

TA/TL/2023/1688

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

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



MUHAMMAD YUSRON
19513058

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023

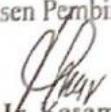
TUGAS AKHIR
ANALISIS KUALITAS KUAT TEKAN DAN
STRUKTUR MIKRO BETON GEOPOLIMER
DENGAN CAMPURAN ABU TERBANG

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



MUHAMMAD YUSRON
19513058

Disetujui,
Dosen Pembimbing:


Dr. W. Kasam, M.T

NIK. 925110102

Tanggal:

Mengetahui,*
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII


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

NIK. 045130401

Tanggal: 20/10/20

HALAMAN PENGESAHAN*

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

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Selasa
Tanggal : 10 Oktober 2023

Disusun Oleh:

MUHAMMAD YUSRON
19513058

Tim Penguji :

Dr. Ir. Kasam, M.T.

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

Yebi Yuriandala, S.T., M.Eng

()
()
()

LEMBAR 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, 23 Oktober 2023

Yang membuat pernyataan,



MUHAMMAD YUSRON

NIM: 19513058

PRAKATA

Puji dan syukur dipanjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya serta Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang menjadi suri tauladan sepanjang zaman, sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Topik yang dipilih dalam penelitian ini adalah “Analisis Kualitas Kuat Tekan dan Struktur Mikro Beton Geopolimer Dengan Campuran Abu Terbang” dengan waktu pelaksanaan dimulai dari bulan Maret 2023 sampai bulan Agustus 2023. Tugas akhir ini merupakan syarat untuk menyelesaikan pendidikan tingkat sarjana di bidang Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Yang menjadi perhatian bagi penulis dalam penelitian ini adalah untuk mendorong upaya pemanfaatan limbah industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) agar menjadi barang yang memiliki nilai jual. Melihat kondisi alur penumpukan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Dengan begitu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk pemanfaatan limbah pembakaran batu bara PLTU tersebut.

Selama pelaksanaan tugas akhir, banyak sodoran tangan dari berbagai pihak yang sangat berarti untuk mendukung laju prosesnya penelitian ini. Dengan begitu, penulis ingin mengapresiasi serta mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak yang terlibat dan mendukung proses penelitian ini.

Dengan setulus hati, ucapan terima kasih dan apresiasi ditujukan kepada:

1. Kedua orang tua penulis,
2. Pasangan penulis,
3. Bapak Dr. Ir. Kasam, M.T. selaku pembimbing satu-satunya bagi penulis.
4. Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik,
5. Bapak Heriyanto, A.Md. dan Ibu Ratna Widiastuti, S.Kom. selaku admin Program Studi Teknik Lingkungan UII,
6. Para Laboran di Laboratorium Teknik Lingkungan dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik yang telah membantu kelancaran penelitian,
7. Segenap dosen dan staff di Program Studi Teknik Lingkungan UII,

8. Bapak Sulo dan Mas Andi selaku pemberi bantuan saat proses penelitian di Pusat Inovasi

Yogyakarta, 15 Agustus 2023

MUHAMMAD YUSRON

NIM: 19513058

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

MUHAMMAD YUSRON. Analisis Kualitas Kuat Tekan dan Struktur Mikro Beton Geopolimer Campuran Abu Terbang.

Dibimbing oleh Dr. Ir. Kasam, M.T.

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, kegiatan yang dilakukan oleh PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) pada tahun 2021 menghasilkan 12 juta Ton limbah FABA (*Fly ash* dan *Bottom Ash*) dan pada tahun 2027 diproyeksikan menjadi sebesar 16,2 Juta Ton. Oleh karena itu, pemanfaatan limbahnya sangat diperlukan dengan tujuan untuk menganalisis nilai kuat tekan dan struktur mikro dari beton geopolimer. *Fly ash* diaktivasi dengan larutan alkali aktivator sebagai bahan pengganti semen, kemudian dicampur agregat kasar dan halus yang telah diayak. Rasio komposisi yang digunakan untuk agregat dan *fly ash* campuran alkali aktivator yaitu meliputi: 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50. Kemudian dicetak pada wadah silinder berdiameter 10 cm, tinggi 20 cm. Sampel dapat dilepas dari cetakan setelah 24 jam dan direndam dalam air selama 7 hari, 14 hari, dan 28 hari sebelum diuji. Evaluasi yang dilakukan antara lain uji kuat tekan dan mikrostruktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi pada sampel B4 sebesar 38,35 MPa. Sedangkan nilai kuat tekan terendah terdapat pada sampel B1 sebesar 6,15 MPa. Hasil pada uji citra SEM menunjukkan bahwa *microcrack* yang dianalisis memiliki retakan terkecil sebesar 0,42 - 0,52 μm pada sampel B4. Sedangkan nilai retakan terbesar yaitu 0,49 - 3,24 μm pada sampel B1. Dari analisis uji kuat tekan yang dilakukan, variasi komposisi antara *fly ash* dengan campuran alkali aktivator mempengaruhi peningkatan nilai kuat tekan namun pada perbandingan antara larutan Na_2SiO_3 dengan NaOH yang sebanding akan memperlambat laju proses polimerisasi. Sedangkan pada hasil analisis uji citra SEM, semakin besar nilai larutan dan konsentrasi NaOH maka retakan akan semakin rapat.

Kata kunci: beton geopolimer, *fly ash*, kuat tekan, mikro struktur

ABSTRACT

Muhammad Yusron. *Quality Analysis of Compressive Strength and Microstructure of Fly ash Blended Geopolymer Concrete.*
Supervised by Dr. Ir. Kasam, M.T.

According to Ministry of Environment and Forestry, activities carried out by PLTU (Steam Power Plant) in 2021 produce 12 million tons of FABA (Fly ash and Bottom Ash) waste and in 2027 it is projected to be 16.2 million tons. Therefore, the utilization of its waste is very necessary with the aim of analyzing the compressive strength value and microstructure of geopolymer concrete. Fly ash was activated with alkaline activator solution as a substitute for cement, then mixed with sieved coarse and fine aggregates. The composition ratios used for aggregate and fly ash mixed with alkaline activator include: 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50. Then molded on a cylindrical container with dimensions of 10 cm wide, 20 cm high. The samples were removed from the mold after 24 hours and soaked in water for 7 days, 14 days, and 28 days before being tested. The evaluation included compressive strength and microstructure tests. The results showed that the highest compressive strength value in sample B4 was 33.754 MPa. While the lowest compressive strength value is found in sample B1 of 5.412 MPa. The results of the SEM image test show that the microcracks analyzed have the smallest cracks of 0.42 - 0.52 μm in sample B1. While the largest crack value is 0.49 - 3.24 μm in sample B1. From the analysis of the compressive strength test carried out, the variation in composition between fly ash and alkali aktivator mixture affects the increase in compressive strength value but the ratio between Na_2SiO_3 solution and NaOH which is comparable will slow down the rate of polymerization process. While in the SEM image test analysis results, the greater the solution value and NaOH concentration, the tighter the cracks will be.

Keywords: *compressive strength, fly ash, geopolymer concrete, microstructure*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN*	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
PRAKATA	iv	
ABSTRAK.....	vii	
DAFTAR ISI	x	
DAFTAR GAMBAR.....	xiii	
DAFTAR TABEL	xv	
DAFTAR GRAFIK	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR LAMPIRAN	xviii	
BAB I PENDAHULUAN.....	xviii	
1.1 Latar Belakang	1	
1.2 Perumusan Masalah.....	3	
1.3 Tujuan Penelitian.....	3	
1.4 Manfaat Penelitian.....	3	
1.5 Ruang Lingkup	4	
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6	
2.1 Beton Geopolimer.....	6	
2.2 Material Penyusun Beton Geopolymer.....	7	
2.2.1 <i>Fly ash</i>	7	
2.2.2 Alkali Aktivator	10	
2.2.3 Agregat Halus	10	
2.2.4 Agregat Kasar	11	
2.3 Hasil Pengujian Bahan Susun.....	12	
2.3.1 Analisa Hasil Saring Agregat Halus	12	
2.3.2 Pengujian Lolos Saringan No.200 (Uji Kadar Lumpur).....	13	
2.3.3 Analisa Hasil Saring Agregat Kasar	13	
2.4 Uji Uji Kuat Tekan	14	
2.5 Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	14	
2.6 Penelitian Terdahulu.....	15	
BAB III METODE PENELITIAN	21	
3.1 Metode Penelitian	21	

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	22
3.3 Tahapan Penelitian.....	22
3.3.1 Tahap Persiapan.....	22
3.3.2 Tahap Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	22
3.3.3 Tahap Pembuatan NaOH 10 M.....	23
3.3.4 Tahap Pembuatan Benda Uji	23
3.3.5 Tahap Perawatan Benda Uji	24
3.3.6 Tahap Pengujian Kuat Tekan.....	24
3.3.7 Tahap Pengujian Scanning Electrone Microscope (SEM)	25
3.4 Instrumen Penelitian	25
3.5 Data Sampel.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Kuat Tekan Beton Geopolimer.....	30
4.2 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM).....	32
4.2.1 Pembahasan Uji SEM.....	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	44
RIWAYAT HIDUP	56

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Perbandingan Ukuran Partikel Semen, <i>Fly ash</i> , dan Silica Fume	8
Gambar 2 Rencana Penelitian.....	21
Gambar 4.1 Hasil Uji Kuat Tekan	31
Gambar 4.2 Uji SEM variasi B1	34
Gambar 4.3 Uji SEM variasi B2.....	35
Gambar 4.4 Uji SEM variasi B3.....	36
Gambar 4.5 Uji SEM variasi B4.....	37
Gambar 4.6 Uji SEM variasi B5.....	38

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Abu Terbang PLTU Paiton	9
Tabel 2.2 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200	13
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu	15
Tabel 3.1 Alat Penelitian Sampel	25
Tabel 3.2 Bahan Baku Penelitian.....	27
Tabel 3.3 Data Variasi Sampel	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan	30
Tabel 4.2 Besaran Lebar Microcrack.....	Error! Bookmark not defined.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	44
Lampiran 2 Tabel Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200	44
Lampiran 3 Tabel Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	45
Lampiran 4 Hasil Uji Kuat Tekan Beton	46
Lampiran 5 Hasil Konversi Kuat Tekan Dari Umur 14 Hari Ke 28 Hari....	47
Lampiran 6 Pengujian Microcrack Pada Uji SEM	48
Lampiran 7 Dokumentasi Proses Pembuatan Beton Geopolimer.....	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di Indonesia kian meningkat pesat, hal ini menyebabkan kebutuhan beton juga meningkat. Menurut PT. Wijaya Karya pada tahun 2023 produksi beton diprediksi meningkat sekitar 15-20%. Pada dasarnya beton di Indonesia mayoritas masih menggunakan bahan baku semen, namun, pada kenyataannya penggunaan semen memiliki dampak kerugian lingkungan. Dalam proses produksi, industri semen sebagian besar masih menggunakan bahan bakar fosil sehingga menghasilkan gas emisi CO₂ dalam jumlah yang sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi. Dengan kata lain, memproduksi 1 ton semen sama dengan memproduksi 1 ton CO₂ ke dalam udara. Bahkan pada saat penggunaan semennya dalam campuran beton, semen memproduksi gas CO₂ dengan jumlah yang tidak sedikit.

Selain memiliki dampak positif, CO₂ juga berdampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan manusia, apabila konsentrasinya terlalu tinggi. Pada kesehatan manusia CO₂ akan menyebabkan sesak nafas dan sakit kepala. Sedangkan dampak yang disebabkan oleh CO₂ pada lingkungan adalah efek rumah kaca. Jika terus dibiarkan, tentunya akan terjadi dampak buruk yang berkepanjangan.

