



**KARAKTERISTIK MEKANIK BETON YANG
MENGUNAKAN ABU VULKANIK SEMERU SEBAGAI
SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN**

SKRIPSI

Oleh:
Gugus Ihsan Gama Hartono
NIM 191910301066

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2023**



**KARAKTERISTIK MEKANIK BETON YANG
MENGUNAKAN ABU VULKANIK SEMERU SEBAGAI
SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi Strata 1 Teknik Sipil dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:
Gugus Ihsan Gama Hartono
NIM 191910301066

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2023**

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Tuhan YME yang telah menciptakan alam semesta beserta isinya. Terimakasih dan ucap syukur alhamdulillah dengan segala rahmat-Nya skripsi ini dapat terselesaikan dengan tepat waktu dan diharapkan bermanfaat bagi penelitian di dunia Teknik sipil. Penulis mempersembahkan skripsinya kepada :

1. Kedua orang tua, ibu tercinta Luluk Wasilatul Chasanah dan ayah tersayang Bambang Hartono yang telah memberikan dukungan penuh dan doa terbaik kepada penulis.
2. Guru dan dosen penulis sejak teman kanak-kanak hingga ke jenjang perkuliahan yang telah memberi ilmu kepada penulis.
3. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Selalu tersenyum, Bahagia, dan Bersyukur.”

-Gugus Ihsan Gama Hartono-

“Membuat orang lain Bahagia.”

-Gugus Ihsan Gama Hartono



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Gugus Ihsan Gama Hartono

NIM : 191910301066

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Karakteristik Mekanik Beton yang menggunakan Abu Vulkanik Semeru sebagai Substitusi Parsial Semen" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 10 Januari 2023

Yang menyatakan



Gugus Ihsan Gama Hartono
NIM 191910301066

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK MEKANIK BETON YANG
MENGUNAKAN ABU VULKANIK SEMERU SEBAGAI
SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN**

Oleh:
Gugus Ihsan Gama Hartono
NIM 191910301066

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T
Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Dwi Nurtanto, S.T., M.T

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "Karakteristik Mekanik Beton Yang Menggunakan Abu Vulkanik Semeru Sebagai Substitusi Parsial Semen" karya Gugus Ihsan Gama Hartono telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Selasa, 10 Januari 2023

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing :

Pembimbing Utama



Ketut A. Wiswamitra, S.T., M.T.
NIP 197007132000121001

Pembimbing Anggota



Ir. Dwi Nurtanto, S.T., M.T.
NIP 197310151998021001

Tim Penguji :

Penguji Utama



Dr. Ir. Krisnamurti, M.T.
NIP 196612281999031002

Penguji Anggota



Nanin Meyfa Utami, S.T., M.T.
NRP 760014641

Mengesahkan,

Dekan



Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 197008261998021001

RINGKASAN

Karakteristik Mekanik Beton Yang Menggunakan Abu Vulkanik Semeru Sebagai Substitusi Parsial Semen; Gugus Ihsan Gama Hartono, 191910301066; 2022: 67 halaman; Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Erupsi Gunung Semeru pada awal tahun 2022 mengakibatkan abu vulkanik mengubur wilayah di kaki Semeru. Abu vulkanik memiliki dampak berbahaya bagi makhluk hidup. Abu vulkanik Semeru juga terkandung sifat *pozzolanic* yang mampu bereaksi dengan semen dan air. Oleh karena itu, diperlukan inovasi untuk mengurangi abu vulkanik dengan menggunakannya sebagai substitusi parsial semen pada beton. Penelitian ini menggunakan persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40% sebagai perbandingan variasi substitusi parsial abu vulkanik terhadap berat semen.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium yang menggunakan ukuran benda uji silinder 15 kali 30 cm. Pada penelitian ini diperoleh tiga hasil yaitu kuat tekan, Tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Pengujian kuat tekan beton diperoleh titik optimum pada variasi 10% dari abu vulkanik terhadap berat semen. Nilai kuat tekan variasi 10% sebesar 24,24 Mpa sedangkan untuk nilai dari beton normal sebesar 19,58 Mpa. Pengujian kuat Tarik belah beton diperoleh hasil yang berbeda masing-masing sebesar 15,85 Mpa; 14,92 Mpa; 13,90 Mpa; 10,73 Mpa; 14,43 Mpa; 15,48 Mpa; 7,93 Mpa; 12,57 Mpa; dan 6,60 Mpa. Pengujian modulus elastisitas diperoleh titik optimum pada variasi 10% juga dimana sebesar 58719,68 Mpa. Semakin besar nilai kuat tekan beton maka semakin besar pula nilai modulus elastisitas pada beton. Jadi, abu vulkanik Semeru sebagai substitusi parsial semen dapat meningkatkan kualitas beton pada variasi 10% terhadap berat semen. Besar nilai kuat tarik belah pada beton tidak mempengaruhi nilai kuat tekan pada beton. Sedangkan nilai modulus elastisitas berbanding lurus dengan kuat tekan beton.

SUMMARY

Mechanical Characteristics of Concrete Using Semeru Volcanic Ash as a Partial Substitute for Cement; Gugus Ihsan Gama Hartono, 191910301066; 2022: 67 pages; Departement Of Civil Engineering, Engineering Faculty, Universitas Jember.

The eruption of Mount Semeru in early 2022 resulted in volcanic ash burying the area at the foot of Semeru. Volcanic ash has a harmful impact on living things. Semeru volcanic ash also contains pozzolanic properties which are able to react with cement and water. Therefore, innovation is needed to reduce volcanic ash by using it as a partial substitute for cement in concrete. This study used the percentage of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, and 40% as a comparison of the variation of partial substitution of volcanic ash to the weight of cement.

This study used a laboratory experimental method using a cylindrical specimen size of 15 x 30 cm. In this study, three results were obtained, namely compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity of concrete. Testing the compressive strength of concrete obtained the optimum point at a variation of 10% from volcanic ash to the weight of cement. The compressive strength value of 10% variation is 24.24 Mpa while for the value of normal concrete it is 19.58 Mpa. Testing the split tensile strength of concrete obtained different results each of 15.85 MPa; 14.92 MPa; 13.90 MPa; 10.73 MPa; 14.43 MPa; 15.48 MPa; 7.93 MPa; 12.57 MPa; and 6.60 MPa. The modulus of elasticity test obtained the optimum point at 10% variation which is also 58719.68 MPa. The greater the value of the compressive strength of the concrete, the greater the value of the modulus of elasticity in the concrete. So, Semeru volcanic ash as a partial substitute for cement can improve the quality of concrete at a variation of 10% by weight of cement. The value of the splitting tensile strength in concrete does not affect the value of the compressive strength in concrete. While the value of the modulus of elasticity is directly proportional to the compressive strength of the concrete.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan YME atas berkat dan rahmat-Nya yang senantiasa dilimpahkan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Karakteristik Mekanik Beton yang menggunakan Abu Vulkanik Semeru sebagai Substitusi Parsial Semen” sebagai salah satu syarat menyelesaikan program studi strata 1 di Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember. Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Dr. Ir. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Strata 1 Teknik Sipil Universitas Jember.
2. Bapak Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Dwi Nurtanto, S.T., M.T. yang telah membimbing dengan sabar serta memberikan ilmu dan dukungan atas penelitian ini.
3. Ibu Retno Utami Agung Wiyono, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing akademik yang telah mengarahkan dan membimbing penulis dengan penuh perhatian selama penulis kuliah di Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember.
4. Kakak saya, Bagus Cahyawan Hartono yang telah senantiasa memberi semangat serta membantu dikala penulis membutuhkan.
5. Teman-teman tersayang saya Adam Abdillah dan Firly Syafa Azzura Hadi yang senantiasa memberikan dukungan dan motivasi dalam mengerjakan skripsi.
6. Teman tersayang saya dari angkatan 2021 Ibnu Hamdani yang telah membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
7. Teman-teman Supali (Lili, Uus, Aul, Nisa, Sigit, Ria) yang memberikan dukungan dan membantu dalam mengerjakan penelitian ini.
8. Teman-teman bidang struktur yang membantu menyelesaikan penelitian ini.
9. Teman-teman Gadjasora 2019, terimakasih atas persahabatan, bantuan, motivasi, dan persaudaraan yang tidak akan pernah kulupakan.

