam jumlah yang lebih banyak ini dilakukan agar proses pengadukan beton dapat lebih mudah dilakukan. Semakin banyak air sebagai pelumas, semakin mudah adukan beton dapat dikerjakan.

Namun jika terlalu banyak air pada semen maka berpengaruh jelek pada beton, hal ini dikarenakan akan mengakibatkan poros setelah beton menjadi kering serta menyebabkan kekuatannya rendah. Air yang digunakan sebagai bahan bangunan dalam penggunaannya harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (Standar SK-SNI-S-04-1989-F, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A).

- 1) Air harus bersih.
- 2) Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda laying lainnya yang dapat dilihat secara visual.
- 3) Tidak mengandung garam yang dapat larut yang dapat merusak beton lebih dari 15 gram per liter.
- 4) Tidak mengandung khlorida (Cl) melebihi 0,5 gram per liter.
- 5) Tidak mengandung senyawa sulfat (SO_2) melebihi 0,05 gram per liter.

2.6 Fly ash

Fly ash atau abu terbang adalah produk sisa hasil pembakaran batu bara yang umumnya dihasilkan oleh pabrik dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). *Fly ash* berbentuk bubuk halus dan memiliki sifat pozzolanik yang sangat baik. Kandungan utama dalam *fly ash* terdiri dari oksida-oksida seperti silika (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), serta sejumlah kecil potasium, sodium, titanium, dan sulfur (Nugraha & Antoni, 2007).

Fly ash tipe C yang berasal dari pembakaran lignite atau batu bara *subbituminous* yang memiliki senyawa kimia $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 50\%$. *Fly ash* tipe C ini bersifat *pozzolan* dan *cementitious*. *Fly ash* tipe C mengandung kadar CaO yang cukup tinggi dan mempunyai sifat *cementitious*, sehingga jika terkena air atau kelembaban, akan berhidrasi dan mengeras dalam waktu sekitar 45 menit. Dari hasil penelitian, *fly ash* tipe C meningkatkan sedikit *workability* beton, mengurangi kadar air beton dan juga meningkatkan kuat tekan beton.

Pada penelitian kali ini menggunakan abu terbang yang berasal dari PLTU Paiton Jawa Timur, adapun sifat-sifat kimia dari abu terbang tipe C dapat dilihat pada Tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2.6 Komposisi Kimia *Fly ash* Tipe C PLTU Paiton

Unsur Kimia <i>Fly ash</i> (c) PLTU Paiton	Kandungan (%)
SiO_2	33,54
Al_2O_3	19,15
CaO	13,99
MgO	6,74
Mn_3O_4	0,31
Na_2O	0,50
K_2O	0,98
TiO_2	0,94
SO_3	5,15
P_2O_3	2,19

Sumber: Puspa & PJB Paiton, 2016.

Fly ash tipe C memiliki kadar kalsium yang lebih tinggi, memberikan kekuatan awal lebih tinggi daripada tipe F. Kadar *fly ash* yang lebih tinggi mengurangi kebutuhan air karena partikelnya yang kecil mengisi pori beton. Reaksi *pozzolan fly ash* berlangsung lambat pada awalnya dan berperilaku sebagai *micro aggregate*, tetapi pada usia beton lebih lanjut, meningkatkan kuat tekan beton (Mengxiao dkk, 2015).

2.7 Faktor Yang Mempengaruhi Kualitas Batako

2.7.1 Uji Bahan Susun

Pada pengujian ini data yang diperoleh meliputi hasil pengujian analisa saringan agregat dan pengujian lolos saringan no. 200 (uji kadar lumpur). Persyaratan yang perlu dipenuhi oleh bahan-bahan penyusun batako yang akan digunakan perlu dilakukan pemeriksaan agar mendapatkan hasil yang sudah direncanakan.

2.7.1.1 Modulus Halus Butir

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dan memperoleh nilai modulus halus butir (MHB) menggunakan metode dan standar SNI 03-1968-1990. Adapun hasil analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Perhitungan nilai MHB menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{\Sigma \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \quad (2.1)$$

Sumber: SNI 03-1968-1990.

2.7.1.2 Kadar Lumpur

Pengujian lolos saringan no. 200 merupakan acuan untuk menentukan nilai presentase kandungan lumpur dalam pasir sebagai syarat mutu berdasarkan SNI 03-4142-1996.

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dengan:

Berat Agregat Kering Oven, gram (w_1)

Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci, gram (w_2)

Sumber: SNI 03- 4142-1996.

2.7.2 Komposisi Bahan Susun Batako

Dalam pembuatan batako, komposisi bahan-bahan penyusun diukur dalam satuan berat untuk mempermudah proses pencampuran. Analisis dan pembahasan mengenai komposisi batako juga dilakukan dalam satuan berat. Batako dicetak menggunakan mesin press dan penggetar, dengan berat rata-rata per balok sekitar 10-12 kg.

Perbandingan komposisi batako konvensional yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum tahun 1986 adalah sebagai berikut:

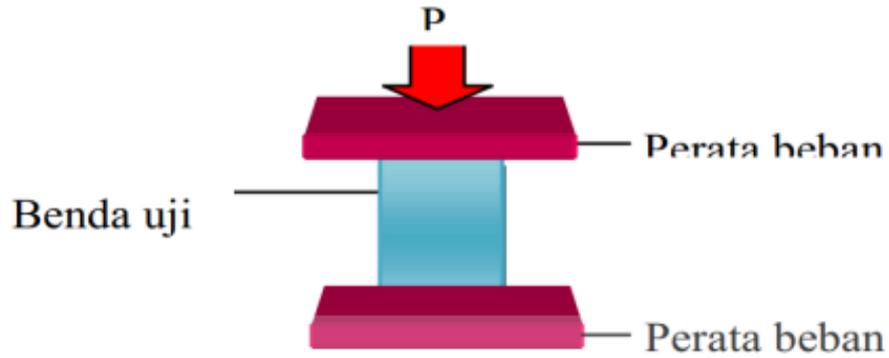
- 75% pasir
- 20% semen
- 5% air

Dengan mengikuti perbandingan komposisi tersebut, batako dapat dibuat dengan kualitas dan sifat yang sesuai dengan standar yang ditetapkan. Proporsi bahan-bahan ini penting untuk menghasilkan batako yang kuat dan kokoh.

2.7.3 Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan batako dilakukan pada masing-masing variasi batako sebanyak lima buah. Pengujian dilakukan menggunakan alat uji tekan yang berada di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII. Pengujian kuat tekan batako dilakukan ketika benda uji berumur 28 hari dengan 5 buah benda uji untuk setiap variasi campuran. Alat yang digunakan adalah alat yang secara khusus menguji kuat tekan sampel sesuai SNI 03-1974-1990.

Nilai kuat tekan batako dapat dihitung berdasarkan besar beban persatuan luas dengan gaya tekan tertentu dari mesin uji. Pengukuran kuat tekan beton yang sesuai dengan persyaratan SNI 03-1974-1990 dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3 dengan ilustrasi pengujian kuat tekan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema Uji Kuat Tekan Batako

$$\text{Kuat tekan} = P/A \quad (2.3)$$

dengan:

Kuat Tekan Batako = (MPa)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang (mm²)

Sumber: (SNI 03-1974-1990)

Tabel 2.7 Rasio Kuat Tekan Beton Terhadap Umur

Umur (hari)	Rasio Kuat Tekan Beton
3	0,40
7	0,65
14	0,88
21	0,95
28	1,00

Sumber: PBI-1971 N.I.- 2.

Berdasarkan pada Tabel 2.7, jika umur batako kurang dari 28 hari, kuat tekan batako berumur 28 hari dapat dihitung dengan rumus rasio sebagai berikut ini.

$$f_c = \frac{f_t}{r}$$

f_t = kuat tekan batako pada usia t (dalam satuan MPa)

f_c = kuat tekan batako pada usia 28 hari (dalam satuan MPa)

t = umur beton dalam hari

r = rasio kuat tekan

Sumber : PBI-1971 N.I.- 2.

2.7.4 Struktur Mikro

Uji Mikroskopi Citra *Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah teknik penting untuk menguji struktur mikroskopi pada sampel, terutama terkait dengan kerapatan sampel. Dalam SEM, citra permukaan benda diamati dengan resolusi yang sangat tinggi menggunakan elektron. Elektron dipercepat dengan energi tinggi dan diarahkan ke sampel yang akan diamati. Ketika elektron bertumbukan dengan sampel, emisi sekunder diukur untuk menghasilkan citra permukaan sampel yang sangat detail dan informatif (Qomariah dan Lestari, 2022). Teknik ini sangat berguna dalam analisis dan penelitian untuk memahami struktur dan karakteristik mikroskopis dari berbagai jenis material dan sampel.

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar sampel dengan memindai permukaan dengan sinar elektron yang terfokus dengan perbesaran hingga skala tertentu. Alat ini digunakan untuk mengamati detail permukaan struktur mikroskopik dan menampilkan pengamatannya secara tiga dimensi.

Dalam penelitian ini, akan diuji struktur mikroskopi sampel berupa *microcrack* dan lebar pori pada batako yang mengandung *fly ash* menggunakan alat uji SEM dengan tipe *max magnification* 4000x. Salah satu keuntungan utama yang dimiliki oleh SEM adalah kemampuannya menghasilkan citra permukaan dengan resolusi tinggi dan detail yang sangat baik, bahkan pada skala nano.

2.8 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu tentang pemanfaatan abu terbang atau *fly ash* disajikan pada tabel 2.8, yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.8 Tinjauan Hasil Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Topik Penelitian	Hasil Penelitian	Perbandingan Dengan Penelitian
1.	Amin Al-Fakih, dkk, 2019.	Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: An update review	Hasil penelitian yang dilakukan pembuatan batu bata ini mencampurkan dengan residu organik berupa puntung rokok daur ulang dalam produksi batu bata dengan isi 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat batu bata tanah liat. Hasilnya menunjukkan bahwa batu bata yang lebih ringan dengan kandungan puntung rokok yang ada didalam sampel batu bata dibandingkan dengan batu bata konvensional yang dimana kerapatannya menurun 30% jika dibandingkan dengan batu bata tanah liat konvensional sehingga daya kuat tekan batako menurun.	Pada penelitian ini memiliki perbedaan pada jenis solidifikasinya yaitu pembuatan batako, pada penggunaan campurannya yaitu menggunakan <i>fly ash</i> pada batako memiliki rasio 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% pada sampel, yang dimana akan diuji mikroskopi sampel dan uji kuat tekan sampel.
2.	Ozge Andic-Cakir, dkk, 2021.	Improvement of Traditional Clay Bricks Thermal Insulation Characteristics by using Waste Materials	Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk campuran pada batu bata tanah liat menggunakan abu dari sisa ranting pohon anggur pada industri pertanian buah anggur di turki, dan rasio pencampuran abu tersebut pada batu bata tanah liat yaitu 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%.	Pada penelitian ini memiliki perbedaan pada hasil akhir solidifikasinya dan bahan campuran yang dipakai yaitu <i>fly ash</i> , dan juga untuk rasio variasi penambahan <i>fly ash</i> berbeda yaitu pada angka 0% sebagai variabel kontrol, 10%, 20%, 30%, dan 40%. Pengujian yang dilakukan yaitu uji mikroskopi sampel dan uji kuat tekan sampel.
3.	Xiang Tian, dkk, 2021.	Solidification of municipal solid waste incineration <i>fly ash</i> and	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pembuatan solidifikasi menggunakan <i>fly ash</i> rumah sakit, dan hasil solidifikasi tersebut berupa batako dan beberapa pengujian termasuk kuat tekan, perilaku pelindian toksisitas, produk hidrasi, struktur pori. Hasil	Pada penelitian ini solidifikasinya sama berupa batako dan untuk perbedaannya yaitu pada sumber <i>fly ash</i> yang didapat dari PLTU Paiton Jawa Timur. Dari tujuan penelitian ini memiliki kesamaan yaitu analisis kuat tekan