Adanya tiga tren kebutuhan material beton ke depan dalam pembangunan infrastruktur menurut (Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023) yaitu memiliki biaya terjangkau, berkualitas tinggi, dan cepat diproduksi. Selain itu PUPR juga menggaris bawahi tentang konsep bangunan yang saat ini harus ramah lingkungan (*Green and Climate Resilience*).

Menurut (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK), 2021) Kegiatan yang dilakukan oleh PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) pada tahun 2021 menghasilkan 12 juta ton limbah FABA (*Fly ash* dan Bottom Ash) dan pada tahun 2027 diproyeksikan menjadi sebesar 16,2 Juta Ton.

Dengan hal ini, Indonesia memiliki bahan baku yang cukup dalam pembuatan bahan dasar beton yang ramah lingkungan. Disamping itu, FABA diketahui memiliki komposisi bersifat pozzolan yang artinya dapat memberikan efek positif pada kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* (Syaputra, 2018).

Geopolimer adalah suatu proses geokimia antara silika (Si) dan Alumina (Al) yang menghasilkan terobosan baru yang disebut sebagai mineral polymer (Davidovits, 2020). Beton geopolimer adalah salah satu jenis beton yang tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya. Bahan pengikat pengganti yang digunakan oleh beton geopolimer adalah bahan material yang ramah lingkungan dan mengandung silika (Si) dan Alumina (Al). Geopolimer memiliki reaksi yang berbeda jika dibandingkan dengan reaksi pada semen, hal ini dapat dilihat pada penggunaan air saat akan mereaksikan bahan dasar. Pada saat proses pencampuran air dengan semen menghasilkan produk hidroksida. Sedangkan pada proses geopolimerisasi, air hanya akan dipakai untuk memfasilitasi lebih mudahnya pekerjaan dan tidak dipakai pada saat proses curing. Beton biasa terbentuk dari proses hidrasi sedangkan beton geopolimer terbentuk dari adanya reaksi kimia yang memerlukan pengikat yaitu alkali aktivator sebagai pengganti air.

Menurut (Zhang, 2004) beton geopolimer memiliki beberapa kelebihan yaitu lebih tahan terhadap korosi dan api serta memiliki gaya kuat tekan yang optimal. Selain itu, beton geopolimer juga memiliki biaya produksi yang lebih murah daripada beton konvensional dan juga ramah lingkungan karena didalam beton geopolimer tidak terdapat CO₂ sehingga memiliki dampak positif yaitu dapat mengurangi polusi udara dan efek rumah kaca yang disebabkan oleh bahan dasar semen.

Mengamati penjabaran tersebut, peneliti memiliki ketertarikan dalam melakukan penelitian dengan judul “Analisis Kualitas Kuat Tekan dan Struktur Mikro Beton Geopolimer dengan Campuran Fly Ash” metode yang digunakan peneliti adalah eksperimental sederhana. Dengan adanya fly ash sebagai bahan pengganti material semen dalam pembuatan beton ini,

diharapkan dapat menciptakan beton yang berkualitas dan ramah lingkungan. Pada penelitian ini, diharapkan nantinya dapat membuka pandangan yang luas kepada seluruh aspek masyarakat agar dapat peka serta paham bagaimana cara menanggapi setiap permasalahan sampah atau limbah yang ada di lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.2.1 Bagaimana hasil analisis kuat tekan sampel pada kualitas geopolimer yang dihasilkan dari campuran *fly ash* dan agregat.
- 1.2.2 Bagaimana hasil analisis mikroskopik melalui uji Citra SEM dari variasi komposisi *fly ash* dan agregat terhadap geopolimer

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.3.1 Menganalisis kuat tekan sampel pada kualitas beton geopolimer campuran *fly ash*
- 1.3.2 Menganalisis mikro struktur geopolimer hasil solidifikasi limbah *fly ash* incinerator.

1.4 Manfaat Penelitian

Melalui hasil riset dan penyusunan penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat bagi seluruh pihak, baik pembaca, dan penulis.

1.4.1 Manfaat Teoritis

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan mengenai pemanfaatan limbah abu *fly ash* dan *bottom ash* untuk generasi selanjutnya dan dapat digunakan sebagai bahan acuan maupun pertimbangan bagi riset berikutnya terkait pemanfaatan limbah *fly ash* dan *bottom ash*.

1.4.2 Manfaat Praktis

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif untuk menemukan terobosan atau inovasi baru. Peneliti juga berharap

generasi selanjutnya dapat lebih peka terhadap masalah lingkungan yang ada disekitar kita.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini dapat dilihat pada pemaparan dibawah ini:

- 1.5.1 Beton geopolimer berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm
- 1.5.2 *Fly ash* yang digunakan yaitu kelas C karena bersifat *cementitious* dan *pozzolan*
- 1.5.3 Uji mikro struktur menggunakan Analisis Citra *Scanning Electron Microscopy* (SEM)
- 1.5.4 Pembuatan sampel beton geopolimer sebanyak 5 buah per variasi
- 1.5.5 Agregat halus mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm dari hasil disintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu SNI 03-2834-2000, (Badan Standarisasi Nasional,1993).
- 1.5.6 Agregat kasar memiliki ukuran butir antara 5 mm – 40 mm dari hasil disintegrasi secara alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu SNI 03-2834-2000, (Badan Standarisasi Nasional,1993).
- 1.5.7 Alkali aktivator yang digunakan yaitu Natrium Hidroksida (NaOH) dan Natrium Silikat (Na_2SiO_3).
- 1.5.8 Konsentrasi atau molaritas larutan NaOH yang digunakan sebesar 10M
- 1.5.9 Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada umur beton 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari.
- 1.5.10 Pengujian sampel beton geopolimer akan dilaksanakan di Laboratorium Sampah Teknik Lingkungan FTSP UII dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Geopolimer

Beton geopolimer adalah salah satu jenis beton yang tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya. Bahan pengikat pengganti yang digunakan oleh beton geopolimer adalah bahan material yang ramah lingkungan dan mengandung silika (Si) dan Alumina (Al). Pada tahun 1978 salah satu ilmuwan Perancis bernama Profesor Davidovits yang memelopori istilah Geopolimer. Profesor Davidovits menggambarkan geopolimer sebagai suatu proses geokimia antara silika (Si) dan Alumina (Al) yang menghasilkan terobosan baru yang disebut sebagai mineral polymer. Penelitian ini pertama kali dilakukan menggunakan blok-blok beton kuno atau yang saat ini disebut sebagai piramida besar di Mesir (Davidovits, 2020). Reaksi yang dihasilkan oleh silika (Si) dan Alumina (Al) mempunyai proses yang paling penting dalam pembuatan beton geopolimer. Proses polimerisasi inilah yang menghasilkan AlO_4 dan SiO_4 dan menghasilkan suatu rantai dalam bentuk struktur yang disebut **polysialate** (Si-O-Al-O-Si). Reaksi kimia yang terjadi saat proses pembentukan senyawa geopolymer mengakibatkan hilangnya air yang terkandung, proses inilah yang menjadikan beton geopolymer berbeda dengan beton konvensional.

Menurut (Lloyd, 2010) perbedaan beton geopolimer dengan beton konvensional selain pada proses pembuatan perbedaan yang paling utama adalah terletak pada binder atau pengikat yang digunakan oleh beton tersebut. Beton konvensional menggunakan semen Portland dan air sebagai bahan pengikat agregat kasar dan agregat halus. Sedangkan beton geopolimer menggunakan pasta geopolymer yang berada pada *fly ash* sebagai pengikat agregat kasar, agregat halus dan bahan lainnya untuk proses pembuatan beton tersebut. Cara perawatan juga menjadi pembeda antara beton geopolimer dan beton konvensional. Beton geopolimer menggunakan metode curing pada

suhu dan waktu tertentu. Hal ini sangatlah berpengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer.

2.2 Material Penyusun Beton Geopolimer

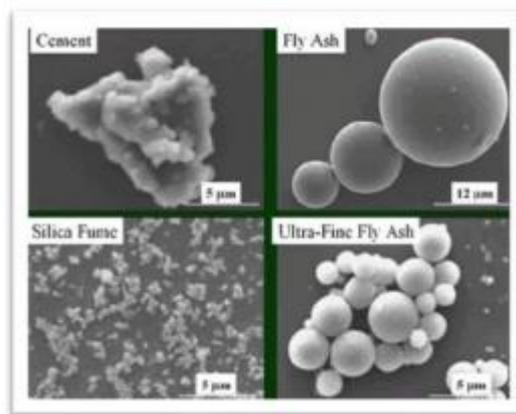
Material penyusun beton geopolimer ini tidaklah berbeda dengan material penyusun beton pada umumnya. Pada proses pembuatan material yang digunakan untuk membuat beton geopolimer ini adalah campuran *fly ash* dengan alkali aktivator. Beton geopolimer tersusun dari material agregat halus, agregat kasar dan air. Menurut penelitian (Zhang, 2004), umumnya beton geopolimer memiliki varian nilai slump yang tinggi akan tetapi memiliki sifat *workability*. Walaupun beton geopolimer memiliki sifat yang mudah mengeras beton ini memiliki nilai kuat tekan yang dapat mencapai 70% pada 1-4 jam pertama.

Reaksi yang dihasilkan dari pencampuran *fly ash* dengan alkali aktivator tentunya membutuhkan waktu agar dapat bereaksi dengan sempurna sama halnya dengan semen yang juga membutuhkan waktu dalam bereaksi dan menjadi semen yang keras hingga siap diuji atau digunakan. Setting time yang digunakan agar terjadinya reaksi kimia dan menghasilkan output yang bagus tentunya dipengaruhi oleh material, kualitas material, jumlah perbandingan dan juga tingkat molaritas yang digunakan.

2.2.1 *Fly ash*

Berdasarkan SNI 03-6468-2000, *fly ash* atau abu terbang merupakan hasil limbah pembakaran pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozzolanic (Badan Standarisasi Nasional, 2002). Sedangkan ASTM C-618 mendefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batu bara. Ukuran partikel *fly ash* dimulai kurang dari 1 μm (micrometer) hingga lebih besar dari 100 μm , terdapat beberapa literatur menyebutkan ukuran 0.5 μm – 300 μm , dengan sebagian besar berukuran 20 μm . Pada umumnya hanya sekitar 10 % hingga 30% ukuran partikel *fly ash* yang

lebih besar dari 50 μm . Luas permukaan *fly ash* berkisar antara 300 m^2/kg hingga 500 m^2/kg , dengan batas bawah 200 m^2/kg dan batas atas 700 m^2/kg . Berat jenis atau Specific Gravity (Gs) *fly ash* cukup bervariasi, terdapat beberapa institusi yang memberikan rentang tersendiri, namun umumnya rentang terbesar berkisar 1,6 – 3,1. Secara umum specific gravity material *fly ash* berkisar antara 1,9 – 2,55. Massa jenis *fly ash* dalam kondisi kering berkisar 540 – 860 kg/m^3 , dan dalam kondisi penggetaran alam kemas pada umumnya mempunyai massa jenis 1.120 – 1.500 kg/m^3 . Perbandingan ukuran antara partikel semen, *fly ash*, dan silica fume berdasarkan foto Scanning Electron Microscope (SEM) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Perbandingan Ukuran Partikel Semen, *Fly ash*, dan Silica Fume

Sumber : (Cheremisinoff, 2016)

Fly ash yang dapat digunakan untuk campuran pengganti sebagian semen dalam beton diatur dalam ASTM (American Standard Testing Methods) nomor C 618 (Standard Specification for Coal Fly ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete).