Penulis menyadari bahwasanya dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis berharap adanya saran dan kritik yang membangun pada penulisan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa dan lembaga terkait.

Jember, 10 Januari 2023.

Penulis,



Gugus Ihsan Gama Hartono



DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN DEPAN	I
HALAMAN DALAM	II
PERSEMBAHAN	III
MOTTO	IV
PERNYATAAN	V
SKRIPSI	VI
PENGESAHAN	VII
RINGKASAN	VIII
SUMMARY	IX
PRAKATA	X
DAFTAR ISI	XII
DAFTAR TABEL	XIV
DAFTAR GAMBAR	XV
DAFTAR LAMPIRAN	XVI
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Beton	6
2.3 Bahan Penyusun Beton	9
2.3.1 Agregat	9
2.3.2 Semen	9
2.3.3 Air	11
2.3.4 Abu Vulkanik	11
2.4 Sifat Kimia Abu Vulkanik	12
2.5 Pengujian Material Beton	13
2.5.1 Pengujian Berat Volume.....	13
2.5.2 Pengujian Berat Jenis	13
2.5.3 Pengujian Air Resapan	14
2.5.4 Pengujian Kelembaban Agregat	14
2.5.5 Pengujian Analisa Saringan Agregat.....	15
2.6 Analisis Data	15
2.6.1 ANOVA.....	15
2.6.2 Analisis Regresi (<i>Model Summary</i>).....	17
2.7 Uji SEM (Scanning Electron Microscope)	17
2.8 Uji XRD (X-Ray Diffraction)	17
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Jenis Penelitian	19
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.3 Alat dan Bahan	19

3.3.1 Bahan Penelitian	19
3.3.2 Alat Penelitian	19
3.3.3 Benda Uji	20
3.4 Rancangan Penelitian.....	21
3.4.1 Persiapan dan <i>Study</i> Literatur	21
3.4.2 Pembuatan Benda Uji	21
3.5 Variabel Penelitian	30
3.5.1 Variabel Bebas	30
3.5.2 Variabel Terikat	30
3.6 Prosedur Penelitian	30
3.6.1 Penyiapan Alat dan Bahan	30
3.6.2 Pembuatan Beton Normal dan Beton Campuran Abu Vulkanik	31
3.7 Analisis Data	31
BAB 4. HASIL PENELITIAN	33
4.1 Hasil Pengujian XRD pada Abu Vulkanik Semeru	33
4.2 Hasil Pengujian SEM pada Abu Vulkanik Semeru	34
4.3 Hasil Pengujian Material Beton	37
4.3.1 Pengujian Semen	37
4.3.2 Pengujian Abu Vulkanik	38
4.3.3 Pengujian Agregat Halus	39
4.3.3 Pengujian Agregat Kasar	45
4.4 Mix Design.....	50
4.5 Slump Test.....	53
4.6 Hasil Uji Karakteristik Mekanik Beton	54
4.6.1 Hasil Uji Kuat Tekan Beton	54
4.6.2 Hasil Uji Kuat Belah Tarik Beton	59
4.6.3 Hasil Uji Modulus Elastisitas Beton	63
BAB 5. PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kelebihan Dan Kekurangan Beton	7
Tabel 2.2 Kandungan <i>Pozzolan</i>	11
Tabel 2.3 Pengujian Xrf Abu Vulkanik	13
Tabel 2.4 Nilai F Tabel Anova	16
Tabel 3.1 Nama Alat Pengujian	19
Tabel 3.2 Benda Uji Perhitungan Kuat Tekan Beton.....	20
Tabel 3.3 Benda Uji Perhitungan Kuat Tarik Belah Beton.....	21
Tabel 3.4 Prosedur Pengujian Semen	22
Tabel 3.5 Prosedur Pengujian Abu Vulkanik Semeru	22
Tabel 3.6 Prosedur Analisa Saringan Pasir	23
Tabel 3.7 Prosedur Berat Jenis Pasir.....	24
Tabel 3.8 Prosedur Berat Volume Pasir.....	24
Tabel 3.9 Prosedur Air Resapan Pasir	25
Tabel 3.10 Prosedur Kelembaban Pasir	26
Tabel 3.11 Prosedur Analisa Saringan Kerikil	27
Tabel 3.12 Prosedur Pengujian Berat Jenis Kerikil	27
Tabel 3.13 Prosedur Berat Volume Kerikil	27
Tabel 3.14 Prosedur Air Resapan Kerikil	28
Tabel 3.15 Prosedur Kelembaban Kerikil.....	29
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Pengujian Semen.....	37
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Pengujian Abu Vulkanik	38
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Pengujian Analisa Saringan Pasir	40
Tabel 4.4 Batas Gradasi Pasir	41
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Pengujian Berat Jenis Pasir	42
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Pengujian Berat Volume Pasir	42
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Pengujian Air Resapan Pasir	44
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Pengujian Kelembaban Pasir.....	44
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Pengujian Analisa Saringan Kerikil	45
Tabel 4.10 Batas Gradasi Kerikil.....	46
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Pengujian Berat Jenis Kerikil.....	47
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Pengujian Berat Volume Kerikil.....	48
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Pengujian Air Resapan Kerikil	49
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Pengujian Kelembaban Kerikil	50
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Mix Design.....	51
Tabel 4.16 Kebutuhan Material Dalam Mix Design.....	51
Tabel 4.17 Hasil Slump Test.....	53
Tabel 4.18 Hasil Uji Kuat Tekan Beton.....	54
Tabel 4.19 Analisis Linear <i>Model Summary</i>	57
Tabel 4.20 Analisis Data Anova	57
Tabel 4.21 <i>Range Interval R Square</i> Dengan Tingkat Hubungan.....	58
Tabel 4.22 Hasil Uji Kuat Belah Tarik Beton.....	59
Tabel 4.23 Analisis Linear <i>Model Summary</i>	61
Tabel 4.24 Analisis Data Anova	62
Tabel 4.25 Hasil Uji Modulus Elastisitas Beton.....	63