No.	Nama Peneliti	Topik Penelitian	Hasil Penelitian	Perbandingan Dengan Penelitian
		immobilization of heavy metals using waste glass in alkaline activation system	penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan sampel campuran abu terbang rumah sakit bervariasi dari 1,8 MPa hingga 29,3 MPa, dan konsentrasi pelindian maksimum Pb, Zn dan Cd adalah 0,052 mg/L, 1,02 mg/L, 0,098 mg/L.	sampel dan untuk perbedaannya yaitu analisis pelindian, yang dimana pada penelitian Xiang Tian telah mempunyai hasil uji pelindian logam berat pada sumber <i>fly ash</i> batu bara tersebut, akan tetapi tidak ada uji mikroskopi struktur batako <i>fly ash</i> .
4.	Chengcheng Fan, dkk, 2021.	Characteristics and leaching behavior of MSWI <i>fly ash</i> in novel solidification/stabilization binders	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pembuatan solidifikasi menggunakan <i>fly ash</i> rumah sakit, dan hasil solidifikasi tersebut berupa batako dan beberapa pengujian termasuk kuat tekan, perilaku pelindian toksisitas, produk hidrasi, struktur pori. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan sampel campuran abu terbang rumah sakit bervariasi dari 1,8 MPa hingga 29,3 MPa, dan konsentrasi pelindian maksimum Pb, Zn dan Cd adalah 0,052 mg/L, 1,02 mg/L, 0,098 mg/L.	Pada penelitian ini solidifikasinya sama-sama berupa batako dan untuk sumber <i>fly ash</i> nya berbeda yaitu dari PLTU Paiton Jawa Timur. Dari tujuan penelitian ini memiliki kesamaan yaitu analisis kuat tekan sampel dan analisis struktur pori menggunakan uji citra SEM. Untuk perbedaannya berada pada variasi sampel, pada penelitian ini menggunakan 5 variasi sampel, sedangkan penelitian Chengcheng Fan hanya menggunakan 1 variasi sampel.
5.	Hui Xu, dkk, 2021.	Laboratory method of microbial induced solidification/stabilization for municipal solid waste incineration <i>fly ash</i>	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peneliti membuat suatu solidifikasi yang dimana menggunakan <i>fly ash</i> atau abu terbang insenerator yang bersumber dari limbah padat kota china. Sampel abu terbang memiliki kandungan CaO sebesar 44,5%, dan konsentrasi pelindian Zn, Cr dan P melebihi batas standar identifikasi untuk limbah berbahaya di China. Pada penelitian ini mempunyai tujuan yaitu analisis pelindian TCLP, analisis struktur pori citra SEM, dan	Pada penelitian ini memiliki topik yang saya yaitu melakukan solidifikasi menggunakan <i>fly ash</i> atau abu terbang, akan tetapi memiliki perbedaan pada sumber <i>fly ash</i> yang digunakan yang dimana pada penelitian ini menggunakan <i>fly ash</i> PLTU Paiton Jawa Timur. Tujuan penelitian ini memiliki kesamaan yaitu analisis struktur pori citra SEM dan analisis kuat tekan sampel, dan untuk

No.	Nama Peneliti	Topik Penelitian	Hasil Penelitian	Perbandingan Dengan Penelitian
			<p>analisis kuat tekan sampel. Sampel abu layang yang telah disiapkan dicampur dengan baik dengan larutan bakteri pada perbandingan kadar abu-cair 1 kg : 0,3 L dan dikeringkan pada suhu 20 C dan kelembaban 95% selama 7 hari. Setelah perawatan, kemampuan pelindian logam berat berkurang secara signifikan untuk memenuhi standar pengendalian polusi, dan kekuatan tekan bebas meningkat sekitar 40%.</p>	<p>perbedaannya yaitu analisis pelindian, yang dimana pada penelitian ini telah mempunyai hasil uji pelindian logam berat pada sumber <i>fly ash</i> batu bara tersebut.</p>
6	Gadling, dkk, 2018.	Ulasan Batu Bata Dengan Campuran <i>Fly ash</i>	<p>Pembuatan batu bata dengan menggunakan campuran <i>fly ash</i> termasuk ramah lingkungan. Abu terbang 70 hingga 80% digunakan dalam pembuatan batu bata bermanfaat untuk peningkatan kuat tekan dan batu kapur membuat kombinasi yang baik dengan campuran <i>fly ash</i> yang meningkatkan daya tahan elemen bata.</p>	<p>Penelitian ini memiliki persamaan pada bahan yang digunakan yaitu menggunakan campuran <i>fly ash</i> akan tetapi memiliki perbedaan pada variasi sampel yang dimana hanya menggunakan 1 jenis sampel saja, dan tidak ada variasi seri kontrol (bata tanpa <i>fly ash</i>) untuk dijadikan perbandingan.</p>

BAB III

METODE PENELITIAN

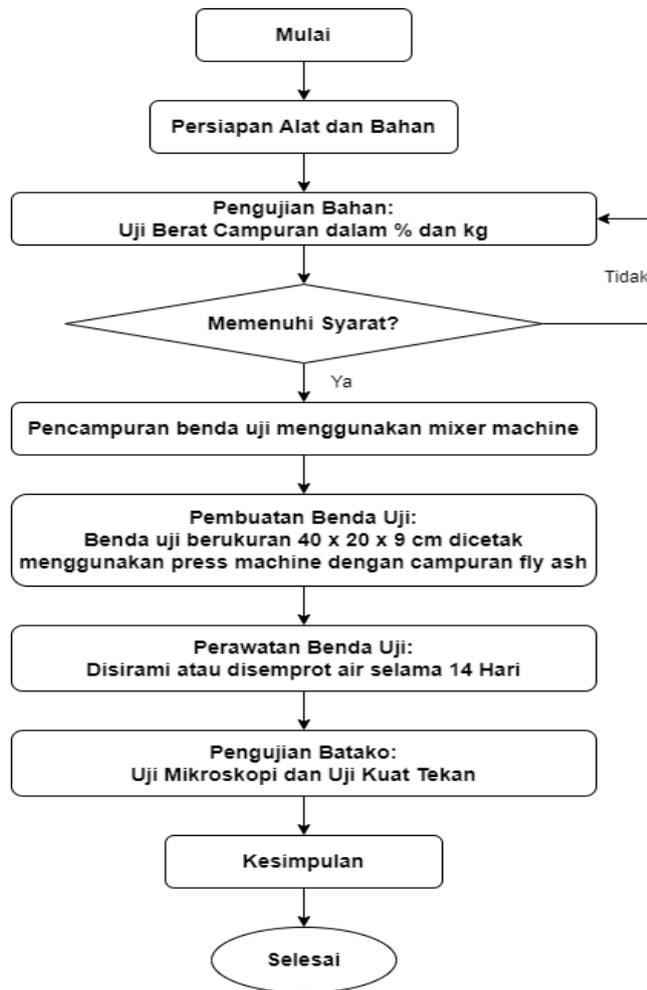
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Pengambilan untuk sampel dalam penelitian ini yaitu *fly ash* yang berlokasi di PLTU Paiton Jawa Timur, sampel pasir merapi diambil pada Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII serta semen portland diambil di Toko Bangunan Nuno. Lokasi pembuatan sampel dilakukan di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII dan penelitian uji sampel akan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII untuk pengujian kuat tekan batako dan Laboratorium Instrumen Teknik Lingkungan FTSP UII untuk pengujian struktur mikro batako. Penelitian dimulai pada bulan Maret 2023 – Agustus 2023.

3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian pada pembuatan batako dari *fly ash* ini dilakukan dengan mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan dan memvariasikan komposisinya antara pasir merapi (PM), semen portland (PPC), air (A), dan *fly ash* (FA) yaitu 10%, 20%, 30%, dan 40% *fly ash* pada campuran sebagai pengganti pasir dalam pembuatan batako. Batako diuji sebesar 11-12 kg/biji dengan ukuran 36 cm x 19,5 cm x 10 cm sesuai dengan standar SNI 03-0349-1989. Setelah proses kemudian diberi perlindungan agar tidak terkena gangguan dari luar selama kurang lebih 14 hari, kemudian dilakukan cek *quality control* untuk dapat dilakukan pengujian kuat tekan batako dan pengujian mikro struktur batako.

Berikut diagram alir dari tahapan penelitian pembuatan batako dari campuran abu terbang yang akan dilakukan sebagaimana pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

Untuk studi literatur diperoleh dari buku, jurnal dan artikel yang berasal dari internet terkait pembuatan batako dari campuran abu terbang serta pengujian kuat tekan, struktur mikro, dan topik serupa lainnya.

3.3 Instrumen Penelitian (Alat dan Bahan)

1. Alat Pengambilan Sampel dan Alat Penelitian

Adapun alat yang akan digunakan dalam pengambilan sampel, pembuatan sampel, dan pengujian sampel pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Alat Pengambilan Sampel dan Alat Penelitian

No.	Jenis Alat	Spesifikasi	Penggunaan
Alat Pengambilan Sampel			
1.	Goni 	Ukuran: 35 x 57 cm Kapasitas: 5 – 10 Kg Berat: 0,15 – 0,18 Kg	Sebagai wadah bahan baku
2.	Sekop 	Bahan material: Besi Tinggi total: 100 cm Tinggi mata sekop: 35 cm Lebar mata sekop: 24 cm Gagang sekop: Besi	Sebagai alat pengambilan bahan baku yang dipindahkan menuju wadah.
Alat Penelitian			
3.	Pengayak/saringan 	Ukuran mesh: 4,75 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,30 mm, dan 0,15 mm.	Sebagai alat pemisah padatan/ penyaringan menjadi ukuran yang seragam.
4.	Ember 	Kapasitas : 11,45 liter Berat : 0,80 kg	Sebagai wadah/tempat dan alat takar bahan.

No.	Jenis Alat	Spesifikasi	Penggunaan
5.	Timbangan Digital 	Kapasitas maksimum: 220 gr Beban minimum: 10 mg Pan size: 100 mm Daya listrik: 12 – 16 V DC Display: LCD	Sebagai alat pengukuran untuk mengukur berat atau beban massa pada suatu zat.
6.	Gelas Ukur 	Bahan: Plastik Volume: 1000 ml	Sebagai alat menghitung jumlah air yang dipakai dalam campuran.
7.	Mixed Machine 	Kapasitas press: 5 ton Tinggi: 60 cm Lebar: 44 cm Lebar kaki : 25 cm	Sebagai alat untuk mengaduk campuran pasir, semen, air, dan <i>fly ash</i> .
8.	Hydrolic Press Machine 	Dimensi: 275x100x230 cm Berat mesin: 1500 kg Power: 24 HP Sistem tekan: Hidrolik Otomatis Tingkat Tekan: 20 - 30 ton	Sebagai alat untuk mempress adukan batako dan mencetak batako dengan ukuran 39 x 19,5 x 10 cm.

No.	Jenis Alat	Spesifikasi	Penggunaan
9.	Papan Kayu 	Panjang: 100 cm Lebar: 70 cm Dilapisi Aluminium dibagian atas papan kayu	Sebagai wadah dari batako yang sudah dicetak.
10.	Palu 	Diameter: 30 cm Tinggi: 43 cm Volume: 18,5 L	Sebagai alat untuk menghaluskan sampel batako untuk diuji SEM.
11.	Baskom 	Bahan: Stainless Steel Dimensi: (38 x 38 x 14) cm	Sebagai wadah untuk serbuk batako yang sudah dihancurkan yang akan di uji sem.
12.	Sendok Sugu 	Bahan: Stainless Steel Panjang: 18 cm	Sebagai alat untuk mengambil bahan kimia padat maupun serbuk pada saat akan di uji SEM.
13.	Cawan Porselin 	Bahan: Keramik tahan panas Ukuran: 125 ml Diameter 98 mm	Sebagai wadah tempat hasil serbuk batako untuk di uji SEM.

No.	Jenis Alat	Spesifikasi	Penggunaan
14.	Shaker 	Kapasitas: sampai dengan 12 sieves dia. 200/ 203mm, dan 10 sieves dia. 300/ 315 mm Range waktu penggunaan : 0-30 min. Power: 180 W 230 V, 50 Hz, 1 Ph Dimensi (l x d x h) : 660 x 500 x 1510 mm Berat : 65 kg approx.	Sebagai alat untuk memisahkan ukuran agregat dan menentukan distribusi ukuran partikel agregat.
Alat Pengujian Sampel			
15.	Alat uji kuat tekan 	Maks Press Kuat Tekan: 30.000 ton Jenis: Analog Kapasitas: 2000 kN Berat: 525-600 kg Ketelitian: 1 kN	Sebagai alat untuk mengetahui nilai estimasi kuat tekan batako.
16.	<i>Scanning Electron Microscope</i> 	Resolusi: ≤ 6 nm SED dan ≤ 8 nm BSD Ukuran sampel: diatas 25 mm Digital zoom: Maks. 12x	Sebagai alat untuk melihat struktur mikro pada batako dengan mikroskop electron yang memiliki resolusi yang sangat tinggi.

No.	Jenis Alat	Spesifikasi	Penggunaan
		Pembesaran maksimal: 160- 350.000x Pembesaran optik ringan: 27-160x Voltase akselerasi: 5 Kv, 10 Kv, dan 15Kv Kamera: Warna	

2. Bahan

Adapun bahan yang akan digunakan dalam pembuatan batako pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Bahan Baku Penelitian

No.	Nama Bahan	Gambar
1.	<i>Fly ash</i> Tipe C	
2.	Pasir Merapi	

No.	Nama Bahan	Gambar
3.	Semen Portland 1	
4.	Air Sumur Lab BKT	

3.4 Prosedur Kerja

Dalam persiapan alat dan bahan, dilakukan pengambilan sampel dari PLTU Paiton di Jawa Timur. Sampel tersebut merupakan hasil sampingan dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap berupa *fly ash* tipe C. Pasir merapi diambil pada Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII. Sementara itu, untuk semen portland diambil dari toko Bangunan Nuno. Jumlah sampel yang diambil adalah 80 Kg untuk *fly ash*, 80 Kg untuk semen portland, dan 220 Kg untuk pasir merapi. Dengan demikian, pada saat memulai pembuatan batako, terdapat 5 variasi sampel, dan totalnya terdapat 25 sampel batako. Jika terjadi kesalahan dalam proses pembuatan, masih ada bahan baku yang cukup untuk membuat batako sesuai dengan prosedur yang ditentukan.