Jenis batu bara dengan kualitas tertentu yang digunakan pada pembakaran, serta tingkat optimalisasi proses pembakaran akan sangat mempengaruhi kadar kandungan kimiawi pada fly ash. Terdapat 2

klasifikasi kelas fly ash berdasarkan kandungannya seperti pada berikut ini:

1. Kelas F

- 1) *Fly ash* dengan kandungan CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batubara (bituminous).
- 2) Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) lebih dari 70%.
- 3) Kadar $\text{CaO} < 10\%$, batasan menurut ASTM menyatakan maksimal 20%, sedangkan dalam Canadian Standard Association (CSA) dinyatakan maksimal 8%.
- 4) Kadar karbon (C) berkisar antara 5% - 10%.
- 5) *Fly ash* kelas F tidak memiliki sifat cementitious karena mengandung kalsium yang rendah atau sering disebut *low-calcium fly ash*, dan hanya bersifat pozzolanic.

2. Kelas C

- 1) Mengandung CaO lebih dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara (batubara muda / sub-bituminous).
- 2) Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) lebih dari 50%.
- 3) Kadar $\text{CaO} > 10\%$, ASTM menyatakan 20%, CSA menetapkan 8% - 20% untuk tipe Cl dan diatas 20% untuk tipe CH. d. Kadar karbon (C) sekitar 2%.

Kandungan kimia dari *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Abu Terbang PLTU Paiton

No	Kandungan Penyusun	Kandungan (%)
1	SiO_2	33,54
2	Al_2O_3	19,15
3	Fe_2O_3	16,7
4	CaO	13,98
5	MgO	6,73

6	Mn ₃ O ₄	0,31
7	Na ₂ O	0,49
8	K ₂ O	0,97
9	TiO ₂	0,94
10	P ₂ O ₅	2,19
11	SO ₃	5,14

Sumber: PJB Paiton, 2002

2.2.2 Alkali Aktivator

Pembuatan beton geopolimer diperlukan alkali aktivator yang berfungsi mereaksikan kandungan kimia pada fly ash, sehingga pasta geopolimer dapat mengikat agregat. Aktivator yang umumnya digunakan adalah Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat (Na₂SiO₃). “Sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan natrium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam pasta, sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.” (Rangan, 2005).

Pada tahun 1999, Palomo menyimpulkan jenis alkali aktivator memiliki peranan penting didalam proses polimerisasi. Sedangkan pada tahun 2000, Hua Xu dan Jannie S J Van Deventer melakukan suatu penelitian geopolimer terhadap enam belas mineral aluminium alami – silicon, dan ditemukan bahwa pada umumnya NaOH lebih baik dibandingkan dengan KOH (Phair, 2002). Molaritas adalah jumlah mol zat atau senyawa terlarut dalam 1 liter larutan. Molaritas merupakan ukuran konsentrasi suatu larutan.

2.2.3 Agregat Halus

Persyaratan penggunaan agregat yang baik digunakan sebagai campuran beton sudah diatur dalam Peraturan Beton Indonesia tahun 1989, pada pasal 3.3.1 dimana agregat harus memenuhi ketentuan dan

persyaratan SII 0052-80 mengenai “Mutu dan cara uji agregat beton”. Namun apabila tidak terdapat pada pembahasan SII 0052-80, maka digunakan “*specification for concrete aggregates*”, dan ketentuan persyaratan ASTM C33. Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm SNI 03-2834-2000, (Badan Standarisasi Nasional,1993).

1. Kadar lumpur (bagian butir sebesar 75 μm atau lolos ayakan no. 200), maksimum sebesar 3% untuk beton yang mengalami abrasi, dan 5% untuk jenis beton lain nya,
2. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah dihancurkan, maksimum 3%,
3. Apabila tapak permukaan beton dianggap penting, kandungan arang dan lignin maksimum sebesar 0,5%, sedangkan untuk jenis lainnya 1,0%,
4. Agregat halus bersih dari kotoran zat organik yang dapat merugikan beton.

2.2.4 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (SNI 03-2834-2000). Menurut PBI 1971 (Karya, 1971), persyaratan umum agregat kasar yang digunakan sebagai campuran beton adalah sebagai berikut ini.

1. Agregat kasar berupa kerikil yang berasal dari batu-batuan alami, atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecah batu
2. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Butiran agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.

3. Agregat kasar tidak mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering)
4. Tidak mengandung zat yang bisa merusak beton seperti, zat yang reaktif alkali.

Sedangkan syarat mutu berdasarkan ASTM C33:

1. Kadar lumpur yang terkandung maksimum sebesar 1%.
2. Susunan besar butir agregat kasar, untuk batuan yang memiliki bentuk pipih tidak boleh melebihi 20% dari beratnya.

Agar dapat mengetahui karakteristik dari agregat bisa dilakukan dengan pengujian berdasarkan standar yang ada seperti berikut: analisa saringan, berat jenis, air resapan, berat volume, kelembapan, dan kebersihan agregat terhadap lumpur. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian yaitu agregat kasar dari batu pecah.

2.3 Hasil Pengujian Bahan Susun

Bahan susun pembuatan sampel diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik. Adapun nilai karakteristik bahan yang meliputi Modulus Halus Butir (MHB), dan kadar lumpur dapat dilihat secara rinci pada lampiran.

2.3.1 Analisa Hasil Saring Agregat Halus

Pengujian ini berdasarkan metode dan standar SNI 03-1968-1990 (Nasional, 1990) yang dilakukan untuk mengetahui serta memperoleh nilai Modulus Hasil Butir (MHB). Berikut hasil analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada lampiran

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

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{248,66}{100} = 2,486
 \end{aligned}$$

Penelitian ini memperoleh hasil pengujian sebesar 2,486 yang mana memenuhi. Hasil pengujian analisa saringan ini selain untuk mengetahui nilai modulus halus butir (MHB), juga untuk mengetahui gradasi agregat halus.

2.3.2 Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kadar Lumpur)

Pengujian lolos saringan No. 200 merupakan acuan untuk menentukan acuan untuk menentukan nilai persentase kandungan lumpur dalam pasir sebagai syarat mutu berdasarkan SNI 03-4142-1996 (Nasional, 1996). Hasil pengujian lolos saringan No.200 dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

No	Uraian	Hasil Pengamatan	
		Sampel 1	Sampel 2
1	Berat Pasir kering mutlak (W2), gram	450	450
2	Berat Pasir setelah dicuci dan di oven lagi, (W3) gram	434	431
3	Berat Lumpur (W4)	16	19
4	Kadar Lumpur %	3,56	4,22
5	Kadar Lumpur rata - rata %	3,89	

Sumber : Hasil Penelitian, 2023

Dari Tabel 2.2 diatas, kandungan lumpur pada pasir didapat sebesar 3,89%. Pasir dinyatakan bisa digunakan untuk bahan bangunan karena tidak lebih dari 5% (lima persen) kandungan lumpurnya sesuai dengan Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (Bangunan, 1982).

2.3.3 Analisa Hasil Saring Agregat Kasar

Pengujian ini berdasarkan metode dan standar SNI 03-1968-1990 (Nasional, 1990) yang dilakukan untuk mengetahui serta memperoleh nilai Modulus Hasil Butir (MHB). Berikut hasil analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada lampiran

Berdasarkan data pada Lampiran dan perhitungan maka dapat dihitung nilai MHB menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\ &= \frac{778,40}{100} = 7,784 \end{aligned}$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan memiliki butir cukup besar, dengan nilai MHB agregat kasar pada umumnya 3,8 - 8%.

2.4 Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan merupakan salah satu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan suatu benda terhadap gaya tekan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji kuat tekan yang disesuaikan berdasarkan benda yang akan diuji.

Pengujian kuat tekan salah satunya dapat dilakukan pada beton, uji kuat tekan pada beton bertujuan untuk mengetahui kekuatan beton terhadap alat uji kuat tekan beton. Beton yang dijadikan sampel untuk diuji kuat tekannya dibebani gaya dan tekanan dari alat uji yang digunakan, besarnya beban per satuan luas dapat mengakibatkan beton yang diuji hancur. Pengujian ini adalah salah satu yang terpenting dari pengujian beton lainnya dikarenakan uji kuat tekan beton dapat mengetahui seberapa bagus dan berkualitasnya beton yang digunakan. Peraturan dan persyaratan yang dihasilkan memiliki minimal standar yang sudah ditetapkan oleh pemerintah Indonesia melalui peraturan Nasional yaitu SNI 03-1974-1990, (Badan Standarisasi Nasional, 1990)

2.5 Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui dan mengkaji struktur morfologi suatu permukaan bahan dengan menggunakan mikroskop dan elektron sebagai sumber cahaya sehingga memiliki resolusi yang sangat tinggi hingga skala tertentu.

2.6 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu tentang pemanfaatan limbah *fly ash* hasil pembakaran batu bara dengan campuran agregat dan alkali aktivator disajikan pada Tabel 2.3, yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Topik Penelitian	Hasil Penelitian	Perbandingan dengan Penelitian Lain
1.	Xinyan Wu, Yanghai Shen, Liang Hu (Wu, 2022)	Performance of geopolymer concrete activated by sodium silicate and silica fume activator	Dalam penelitian ini, proses polimerisasi menggunakan natrium silikat dan aktivator asap silika. Karena telah diteliti bahwa dapat meningkatkan kemampuan kerja dan kekuatan beton geopolimer	Pada penelitian ini hanya menggunakan natrium silikat dan natrium hidroksida sebagai alkali aktivator dalam proses polimerisasinya
2.	Kefyalew Zerfu, Januarti Jaya Ekaputri (Kefiyalew Zerfu, 2022)	The effect of reinforcement ratio on the flexural performance of alkali-activated <i>fly ash</i> -based geopolymer concrete beam	Balok beton geopolimer berbasis <i>fly ash</i> yang diaktifkan alkali. Enam belas elemen hingga (FE) dan empat mode eksperimental digunakan untuk melihat dampak rasio penguatan pada lentur kinerja keseluruhan dan sifat fraktur non-linier. 4 agen spesimen beton dengan daya tekan median sembilan belas, 30 MPa, 32,60 MPa, 38,2,0 MPa, dan 41,70 MPa digunakan di bawah pemeriksaan ini. Untuk memeriksa dampak rasio penguatan pada kinerja keseluruhan lentur balok, rasio tulangan nol.03, 0.042, nol.setengah, dan 0.063	Pada penelitian ini selain kuat tekan yang menjadi perhatian, mikroskopik juga menjadi hal penting utama yang menjadikan alasan penelitian ini dilaksanakan