Tabel 4.26 Analisis Linear <i>Model Summary</i>	65
Tabel 4.27 Analisis Data Anova	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tampilan Pertama Aplikasi Imagej.....	17
Gambar 2.2 Grafik Xrd Dalam Match	18
Gambar 3.3 Flowchart	32
Gambar 4.4 Hasil Uji Xrd Abu Vulkanik Semeru	33
Gambar 4.5 Alat Pengujian Xrd.....	34
Gambar 4.3 Hasil Scanning Electron Microscope (Sem) Abu Vulkanik Semeru Dengan 4 Perbesaran.....	35
Gambar 6.4 Hasil Analisis Imagej Data Sem Abu Vulkanik Semeru	36
Gambar 4.5 Alat Uji Sem.....	37
Gambar 4.6 Grafik Pasir Zona 2	41
Gambar 4.7 Grafik Kerikil Ukuran 20 Mm	47
Gambar 4.8 Grafik Slump Test (Cm).....	54
Gambar 4.9 Hasil Kuat Tekan Rerata Beton (Mpa)	56
Gambar 4.10 Hasil Kuat Belah Tarik Rerata Beton (Mpa)	61
Gambar 4.11 Hasil Modulus Elastisitas Rerata Beton (Mpa).....	65

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Perhitungan Mix Design
- Lampiran 2. Perhitungan Pembahasan
- Lampiran 3. Kegiatan Penelitian di Laboratorium



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagian besar material dari pembangunan konstruksi adalah beton. Pembangunan konstruksi mulai dari perumahan atau hunian, rumah sakit, perkantoran, dan bangunan bertingkat lainnya umumnya menggunakan beton normal. Pada pembuatan beton normal tidak dilakukan penambahan bahan tambahan lainnya. Beton normal merupakan suatu campuran yang tersusun dari pasir, kerikil, air, dan semen. Seluruh bahan penyusun beton normal tersebut akan mengeras karena reaksi kimia yang terjadi pada semen dan air. Beton memiliki sifat komposit. Oleh karena itu, material penyusun berkualitas bagus akan menghasilkan beton yang memiliki kualitas tinggi.

Beton yang berkualitas baik merupakan beton dengan setiap material yang tercampur menyatu dengan sempurna dalam cetakan. Berbagai inovasi diciptakan untuk digunakan sebagai tambahan material penyusun beton. Tambahan material penyusun beton memiliki sifat *pozzolan*. Sifat *pozzolan* merupakan sifat yang reaktif dengan semen. *Pozzolan* memiliki kandungan *silika* dan *alumina*. Kandungan *silika* dan *alumina* pada *pozzolan* akan menambah kekuatan perkerasan pada ikatan beton.

Sifat *pozzolan* terdiri dari *pozzolan* alami dan *pozzolan* buatan. *Pozzolan* alami dimiliki pada material yang berasal dari letusan atau material yang keluar dari gunung berapi seperti abu vulkanik.

Abu vulkanik yang dikeluarkan merupakan salah satu material yang sangat berbahaya bagi kesehatan karena terdapat kandungan silika (SiO_2) didalamnya. Ukuran dari abu vulkanik sendiri memiliki ukuran partikel yang sangat kecil. Partikel ini bisa memasuki ruang mata manusia sehingga bisa terjadi iritasi. Selain itu, abu vulkanik juga dapat menyebabkan penyakit pernafasan pada manusia. Maka, dibutuhkan perkembangan teknologi yang dilakukan untuk mengurangi dampak negatif dari adanya abu vulkanik semeru setelah terjadinya erupsi. Salah satunya dengan menambahkan abu vulkanik pada campuran beton sebagai bahan konstruksi bangunan.

Material abu vulkanik yang dikeluarkan dari Gunung Semeru berbentuk butiran halus, ringan, serta mempunyai sifat *pozzolanic* dan terkandung juga *silika* dan *alumina*. *Pozzolanic* merupakan sifat senyawa yang dapat bereaksi pada proses hidrasi beton juga mengikat senyawa pada temperatur normal dengan bantuan senyawa air. Selain itu, kandungan *silika* dan *alumina* pada abu vulkanik juga dapat digunakan sebagai substitusi parsial semen.

Ariyani dan Luser (2013) menyimpulkan bahwa, penambahan substitusi variasi semen terhadap abu vulkanik Merapi terjadi peningkatan dan penurunan kuat tekan ($f'c$) beton. Hal tersebut terjadi karena material abu vulkanik yang sangat kecil dan halus sehingga rongga antara agregat halus dan agregat kasar terisi. Pori-pori pada beton semakin kecil. Terdapat tiga jenis variasi substitusi parsial abu vulkanik terhadap semen yang digunakan, yaitu 5%, 10%, dan 15%. Dari tiga variasi tersebut diperoleh kuat tekan rata-rata berturut-turut sebesar 24,141 MPa, 29,651 MPa, dan 27,431 MPa. Untuk kuat tekan ($f'c$) beton normal tidak dilakukan penambahan abu vulkanik sebesar 28,115 MPa. Dengan kuat tekan rata-rata target ($f'cr$) sebesar 24,5 MPa.

Edy Haryanto (2014) menyimpulkan bahwa, dengan perbedaan terletak pada abu vulkanik Gunung Kelud. Penelitian menunjukkan adanya penurunan pada kuat tekan ($f'c$) beton. Pada penelitian ini menggunakan 5 macam proporsi abu vulkanik terhadap semen 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Pada proporsi penambahan abu vulkanik sebesar 30% diperoleh kuat tekan rerata paling kecil 12,04 MPa. Sedangkan untuk kuat tekan pada beton normal sebesar 35,84 MPa.

Berdasarkan pemaparan di atas dapat disimpulkan bahwa abu vulkanik dari Gunung Kelud dan Gunung Merapi memiliki karakteristik yang berbeda. Hal tersebut dapat dilihat dari penambahan substitusi parsial abu vulkanik terhadap semen. Abu vulkanik dari Gunung Merapi menunjukkan terjadi peningkatan dan penurunan pada kuat tekan ($f'c$) beton. Sedangkan pada penambahan abu vulkanik Gunung Kelud kuat tekan ($f'c$) beton terjadi penurunan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini menggunakan abu vulkanik dari Gunung Semeru dengan prosentase 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; 40% dari berat semen untuk

menentukan karakteristik mekanik beton. Gunung Semeru terletak di Kabupaten Lumajang maka pasir yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik. Perbandingan pasir Lumajang dengan pasir Gunung Merapi terhadap kuat tekan (f'_c) beton menunjukkan bahwa pasir Lumajang mengalami peningkatan (Periwi, Dewi *et al.*, 2011). Perbandingan jumlah abu vulkanik terhadap berat semen tersebut ditentukan karena abu vulkanik efektif sebagai pengganti material dengan batasan sampai 35% pada semen (Tjokrodinuljo, 1996).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik mekanik beton (kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas) dengan menggunakan abu vulkanik semeru sebagai substitusi parsial semen dengan variasi 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35; dan 40% ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui karakteristik mekanik beton yang menggunakan abu vulkanik semeru sebagai substitusi parsial semen.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat teoritis dari penelitian ini:

1. Menambah kajian mengenai penambahan abu vulkanik Semeru terhadap karakteristik mekanik beton.
2. Menambah referensi dalam pengembangan teknologi penambahan abu vulkanik Semeru terhadap karakteristik mekanik beton.

Manfaat praktis dari penelitian ini:

1. Mengurangi limbah fly ash abu vulkanik Semeru.

1.5 Batasan Masalah

1. Pengujian karakteristik mekanik beton dilakukan curing selama 7 hari.
2. Hanya melakukan pengujian SEM dan XRD pada abu vulkanik Semeru.
3. Abu vulkanik berasal dari Gunung Semeru di Kabupaten Lumajang. Abu vulkanik yang digunakan diperoleh dari hasil dari letusan Gunung Semeru pada bulan Juni tahun 2022.