3.4.1 Perencanaan Komposisi Batako

Pada penelitian kali ini ada penambahan *fly ash* yang dimana nantinya bahan tersebut mengurangi persentase berat pasir, hal ini dikarenakan komposisi kimia dari *fly ash* dan pasir memiliki kemiripan. Berikut variasi dan komposisi campuran batako dapat dilihat pada Tabel 3.3 serta informasi mengenai detail perhitungan kebutuhan bahan untuk 1 sampel batako dapat dilihat pada Lampiran 5

Tabel 3.3 Komposisi Batako dalam %

Variasi Sampel	Campuran (Perbandingan Berat dalam %) PM : PPC : A	Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Jumlah Sampel
A	75% : 20% : 5%	0%	5
B	65% : 20% : 5%	10%	5
C	55% : 20% : 5%	20%	5
D	45% : 20% : 5%	30%	5
E	35% : 20% : 5%	40%	5

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum tahun 1986

Hasil rekapitulasi perhitungan kebutuhan tiap-tiap bahan campuran telah diperoleh pada lampiran. Hasil perhitungan kebutuhan bahan untuk 1 sampel batako dapat dilihat pada Tabel 3.4 serta informasi mengenai detail perhitungan kebutuhan bahan untuk 1 sampel batako dapat dilihat pada Lampiran 5.

Tabel 3.4 Komposisi Campuran 1 Sampel Batako *Fly ash*

Variasi	Persentase Campuran (PM:PPC:A:FA)	Pasir (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	<i>Fly Ash</i> (kg)
A	75% : 20% : 5% : 0%	10	2,03	0,37	0
B	65% : 20% : 5% : 10%	8,5			1
C	55% : 20% : 5% : 20%	7,2			2
D	45% : 20% : 5% : 30%	6			3
E	35% : 20% : 5% : 40%	4,6			4

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Setelah mendapatkan komposisi campuran bahan susun batako untuk 1 sampel batako pada Tabel 3.4, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan untuk membuat 5 sampel untuk 1 variasi guna memudahkan pekerja dalam proses pembuatan batako. Berikut adalah komposisi campuran 1 variasi batako *fly ash* yang terdapat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Komposisi Campuran 1 Variasi Batako *Fly ash*

Variasi	Persentase Campuran (P:PPC:A:FA)	Pasir (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	<i>Fly Ash</i> (kg)
A	75% : 20% : 5% : 0%	50	10,5	1,85	0
B	65% : 20% : 5% : 10%	42,5			5
C	55% : 20% : 5% : 20%	36			10
D	45% : 20% : 5% : 30%	30			15
E	35% : 20% : 5% : 40%	23			20

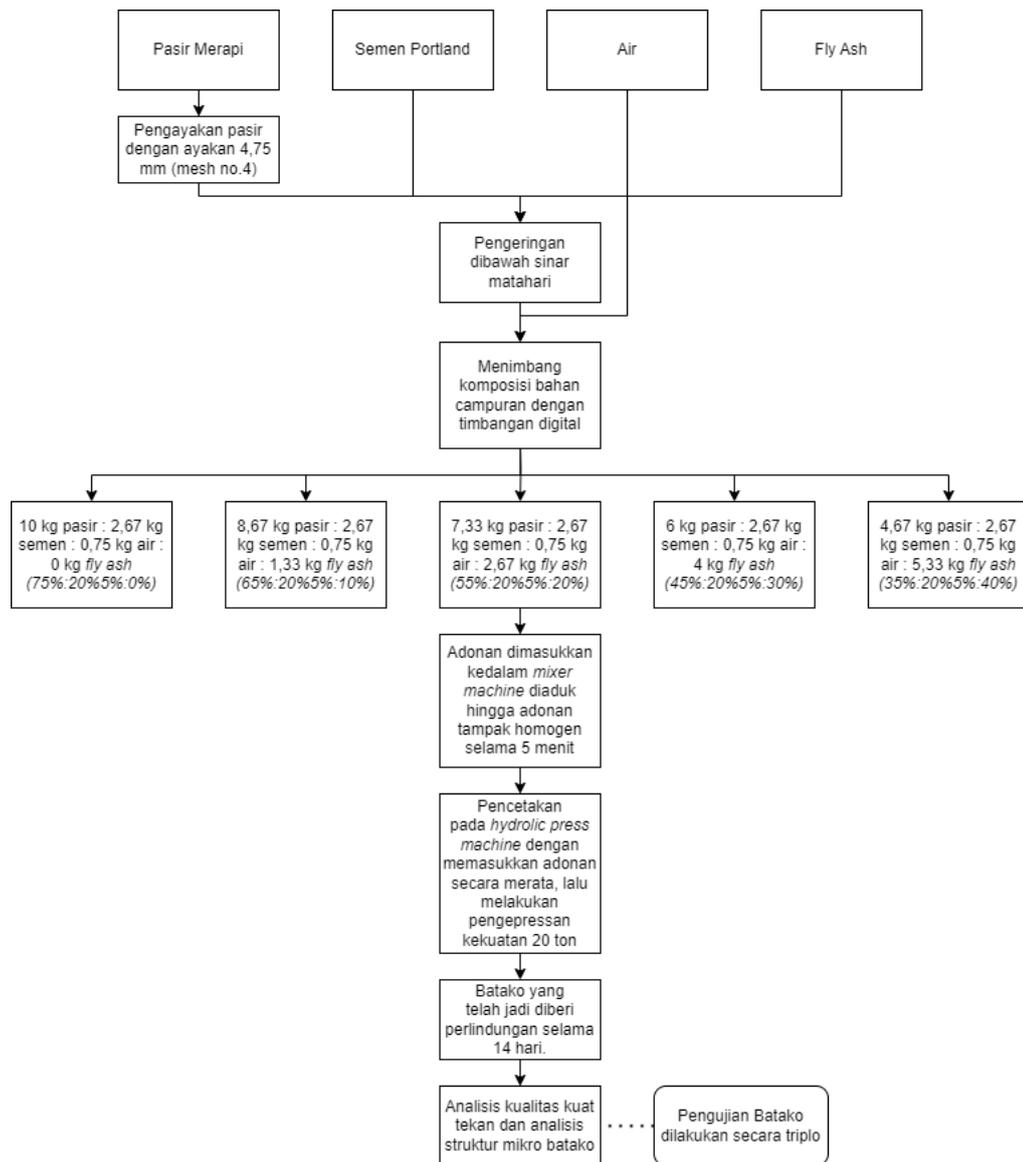
Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Dari seluruh jumlah batako per variasi di atas, beberapa batako akan dibagi untuk berbagai pengujian. Sebanyak 5 buah batako per variasi digunakan untuk pengujian kuat tekan, dan setelah batako tersebut di uji kuat tekan, akan dilakukan uji struktur mikro berupa *microcrack* dan lebar pori pada *scanning electron microscope* (SEM).

3.4.2 Perencanaan Pembuatan dan Perawatan Batako

Dalam persiapan alat dan bahan dilakukan dengan mengambil sampel pasir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII dan semen di UD. Nuno, Jl. Kabupaten KM.1,5, Biru, Trihanggo, Kec. Gamping, Kab. Sleman, DIY. Sampel *fly ash* diambil di PLTU Paiton Jawa Timur. Sampel pasir merapi diambil sebesar 220 Kg, semen sebesar 80 Kg dan untuk *fly ash* PLTU Paiton juga diambil sebesar 80 Kg. Pembuatan batako dilakukan di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII. Proses pembuatan batako dapat menghasilkan sebanyak 5 variasi di tiap variasi membuat 5 buah sampel dengan total 25 sampel yang akan dibuat untuk dilakukan analisis.

Setelah dirumuskan tujuan penelitian, maka penelitian bisa dilakukan. Tetapi untuk menganalisis kualitas batako, harus mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Setelah itu, masuk ke proses pembuatan batako sesuai *flowchart* atau Gambar 3.2 di bawah.



Gambar 3.2 *Flowchart* Pembuatan Batako *Fly ash*

Berikut ini pembuatan dan perawatan benda uji untuk setiap pengujian. Langkah-langkah pembuatan batako yang dilakukan adalah seperti sebagaimana berikut ini.

a) Persiapan

1. Pengambilan *fly ash* dari PLTU Paiton Jawa Timur.
2. Pengambilan pasir gunung merapi dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII.
3. Pengambilan semen portland dari Toko Bangunan Nuno.
4. *Fly ash* disiapkan sedemikian rupa hingga mencapai kondisi *Saturated Surface Dry (SSD)*.
5. Menghitung berat volume dari *fly ash*, pasir, dan semen menggunakan timbangan untuk mencari kebutuhan tiap bahan susun untuk membuat 1 sampel batako.

b) Langkah-langkah pencampuran bahan penyusun penambahan *fly ash*

1. Membersihkan alat mixer serta membasahi sisi alat dengan sedikit air agar pada saat pengadukan bahan tidak terjadi peresapan air yang dapat mengakibatkan volume pencampuran air jadi berkurang.
2. Menimbang komposisi bahan campuran seperti *fly ash*, pasir, dan semen dengan perbandingan berat seperti pada Tabel 3.5.
3. Masukkan *fly ash* dan pasir sesuai dengan komposisi yang sudah ditetapkan seperti pada Tabel 3.5 ke dalam mixer machine, lalu aduk kedua bahan tersebut secara perlahan.
4. Setelah itu, masukkan juga semen yang sudah ditakar ke dalam mesin lalu aduk lagi secara perlahan.
5. Kemudian, masukkan air secara perlahan ke dalam mesin agar bahan-bahan tersebut dapat tercampur dengan baik.
6. Proses pencampuran dilakukan sampai semua bahan tercampur secara merata dan tampak homogen.
7. Campuran batako segar yang telah tercampur dikeluarkan dari alat mixer dengan cara membuka penutup lubang bagian bawah alat.

c) Tahap pencetakan

1. Campuran batako segar yang sudah dikeluarkan dari alat mixer kemudian dimasukkan ke dalam alat press batako.

2. Penggetar pada alat press dinyalakan agar cetakan terisi dengan campuran secara merata dan padat. Pada saat penggetaran, pasta semen akan bergerak ke bawah akibat gaya gravitasi sehingga mengisi bagian bawah cetakan.
3. Campuran batako dimasukkan lagi ke dalam cetakan sampai penuh, setelah itu digetarkan lagi agar campuran padat lalu menambahkan pasta semen secukupnya pada bagian atas cetakan sebelum dipress terakhir kali.
4. Setelah campuran selesai dipress, tuas mesin press diangkat dan batako segar hasil cetakan tersebut pun jadi.
5. Batako segar yang telah dicetak lalu diangkat beserta alasnya untuk dipindahkan ke tempat yang teduh. Satu hari setelahnya, batako ditumpuk pada tempat yang teduh juga.
6. Pada saat proses pemindahan batako segar, tukang cetak batako harus melakukannya dengan hati-hati agar batako segar tidak mengalami keretakan atau bahkan pecah. Ukuran batako segar setinggi 20 cm menyebabkan batako segar sangat rawan retak jika terjadi guncangan.
7. Batako yang sudah ditumpuk kemudian diberi perlindungan agar tidak terkena gangguan dari luar selama kurang lebih 14 hari.

3.5 Metode Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara kualitatif dengan pendekatan deskriptif. Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan data informasi berdasarkan kenyataan (fakta) yang diperoleh selama dilakukannya penelitian. Fokus dari penelitian ini adalah mengkaji kualitas kuat tekan dan struktur mikro dari batako yang dibuat menggunakan bahan baku semen portland, pasir, air, dan campuran hasil samping pembakaran batu bara PLTU Paiton Jawa Timur yaitu *fly ash* tipe c.

a) Uji Kuat Tekan Batako

Pengujian kuat tekan batako dilakukan pada masing-masing variasi batako sebanyak lima buah. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagaimana berikut ini.

1. Pemberian tanda batako untuk memudahkan pada saat mencatat nilai kuat tekan batako.
2. Sampel diletakkan pada alat uji kuat tekan.
3. Mulai proses pembebanan dengan menyalakan mesin alat kuat tekan.
4. Catat pembebanan pada setiap interval pembacaan data.
5. Pembebanan dilakukan terus secara bertahap sampai sampel hancur.

b) Uji Mikroskopi Struktur

Struktur Mikroskopi pada sampel sangat penting untuk diuji, dalam hal ini bersangkutan dengan kerapatan sampel. Uji Mikroskopi Citra *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan menggunakan alat yang berada di Laboratorium Instrumen Teknik Lingkungan FTSP UII. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagaimana berikut ini.