			<p>telah digunakan untuk setiap kelas energi tekan. Hasilnya menegaskan bahwa potensi beban akhir balok mengkonfirmasi perkembangan yang luas sekitar 36,38% dengan menggunakan pertumbuhan rasio penguatan dari nol.03 menjadi nol.063 melalui mempertahankan daya tekan beton reguler. Namun, ternyata ditemukan bahwa efek kekuatan tekan sekarang menjadi tidak tersebar luas seperti rasio penguatan dalam meningkatkan kemampuan bantalan beban penutup. Hasil akhir percobaan menunjukkan bahwa peningkatan beban terakhir dengan menggunakan mempertahankan konstanta rasio penguatan siap 12,20% untuk kekuatan tekan yang unik. Selanjutnya, pembentukan retakan di dalam beton secara mengejutkan dikaitkan dengan rasio tulangan tarik, yaitu, rasio tulangan yang lebih kecil menghasilkan pertumbuhan regangan yang lebih baik pada beton. Selanjutnya, validasi melihat antara simulasi numerik dan melihat hasil</p>	
--	--	--	--	--

			menunjukkan kesepakatan yang sangat baik.	
3.	Firas Abed Turkey, Salmia Bt. Beddu, Ali Najah Ahmed, Suhair Kadhem Al-Hubboubi (Abed, 2022)	Effect of high temperatures on the properties of lightweight geopolymer concrete based <i>fly ash</i> and glass powder mixtures	Pengaruh memasukkan tanah liat yang ditinggikan (Leca) dan batu bata daur ulang yang dihancurkan agregat ringan tanah liat (RBA) pada <i>fly ash</i> dan beton geopolimer berbasis bubuk kaca telah diselidiki pada suhu sekitar dan tinggi. Abu terbang kalsium rendah digunakan sebagai pengikat di dalam pasta beton dengan biaya alternatif 10% dari Bubuk Kaca. Efek mengganti bubuk kaca limbah dengan abu terbang pada peningkatan struktur mikro dan gel berubah menjadi tambahan yang diselidiki.	Pada penelitian ini agregat yang digunakan yaitu batu kerikil sebagai agregat kasar dan pasir sebagai agregat halus. Dengan tentunya campuran utamanya yaitu abu terbang hasil pembakaran batu bara dengan pengikat alkali aktivator
4.	Dina A. Emarah (Emarah, 2022)	Compressive strength analysis of <i>fly ash</i> -based geopolymer concrete using machine learning approaches	<i>Fly ash</i> digunakan karena pengikat pada beton geopolimer dan umumnya dikonsumsi untuk menyiapkan komposit GPC. Di dalam proses pemodelan, dua belas parameter masuk yang efektif pada C-S FA-GPC, bersama dengan kandungan FA, agregat kualitas (Fa), agregat kasar (Ca), natrium silikat (SS), natrium hidroksida (SH), rasio	Pada penelitian ini menggunakan beberapa larutan basa sebagai pengikat yang kuat yaitu NaOH, Na ₂ SiO ₃ , KOH, dan K ₂ SiO ₃ . Dengan menggunakan agregat halus dan kasar

			natrium silikat / natrium hidroksida (SS / SH), silikon dioksida / alumina yang didoping dari FA (Si / Al), cairan alkali / FA (AL / FA), konsentrasi natrium hidroksida (M), suhu curing (CT), durasi curing dalam oven (CP), dan usia sampel (Sa), dan C- S FA-GPC sebagai variabel output.	
5.	Nada Hadi Jumaa, Isam Mohamad Ali, Mohammed Salah Nasr, Mayadah W. Falah (Jumaa, 2022)	Strength and microstructural properties of binary and ternary blends in <i>fly ash</i> based geopolymer concrete	Dalam kasus lain, nanomaterial diperkenalkan ke beton geopolimer dalam karya-karya sebelumnya dengan tujuan meningkatkan tempat tinggalnya. Namun, penelitian yang sangat terkendali telah berfokus pada pemanfaatan gabungan nano-tanah liat dan nano-titanium dalam beton geopolimer. Akibatnya, di dalam studi kontemporer, beton geopolimer menjadi maju dari limbah bisnis (lalat abu; FA) dengan bantuan penggunaan kombinasi unik dari berbagai nanomaterial: nano-clay (NC) dan nano-TiO ₂ (NT). Campuran dengan air konstan ke FA (12 %), dan kandungan alkali khusus: (40%, empat puluh lima%, dan 50 %) melalui FA, telah dilakukan dan dibagi menjadi 3 perusahaan. Di dalam institusi	Pada penelitian ini abu <i>fly ash</i> yang digunakan diambil dari sisa bakar batubara PLTU. Yang mana menggunakan agregat kasar yaitu batu kerikil dan juga agregat halus pasir. Selain itu, menggunakan larutan basa sebagai pengikat yang kuat yaitu NaOH, Na ₂ SiO ₃ , KOH, dan K ₂ SiO ₃ .

			<p>pertama, FA yang paling sederhana digunakan sebagai pengikat, sementara itu, agregat (FA + NC) dan (FA + NT) berubah menjadi digunakan secara terpisah di institusi (biner). di institusi 0,33, (FA + NC + NT) telah digabungkan secara kolektif (terner). Banyak penilaian yang dikeraskan telah diselidiki: kompresif, kekuatan tarik dan kepadatan. juga, karakteristik mikrostruktural telah dipantau menggunakan pemeriksaan XRD dan SEM. Temuan menemukan bahwa penambahan nanomaterial secara mencolok lebih besar kepadatan struktur mikro, mengurangi pori-pori menghasilkan beton geopolimer.</p>	
--	--	--	--	--

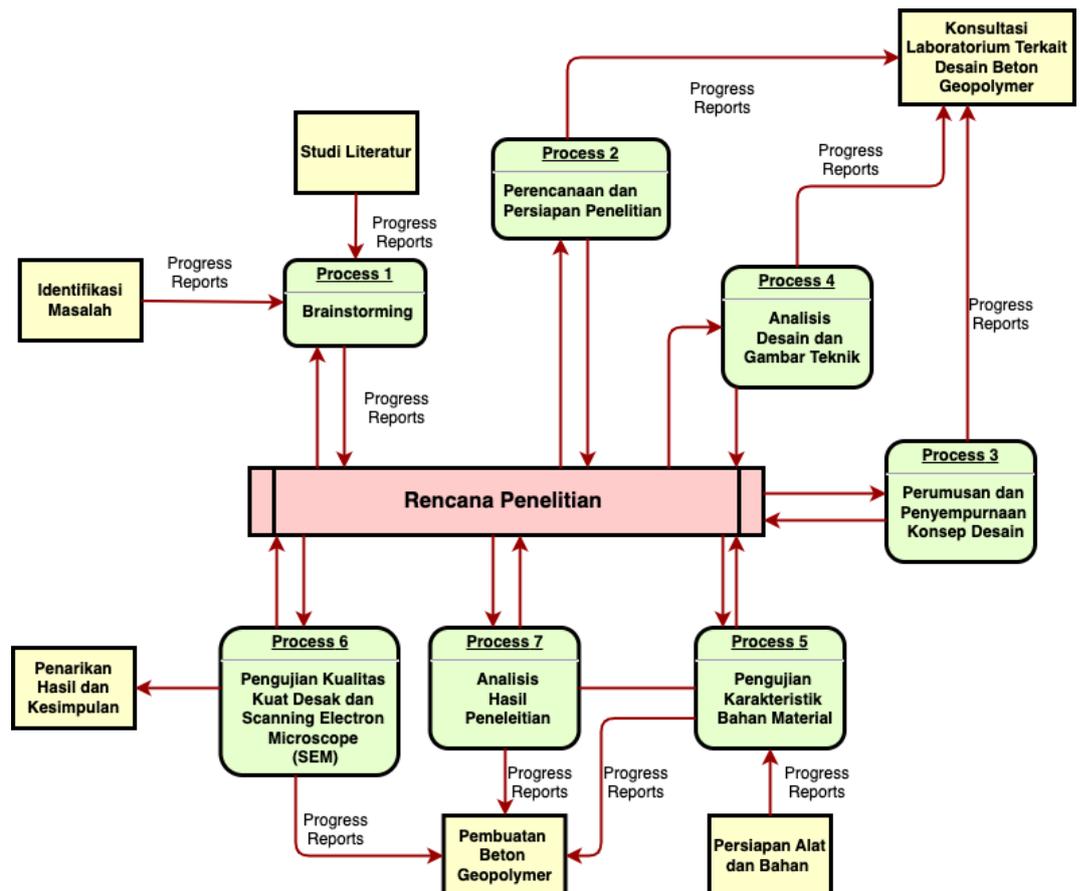
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode Penelitian dalam penelitian ini adalah studi eksperimental yang dimulai dengan melakukan brainstorming dan melakukan studi literatur. Kemudian dilanjutkan dengan penelitian pelaksanaan uji coba dan *testing* yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII dan Laboratorium Sampah & B3 Teknik Lingkungan FTSP UII.

Tahapan pelaksanaan penelitian yang dilakukan dapat dilihat seperti pada rencana penelitian berikut dibawah ini:



Gambar 2 Rencana Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Sampah & B3 Teknik Lingkungan FTSP UII dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII selama 6 bulan yang dimulai dari bulan Maret hingga September. Pengambilan bahan baku agregat halus dan agregat kasar didapat dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII, sedangkan *fly ash* berasal dari hasil pembakaran batu bara PLTU Paiton. Lokasi pembuatan beton dilakukan di Pusat Inovasi yang berada dibawah naungan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII.

3.3 Tahapan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian yang berjudul “Analisis Kualitas Kuat Tekan dan Mikrostruktur Beton Geopolimer” ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan. Tahapan penelitian yang dilakukan adalah :

3.3.1 Tahap Persiapan

Pada tahapan persiapan ini peneliti bertujuan untuk mengumpulkan sumber data, alat dan bahan dan persiapan lainnya yang diperlukan untuk melaksanakan penelitian. Sumber data yang diperlukan yaitu studi literatur mengenai geopolimer. Kemudian persiapan alat dan bahan serta perizinan dari lokasi yang dijadikan tempat penelitian.

3.3.2 Tahap Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Pada tahapan pengujian ini peneliti bertujuan untuk mengetahui apakah bahan yang digunakan sudah memenuhi spesifikasi agregat atau tidak. Dalam tahapan ini peneliti menggabungkan data primer dan sekunder.

Data primer didapatkan oleh pengujian yang dilakukan oleh peneliti secara langsung yaitu :

1. Berat jenis
2. Berat Isi
3. Analisa Saringan

Sedangkan data sekunder pada tahapan ini berupa informasi yang didapatkan dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII. Data tersebut berupa informasi uji kadar lumpur.

3.3.3 Tahap Pembuatan NaOH 10 M

Dalam proses ini peneliti membuat larutan NaOH 10 M, dengan cara mencampurkan NaOH yang berbentuk flake menggunakan aquades atau air. Pembuatan dilaksanakan satu hari sebelum proses pengecoran. Proses ini menghasilkan panas yang cukup tinggi sehingga peneliti harus melakukan proses pendinginan agar panas yang dihasilkan dari proses pencampuran material NaOH dengan aquades berkurang atau menghilang.

3.3.4 Tahap Pembuatan Benda Uji

Pada tahapan ini peneliti membuat benda uji yaitu beton geopolimer dengan bentuk silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm, proses pembuatan beton geopolimer yaitu :

1. Peneliti mencampurkan agregat kasar dengan *fly ash* menggunakan mixer sebagai material pertama.
2. Kemudian larutan alkali aktivator dimasukkan kedalam material pertama dan diaduk kembali hingga merata,
3. Setelah itu peneliti menambahkan agregat halus dan diaduk kembali hingga merata
4. Benda uji yang sudah tercampur secara merata segera dimasukkan pada cetakan silinder yang telah disiapkan dan diamankan hingga mengeras.

3.3.5 Tahap Perawatan Benda Uji

Pada tahapan ini benda uji didiamkan dalam cetakan selama 24 jam, setelah 24 jam beton dikeluarkan dari cetakan. Kemudian, beton dirawat dengan cara direndam air selama 14 hari sebelum diuji kuat tekan. Perendaman ini dilakukan guna menghindari pengaruh cuaca terhadap proses pengerasan beton yang tentunya dapat mempengaruhi kekuatan beton.

3.3.6 Tahap Pengujian Kuat Tekan

Pada tahapan ini bertujuan untuk menganalisis nilai estimasi yang dihasilkan dalam uji kuat tekan. Pengujian ini menggunakan mesin uji *compression testing machine* (CTM) dengan spesifikasi Kontroler kapasitas 2000 Kg Newton dan ketelitian 1 Kg Newton.

Pengujian dilakukan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari setelah pengecoran. Berikut adalah langkah-langkahnya.