4. Variasi abu vulkanik yang digunakan sebagai substitusi parsial berat semen sebesar 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40%.
5. Uji karakteristik mekanik beton yang meliputi kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton dilakukan pada beton berumur 28 hari.
6. Nilai rata-rata kuat tekan beton setiap variasi perbandingan dilakukan sebanyak 5 (lima) benda uji.
7. Nilai rata-rata kuat tarik belah beton setiap variasi perbandingan dilakukan sebanyak 5 (lima) benda uji.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tinjauan mengenai penelitian yang terdahulu merupakan suatu penelitian yang sudah atau pernah dilakukan oleh seseorang di waktu lalu. Umumnya penelitian terdahulu diperoleh dari tugas akhir kuliah, karya tulis ilmiah, dan jurnal penelitian. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang dijadikan rujukan untuk melakukan penelitian ini.

- a. Girsang (Skripsi, 2017) dari Fakultas Teknik Universitas Medan Area mengenai PENGARUH ABU VULKANIK GUNUNG SINABUNG SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON. Dalam penelitian ini menggunakan variasi abu vulkanik sebesar 20% dan 50% terhadap berat semen. Abu vulkanik yang digunakan merupakan dari letusan Gunung Sinabung. Penelitian ini menggunakan metode penelitian laboratorium dan studi pustaka. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini diperoleh penurunan kuat tekan (f'_c) beton. Kuat tekan (f'_c) dari beton normal diperoleh hasil sebesar $210,9 \text{ kg/cm}^2$, untuk variasi abu vulkanik 20% sebesar $177,1 \text{ kg/cm}^2$, dan kuat tekan (f'_c) variasi 50% diperoleh $113,2 \text{ kg/cm}^2$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada penggunaan abu vulkanik Gunung Sinabung mengalami penurunan apabila disubstitusikan terhadap semen. Prosentase variasi abu vulkanik yang digunakan dalam penelitian ini masih sedikit, maka dari itu diperlukan data variasi abu vulkanik yang kecil.
- b. Yuswanto dan Pramudiyanto (INERSIA, Vol. XI No.1, Mei 2015) dalam jurnalnya yang berjudul PENGARUH PENAMBAHAN ABU VULKANIK GUNUNG KELUD TERHADAP KUAT TEKAN BETON. Pada penelitian ini menggunakan variasi abu vulkanik sebesar 0%; 5%; 10%; 15%; dan 20% dari berat semen. Penelitian ini menggunakan abu vulkanik dari Gunung Kelud. Metode penelitian ini menggunakan penelitian eksperimen untuk mengetahui perbandingan hasil. Hasil dari penelitian ini diperoleh peningkatan nilai kuat tekan (f'_c) beton. Akan tetapi pada penelitian ini diperoleh nilai terbesar pada

variasi abu vulkanik 20%, dimana tidak diperoleh nilai optimum kuat tekan ($f'c$) beton.

- c. Ariyani dan Luser (Majalah Ilmiah UKRIM Edisi 1/th XVIII/2013) dalam penelitian yang berjudul PENGARUH ABU VULKANIK GUNUNG MERAPI TERHADAP KUAT TEKAN BETON. Pada penelitian ini digunakan variasi abu vulkanik pada berat semen sebesar 5%; 10%; dan 15%. Penelitian ini menggunakan abu vulkanik dari Gunung Merapi. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu melakukan penelitian laboratorium. Akan tetapi, pada penelitian diperoleh hasil yang tidak konsisten terhadap kuat tekan ($f'c$) beton. Pada variasi 5% diperoleh kuat tekan ($f'c$) beton sebesar 24,141 MPa. Pada variasi 10% abu vulkanik diperoleh sebesar 29,651 MPa. Serta pada variasi abu vulkanik 15% diperoleh 27,431 MPa. Dengan nilai kuat tekan ($f'c$) beton normal sebesar 28,115 MPa. Pada penelitian ini hanya menggunakan 3 variasi dimana hasil yang diperoleh tidak efisien karena tidak terlihat hasil yang konsisten dan diperlukan perbandingan variasi yang kecil untuk diperoleh hasil yang konsisten.

2.2 Beton

Beton dapat didefinisikan sebagai fungsi dari beberapa bahan penyusun yang terdiri dari bahan semen hidrolis atau portland semen, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah atau biasanya disebut admixture atau additive (Mulyono, 2003). Pembuatan berbagai macam infrastruktur menggunakan beton karena beton memerlukan perawatan yang cukup mudah dan tahan terhadap serangan api. Beton merupakan bahan konstruksi komposit dengan komponen pembentuk utama agregat, semen dan air. Pembuatan material ini menggunakan berbagai komposisi sehingga memiliki sifat yang bervariasi. Kerikil atau batu pecah umumnya digunakan sebagai agregat kasar, sedangkan pasir berfungsi sebagai agregat halus yang akan menempati proporsi volume paling dominan. Ruang kosong antar agregat tersebut akan diisi oleh pasta yang terdiri dari campuran air dengan semen yang dapat berfungsi sebagai bahan perekat sehingga semua bahan penyusun dapat menyatu menjadi massa yang padat. Campuran air dan semen

akan mengeras karena telah melalui proses kimiawi atau disebut sebagai hidrasi sehingga nantinya semua campuran akan membentuk batuan yang keras yaitu beton. Beton memiliki kekuatan tekan yang relatif tinggi, tapi kekuatan tariknya jauh lebih rendah. Menurut Mulyono, (2003) material beton memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai bahan penyusun konstruksi bangunan.

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Kelebihan Beton	Kekurangan Beton
1. Mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.	1. Beton yang sudah dibuat susah untuk diubah.
2. Menahan beban.	2. Pelaksanaan pekerjaan memerlukan ketelitian yang tinggi.
3. Memiliki kuat tekan tinggi dan tidak mudah berkarat.	3. Diperlukan perhitungan yang sesuai dengan standar untuk digunakan dalam memikul beban.
4. Biaya pemeliharaan kecil.	4. Berat, dan mempunyai daya pantul suara yang besar.

Sumber: Hartanto, T (2011)

Beton memiliki karakteristik mekanik beton yang memaparkan mutu dan kualitas dari suatu beton. Karakteristik mekanik beton meliputi kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton.

a. Kuat Tekan Beton

Beton memiliki kemampuan untuk menerima tekanan setiap satuan luas itulah yang disebut dengan kuat tekan ($f'c$) beton (Tri Mulyono, 2003). Air semen dan kepadatan merupakan factor yang dapat mempengaruhi kekuatan beton. Beton mengalami pengerasan yang maksimal ketika sudah mencapai 28 hari. Sehingga pada umur 28 hari beton memiliki kuat tekan yang maksimal. Pada penelitian digunakan jenis semen Pozzoland Portland Cement atau PPC.

Peraturan Beton Bertulang Indonesia pada tahun 1989 menyatakan rumus perhitungan kuat tekan beton.

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

Keterangan :

F'c = Kuat tekan beton (kg/cm^2)

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm^2)

b. Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah beton merupakan salah satu pengujian pada benda uji silinder beton. Pengujian ini diberikan gaya kuat tekan pada beton sampai beton mengalami keretakan. Pada umumnya kuat tarik belah beton lebih kecil dari kuat lentur dan lebih besar dari kuat tarik langsung (SNI 2491:2014). Uji kuat tarik belah ini dilakukan untuk mempertimbangkan rentan gaya geser pada beton serta menentukan bentang tulangan yang akan digunakan dalam struktur bangunan.