1. Siapkan sampel yang akan diamati, pastikan sampel telah dipersiapkan terhindar dari kontaminasi atau kerusakan selama pengujian.
2. Nyalakan instrumen SEM dan biarkan ia menghangat selama beberapa menit agar mencapai suhu dan tekanan yang stabil.
3. Pastikan ukuran sampel sesuai dengan spesifikasi alat.
4. Tempatkan sampel di pemegang sampel atau stub yang sesuai. Pastikan sampel terpasang dengan aman dan stabil.
5. Atur parameter pengujian sesuai tujuan pengujian.
6. Mulai pencitraan SEM dan ambil gambar permukaan sampel pada berbagai skala dan sudut pandang. Atur parameter pengaturan gambar untuk mendapatkan gambar terbaik.
7. Analisis gambar hasil pengujian untuk mengidentifikasi mikrostruktur pasir berupa *microcrack* dan distribusi lebar pori dengan ruler dari uji SEM.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Kuat Tekan Batako

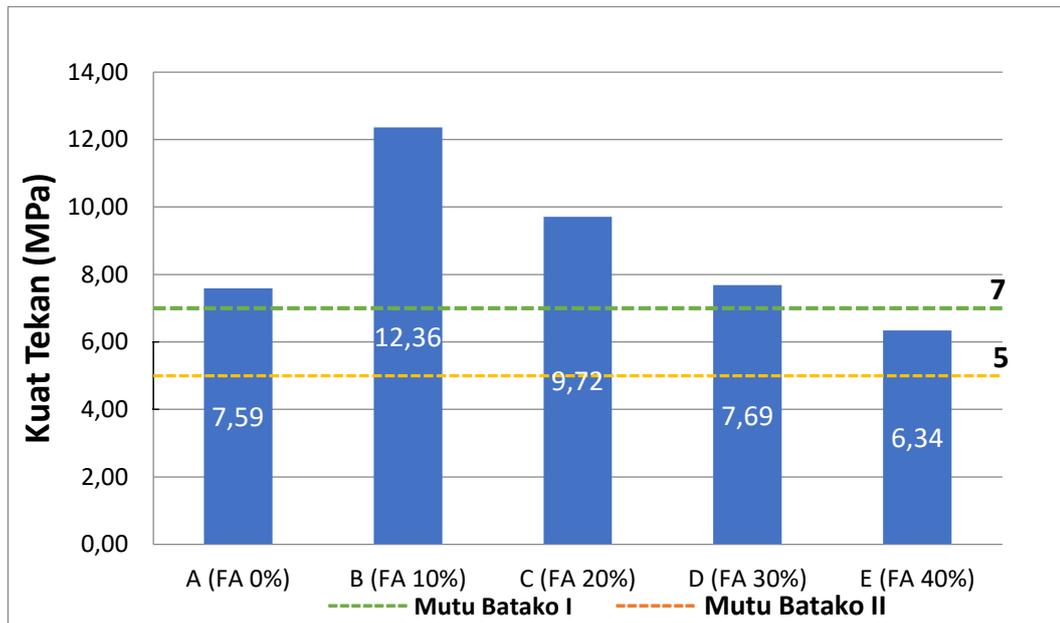
Batako *fly ash* yang telah diproduksi di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII selanjutnya diangkut ke Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII untuk dilakukan pengujian kuat tekan. Pengujian dilaksanakan sesuai dengan standar SNI-03-0349-1989 yang berlaku. Pengujian kuat tekan batako dilakukan setelah sampel batako *fly ash* berumur 14 hari.

Hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan maksimum batako dari pembebanan oleh alat uji tekan. Kekuatan batako *fly ash* ditentukan oleh beberapa faktor seperti, metode dan proporsi campuran bahan, faktor air semen, dan kualitas dari batako. Hasil pengujian kuat tekan batako *fly ash* pada penelitian ini dapat dilihat seperti sebagaimana pada Tabel 4.1 dan grafik pada Gambar 4.1. Informasi detail hasil pengujian kuat tekan batako per sampel dapat dilihat pada Lampiran 6.

Tabel 4.1 Hasil Kuat Tekan rata-rata Batako *Fly ash*

Variasi	Berat Batako (kg)	Beban Maks (kN)	Luas Tampang (mm ²)	σ (MPa)
A (75:20:5:0) %	10,44	214	28.220	7,59
B (65:20:5:10) %	11,69	352	28.493	12,36
C (55:20:5:20) %	11,54	277	28.480	9,72
D (45:20:5:30) %	11,39	217	28.205	7,69
E (35:20:5:40) %	10,85	179	28.236	6,34

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.



Gambar 4.1 Grafik Nilai Kuat Tekan Batako pada tiap variasi campuran *Fly ash*

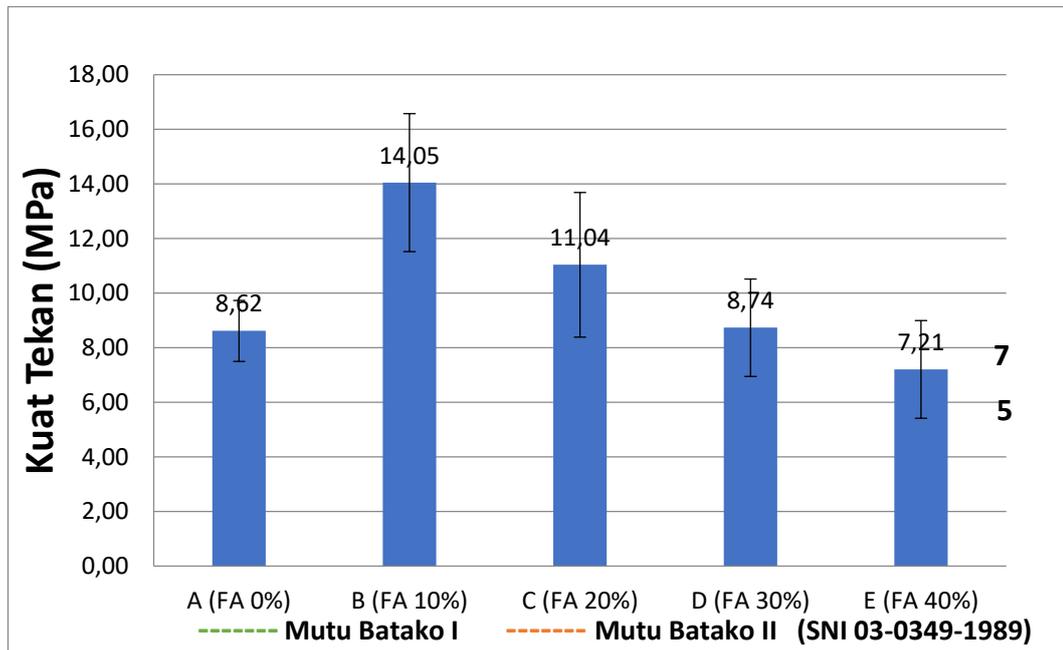
Berdasarkan Gambar 4.1 di atas, batako variasi B dengan campuran 10 % *fly ash* memiliki kuat tekan terbesar, yaitu 12,36 MPa. Sedangkan batako variasi E dengan campuran 40 % *fly ash* memiliki kuat tekan terkecil, yaitu 6,34 MPa. Penggantian bahan material pasir dengan *fly ash* yang terlalu banyak merupakan penyebab utama turunnya kuat tekan pada batako.

Berdasarkan hasil uji kuat tekan umur 14 hari, jika dikonversi ke umur 28 hari maka kuat tekan setara dengan kuat tekan 14 hari dibagi dengan angka rasio 0,88. Secara rinci ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Konversi Kuat Tekan Batako 28 Hari

Variasi	σ 14 Hari Rata-rata (MPa)	σ 28 Hari Rata-rata (MPa)
A (FA 0%)	7,59	8,62
B (FA 10%)	12,36	14,05
C (FA 20%)	9,72	11,04
D (FA 30%)	7,69	8,74
E (FA 40%)	6,34	7,21

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.



Gambar 4.2 Grafik Nilai Kuat Tekan Batako Umur 28 Hari

Dapat dilihat pada Gambar 4.2 nilai kuat tekan batako umur 28 hari menggunakan perhitungan konversi kuat tekan yang tercantum pada PBI-1971 N.I.-2. Pada Tabel 4.2 tersebut memperjelas bahwa perbandingan umur beton dengan kuat tekan beton berbanding lurus, semakin panjang umur beton maka kuat tekan beton akan semakin meningkat dan sebaliknya semakin pendek umur beton maka semakin kecil pula kuat tekannya (SNI 03-6805-2002).

Menurut Tjokrodinuljo (2007), kuat tekan beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Laju kenaikan kuat tekan beton mula-mula cepat, seiring berjalannya waktu laju kenaikan itu akan semakin lambat dan laju kenaikan itu akan menjadi relatif sangat kecil setelah berumur 28 hari. Sebagai standar kuat tekan beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari.

Standar yang umum digunakan untuk mengukur kuat tekan beton adalah pada umur 28 hari. Dalam banyak kasus, ketika mengacu pada kuat tekan beton, diasumsikan bahwa yang dimaksud adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari, karena pada titik tersebut laju kenaikan kuat tekan biasanya sudah berada pada

tingkat yang stabil dan peningkatan lebih lanjut cenderung sangat kecil. Dengan kata lain, umur 28 hari sering dianggap sebagai periode standar untuk mengukur kuat tekan beton (Tjokrodinuljo, 2007).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh yaitu pengujian kuat tekan pada sampel batako dengan komposisi campuran *fly ash* 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 %. Material yang digunakan dalam pembuatan batako yaitu: pasir (PM), semen (PPC), air (A), dan *fly ash* (FA) yang bervariasi komposisinya. Setelah pembuatan batako dicetak kemudian dikeringkan sampai batakonya kering.

Pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa pengaruh penambahan *fly ash* sebagai pengganti pasir dengan variasi komposisinya terhadap nilai kuat tekan batako dapat dilihat bahwa penambahan bahan campuran *fly ash* antara 10 % pada variasi B sampai 30 % *fly ash* pada variasi D jika dibandingkan dengan variasi A (kontrol) menghasilkan kekuatan tekan batako yang meningkat. Hal ini disebabkan karena sifat pozzolan (SiO_2 dan Al_2O_3) dari *fly ash* akan bereaksi dengan hasil samping hidrasi semen $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Hasil samping hidrasi semen tersebut mulanya adalah senyawa yang tidak diinginkan, namun dengan adanya senyawa SiO_2 dan Al_2O_3 dari *fly ash*, senyawa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dari hidrasi semen tersebut kemudian bereaksi menjadi senyawa yang diinginkan yaitu $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ atau *tobermorite* yang merupakan senyawa kimia yang terbentuk guna memperkuat batako sehingga meningkatkan kuat tekan batako.

Penambahan *fly ash* dengan kandungan aluminium silika (SiO_2 dan Al_2O_3) yang bertemu dengan semen akan mengubah hidrasi semen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang bersifat melemahkan kuat tekan menjadi $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ atau *tobermorite* yaitu senyawa yang dapat memperkuat ikatan antar partikel membuat strukturnya lebih padat karenanya, kekuatan tekan batako meningkat (Ogawa dkk, 2010).

Dari proses kimia tersebut, dapat dilihat bahwa penambahan *fly ash* yang berlebihan mengakibatkan kuat tekan batako juga akan menurun, hal tersebut karena hasil samping hidrasi semen yaitu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang sudah habis sehingga tidak dapat bereaksi lagi dengan *pozzolan fly ash* (SiO_2 dan Al_2O_3) yang masih tersisa.

Kandungan pozzolan dari *fly ash* melebihi jumlah maksimum sehingga dapat menurunkan daya rekat semen terhadap campuran.

Sesuai dengan Mulyono (2005), proses hidrasi semen merupakan interaksi antara semen dan air, yang membentuk struktur tiga dimensi yang saling terhubung secara acak dan secara perlahan mengisi ruang yang ditempati oleh air. Proses ini kemudian mengeras dan membeku, memberikan kekuatan pada material tersebut.

Sedangkan pada penambahan 40% *fly ash* sebagai pengganti pasir terjadi penurunan kekuatan tekan batako, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu, batas maksimal pada penambahan komposisi *fly ash* sebagai pengganti pasir antara 10 % sampai 30 %. Sesuai dengan penelitian Ratmayana (2002), mensyaratkan penggunaan *fly ash* sebagai bahan bangunan yang paling baik adalah 10-30% agar dapat menjaga kualitas batako sesuai dengan standarnya (SNI 03-0349-1989).

Semakin banyak campuran *fly ash* ditambahkan pada campuran batako dapat menurunkan kekuatan tekan pada batako, hal ini terjadi karena dari proses kimia tersebut, dapat dilihat bahwa penambahan *fly ash* yang berlebihan mengakibatkan kuat tekan batako juga akan menurun, hal tersebut karena hasil samping hidrasi semen yaitu Ca(OH)_2 yang sudah habis sehingga tidak dapat bereaksi lagi dengan *pozzolan fly ash* (SiO_2 dan Al_2O_3) yang masih tersisa. Kandungan pozzolan dari *fly ash* melebihi jumlah maksimum sehingga dapat menurunkan daya rekat semen terhadap campuran.