- a. Benda uji dikeluarkan dari perendaman sehari sebelum pengujian dan dikeringkan dengan cara dijemur ataupun diangin-anginkan.
- b. Benda uji ditimbang untuk mengetahui berat benda uji.
- c. Benda uji diukur dimensi dan tingginya menggunakan kaliper.
- d. Sebelum diuji, permukaan benda uji diratakan menggunakan alat capping dengan dituangkan cairan sulfur yang sudah dipanaskan.
- e. Pengujian benda uji dilakukan menggunakan mesin uji tekan *compression testing machine* (CTM). Benda uji ditekan menggunakan mesin sampai pecah kemudian ditinjau kekuatan tekan.

3.3.7 Tahap Pengujian Scanning Electrone Microscope (SEM)

Pada tahapan ini bertujuan untuk menganalisis hasil uji mikroskopi pada sampel yaitu kerapatan antar partikel yang direaksikan oleh larutan alkali aktivator. Pengujian ini menggunakan mesin uji Phenom X Pro. Pengujian ini menggunakan serpihan dari hasil kuat tekan yang dilakukan sebelumnya, kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan alat *sieve shaker* dengan lolos ayakan ukuran 1,18 mm. Benda uji yang sudah halus dapat langsung diuji SEM.

3.4 Instrumen Penelitian

Penelitian ini berupa eksperimental sederhana dengan menggunakan instrumen berupa pembuatan dan pengujian sampel beton geopolimer. Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan dalam membuat sampel terdapat pada Tabel 3.1, yaitu:

Tabel 3.1 Alat Penelitian Sampel

No.	Jenis Alat	Spesifikasi	Fungsi
Alat Pengambilan Sampel			
Alat Penelitian			
1	Mixer 		Alat membuat adonan campuran beton
2	Cetakan silinder beton	Bahan: stainless steel Ukuran: Diameter: 10 cm	Alat cetak kuat desak beton

		Tinggi: 20 cm	
3	Kaliper 	Ukuran: millimeter (mm)	Alat ukur dimensi beton
4	Timbangan 	Satuan 1000 gram/ Kg	Untuk menimbang benda uji
5	Capping 	Ukuran: dimensi 10 x 20	Untuk memastikan distribusi beban aksial yang merata ke seluruh bidang tekan beton silinder.
6	Alat Shaker 		Alat pemisah ukuran mesh ayakan

7		Ukuran lolos ayakan: a. 1,2 mm b. 0,6 mm c. 0,3 mm d. 0,1 mm	Saringan lolos ayakan
8		Kontroler kapasitas 2000 Kg Newton Ketelitian 1 Kg Newton	Mesin kuat desak beton

Bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Bahan Baku Penelitian

No.	Gambar	Jenis Bahan
1.		<i>Fly ash type C</i>
2.		Pasir

3.		Kerikil
4.		NaOH
5.		Na ₂ SiO ₃

3.5 Data Sampel

Penelitian yang dilakukan yaitu membuat beton geopolimer berjumlah 25 buah dari 5 variasi yang ditentukan. Variasi tersebut dibedakan oleh besaran jumlah perbandingan antara agregat dan binder (campuran *fly ash* dan alkali activator) yang dapat dilihat di Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Variasi Sampel

No.	Kode Sampel	Agregat : Binder (%)	Perbandingan Alkali activator (Na ₂ SiO ₃ + NaOH)	Berat Sampel (Kg)	Diameter Sampel (mm)	Tinggi Sampel (mm)
1	B1	90 : 10	2/1	3,88	102,8	201,9
2	B2	80 : 20		3,93	103	202,9
3	B3	70 : 30		4,12	103,6	202,4
4	B4	60 : 40		3,72	102,6	202,1
5	B5	50 : 50		3,92	103,6	202,1

Sumber : Hasil Penelitian, 2023

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kuat Tekan Beton Geopolimer

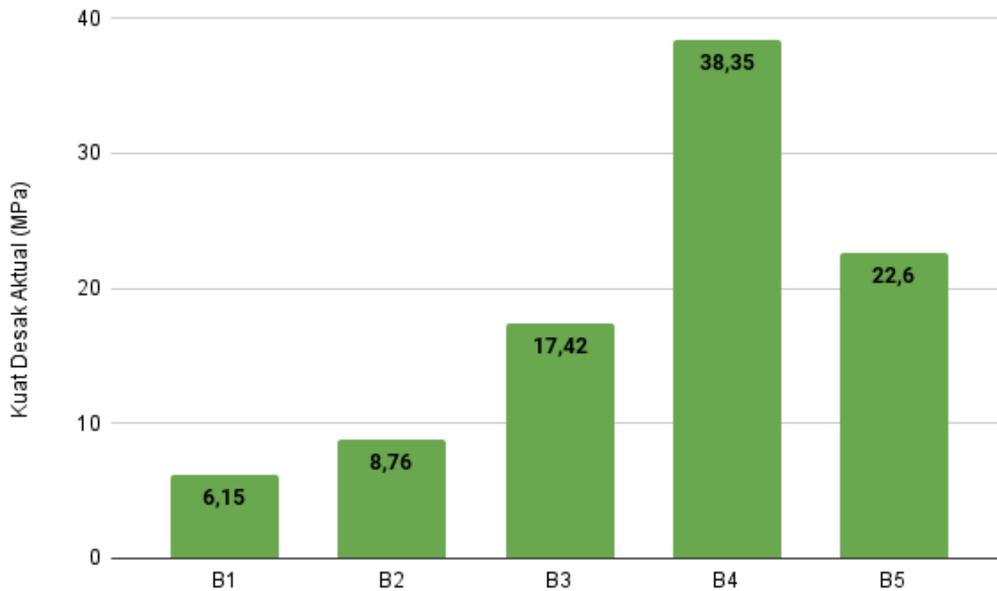
Beton Geopolimer yang sudah dibuat di Pusat Inovasi kemudian dibawa ke Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII untuk pengujian kuat tekan dengan cara yang mengacu pada SNI-03-0349-1989 (Badan Standarisasi Nasional, 1989). Hasil kuat tekan rata-rata didapat melalui perhitungan kelima sampel dari masing-masing variasi yang berjumlah 5.

Disamping itu, hasil kuat tekan yang didapatkan baru berumur 14 hari sehingga dikonversi pada umur 28 hari karena merupakan hasil maksimal dari perawatan benda uji dengan standar PBI-1971 (Peraturan Beton Bertulang Indonesia). Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 4.1 beserta Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Kode Sampel	Luas Penampang (A)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (MPa)
B1	8297,45	3,88	45	6,15
B2	8331,63	3,93	64,2	8,76
B3	8428,66	4,12	129,2	17,42
B4	8274,63	3,72	279,2	38,35
B5	8438,50	3,92	167,8	22,60

Sumber: Hasil Penelitian, 2023



Gambar 4.1 Hasil Uji Kuat Tekan

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Hasil pengujian kuat tekan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1, berdasarkan tabel tersebut, sampel beton geopolimer dengan kode B4 mendapatkan hasil kuat tekan dengan kualitas mutu terbaik yaitu sebesar 38,35 hal ini sesuai dengan peraturan standar nasional yang sudah ditetapkan SNI 03-1974-1990. Kuat tekan aktual dengan besar 30-100 Mpa ini menurut (Pamungkas, 2020) adalah kuat tekan dengan mutu terbaik dikarenakan presentasi abu terbang dan aktivator pada beton geopolimer berpengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer. Karena jumlah *fly ash* yang banyak sedangkan rasio alkali aktivator yang sedikit membuat proses ikatan polimer yang kuat, antara unsur Si dan Ai dengan pengikat Na_2SiO_3 . Laju pelarutan yang lebih rendah yang terkait dengan sampel yang disintesis dengan rasio alkali aktivator terhadap abu terbang menghasilkan laju geopolimerisasi yang tinggi, matriks yang lebih homogen, dan kuat tekan yang lebih tinggi. Penurunan rasio alkali aktivator terhadap *fly ash* berdasarkan massa menghasilkan kekuatan tekan yang lebih tinggi.

Selain itu, menurut (Rangan, 2005) semakin besar nilai konsentrasi molaritas sodium hidroksida, maka kuat tekan beton geopolimer semakin besar. Pada penelitian lain, (Cheng, 2003) mencoba penelitian menggunakan 10 M potassium hidroksida (KOH) dan menunjukkan kekuatan tekan tertinggi 60 MPa, namun kekuatan menurun pada peningkatan konsentrasi KOH dari 10 M ke 15 M. Hal ini terjadi karena kelebihan ion K^+ di dalam rantai utama. Selain itu, karakteristik *fly ash* tinggi kalsium juga mempengaruhi nilai kuat tekan karena mempercepat setting time (Hanjitsuwan, 2014).

Perawatan terhadap benda uji juga dapat mempengaruhi nilai dari kuat tekan yang dihasilkan, sedangkan perawatan benda uji baru dilakukan selama 14 hari. Sebagaimana menurut (Dipohusodo, 1994) nilai kuat tekan beton beragam sesuai dengan umurnya dan biasanya ditentukan waktu beton mencapai umur 28 hari setelah pengecoran. Umumnya pada umur 7 hari kuat beton mencapai 70 % dan pada umur 14 hari mencapai 85 % sampai 90 % dari kuat tekan beton umur 28 hari (Dipohusodo, 1994).

Ditemukan penurunan nilai kuat tekan pada sampel B5, hal ini dikarenakan variasi komposisi yang diberikan sebanding, sebagaimana menurut (Wari Dony, 2019) penambahan Na_2SiO_3 yang sebanding dengan NaOH menyebabkan percepatan proses geopolimerisasi tidak maksimum, sementara penambahan yang berlebih menyebabkan terhambatnya reaksi aktivator terhadap partikel precursor. Selain itu, tidak ada peningkatan kekuatan yang drastis dengan bertambahnya waktu pengawetan dari 7 menjadi 28 hari. Menurunkan rasio alkali aktivator terhadap *fly ash* berdasarkan massa menghasilkan kekuatan tekan yang lebih tinggi.

4.2 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

Hasil pengujian mikrostruktur didapatkan dari hasil pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) pada setiap variasi campuran beton geopolimer. Hasil pengujian SEM dengan perbesaran 4000x dapat dilihat pada Gambar 3 sampai

dengan Gambar 7. Tujuannya agar dapat menganalisis besaran rongga pada setiap variasi beton geopolimer.

4.2.1 Pembahasan Uji SEM

Berdasarkan gambar citra SEM pada perbesaran 4000x. Citra SEM menunjukkan reaksi antara *fly ash* dengan larutan alkali aktivator, dapat dilihat bahwa material penyusunnya telah bereaksi dengan baik namun secara umum masih terdapat bentuk partikel kaolin dan abu terbang yang belum bereaksi secara sempurna, ukuran pori-pori yang dihasilkan bervariasi dan lebar *microcracks* yang diukur bervariasi. Jika setiap campuran tersebut memiliki ukuran pori-pori dan lebar *microcracks* semakin besar, maka berat jenis dan kuat tekan yang dihasilkan semakin rendah dan sebaliknya apabila mutu beton mengalami peningkatan maka, campuran menjadi lebih kaku, sehingga mengurangi *workability*, yang berakibat pada berkurangnya kekuatan. (Abdullah, 2021). Berikut terlampir besaran *microcrack* pada Tabel 4.2.