Kuat tarik belah beton dihitung menggunakan persamaan.

$$f'c = \frac{P}{A} \text{ (Persamaan 2.2)}$$

Keterangan :

F'c = Kuat tarik belah beton (kg/cm^2)

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm^2)

c. Modulus Elastisitas Beton

Parameter tekanan dengan modifikasi bentuk dalam satuan bentang panjang merupakan pengertian dari modulus elastisitas beton (Soentpiet, Bill *et all.*, 2018). Modulus elastisitas beton selalu berubah, memiliki nilai yang beragam berdasarkan dengan kualitas beton. Kualitas beton dapat ditinjau dari pembebanan beton, umur rendaman beton yaitu mencapai umur maksimal 28 hari, kuat tekan dan kuat tarik belah beton, dan variasi campuran material beton seperti semen dan jenis agregat.

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 mengenai Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, perhitungan modulus elastisitas.

$$E = \frac{\sigma}{e} \text{ (Persamaan 2.3)}$$

Keterangan :

E = Modulus Elastisitas (N/m^2)

σ = Tegangan (N/m^2)

e = Regangan

2.3 Bahan Penyusun Beton

Beton memiliki material penyusun yaitu kerikil sebagai agregat kasar, pasir sebagai agregat halus, serta semen dan air sebagai bahan perekat semua material agar beton dapat mengeras. Pembuatan beton dapat dilakukan penambahan bahan tambahan atau yang disebut dengan beton admixture. Pada penelitian ini digunakan bahan tambahan abu vulkanik dari Gunung Semeru sebagai penambahan sebagian terhadap berat semen.

2.3.1 Agregat

Campuran beton menggunakan agregat jenis kerikil dan pasir. Agregat diperoleh dari pengerukan dalam sungai atau perairan lain. Agregat jenis kerikil termasuk jenis agregat kasar. Sedangkan untuk agregat halus merupakan jenis pasir. Presentase agregat pada campuran volume beton sekitar 70% - 75%. Agregat yang memiliki kualitas bagus untuk penyusun beton yaitu agregat yang memiliki kepadatan yang keras dengan ukuran volume perpadatan tidak mengalami perubahan karena perubahan cuaca atau kondisi disekitarnya.

Beton yang memiliki kualitas baik memerlukan distribusi density size butiran agregat yang baik. Atau yang disebut dengan gradasi agregat. Gradasi agregat ditentukan dengan dilakukan pengujian ayakan agregat. Untuk perolehan agregat kasar yaitu jenis kerikil memiliki ukuran material yang hanya terhenti pada saringan no. 4 dengan ukuran material lebih dari 4,75 mm. Pada agregat halus memiliki ukuran kurang dari 4,75 dengan melewati ayakan no. 4 dan lolos melewati saringan lainnya.

2.3.2 Semen

Bahan penyusun beton yang dapat menyatukan semua agregat dan bahan tambah lainnya merupakan semen. Semen dapat memadatkan beton ketika bertemu senyawa air. Semen berfungsi untuk mengikat semua jenis agregat dan bahan tambah lainnya dimana dalam penelitian ini bahan tambah yang dimaksud yaitu abu vulkanik gunung Semeru, sehingga dapat memenuhi ruang udara diantara material lain. Dalam mengerjakan sesuatu yang menggunakan semen, harus memperhatikan karakteristik jenis semen. Semen memiliki lima jenis antara lain.

- a. Semen portland tipe 1, diperuntukkan pada konstruksi bangunan secara umum. Tidak diperlukan perilaku khusus dalam penggunaannya.
- b. Semen portland tipe 2, diperuntukkan pada konstruksi pembangunan yang menampung atau dilewati secara langsung oleh air (kotor dan tanah). Sehingga ketika menggunakan semen tipe ini, diperlukan semen dengan pertahanan sulfat dan terik hidrasi yang rendah.
- c. Semen portland tipe 3, diperuntukkan pada konstruksi pembangunan yang berada dilingkungan dingin (musim dingin).
- d. Semen portland tipe 4, diperuntukkan pada konstruksi pembangunan yang membutuhkan tebal beton lebih dari 2 meter. Semen ini membutuhkan panas hidrasi rendah.
- e. Semen portland tipe 5, diperuntukkan pada konstruksi bangunan yang berada didalam laut atau terkena dengan air laut dan air bekas buangan limbah industri seperti mercusuar. Kemudian untuk bangunan uap yang terkena gas, seperti PLTU.

Semen memiliki kandungan *pozzolan* yang mampu bereaksi dengan air sehingga membentuk senyawa yang padat. Kandungan *pozzolan* pada semen dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kandungan *Pozzolan*

Kandungan (%)	ASTM C-618, <i>Pozzolan</i>		
	Class F	Class C	Class N
SiO_2	-	-	-
Al_2O_3	-	-	-
Fe_2O_3	-	-	-
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$	70 minimum	50 minimum	70 minimum
O_3	-	-	-
CaO	5 maksimum	5 maksimum	5 maksimum
MgO	-	-	-
TiO_2	-	-	-
K_2O	-	-	-
Na_2O	-	-	-
SO_3	5 maksimum	5 maksimum	4 maksimum
LOI	6 maksimum	6 maksimum	10 maksimum
Moisture Content	3 maksimum	3 maksimum	3 maksimum
Availble Alkali	1.5 maksimum	1.5 maksimum	1.5 maksimum

Sumber: ASTM C-618

2.3.3 Air

Proses pengerasan beton sangat membutuhkan peranan air sebagai mengikat semua elemen beton dengan semen yang akan menjadi pasta semen. Takaran air dalam pencampuran beton juga berpengaruh terhadap kuat tekan ($f'c$) beton. Air yang berlebihan akan menyebabkan air dan semen tidak membentuk pasta semen. Kekentalan beton tidak sempurna yang menyebabkan daya lekat antar material penyusun beton.

2.3.4 Abu Vulkanik

Letusan Gunung Semeru yang terletak di Kabupaten Lumajang mengeluarkan abu vulkanik yang merusak kondisi lingkungan sekitar kaki pegunungan Semeru. Abu vulkanik merupakan material yang terlempar dari perut Gunung Semeru yang terdiri dari pecahan batu-batuan, juga didalamnya

terkandung mineral dan kaca. Abu vulkanik memiliki ukuran diameter kurang dari 2 mm. Abu vulkanik merupakan mikro material yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Ukuran abu vulkanik yang sangat kecil mengakibatkan mudah masuk kedalam bagian tubuh manusia. Apabila abu vulkanik memasuki mata maka akan mengalami iritasi pada mata. Juga ketika material abu vulkanik memasuki saluran pernafasan akan mengakibatkan penyakit saluran pernafasan seperti sesak nafas, dan iritasi pada paru-paru.

Abu vulkanik memiliki sifat pozzolanic. Pozzolanik merupakan senyawa yang dapat mengalami reaksi pada proses hidrasi beton, dimana mengikat senyawa pada temperature normal dengan bantuan air. Selain itu abu vulkanik juga memiliki kandungan silika dan kuarsa. Kandungan tersebut dapat digunakan sebagai penambahan sebagian semen.

2.4 Sifat Kimia Abu Vulkanik

Wasis, A *et all.*, 2017 dalam jurnal tentang STUDI KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIAWI DEBU GUNUNG SEMERU dari program studi Teknik Geofisiks, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Brawijaya. Mengatakan bahwa abu vulkanik Gunung Semeru terkandung unsur karbon (C), Silikon (Si), Aluminium (Al), Kalsium (Ca), dan Magnesium (Mg). Abu vulkanik Gunung Semeru Sebagian besar terkandung karbon dan silika didalamnya. Unsur karbon mampu meningkatkan perkerasan dan kekuatan beton.