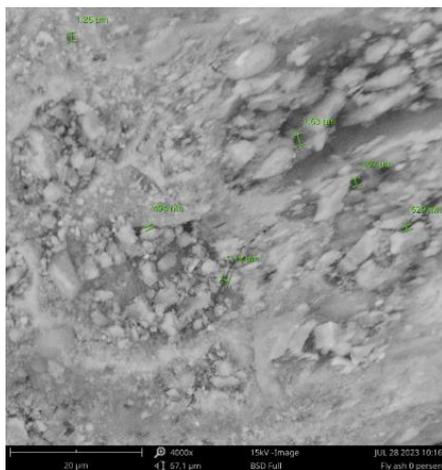
Dari hasil pembahasan di atas maka dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan maksimum terjadi pada batako variasi B dengan 10% *fly ash* sebesar 14,05 MPa sesuai dengan standar SNI 03-0349-1989 masuk kategori kelas I tingkat mutu bata batako lubang dengan nilai standar 7 Mpa atau 70 Kg/cm^2 . Jadi penggunaan *fly ash* sebagai pengganti pasir pada pembuatan batako itu kurang efisien jika persentase penambahannya melebihi 30%, hal ini disebabkan oleh produk sampingan dari proses hidrasi semen yakni Ca(OH)_2 telah habis terpakai, maka tidak mungkin lagi berinteraksi dengan pozzolan *fly ash* yang tersisa (SiO_2 dan Al_2O_3). Kandungan pozzolan dalam *fly ash* yang melebihi batas maksimal (>30%)

pada akhirnya dapat mengurangi kemampuan semen untuk melekat pada campuran bahan sehingga menyebabkan penurunan kualitas berupa kuat tekan batako dan memperbesar ukuran *microcrack* serta ukuran pori.

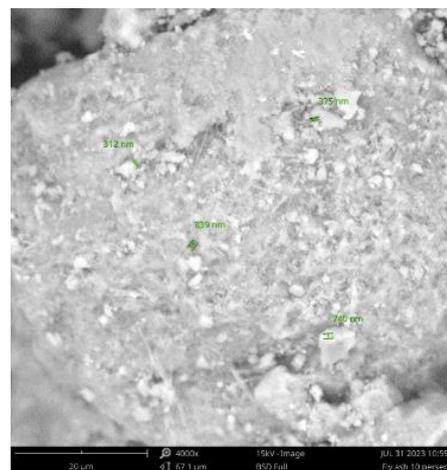
4.2. Pengujian Struktur Mikro Batako

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan dengan mengambil sedikit bagian dari setiap batako dengan komposisi campuran *fly ash* pada variasi B, C, D, dan E sebagai sampel, dan batako konvensional pada variasi A sebagai pembanding. Sampel yang terkumpul kemudian diuji menggunakan SEM di Laboratorium Instrumental Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Tujuan dari pengujian SEM adalah untuk mengetahui kerapatan patahan atau *microcrack* dan lebar pori (porositas) pada semua batako dengan komposisi campuran *fly ash*.

Pengamatan struktur mikro ini memberikan wawasan penting tentang karakteristik dan interaksi bahan-bahan tersebut dalam pembuatan batako yang dapat membantu memahami sifat dan kualitas batako dengan berbagai variasi komposisi campuran *fly ash*. Foto mikroskopik hasil pengujian SEM dengan perbesaran 4000x dengan ukuran objek 20 μm dapat dilihat pada Gambar 4.3 sampai Gambar 4.7. Informasi tentang gambar struktur mikro batako yang lebih detail dan lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran 7.



Gambar 4.3 Hasil Pengujian SEM Variasi A



Gambar 4.4 Hasil Pengujian SEM Variasi B

Tabel 4.3 Ukuran Lebar *Microcrack* dan Pori-pori

Variasi	<i>Microcrack</i> (μm)	Pori-pori (μm)
A (<i>Fly ash</i> 0%)	0,49 – 1,12	1,07 – 1,63
B (<i>Fly ash</i> 10%)	0,31 – 0,38	0,74 – 0,84
C (<i>Fly ash</i> 20%)	0,73 – 1,62	1,23 – 4,48
D (<i>Fly ash</i> 30%)	0,96 – 2,52	2 – 4,25
E (<i>Fly ash</i> 40%)	1,19 – 5,38	1,62 – 2,52

Sumber: Hasil Penelitian, 2023.

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa batako variasi B dengan campuran persentase *fly ash* 10% menghasilkan pori-pori dan *microcracks* yang semakin kecil dengan ukuran seperti pada Tabel 4.3 maka kuat tekan beton yang dihasilkan semakin tinggi (Mahmoud, Khoshnaw dan Mahmood, 2017). Hal ini dikarenakan dengan adanya tambahan *fly ash* sebesar 10%, partikel halusya dapat mengisi celah antara partikel lain dalam campuran, sehingga meningkatkan densitas dan mengurangi porositas batako. Semakin rendah porositas, semakin baik kualitas batako dan kekuatannya (Anggraini, 2012).

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa batako variasi E campuran persentase *fly ash* 40% menghasilkan pori-pori dan *microcrack* yang semakin besar dengan ukuran seperti pada Tabel 4.3, kuat tekan beton yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini dikarenakan jumlah *fly ash* yang tinggi sehingga partikel halusya tidak dapat mengisi celah dengan baik karena jumlah campuran pasir yang lebih sedikit. Akibatnya, porositas batako semakin meningkat yang menyebabkan turunnya kekuatan dan ketahanan batako (Anggraini, 2012).

Gambar 4.4 hingga Gambar 4.7 menunjukkan bahwa saat persentase *fly ash* dalam campuran ditingkatkan, hasilnya adalah adanya pori-pori dan *microcrack* yang semakin besar sesuai dengan informasi dalam Tabel 4.3. Dampak dari perubahan ini adalah menurunnya kuat tekan beton yang dihasilkan. Semakin meningkatnya persentase *fly ash* dari berbagai variasi, semakin banyak partikel yang belum mengalami reaksi secara sempurna atau *incomplete reaction*. Hal ini

menghasilkan struktur batako yang lebih longgar dan mengurangi ikatan homogen antara bahan-bahan penyusunnya. Hal ini juga mengakibatkan melemahnya kualitas ikatan antar bahan yang menyusun batako, sesuai dengan temuan dalam penelitian Utama (2019).

Maka dari itu, meskipun *fly ash* dapat meningkatkan kekuatan tekan batako, penggunaannya juga harus memperhitungkan faktor lain seperti rasio campuran, jenis dan kualitas bahan lain yang digunakan, proses pembuatan, dan kondisi lingkungan. Dalam penelitian Ratmayana (2003), mensyaratkan penggunaan *fly ash* sebagai bahan bangunan yang paling baik adalah 10-30% agar mendapatkan mikrostruktur yang sangat rapat antar bahan susunnya.

Dapat disimpulkan variasi B dengan persentase *fly ash* sebesar 10% merupakan variasi yang paling optimal dengan detail komposisi PS 65%:PPC 20%:A 5%:FA 10%. Menurut Qomariah dan Lestari (2022), kandungan *fly ash* yang lebih besar dari 30% akan membuat batako menjadi lebih rapuh, memiliki *microcrack* yang lebar, dan ukuran pori yang besar sehingga kuat tekan cenderung menurun.

Kandungan *fly ash* yang lebih besar dari 30% dalam campuran batako dapat memiliki beberapa dampak negatif pada sifat-sifat batako, seperti kerapuhan, kehadiran mikroretak (*microcrack*) yang lebar, dan ukuran pori yang besar, yang pada gilirannya dapat menyebabkan penurunan kuat tekan batako. Berikut merupakan beberapa alasan mengapa hal ini terjadi:

- Pembentukan pori besar : *Fly ash* cenderung memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan semen. Penggunaan *fly ash* dalam jumlah yang signifikan dapat menyebabkan pembentukan pori-pori yang lebih besar dan tidak homogen dalam struktur beton. Pori-pori ini dapat merusak integritas beton dan membuatnya lebih rentan terhadap penetrasi air, bahan kimia agresif, dan perubahan suhu.
- *Microcrack* Lebar : Pori-pori besar dan distribusi partikel yang tidak seragam dapat mengakibatkan adanya *microcrack* yang lebih lebar dalam

struktur beton. *Microcrack* ini dapat berdampak pada ketahanan beton terhadap beban tekan dan deformasi.

- Kurangnya Kekuatan : Dengan adanya pori-pori besar dan struktur mikro yang tidak ideal, batako dengan kandungan *fly ash* yang tinggi cenderung memiliki kekuatan tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan beton yang menggunakan proporsi *fly ash* yang lebih rendah atau tanpa *fly ash* sama sekali.

Untuk mengatasi dampak negatif ini, penting untuk memilih *fly ash* berkualitas baik, merancang komposisi campuran batako dengan proporsi yang benar, dan mempertimbangkan perlakuan khusus selama pengeringan awal dan proses pengerasan. Penggunaan *fly ash* yang tepat dan perencanaan campuran yang hati-hati dapat membantu mengurangi dampak negatif pada sifat-sifat batako dan menghasilkan produk yang lebih tahan lama dan berkualitas (Qomariah dan Lestari, 2022).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian batako campuran *fly ash* tipe C dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- 1) Batako dengan variasi B campuran *fly ash* 10% memiliki kuat tekan tertinggi, yaitu sebesar 14,05 MPa. Variasi B campuran *fly ash* 40% memiliki kuat tekan terendah, sebesar 7,21 MPa. Keberadaan *fly ash* dari variasi 10%-30% dapat mengisi porositas yang tersisa pada batako sehingga meningkatkan kuat tekan batako dibandingkan dengan kuat tekan dari batako konvensional. Akan tetapi jika melebihi 30% campurannya akan mengalami penurunan kuat tekan pada batako.
- 2) Lebar *microcrack* pada batako variasi B campuran *fly ash* 10% memiliki kerapatan yang lebih baik dibandingkan dengan variasi *fly ash* lainnya yaitu sebesar 0,31-0,38 μm , dibandingkan dengan batako variasi E campuran *fly ash* 40% memiliki kerapatan yang kurang baik yaitu sebesar 1,19-5,38 μm . Ukuran pori-pori pada batako variasi B memiliki ukuran pori yang sangat kecil yaitu sebesar 0,74-0,84 μm , sedangkan ukuran pori pada batako variasi E memiliki pori yang besar sekitar 1,62-4,52 μm . Memiliki *microcrack* yang lebar, dan ukuran pori yang besar dapat berpengaruh terhadap kuat tekan batako, semakin rendah ukuran rapat *microcrack* dan lebar pori, semakin tinggi kualitas batako dan kekuatan tekan batako.

5.2.Saran

Berdasarkan hasil penelitian batako campuran *fly ash* tipe C maka peneliti memberikan saran untuk penelitian berikutnya berupa:

- 1) Peneliti selanjutnya perlu melakukan penelitian tentang batako *fly ash* dengan persentase *fly ash* yang lebih kecil dari variasi B untuk membandingkan kualitas kuat tekan dan struktur mikro batako *fly ash*.

- 2) Perlu melakukan penelitian mengenai pengaruh metode rawatan terhadap mutu beton pada umur beton 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.
- 3) Penelitian dapat membandingkan penggunaan abu *fly ash* tipe C dengan jenis abu terbang lainnya, seperti abu terbang tipe F atau tipe lainnya. Hal ini akan membantu mengidentifikasi jenis abu terbang mana yang memberikan hasil terbaik dalam meningkatkan kekuatan batako.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Fakih A, Mohammed B. S, Liew M. S & Nikbakht E. 2019. **Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: An update review**. *Journal of Building Engineering*, 21, 37–54.
- Andiç-Çakır Ö, Son A. E, Sürmelioglu S, Tosun E & Sarikanat M. 2021. **Improvement of traditional clay bricks thermal insulation characteristics by using waste materials**. *Case Studies in Construction Materials*, 15, 1-14.
- Anggraini R. 2012. **Hubungan Porositas Dan Kuat Tekan Batako Dengan Penggunaan Phyropilit Sebagai Bahan Pengganti Semen**. *Jurnal Teknik Sipil KERN Vol. 2 No. 1 Mei 2012*, 23-30.
- ASTM-C150. 2004. **Standards Specification For Portland Cement**, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Badan Standardisasi Nasional. 1989. SK SNI S-04-1989-F. **Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan bangunan bukan logam)**. Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. SNI-03-1974-1990. **Metode Pengujian Kuat Tekan Beton**. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. SNI 03-1968-1990. **Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar**. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1996. SNI 03-4142-1996. **Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,0075 mm)**. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. **Metode Pengujian untuk mengukur nilai kuat tekan beton pada umur awal dan memproyeksikan kekuatan pada umur berikutnya**. SNI 03-6805-2002, Jakarta.