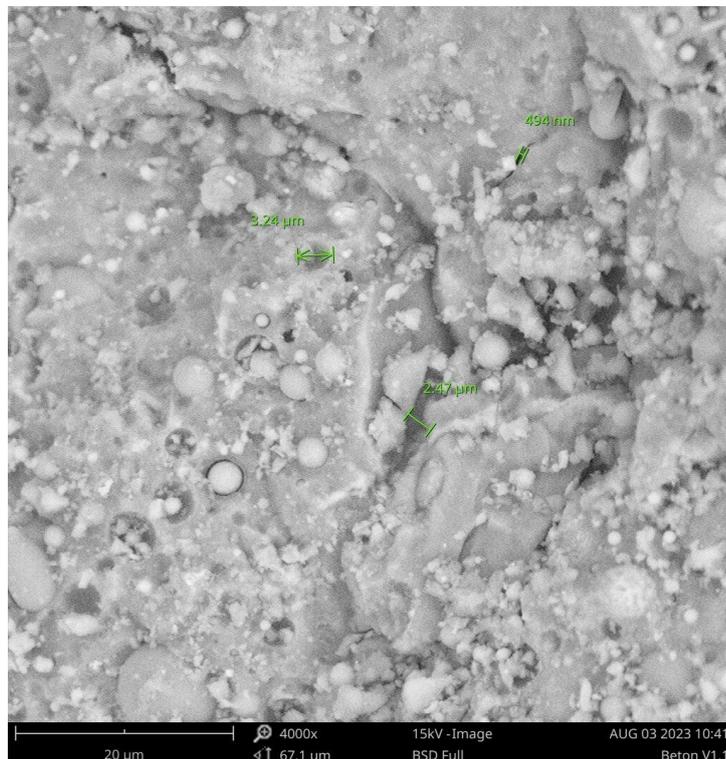
Tabel 4.2 Besaran Lebar Microcrack

Kode Sampel	Microcrack (μm)
B1	0,49 - 3,24
B2	0,46 - 1,82
B3	0,76 - 1,82
B4	0,42 - 0,52
B5	0,37 - 0,56

Sumber: Hasil Penelitian, 2023

Hasil pengamatan Gambar variasi B1-B5 menunjukkan peningkatan pada kepadatan matriks polimer yang terbentuk dan reaksi *fly ash* dengan alkali aktivator menjadi semakin homogen karena pemberian rasio larutan NaOH yang semakin besar. Namun, pada gambar variasi B1-B2 tidak

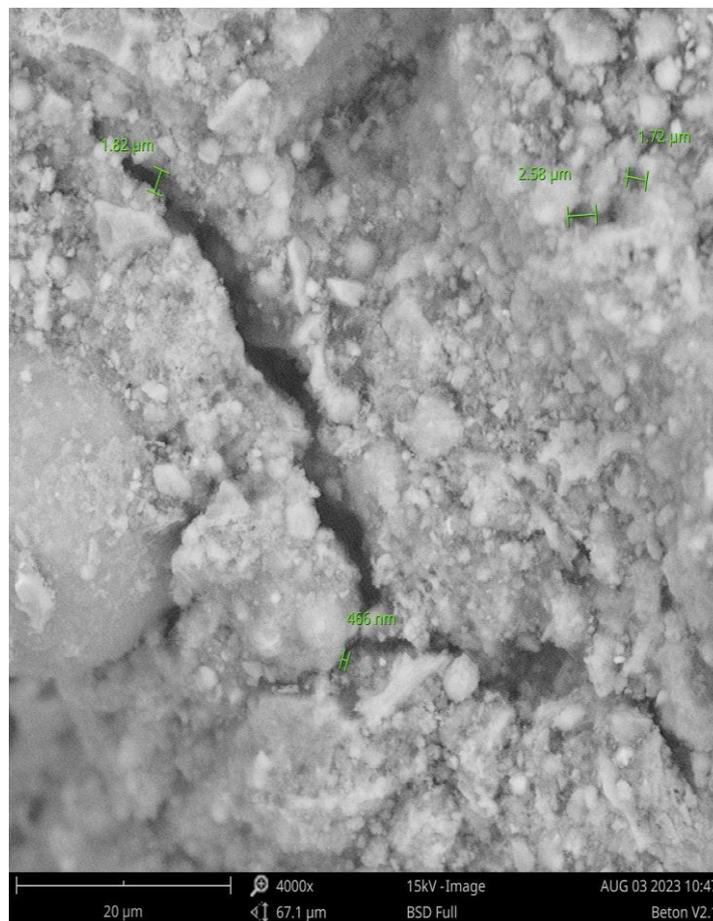
menunjukkan perubahan yang signifikan karena pada campurannya menghasilkan partikel ettringite dan incomplete reaction yang semakin banyak, sehingga menghasilkan matriks geopolimer yang kurang padat atau gembur (C-H) dan ikatan geopolimerisasi yang terjadi semakin lemah (Sutama *et al.*, 2019). Disamping itu, pada gambar variasi B3 mengalami peningkatan yang cukup besar karena penambahan konsentrasi NaOH membentuk matriks geopolimer yang semakin padat (C-S-H) dari hasil *complete reaction* antara *fly ash* dan larutan alkali activator, sehingga *microcracks* yang dihasilkan lebih kecil (Ibrahim *et al.*, 2017). Peran konsentrasi NaOH sangat penting untuk meningkatkan reaksi geopolimerisasi pada precursor *fly ash*, sehingga membentuk gel C-S-H yang lebih padat dengan puncak Kristal lebih rendah (Ramalingan *et al.*, 2022). Hasil uji SEM sampel B1 yang dapat dilihat pada Gambar 4. 2 dan hasil uji SEM sampel B2 Gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 3.2 Uji SEM variasi B1

Pada gambar 4.2 hasil dari uji SEM sampel B1 didapatkan nilai hasil perhitungan besaran *microcracks* yang difokuskan pada objek berukuran sebesar 0,49 - 3,24 μm .

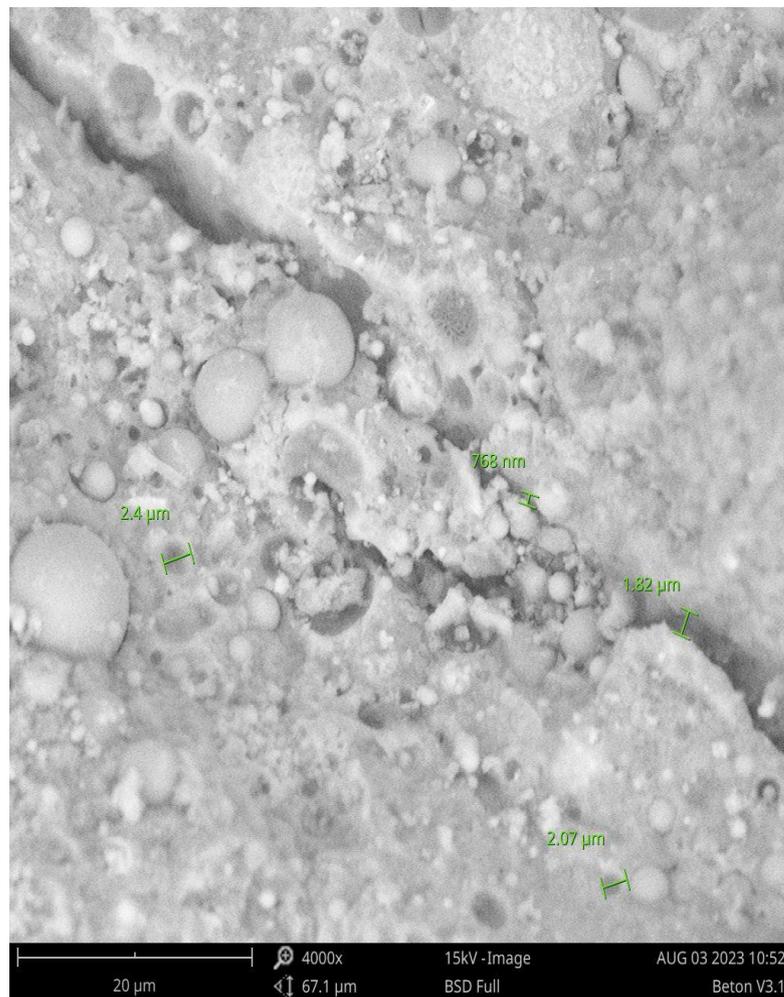
Pada gambar variasi B2 memperlihatkan hasil uji SEM adanya udara mengisi pori-pori rongga di dalam campurannya. Adanya microcrack juga terjadi pada hasil SEM tersebut. Banyaknya rongga udara di dalam pori-pori foam concrete tersebut membuat pengaruh terhadap kuat tekan beton tersebut dan membuat beton tersebut tetap ringan. Hasil dari uji SEM sampel B2 dapat dilihat pada Gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Uji SEM variasi B2

Pada gambar 4.3 hasil dari uji SEM sampel B2 didapatkan nilai hasil perhitungan besaran *microcracks* yang difokuskan pada objek berukuran sebesar 0,46 - 1,82 μm .

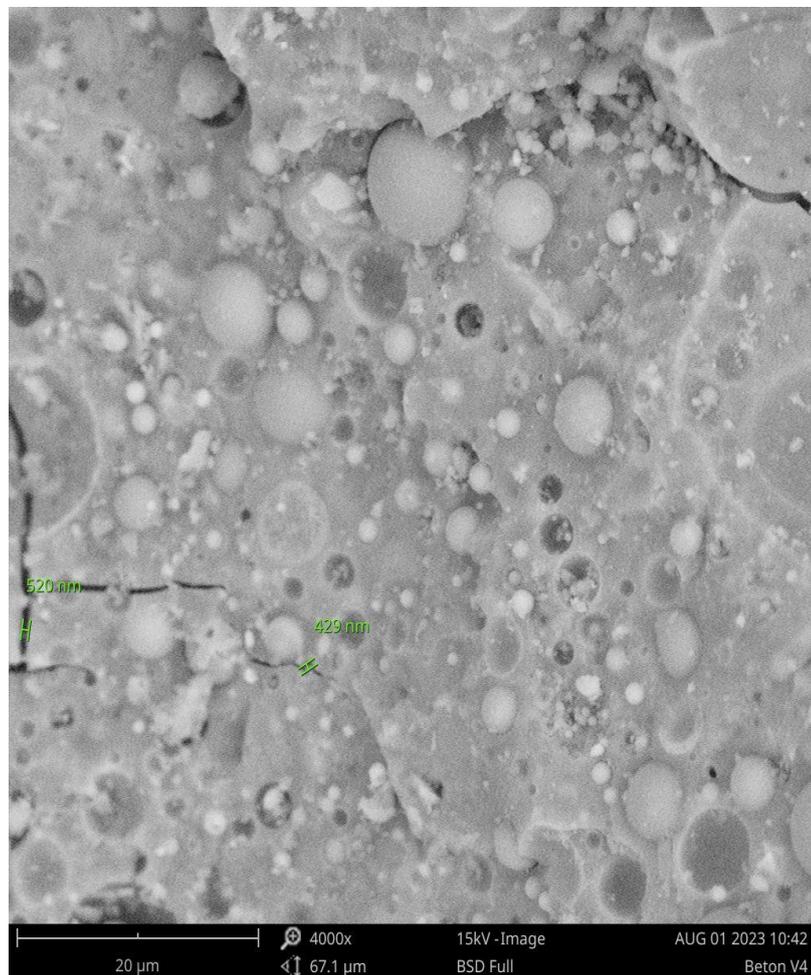
Pada gambar variasi B3 menunjukkan bahwa pada campuran SEM. Terdapat adanya pori-pori atau rongga pada campuran tersebut. Jumlah pori atau rongga pada campuran ini lebih sedikit dibandingkan dengan beton yang lebih sedikit alkali aktivatornya. Dengan begitu, karena adanya pori dan rongga tersebut dapat mempengaruhi kuat tekan pada beton geopolimer. Hasil uji SEM sampel B3 dapat dilihat pada Gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 Uji SEM variasi B3

Pada gambar 4.4 hasil dari uji SEM sampel B3 didapatkan nilai hasil perhitungan besaran *microcracks* yang difokuskan pada objek berukuran sebesar 0,76 - 1,82 μm.