Silika pada pencampuran beton mampu meningkatkan kekuatan beton. Unsur ini seringkali digunakan dalam campuran pembangunan (beton). Dalam proses pengerasan beton silika mampu mengisi ruang kosong terhadap semen (Sulastri, Siti, 2010). Alumunium berfungsi untuk mengurangi korosi pada beton. Alumunium dapat berfungsi secara maksimal pada bangunan yang berada pada suhu sekitar yang tinggi (Augustine, 2007). Kalsium berfungsi untuk merekatkan material konstruksi seperti antar batu bata. Magnesium memiliki sifat yang tahan terhadap panas api, jadi beton tidak mudah terbakar.

Tabel 2.3 Pengujian XRF Abu Vulkanik

Senyawa	Komposisi (%)
SiO_2	45.7
Al_2O_3	14
CaO	16.1
Fe_2O_3	18.2
K_2O	3.86

Sumber: Kusumastuti (2013)

Berdasarkan tabel 2.3 mengenai pengujian XRF abu vulkanik semeru terdapat kandungan paling besar yaitu 45,7% SiO_2 ; 14% Al_2O_3 ; 16,1% CaO; 18,2% Fe_2O_3 ; dan 3,86% K_2O (Kusumastuti, 2013). Kandungan tersebut memiliki paling banyak senyawa silika dan alumina, dimana merupakan sifat *pozzolan* pada semen sehingga, abu vulkanik Semeru dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen.

2.5 Pengujian Material Beton

2.5.1 Pengujian Berat Volume

Pengujian dilakukan untuk mengetahui berat material beton dalam satuan volume. Persamaan dari perhitungan berat volume ini, berlaku untuk pengujian berat volume pada semen, abu vulkanik, agregat halus, dan agregat kasar. Berdasarkan ASTM C 29/C 29M - 97, diperoleh persamaan rumus untuk menghitung satuan volume dari pengujian ini.

$$M = \frac{G - T}{V} \text{ (Persamaan 2.4)}$$

Keterangan :

M = Berat volume beton (kg/m^3)

G = Berat cetakan silinder yang berisi agregat (kg)

T = Berat cetakan silinder kosong (kg)

V = Volume cetakan silinder (m^3)

2.5.2 Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh berat jenis agregat yang digunakan. Persamaan dari perhitungan berat jenis ini, berlaku untuk pengujian berat jenis pada agregat halus dan agregat kasar. Berdasarkan ASTM C 128 - 01, diperoleh rumus pengerjaan menghitung berat jenis.

$$\text{Berat Jenis SSD} = \frac{A}{B + A - C} \quad \text{..... (Persamaan 2.5)}$$

Keterangan :

A = Berat agregat kering oven atau SSD (50 gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

C = Berat piknometer berisi agregat dan air (gram)

2.5.3 Pengujian Air Resapan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan resapan air pada agregat yang digunakan. Persamaan dari perhitungan air resapan ini, berlaku untuk pengujian air resapan agregat halus, dan agregat kasar. Berdasarkan ASTM C 128 - 07a diperoleh rumus perhitungan pengujian air resapan.

$$\text{Kadar air resapan} = \frac{S - A}{A} \times 100\% \quad \text{..... (Persamaan 2.6)}$$

Keterangan :

S = Berat pasir (100 gram)

A = Berat pasir oven (gram)

2.5.4 Pengujian Kelembaban Agregat

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar air dari pasir normal dan setelah pasir di masukkan ke dalam oven. Pengujian menggunakan acuan ASTM C 566 - 97 sebagai menentukan persamaan perhitungan.

$$\text{Kelembaban pasir} = \frac{W - D}{D} \times 100\% \quad \text{..... (Persamaan 2.7)}$$

Keterangan :

W = Berat pasir asli (250 gram)

D = Berat pasir oven (gram)

2.5.5 Pengujian Analisa Saringan Agregat

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gradasi dari jenis agregat halus dan agregat kasar. Penelitian ini menggunakan *standarisasi* pasir zona 2 dan untuk jenis agregat kasar menggunakan kerikil lolos ukuran 20 mm. Pengujian ini menggunakan acuan ASTM C 33 – 03.

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\sum \text{berat tertinggal komulatif}}{100} \dots\dots \text{(Persamaan 2.8)}$$

2.6 Analisis Data

Analisis data digunakan untuk menghasilkan informasi yang sesuai dengan asumsi awal sebelum dilakukan penelitian. Penelitian ini melakukan 2 jenis analisis data, yaitu:

2.6.1 ANOVA

Analisis data menggunakan ANOVA memperhatikan nilai F hitung dan F tabel. Apabila F hitung lebih besar daripada F tabel maka hipotesis awal dapat diterima atau memiliki hubungan satu sama lain.

Hipotesis pada penelitian ini dapat dilakukan dengan menghasilkan 2 asumsi yaitu:

1. Pengujian variasi abu vulkanik Semeru memiliki pengaruh terhadap karakteristik mekanik beton merupakan H0.
2. Pengujian variasi abu vulkanik Semeru tidak memiliki pengaruh terhadap karakteristik mekanik beton merupakan H1.

Pernyataan kedua asumsi diatas apabila dalam analisis diperoleh nilai signifikan lebih besar dari 0,05 maka asumsi H0 dapat diterima dan H1 tidak dapat diterima. Apabila nilai signifikan kurang dari 0,05 maka asumsi H0 tidak dapat diterima dan H1 dapat diterima.

Setelah dilakukan analisis H0 dan H1, perlu dilakukan koreksi pada nilai F tabel dengan F hitung. Penelitian variasi abu vulkanik Semeru memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik mekanik beton apabila nilai F hitung lebih besar dari nilai F tabel (Anwar Hidayat, 2017). Nilai F hitung diperoleh pada hasil

perhitungan aplikasi SPSS, sedangkan nilai F tabel diperoleh dari tabel 2.1 dengan memperhatikan nilai Df. Nilai Df 1 secara horizontal diperoleh dari jumlah variabel *independent* atau variabel bebas sedangkan untuk Df 2 secara vertical diperoleh dari pengurangan jumlah variasi abu vulkanik Semeru dengan variabel *independent*.