- Badan Standard Nasional Indonesia. 2004. **Semen Portland**, (SNI 15-2049-2004), Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. **Peraturan Umum bahan Bangunan Indonesia (PBI)**, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1982. **Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia**, PBI-1982, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1986. **Pedoman Teknik Pembangunan Perumahan Sederhana Tidak Bersusun**. Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor : 20/KPTS/1986.
- Fan C, Wang B, Qi Y & Liu Z. 2021. **Characteristics And Leaching Behavior of MSWI Fly ash In Novel Solidification/Stabilization Binders**. Waste Management, 131, 277–285.
- Frick H & Koesmartadi C. 1999. **Ilmu Bahan Bangunan: Eksploitasi, pembuatan, penggunaan dan pembuangan**. Penerbit Kanisius.
- Kusumastuti E & Sugiyo W. 2012. **Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Merapi Sebagai Geopolimer (Suatu Polimer Anorganik Aluminosilikat)**. Sainteknol, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, 30-42.
- Lokeshappa B & Dikshit A. K. 2012. **Behaviour of metals in coal fly ash ponds**, APCBEE Procedia, 1, pp. 34–39.
- Mahmoud A. S, Khoshnaw G.J & Mahmood F. I. 2017. **Engineering and Microstructures Characteristics of Low Calcium Fly ash Based Geopolymer Concrete**, Eurasian Journal of Science & Engineering, 2(2), pp. 27–39.
- Mengxiao S, Qiang W & Zhikai Z. 2015. **Comparison of the Properties Between High-Volume Fly ash Concrete and High-volume Steel Slag Concrete**

- under Temperature Matching Curing Condition.** Construction and Building Materials, 98, 649–655.
- Muhardi, Satibi S. 2010. **Karakteristik Kimia, Fisik dan Mekanik Abu Batu Bara (Abu Terbang dan Abu Dasar).** Riau: Universitas Riau.
- Mulyono T. 2005. **Teknologi Beton.** Yogyakarta : Andi.
- Nugraha P & Antoni. 2007. **Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi.** C.V. ANDI OFFSET, Yogyakarta.
- Ogawa Y.K, Uji K, & Ueno A. 2010. **Evaluation of fly ash as cementitious material for strength.** Cem. Sci. Concr. Tech., 64, 131-138.
- Pradana F.B, Sulistyorini D, & Shulhan, M.A. 2022. **Pengaruh Pasir Silica Pada Persentase 0%, 50% Dan 100% Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton.** Jurnal Surya Beton, Volume 6, Nomor 2, Oktober 2022, 1-6.
- PT Pembangkit Jawa Bali Paiton. 2002. **Material Safety Data Sheet.** Probolinggo: PT Pembangkitan Jawa Bali Unit Pebangkitan Paiton.
- Puspa A.N. 2016. **Ekstraksi Logam Aluminium (Al) dari Fly Ash Batu Bara PLTU-Paiton dengan Pelarut NaOH.** Jember: Universitas Jember.
- Qomariah & Dita Lestari A. 2022. **Analisis Perambatan Retak Dan Hasil Sem Pada Beton Normal Dengan Substitusi Pasir Limbah Sunblasting.** Jurnal Teknik Ilmu Dan Aplikasi, 3(2), 167–173.
- Ratmayana. 2003. **Teknologi Semen dan Beton: Fly ash, Mengapa Seharusnya Dipakai pada Beton.** Gresik: PT. Semen Gresik Indonesia dan PT. Varia Usaha Beton.
- Ristinah, Zacoeb A, Soehardjono A. M. D, Setyow D. 2013. **Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Sebagai Pengganti Semen Pada Campuran Batako Terhadap Kuat Tekan Batako.** Jurnal Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.

- SNI 1970. 2016. **Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus**. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 1989. **Bata Beton Untuk Pasangan Dinding**, SNI 03-0349-1989. Bandung.
- Sutama A, Saggaff A, Saloma, Hanifah. 2019. **Properties And Microstructural Characteristics Of Lightweight Geopolymer Concrete With *Fly ash* And Kaolin**, International Journal of Scientific & Technology Research, 8(07), pp. 57–64.
- Sutama A & Oemiati N. 2022. **Studi Mikrostruktur Beton Ringan Geopolimer Dengan Scanning Electron Microscope (Sem) Dan X-Ray Diffraction (Xrd)**. Jurnal Deformasi, 7(2), 145–160.
- Tian X & Rao F. 2021. **Solidification of Municipal Solid Waste Incineration *Fly ash* And Immobilization of Heavy Metals Using Waste Glass In Alkaline Activation System**. Chemosphere 283 (2021) 131240.
- Tjokrodimuljo, & Kardiyono. 1996. **Teknologi Beton**. Nafiri: Yogyakarta.
- Tjokrodimuljo. 2007. **Teknologi Beton**, Yogyakarta.
- Xu H, Zheng H, Wang J, Ding X, Chen P. 2019. **Laboratory Method of Microbial Induced Solidification/Stabilization For Municipal Solid Waste Incineration *Fly ash***. MethodsX, 6, 1036–1043.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel pengujian hasil pengujian analisa saringan agregat halus

1. Perhitungan Analisa Saringan Agregat Halus

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	12	0,60	0,60	99,40
2,4	96	4,80	5,40	94,60
1,2	314	15,70	21,10	78,90
0,6	519	25,95	47,05	52,95
0,3	563	28,15	75,20	24,80
0,15	421	21,05	96,25	3,75
Pan	75	3,75	100,00	0,00
Jumlah	2000	100	345,6	654,4

2. Perhitungan Nilai Modulus Halus Butir

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\Sigma \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\ &= \frac{345,60}{100} \\ &= 3,456 \end{aligned}$$

Lampiran 2. Tabel standar gradasi analisa saringan agregat halus

1. Tabel Daerah Ayakan

Tabel 5.2 Gradasi Agregat Halus

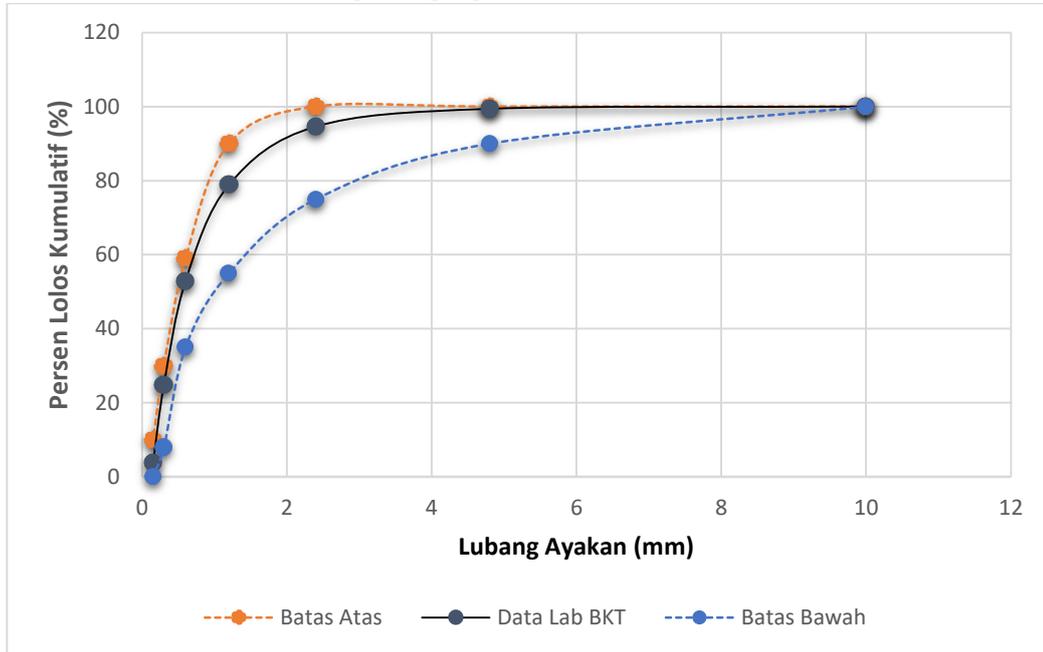
Lubang Ayakan (mm)	Persentase Butir Agregat yang Lolos Saringan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

2. Tabel Data Lab BKT dicocokkan dengan Daerah II Ayakan

Tabel 5.3 Hasil Gradasi Daerah II

Daerah II ayakan Persentase Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
Lubang Ayakan (mm)	Batas Atas	Data Lab BKT	Batas Bawah
10	100	100,00	100
4,8	100	99,40	90
2,4	100	94,60	75
1,2	90	78,90	55
0,6	59	52,95	35
0,3	30	24,80	8
0,15	10	3,75	0

3. Grafik Analisa Saringan Agregat Halus Daerah II



Gambar 5.1 Grafik Analisa Saringan Agregat Halus Daerah II

Lampiran 3. Tabel hasil pengujian lolos saringan no. 200 (uji kadar lumpur)

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven Setelah Dicuci (W2), gram	486	483	484,5
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	2,8%	3,4 %	3,1 %

Lampiran 4. Tabel pemeriksaan bahan susun batako

1. Hasil berat bahan susun

Tabel 5.5 Berat Bahan Susun

No.	Berat Pasir (kg)	Berat Semen (kg)	Berat <i>Fly ash</i> (kg)
1	22,25	17,10	16,55
2	21,75	16,80	16,35
Rata-rata	22	16,95	16,45

2. Volume Ember Ukur

$$\begin{aligned}\text{Volume Ember} &= W_{\text{total}} - W_{\text{ember}} \\ &= 12,25 - 0,80 \\ &= 11,45 \text{ kg} \\ &= 0,01145 \text{ m}^3\end{aligned}$$

3. Hasil pemeriksaan berat volume bahan susun

Berat volume bahan batako

$$\begin{aligned}\text{a. BV Pasir} &= \frac{\text{Berat Pasir}}{\text{Volume Ember}} \\ &= \frac{22}{0,01145} \\ &= 1921,4 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{b. BV Semen} &= \frac{\text{Berat Semen}}{\text{Volume Ember}} \\ &= \frac{16,95}{0,01145} \\ &= 1480,3 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{c. BV } Fly \text{ ash} &= \frac{\text{Berat } Fly \text{ Ash}}{\text{Volume Ember}} \\ &= \frac{16,45}{0,01145} \\ &= 1436,6 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Bahan Susun

No.	BV Pasir (kg/m ³)	BV Semen (kg/m ³)	BV Fly ash (kg/m ³)
1	1921,4	1480,3	1436,6

4. Hasil perhitungan volume batako berlubang

$$\begin{aligned}\text{Volume Batako Berlubang} &= P \times L \times T \\ &= 36 \times 10 \times 19 \\ &= 6840 \text{ cm}^3 \\ &= 0,00684 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Lampiran 5. Perhitungan komposisi batako *fly ash*

1. Perhitungan Berat Volume Bahan Baku

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan pasir untuk 1 batako} &= \frac{75}{100} \times V_{\text{batako}} \times BV_{\text{pasir}} \\ &= \frac{75}{100} \times 0,00684 \times 1921,4 \\ &= 9,856 \text{ kg} = 10 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan semen untuk 1 batako} &= \frac{20}{100} \times V_{\text{batako}} \times BV_{\text{semen}} \\ &= \frac{20}{100} \times 0,00684 \times 1480,3 \\ &= 2,025 \text{ kg} = 2,03 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan air untuk 1 batako} &= \frac{5}{100} \times V_{\text{batako}} \times BV_{\text{air}} \\ &= \frac{5}{100} \times 0,00684 \times 1069,9 \\ &= 0,365 \text{ kg} = 0,37 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{Kebutuhan fa (10\%) untuk 1 batako} = \frac{10}{100} \times V_{\text{batako}} \times BV_{\text{semen}}$$

$$= \frac{10}{100} \times 0,00684 \times 1436,6$$

$$= 0,982 \text{ kg} = 1 \text{ kg}$$

2. Rekapitulasi komposisi bahan baku 1 sampel batako *fly ash*

Tabel 5.7 Komposisi Campuran 1 Sampel Batako *Fly ash*

Variasi	Persentase Campuran (P:S:A:F)	Pasir (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	<i>Fly ash</i> (kg)
A	75% : 20% : 5% : 0%	10	2,03	0,37	0
B	65% : 20% : 5% : 10%	8,5			1
C	55% : 20% : 5% : 20%	7,2			2
D	45% : 20% : 5% : 30%	6			3
E	35% : 20% : 5% : 40%	4,6			4

3. Rekapitulasi komposisi bahan baku 1 variasi batako *fly ash*

Tabel 5.8 Komposisi Campuran 1 Variasi Batako *Fly ash*

Variasi	Persentase Campuran (P:S:A:F)	Pasir (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	<i>Fly ash</i> (kg)
A	75% : 20% : 5% : 0%	50	10,5	1,85	0
B	65% : 20% : 5% : 10%	42,5			5
C	55% : 20% : 5% : 20%	36			10
D	45% : 20% : 5% : 30%	30			15
E	35% : 20% : 5% : 40%	23			20