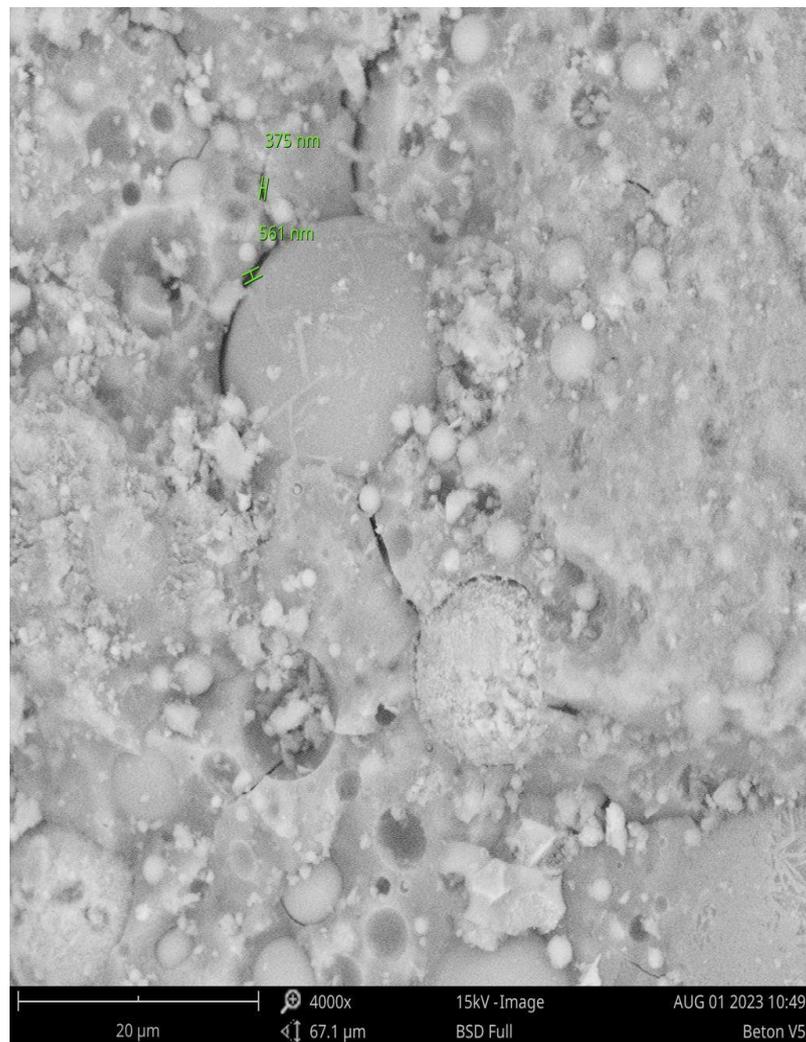
Pada gambar variasi B4 menunjukkan bahwa campuran persentase *fly ash* dengan alkali activator juga menghasilkan *microcracks* tetapi memiliki nilai terkecil dibandingkan variasi lainnya, yang dapat dilihat pada Tabel 4.3. . Sehingga kerapatan dan kuat tekan beton yang dihasilkan semakin tinggi. Selain itu, dengan peningkatan konsentrasi NaOH membentuk matriks geopolimer yang semakin padat (Demir, 2018). Dari penjabaran diatas dapat dilihat gambaran *microcracks* pada variasi B4 di Gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4.5 Uji SEM variasi B4

Pada gambar 4.5 hasil dari uji SEM sampel B4 didapatkan nilai hasil perhitungan besaran *microcracks* yang difokuskan pada objek berukuran sebesar 0,42 - 0,52 μm.

Pada gambar variasi B5 dapat dilihat bahwa pemberian rasio larutan Na_2SiO_3 yang setara dengan NaOH memperlambat proses geopolimerisasi. Sebagaimana menurut (Wari Dony, 2019) penambahan Na_2SiO_3 yang sebanding dengan NaOH menyebabkan percepatan proses geopolimerisasi tidak maksimum, sementara penambahan yang berlebih menyebabkan terhambatnya reaksi aktivator terhadap partikel precursor. Hasil uji SEM variasi B5 dapat dilihat pada Gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.6 Uji SEM variasi B5

Pada gambar 4.6 hasil dari uji SEM sampel B5 didapatkan nilai hasil perhitungan besaran *microcracks* yang difokuskan pada objek berukuran sebesar 0,37 - 0,56 μm.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah komposisi campuran maksimum terdapat pada sampel B4 dengan nilai kuat tekan beton sebesar 33,75 MPa. Semakin besar persentase larutan NaOH yang digunakan, maka kuat tekan semakin besar. Hasil pengujian mikrostruktur menunjukkan bahwa campuran dengan persentase *fly ash* dengan alkali aktivator 40% menghasilkan *microcracks* yang semakin kecil, sehingga terbentuk matriks geopolimer yang semakin padat (C-S-H).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian beton geopolimer maka dapat diberikan saran untuk penelitian berikutnya berupa:

1. Harus memperhatikan saat proses pengecoran karena di variasi tertentu pengerasan beton akan terjadi sangat cepat sebelum dimasukkan ke dalam cetakan,
2. Pada penelitian berikutnya dapat menggunakan nilai konsentrasi larutan NaOH yang lebih besar karena akan semakin mempercepat proses polimerisasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. M. (2021). Development of Ash-Based and Slag-Based Pressed Geopolymer. *Research Gate*.
- Abed, F. d. (2022). Effect of high temperatures on the properties of lightweight geopolymer concrete based *fly ash* and glass powder mixtures. *Science Direct*.
- Bangunan, D. P. (1982). *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia* . Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Cheng, T. a. (2003). Fire-Resistant Geopolymer Produced by Granulated Blast Furnace Slag. *Minerals Engineering*, 205-210.
- Cheremisinoff, N. P. (2016). *Perfluorinated Chemicals (PFCS): Contaminants of Concern*. United State: Scrivener Publishing LLC.
- Davidovits, J. (2005). Geopolymer Green Chemistry and Sustainable Development Solutions. *Geopolymer chemistry and sustainable development* (pp. Session 1, pp. 9-17). Saint-Quentin, France: Geopolymer Institute.
- Davidovits, J. (2020). Geopolymer Chemistry and Applications. In J. Davidovits, *Geopolymer Chemistry and Applications 5th edition*. France: Institut Géopolymère.
- Demir, I. e. (2018). Examination of Microstructure of *Fly ash* in Cement Mortar. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, 49-51.
- Dipohusodo, I. (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia.
- Emarah, D. A. (2022). Compressive strength analysis of *fly ash*-based geopolymer concrete using machine learning approaches. *Science Direct*.
- Hanjitsuwan, S. d. (2014). Effects of NaOH concentrations on physical and electrical properties of high calcium *fly ash* geopolymer paste. *Science Direct*.
- Jumaa, N. H. (2022). Strength and microstructural properties of binary and ternary blends in *fly ash*-based geopolymer concrete. *Science Direct*.
- Karya, D. J. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Jakarta: Di Rektorat Penyelidi Kan Masalah Bangunan.
- Kefiyalew Zerfu, J. J. (2022). The effect of reinforcement ratio on the flexural performance of alkali-activated *fly ash*-based geopolymer concrete beam. *Heliyon*.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK), K. E. (2021). *Fly ash* dan Bottom Ash (FABA) Hasil Pembakaran Batubara Wajib Dikelola. *Media Briefing secara telekonferensi* (p. 1). Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Lloyd, N. A. (2010). Geopolymer Concrete with *Fly ash*. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies* (pp. 1493–1504). Ancona, Italy: UWM Center for By-Products Utilization.
- Nasional, B. S. (1989). *SNI 03-0349-1989 : Bata beton untuk pasangan dinding*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- Nasional, B. S. (1990). *SNI 03-1968-1990 : Metode pengujian analisis saringan Agregat halus dan kasar*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Nasional, B. S. (1990). *SNI 03-1974-1990 : Metode pengujian kuat tekan beton* . Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Nasional, B. S. (1993). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton. SNI 03-2834-1992*. Jakarta: Departemen Pengerjaan Umum.
- Nasional, B. S. (1996). *SNI 03-4142-1996 : Metode pengujian jumlah bahan dalam agregate yang lolos saringan nomor 200 (0,0075 mm)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Nasional, B. S. (2002). *SNI 03-6414-2002 : Spesifikasi Timbangan yang Digunakan pada Pengujian Bahan* . Jakarta: Library Pusperkim.
- Pamungkas, I. N. (2020, Januari 1). Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang. *Jurnal Spektran, Vol. 8, No. 1, Januari 2020, Hal. 105 - 114*, Hal. 105 - 114.
- Phair, J. A. (2002). Characterization Of Fly-Ash-Based Geopolymeric Binders Activated With Sodium Aluminate. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 4242-4251.
- Rangan, B. V. (2005). *Manufacture Of Geopolymer Concrete*. Curtains University.
- Syaputra, D. A. (2018). Studi Experimental Pengaruh Perbedaan Molaritas Aktivator Pada Perilaku Beton Geopolimer Berbahan Dasar *Fly ash*. *Jurnal Karya Teknik Sipil Vol. 7, 1*, Pp. 89-98.
- Wari Dony, A. M. (2019). Studi Mikrostruktur Mortar Geopolimer Abu Sawit dengan Variasi Rasio Na₂SiO₃ terhadap NaOH. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*.
- Wu, X. d. (2022). *Performance of geopolymer concrete activated by sodium silicate and silica fume activator*. China: Science Direct.
- Zhang, Z. L. (2004). Development of Sustainable Cementitious Materials. *Civil Engineering*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Tabel Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

No.	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal I (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1.	40	0	0	0	100
2.	20	0	0	0	100
3.	10	0	0	0	100
4.	4,8	15	0,8	0,8	99,25
5.	2,4	99	5,0	5,8	94,30
6.	1,2	317	15,9	21,7	78,45
7.	0,6	521	26,1	47,8	52,39
8.	0,3	566	28,3	76,1	24,08
9.	0,15	424	21,2	97,3	2,87
10.	Pan	57	2,85	100,0	0,0
Jumlah		1999		248,66	-148,66

Sumber: Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII, 2022

Lampiran 2 Tabel Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

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

No	Uraian	Hasil Pengamatan	
		Sampel 1	Sampel 2
1	Berat Pasir kering mutlak (W2), gram	450	450
2	Berat Pasir setelah dicuci dan di oven lagi, (W3) gram	434	431
3	Berat Lumpur (W4)	16	19
4	Kadar Lumpur %	3,56	4,22
5	Kadar Lumpur rata - rata %	3,89	

Lampiran 3 Tabel Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Tabel Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Analisis Saringan					
No. Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Berat Lolos (gr)	% Tertahan	Persentase lolos (%)
40	4,75	0	150	0.000	100,00
20	2	0	150	0.000	100,00
10	0,85	2.45	147.55	1.633	98,37
4.8	0,425	5.69	141.86	3.793	94,57
2.4	0,25	6.55	135.31	4.367	90,21
1.2	0,106	14.47	120.84	9.647	80,56
0.6	0,075	4.08	116.76	2,720	77,84
Pan		116.76	0	77,840	0,00
TOTAL		150	0	100.000	
Berat tanah mula-mula				150	gr

Persentase lolos saringan 200	778,40	%
-------------------------------	--------	---

Lampiran 4 Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Tabel Hasil Uji Kuat Tekan Beton