Tabel 2.4 Nilai F Tabel ANOVA

Df	1	2	3	4	5
1	161.4476388	199.5000000	215.7073454	224.5832406	230.1618781
2	18.5128205	19.0000000	19.1642921	19.2467943	19.2964097
3	10.1279645	9.5520945	9.2766282	9.1171823	9.0134552
4	7.7086474	6.9442719	6.5913821	6.3882329	6.2560565
5	6.6078910	5.7861350	5.4094513	5.1921678	5.0503291
6	5.9873776	5.1432528	4.7570627	4.5336770	4.3873742
7	5.5914479	4.7374141	4.3468314	4.1203117	3.9715232
8	5.3176551	4.4589701	4.0661806	3.8378534	3.6874987
9	5.1173550	4.2564947	3.8625484	3.6330885	3.4816587
10	4.9646027	4.1028210	3.7082648	3.4780497	3.3258345
11	4.8443357	3.9822980	3.5874337	3.3566900	3.2038743
12	4.7472253	3.8852938	3.4902948	3.2591667	3.1058752
13	4.6671927	3.8055653	3.4105336	3.1791171	3.0254383
14	4.6001099	3.7388918	3.3438887	3.1122498	2.9582489
15	4.5430772	3.6823203	3.2873821	3.0555683	2.9012945
16	4.4939985	3.6337235	3.2388715	3.0069173	2.8524092
17	4.4513218	3.5915306	3.1967768	2.9647081	2.8099962
18	4.4138734	3.5545571	3.1599076	2.9277442	2.7728532
19	4.3807497	3.5218933	3.1273500	2.8951073	2.7400575
20	4.3512435	3.4928285	3.0983912	2.8660814	2.7108898
21	4.3247937	3.4668001	3.0724670	2.8400998	2.6847807
22	4.3009495	3.4433568	3.0491250	2.8167083	2.6612739
23	4.2793443	3.4221322	3.0279984	2.7955387	2.6399994
24	4.2596773	3.4028261	3.0087866	2.7762893	2.6206541
25	4.2416991	3.3851900	2.9912409	2.7587105	2.6029874
26	4.2252013	3.3690164	2.9751540	2.7425941	2.5867901
27	4.2100085	3.3541308	2.9603513	2.7277653	2.5718864
28	4.1959718	3.3403856	2.9466853	2.7140758	2.5581275
29	4.1829643	3.3276545	2.9340299	2.7013993	2.5453865
30	4.1708768	3.3158295	2.9222772	2.6896276	2.5335545

Sumber: Hidayat, A (2017)

2.6.2 Analisis Regresi (*Model Summary*)

Analisis regresi merupakan analisis yang dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai pengaruh antar variabel pada penelitian ini. Acuan yang digunakan pada analisis regresi terdapat pada tabel 4.20 dimana, pada tabel tersebut menunjukkan jarak interval *R Square* dengan tingkat hubungan antar variabel.

2.7 Uji SEM (Scanning Electron Microscope)

Uji SEM atau kependekan dari *Scanning Electron Microscope* merupakan pengujian yang menggunakan alat mikroskop *electron* untuk melakukan pengamatan pada suatu sampel bahan untuk memperoleh ukuran perbesaran tertentu. Uji SEM ini menggunakan ukuran pengamatan sebesar 30 μm sampai dengan 300 μm . Uji SEM ini menghasilkan perbesaran ukuran *sample* seperti pada Gambar 2.1.

Analisis pengujian hasil SEM menggunakan bantuan aplikasi *imageJ*. Aplikasi *imageJ* merupakan aplikasi yang digunakan untuk menentukan suatu ukuran luasan dari sebuah hasil gambar. Aplikasi ini memberikan informasi mengenai ukuran suatu benda padat dari hasil jepretan microscope.



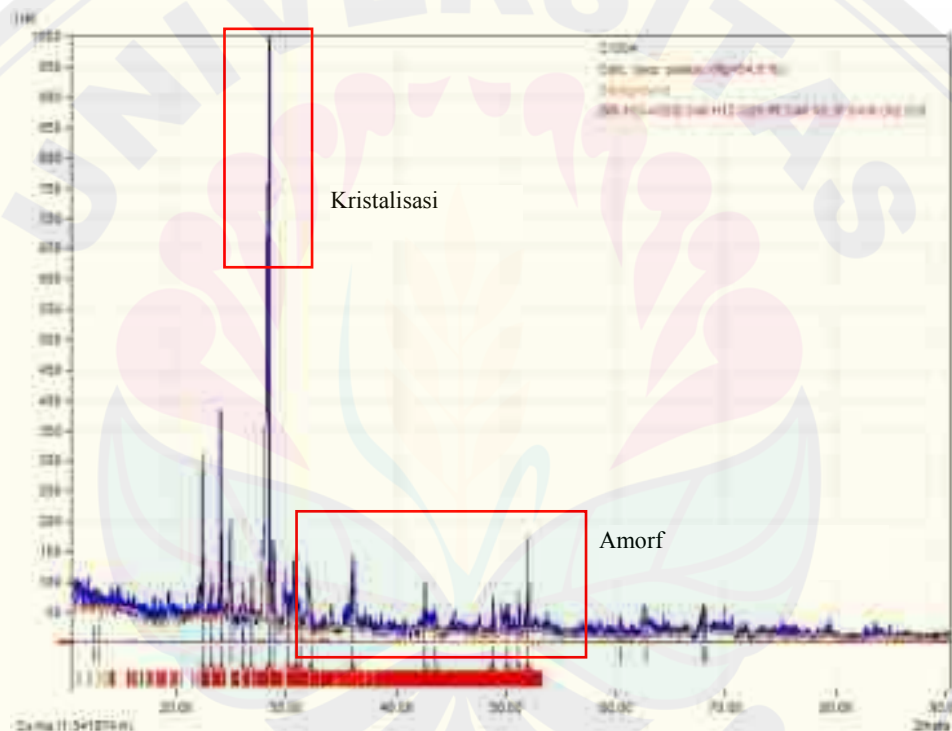
Gambar 2.1 Tampilan Pertama Aplikasi ImageJ

2.8 Uji XRD (X-Ray Diffraction)

Uji XRD pada penelitian ini ditujukan untuk mengetahui karakteristik abu vulkanik semeru sebagai substitusi parsial semen. Uji XRD dilakukan untuk memberikan informasi atau identifikasi terhadap suatu sampel yang berupa butiran halus tentang dimensi sampel. XRD merupakan metode dengan tujuan memberikan informasi atom atau molekul kristal dengan melakukan difraksi segala arah melalui sinar-X (Fatimah, *et all.* 2022). Selain itu, pengujian XRD juga menunjukkan sifat

amorf dan kristalisasi pada abu vulkanik Semeru. Analisis hasil XRD menggunakan bantuan aplikasi *Match* untuk menunjukkan sudut theta, puncak fase, jumlah fase, jenis dan komposisi kandungan, dan lain-lain (Monshi, *et al.*, 2012).

Analisis hasil XRD akan menunjukkan grafik yang memiliki puncak tertinggi serta puncak yang minimum landai. Grafik tertinggi menunjukkan bahwa abu vulkanik sudah mengalami kristalisasi padat. Sedangkan grafik yang menunjukkan puncak minimum menunjukkan sifat amorf yang masih belum keadaan kristal. Amorf merupakan sifat yang mudah larut sehingga akan mengisi ruang kosong pada pemadatan pencampuran bahan (Chairunnisa, *et al.*, 2016).



Gambar 2.2 Grafik XRD dalam Match

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan yaitu penelitian eksperimen laboratorium yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik mekanik pada beton yang menggunakan abu vulkanik Semeru sebagai substitusi parsial semen. Karakteristik mekanik meliputi pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan modulus elastisitas beton. Pada penelitian ini digunakan perbandingan variasi jumlah kandungan abu vulkanik semeru sebesar 0%; 5%; 10%; 15%; 20%; 25%; 30%; 35%; dan 40% terhadap berat semen pembentuk beton.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober sampai dengan Desember 2022 di Laboratorium Rekayasa Struktur dan Mekanikal Bahan Fakultas Teknik Universitas Jember untuk membuat struktur beton normal dan beton campuran.

3.3 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pengujian karakteristik mekanik beton ini menggunakan alat yang disediakan di laboratorium Struktur Fakultas Teknik Sipil Universitas Jember. Bahan utama yang digunakan dalam pengujian ini yaitu menggunakan abu vulkanik murni yang berasal dari letusan Gunung Semeru Kabupaten Lumajang.