Lampiran 6. Pengujian kuat tekan batako

1. Hasil rekapitulasi kuat tekan batako umur 14 hari

Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Batako

Variasi	No. Sampel	Berat Batako (kg)	Beban Maks (kN)	Luas Tampang (mm ²)	σ (MPa)	σ Rata-rata (MPa)
A (75:20:5:0) %	1	10,59	240	28.247	8,50	7,59
	2	10,46	191	28.029	6,81	
	3	10,42	187	27.972	6,69	
	4	10,46	250	28.455	8,79	
	5	10,27	203	28.398	7,15	
B (65:20:5:10) %	1	12,12	400	28.446	14,06	12,36
	2	12,23	360	28.521	12,62	
	3	11,40	365	28.564	12,78	
	4	11,34	390	28.273	13,79	
	5	11,35	245	28.661	8,55	
C (55:20:5:20) %	1	11,08	272	28.401	9,58	9,72
	2	11,11	200	28.376	7,05	
	3	11,96	380	28.587	13,29	
	4	11,35	290	28.477	10,18	
	5	12,22	242	28.559	8,47	
D (45:20:5:30) %	1	11,12	175	28.113	6,22	7,69
	2	11,14	170	28.014	6,07	
	3	11,77	217	28.267	7,68	
	4	11,93	273	28.325	9,64	
	5	11,01	250	28.307	8,83	
E (35:20:5:40) %	1	10,86	150	28.024	5,35	6,34
	2	10,52	145	27.948	5,19	
	3	11,13	168	28.234	5,95	
	4	10,81	174	28.315	6,15	
	5	10,95	260	28.659	9,07	

2. Perhitungan konversi kuat tekan batako umur 28 hari

$$f_{28}(FA 0\%) = \frac{7,59}{0,88} = 8,62 \text{ MPa}$$

$$f_{28}(FA 10\%) = \frac{12,36}{0,88} = 14,05 \text{ MPa}$$

$$f_{28}(FA 20\%) = \frac{9,72}{0,88} = 11,04 \text{ MPa}$$

$$f_{28}(FA 30\%) = \frac{7,69}{0,88} = 8,74 \text{ MPa}$$

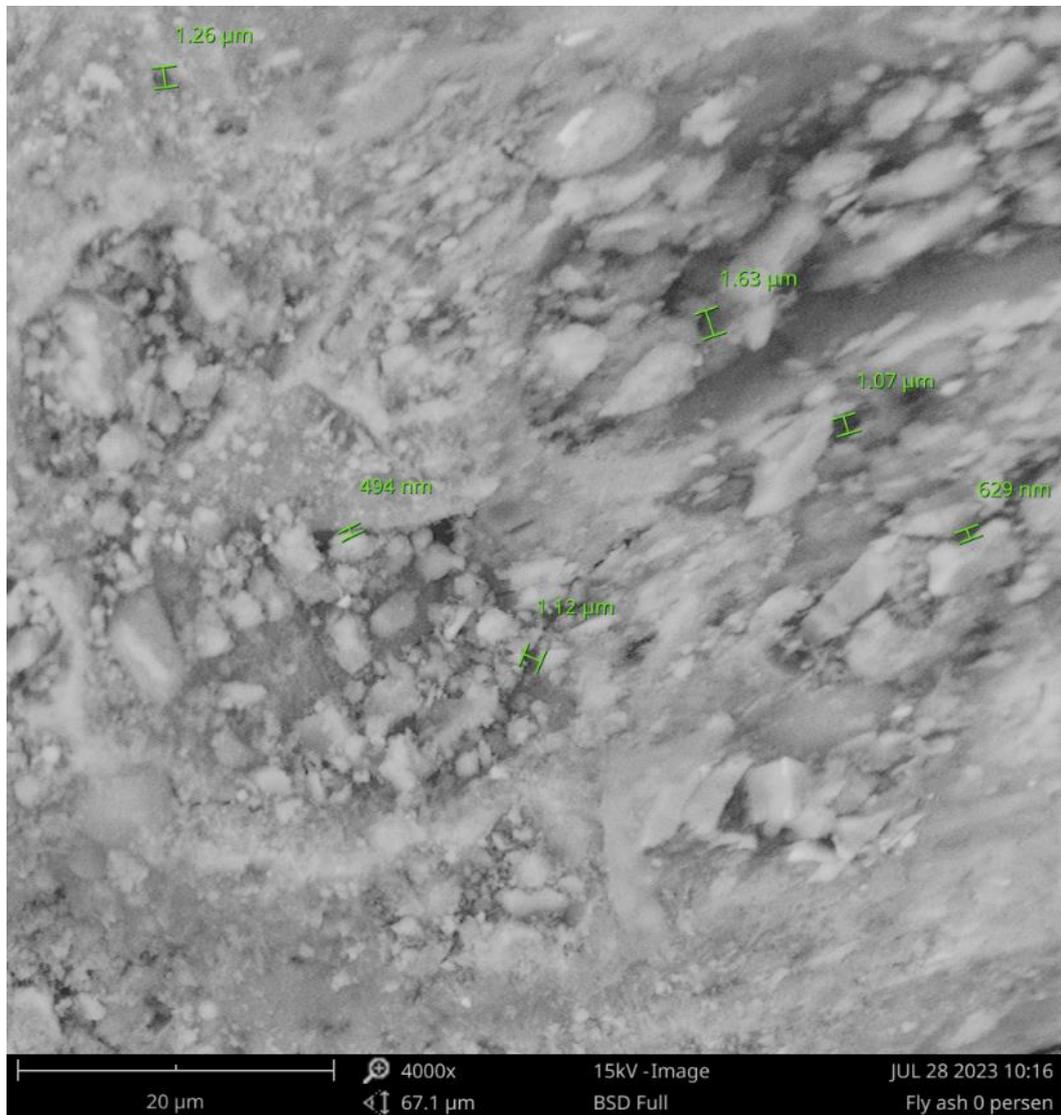
$$f_{28}(FA 40\%) = \frac{6,34}{0,88} = 7,21 \text{ MPa}$$

Tabel 5.10 Kuat Tekan Batako *Fly ash*

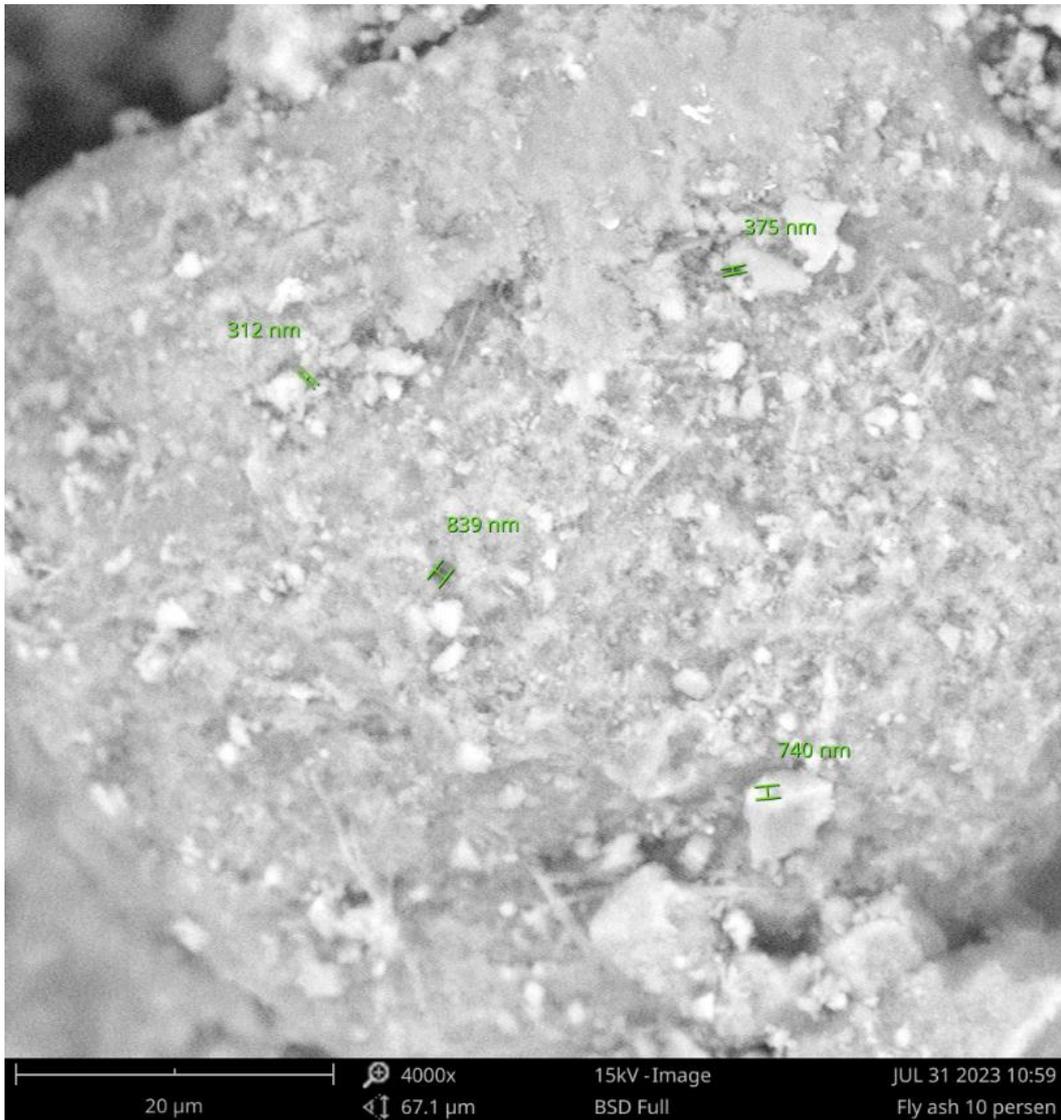
Variasi	No. Sampel	Kuat tekan 14 Hari (MPa)	Kuat tekan 28 Hari (MPa)	Kuat tekan Rata-rata (Mpa)	Standar Deviasi
A (75:20:5:0) %	1	8,50	9,66	8,62	1,12
	2	6,81	7,74		
	3	6,69	7,60		
	4	8,79	9,98		
	5	7,15	8,12		
B (65:20:5:10) %	1	14,06	15,98	14,05	2,52
	2	12,62	14,34		
	3	12,78	14,52		
	4	13,79	15,68		
	5	8,55	9,71		
C (55:20:5:20) %	1	9,58	10,88	11,04	2,65
	2	7,05	8,01		
	3	13,29	15,11		
	4	10,18	11,57		
	5	8,47	9,63		
D (45:20:5:30) %	1	6,22	7,07	8,74	1,79
	2	6,07	6,90		
	3	7,68	8,72		
	4	9,64	10,95		
	5	8,83	10,04		
E (35:20:5:40) %	1	5,35	6,08	7,21	1,79
	2	5,19	5,90		
	3	5,95	6,76		
	4	6,15	6,98		
	5	9,07	10,31		

Lampiran 7. Pengujian *microcrack* dan pori-pori pada uji scanning electron microscope

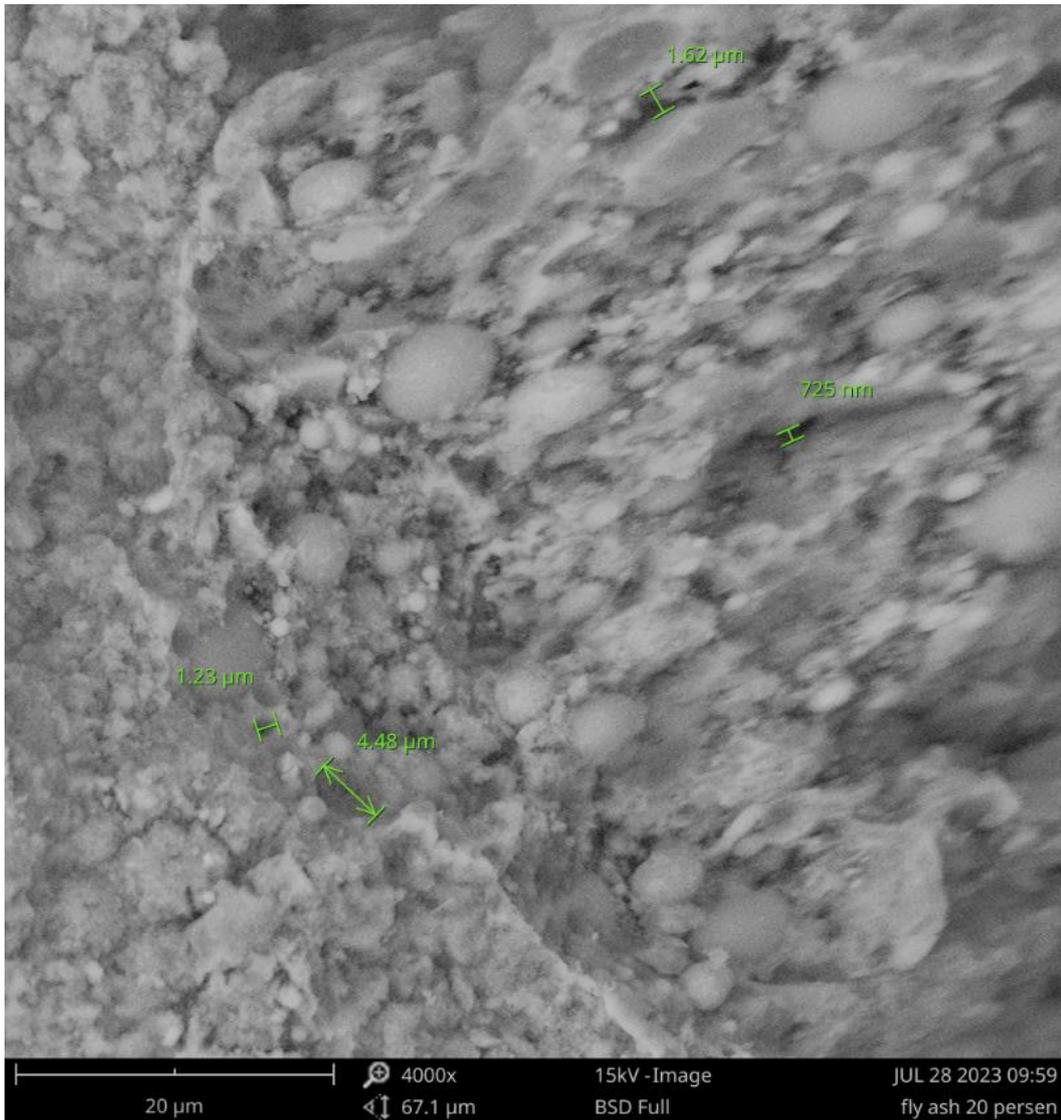
1. Gambar Pengujian SEM Mikrostruktur Batako