No	Variasi	Umur Beton	Benda Uji		Kuat Desak Aktual (MPa)
			Diameter (mm)	Tinggi (mm)	
1	1		104	200	5,300
2			100	200	4,586
3			103	202	4,803
4			103	202,5	6,484
5			104	205	5,889
6	2		101,9	200,7	8,097
7			103,7	203,6	7,700
8			103,5	204,4	6,778
9			102,7	203	8,575
10			103,3	203	7,402
11	3		103,8	200	13,124
12			103,4	203,3	17,038
13			103,3	203,3	15,281
14			103,8	204,6	16,671
15			103,8	201,1	14,543

16	4		103,6	206,9	33,233
17			103	201,6	31,580
18			103,7	202	35,183
19			100	200	35,032
20			103	200	33,741
21	5		103	203,7	22,454
22			104	202	21,907
23			103,5	201	21,049
24			104	202,2	17,431
25			103,9	202	16,639

Lampiran 5 Hasil Konversi Kuat Tekan Dari Umur 14 Hari Ke 28 Hari

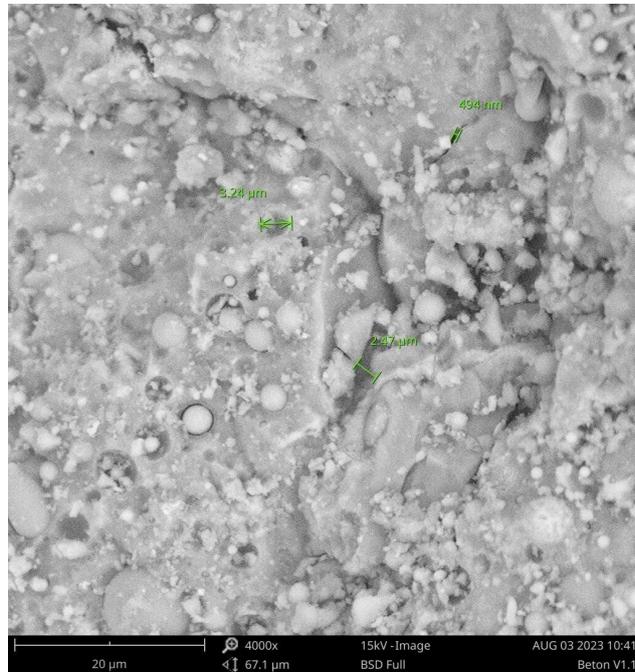
Tabel 5.5 Hasil Konversi Uji Kuat Tekan

Kode Sampel	σ 14 Hari Rata-rata (Mpa)	σ 28 Hari Rata-rata (Mpa)
B1	5,41	6,15
B2	7,71	8,76
B3	15,33	17,42
B4	33,75	38,35
B5	19,89	22,60

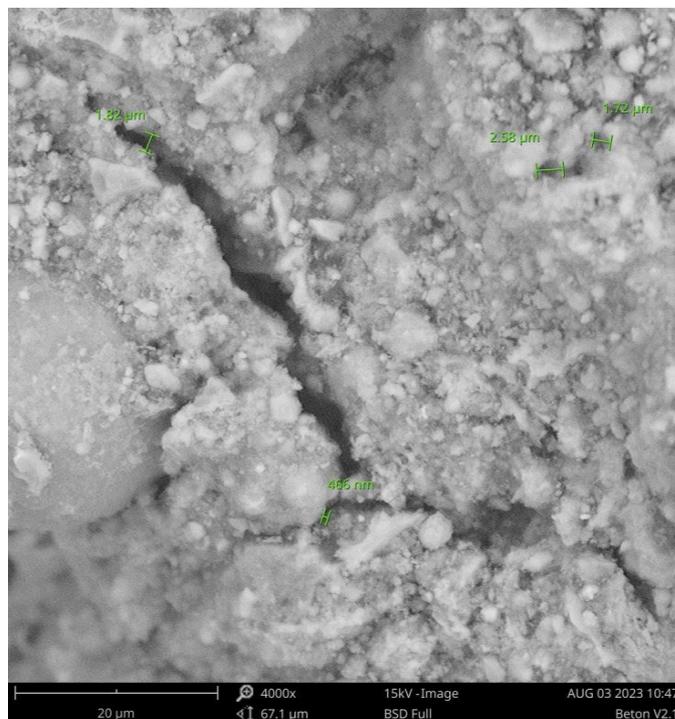
Lampiran 6 Pengujian Microcrack Pada Uji SEM

Pengujian Microcrack Pada Uji Scanning Electron Microscope

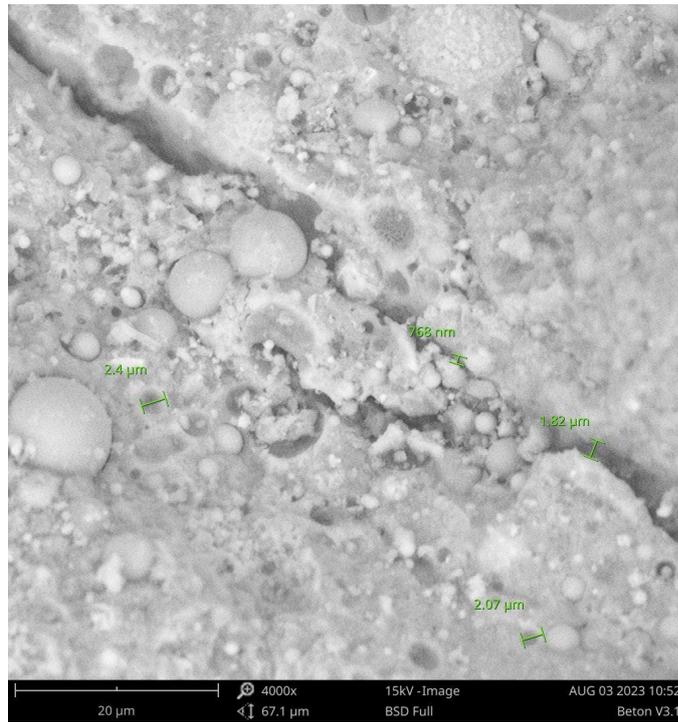
1. Gambar Pengujian SEM Mikrostruktur Beton Geopolimer



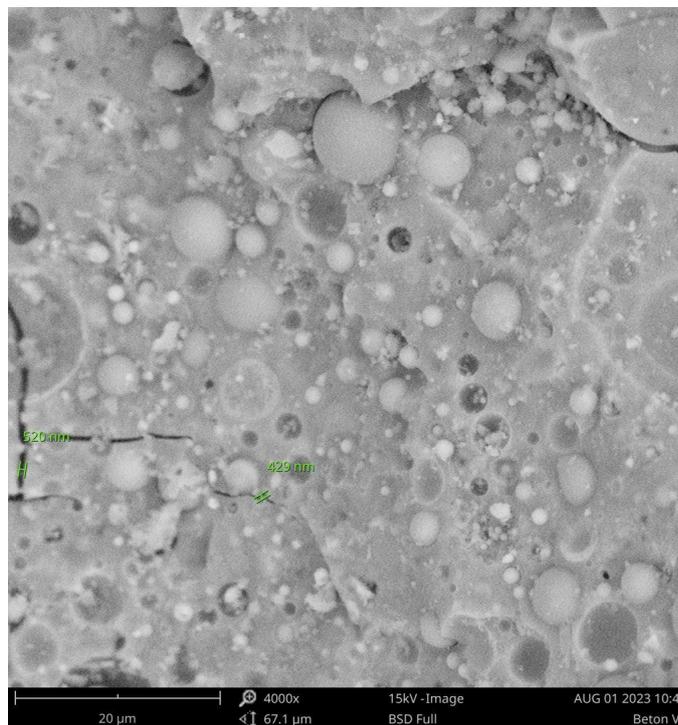
Gambar 3 Uji SEM Variasi B1



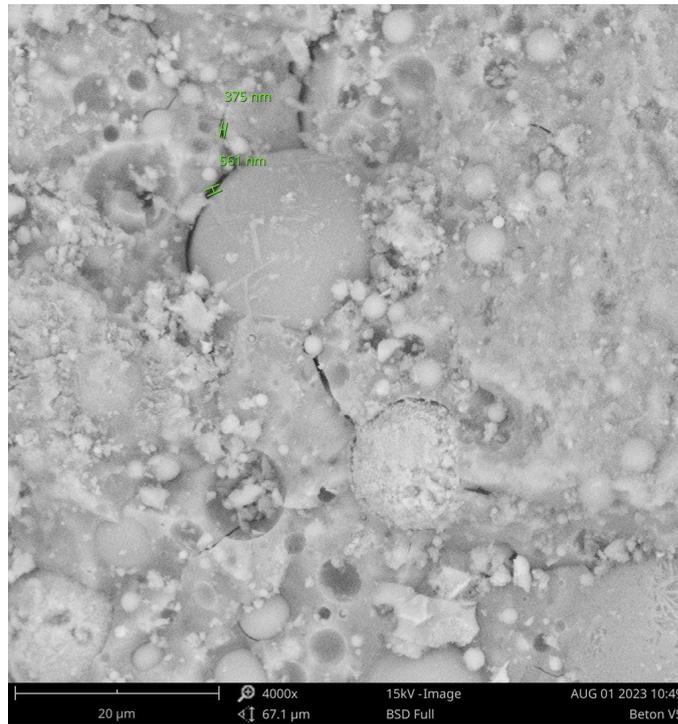
Gambar 4 Uji SEM Variasi B2



Gambar 5 Uji SEM Variasi B3



Gambar 6 Uji SEM Variasi B4



Gambar 7 Uji SEM Variasi B5

2. Rekapitulasi ukuran lebar *microcrack* beton geopolimer

Tabel Ukuran Lebar *Microcrack* Beton Geopolimer

Kode Sampel	Microcrack (μm)
B1	0,49 - 3,24
B2	0,46 - 1,82
B3	0,76 - 1,82
B4	0,42 - 0,52
B5	0,37 - 0,56

Lampiran 7 Dokumentasi Proses Pembuatan Beton Geopolimer



Proses Pelarutan NaOH



Proses Pencampuran NaOH Dengan Na₂SiO₃
(Alkali Aktivator)



Proses Pencampuran
Alkali Aktivator Dengan
Fly Ash (Binder)



Proses Pengecoran Antara
Binder dan Agregat



Proses Mencetak Sampel
Beton Geopolimer



Proses Perendaman Beton Geopolimer



Proses Pengukuran Panjang, Lebar, dan Berat



Proses Capping Permukaan Beton Sebelum Uji Kuat Tekan





Proses Uji Kuat Tekan Beserta Hasil Akhir Setelah Diuji



Proses Menghaluskan Pecahan Hasil Uji Kuat Tekan Untuk Pengujian Uji SEM

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Gebe, Kabupaten Halmahera Tengah, Provinsi Maluku Utara, tanggal 22 November 2000. Penulis merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Bapa dari Penulis bernama Parjono dan Ibu Penulis bernama Winarni. Penulis menempuh pendidikan sekolah menengah pertama di SMPIP Daarul Jannah, Cibinong, Kabupaten Bogor. Kemudian lanjut ke SMA IT Abu Bakar, Kota Yogyakarta. Dan saat ini penulis melanjutkan studi di Universitas Islam Indonesia dengan program studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan sejak tahun 2019. Penulis melaksanakan Kerja Praktek di Balai Laboratorium Kesehatan dan Kalibrasi Yogyakarta selama 1 bulan. Selain itu, penulis pernah lolos seleksi Topik dalam Lomba Karya Tulis Ilmiah (LKTI) tingkat nasional di Universitas Islam Indonesia dan Universitas Jember.