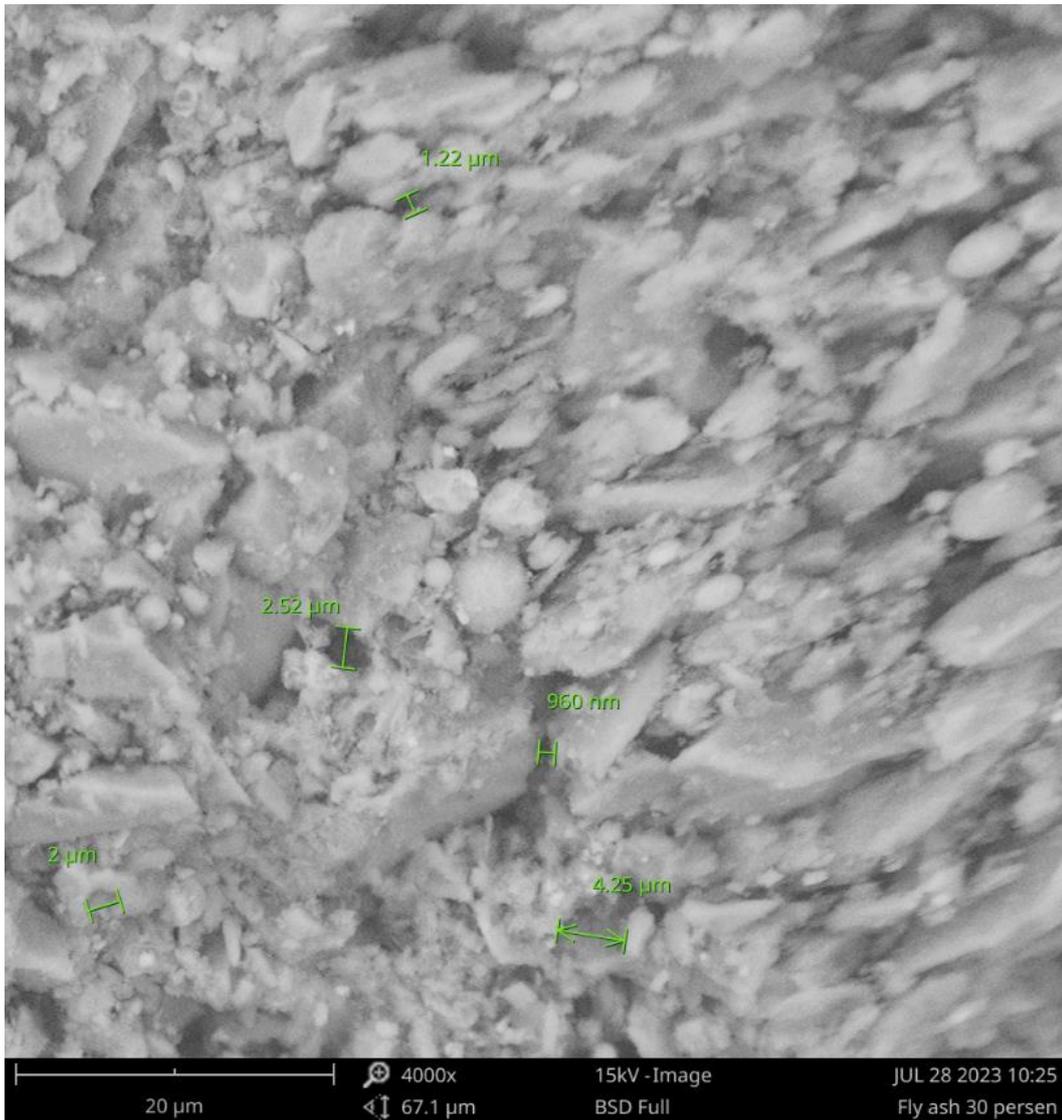
Gambar 5.2 Uji SEM Variasi A



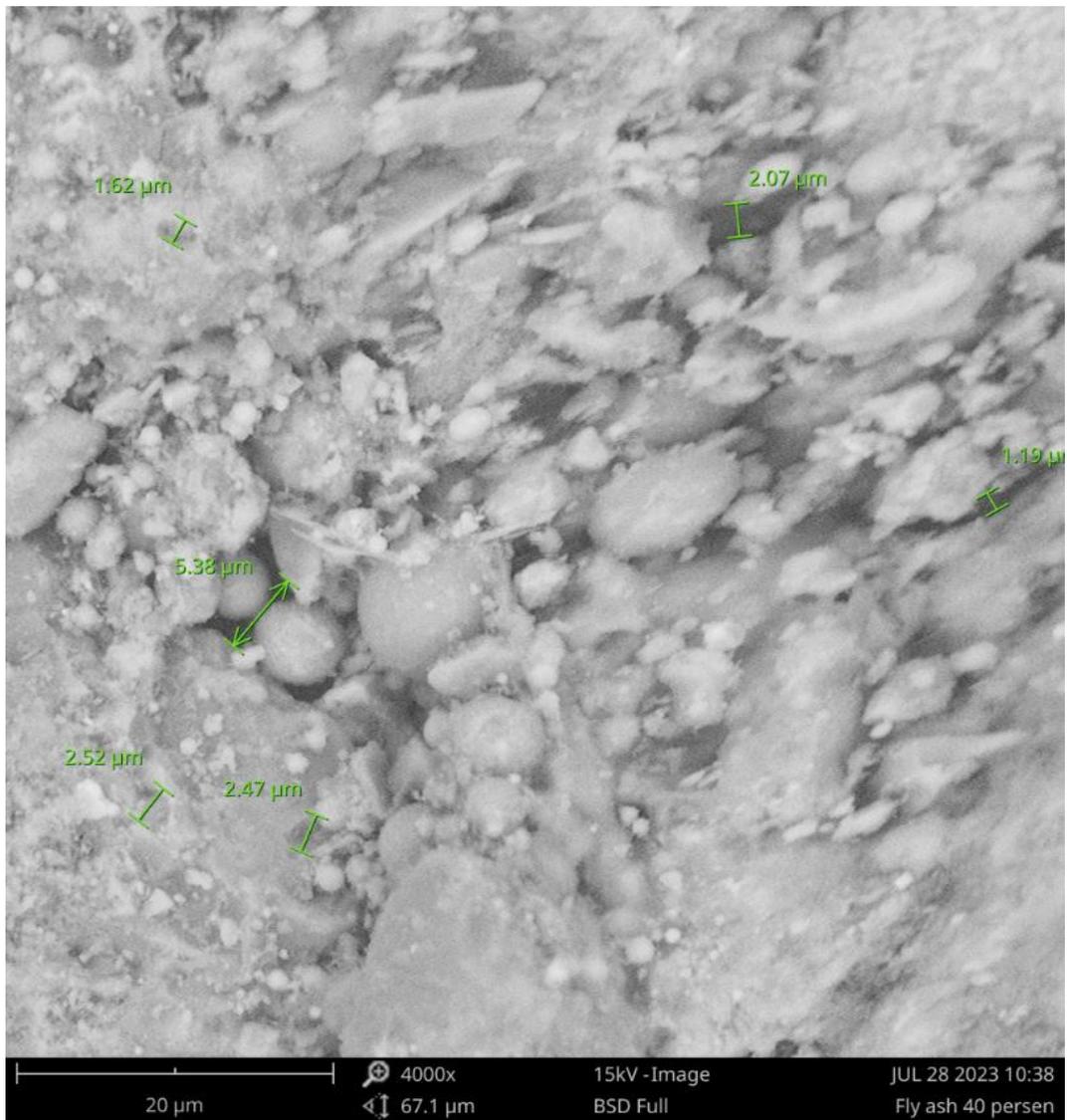
Gambar 5.3 Uji SEM Variasi B



Gambar 5.4 Uji SEM Variasi C



Gambar 5.5 Uji SEM Variasi D



Gambar 5.6 Uji SEM Variasi E

2. Rekapitulasi ukuran lebar *microcrack* dan pori-pori batako

Tabel 5.11 Ukuran Lebar *Microcrack* dan Pori-pori Batako

Variasi	<i>Microcrack</i> (μm)	Pori-pori (μm)
A (<i>Fly ash</i> 0%)	0,49 – 1,12	1,07 – 1,63
B (<i>Fly ash</i> 10%)	0,31 – 0,38	0,74 – 0,84
C (<i>Fly ash</i> 20%)	0,73 – 1,62	1,23 – 4,48
D (<i>Fly ash</i> 30%)	0,96 – 2,52	2 – 4,25
E (<i>Fly ash</i> 40%)	1,19 – 5,38	1,62 – 2,52

Lampiran 8. Dokumentasi proses pembuatan batako *fly ash*



Gambar 5.7 Pengayakan Bahan Baku Pasir Merapi



Gambar 5.8 Pengambilan Bahan Baku Semen PPC



Gambar 5.9 Pengambilan *Fly ash* Tipe C PLTU Paiton Jawa Timur



Gambar 5.10 Penimbangan Bahan Baku



Gambar 5.11 Proses Mixing Bahan Susun Batako di Mixer Machine



Gambar 5.12 Proses Cetak Batako menggunakan Mesin Press



Gambar 5.13 Hasil Jadi Batako



Gambar 5.14 Batako Variasi A
(75%:20%:5%:0%)



Gambar 5.15 Batako Variasi B
(65%:20%:5%:10%)



Gambar 5.16 Batako Variasi C
(55%:20%:5%:20%)



Gambar 5.17 Batako Variasi D
(45%:20%:5%:30%)



Gambar 5.18 Batako Variasi E (35%:20%:5%:40%)

Lampiran 9. Pengujian batako *fly ash*



Gambar 5.19 Pengujian Kuat Tekan Batako *Fly ash*



Gambar 5.20 Pengujian SEM Mikrostruktur Batako

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah, 03 September 2000. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan di SDN 2 Mendawai pada tahun 2007 – 2013 di Kota Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah. Kemudian melanjutkan Pendidikan di SMPN 1 Arut Selatan di Kota Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah pada tahun 2013 – 2016 dan menempuh pendidikan di SMAN 1 Pangkalan Bun pada tahun 2016 – 2019 di Kota Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah. Setelah lulus dari jenjang SMA, penulis melanjutkan studi di Universitas Islam Indonesia dengan mengambil Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan pada tahun 2019. Beberapa kegiatan yang penulis lakukan saat menjadi mahasiswa adalah mengikuti pelatihan ISO, K3, dan Higiene Industri. Penulis melaksanakan Kerja Praktek pada bulan Oktober 2022 di PT. Semarang Herbal Indoplant dengan topik pembahasan yaitu Pengelolaan Limbah Padat dan B3 di PT. Semarang Herbal Indoplant. Dalam kegiatan non akademik, penulis mengikuti kepanitiaan dalam acara Enviro Champions 2020, Lintas Lingkungan 2020, dan Enviro Fest 2023. Penulis juga menjadi student staff prodi Teknik Lingkungan FTSP UII sebagai editor marketing komunikasi pada tahun 2021 - 2023. Selain itu, penulis menjadi Ketua UKM Enviro English Community Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan UII periode 2021 dan staff divisi Pengabdian Masyarakat regional 3 Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia Periode 2021/2022. Pada bulan Maret 2023 – Juli 2023 penulis melakukan penelitian terkait Analisis Kualitas Kuat Tekan dan Struktur Mikro Batako dengan Campuran Abu sebagai syarat menyelesaikan studi strata 1 di Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.