3.3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu abu vulkanik Gunung Semeru, semen portland Gresik, batu kerikil pecah, pasir Lumajang, dan air.

3.3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat yang sudah tersedia di Laboratorium Rekayasa Struktur dan Mekanikal Bahan Fakultas Teknik Sipil Universitas Jember.

Tabel 3.1 Nama Alat Pengujian

No.	Nama Alat	Spesifikasi
1.	Timbangan	1 set
2.	Mesin sieve shaker	1 set
3.	Oven	1 set
4.	Cetakan beton silinder 15 x 30 cm	90 buah
5.	Satu set saringan (standar ASTM)	1 set
6.	Compressing Testing Machine (CTM)	1 set
7.	Kerucut Abrams	1 set
8.	Piknometer	3 buah
9.	Mounting Table	1 set
10.	Mesin Pengaduk Beton (Concrete Mixer)	1 set
11.	Bak	1 set
12.	Sekop	1 set
13.	Loyang/talam	1 set
14.	Alat compression testing machine	1 set

Sumber: Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Jember

3.3.3 Benda Uji

Pada penelitian ini dilakukan pengujian menggunakan 5 (lima) benda uji pada setiap variasi penggunaan abu vulkanik Gunung Semeru pada berat semen. Pengujian modulus elastisitas beton digunakan benda uji yang sama ketika pengujian kuat tekan beton dilakukan dan sudah terlampir pada *tabel 3.2* dan *tabel 3.3*.

Tabel 3.2 Benda Uji Perhitungan Kuat Tekan Beton

No	Kode	Presentase	Semen	Kuat Tekan 28 hari
1	G1	0%	100%	5
2	G2	5%	95%	5
3	G3	10%	90%	5
4	G4	15%	85%	5
5	G5	20%	80%	5
6	G6	25%	75%	5
7	G7	30%	70%	5
8	G8	35%	65%	5
9	G9	40%	60%	5

No	Kode	Presentase	Semen	Kuat Tekan 28 hari
Total Benda Uji				45

Sumber: Penelitian Karakteristik Mekanik Beton yang menggunakan Abu Vulkanik Semeru sebagai Substitusi Parsial Semen Universitas Jember 2023

Tabel 3.3 Benda Uji Perhitungan Kuat Tarik Belah Beton

No	Kode	Presentase	Semen	Kuat Tarik Belah 28 hari
1	G1	0%	100%	5
2	G2	5%	95%	5
3	G3	10%	90%	5
4	G4	15%	85%	5
5	G5	20%	80%	5
6	G6	25%	75%	5
7	G7	30%	70%	5
8	G8	35%	65%	5
9	G9	40%	60%	5
Total Benda Uji				45

Sumber: Penelitian Karakteristik Mekanik Beton yang menggunakan Abu Vulkanik Semeru sebagai Substitusi Parsial Semen Universitas Jember 2023

3.4 Rancangan Penelitian

3.4.1 Persiapan dan *Study* Literatur

Pada kegiatan ini dilakukan untuk mempersiapkan semua bahan dan alat yang digunakan untuk melakukan penelitian. Kemudian juga dilakukan studi literatur dengan membaca berbagai sumber seperti jurnal, skripsi, dan website yang memiliki kesamaan topik.

3.4.2 Pembuatan Benda Uji

Benda uji pada penelitian digunakan 90 buah. Masing – masing benda uji dapat dilihat pada *tabel 3.2* dan *tabel 3.3*.

1. Pengujian Semen

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan berat volume semen kebutuhan mix design khususnya pada semen Gresik.

Tabel 3.4 Prosedur Pengujian Semen

Alat dan Bahan Pengujian	Prosedur Pengujian Berat Volume Semen Tanpa Rojokan
1. Timbangan analitis 2600 gram 2. Wadah takaran silinder dengan volume 3 liter atau 3 kg 3. Alat perojok 4. Semen portlan Gresik.	1. Timbang wadah takaran silinder dalam keadaan kering kosong 2. Isi takaran dengan semen dan ratakan dengan rojokan 3. Timbang takaran dengan semen 4. Catat hasilnya 5. Lakukan pengujian tanpa rojokan selama 2 kali.
	Prosedur Pengujian Berat Volume Semen dengan Rojokan
	1. Timbang wadah takaran silinder dalam keadaan kering kosong 2. Isi takaran dengan semen sebanyak 1/3 bagian takaran silinder dan lakukan rojokan 25 kali, kemudian 2/3 dan 3/3 selanjutnya juga dilakukan masing masing 25 kali rojokan dan ratakan 3. Timbang takaran dengan semen 4. Catat hasilnya 5. Lakukan pengujian dengan rojokan sebanyak 2 kali.

Sumber: ASTM C 188 - 95

2. Pengujian Abu Vulkanik Semeru

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh berat volume abu vulkanik semeru. Abu vulkanik semeru sebagai substitusi parsial semen oleh karena itu perlu dilakukan uji berat volume.

Tabel 3.5 Prosedur Pengujian Abu Vulkanik Semeru

Alat dan Bahan Pengujian	Prosedur Pengujian Berat Volume Abu Vulkanik Semeru Tanpa Rojokan
1. Timbangan 25 kg 2. Wadah takaran silinder dengan volume 3 liter atau 3 kg 3. Alat perojok 4. Abu Vulkanik Semeru.	1. Timbang wadah takaran silinder dalam keadaan kering kosong 2. Isi takaran dengan abu vulkanik semeru dan ratakan dengan rojokan 3. Timbang takaran dengan abu vulkanik semeru 4. Catat hasilnya 5. Lakukan pengujian tanpa rojokan selama 2 kali.
	Prosedur Pengujian Berat Volume Abu Vulkanik Semeru dengan Rojokan
	1. Timbang wadah takaran silinder dalam keadaan kering kosong 2. Isi takaran dengan abu vulkanik semeru sebanyak 1/3 bagian takaran silinder dan lakukan rojokan 25 kali, kemudian 2/3 dan 3/3 selanjutnya juga dilakukan masing masing 25 kali rojokan dan ratakan 3. Timbang takaran dengan abu vulkanik semeru 4. Catat hasilnya 5. Lakukan pengujian dengan rojokan sebanyak 2 kali.

Sumber: ASTM C 188 - 95

3. Pengujian Agregat Halus

a. Analisa Saringan Pasir

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan gradasi pasir yang akan digunakan dalam kebutuhan pembuatan beton.

Tabel 3.6 Prosedur Analisa Saringan Pasir

Alat dan Bahan Pengujian	Prosedur Pengujian
1. Timbangan analitis 2600 gram	1. Timbang pasir sebanyak 1000 gram
2. Satu set ayakan ASTM (#4, #8, #16, #30, #50, #100, Pan)	2. Masukkan pasir ke dalam satu set ayakan ASTM dari ukuran yang paling besar dan digetarkan selama 10 menit
3. Shieve Shaker	3. Menimbang ayakan yang terdapat pasir tertinggal
4. Oven	4. Catat hasilnya.
5. Pan	
6. Pasir dalam kondisi sudah dimasukkan dalam oven.	

Sumber: ASTM C 33 - 03

b. Berat Jenis Pasir

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis pasir dalam kondisi SSD (pasir yang sudah direndam selama 24 jam).

Tabel 3.7 Prosedur Berat Jenis Pasir

Alat dan Bahan Pengujian	Prosedur Pengujian
1. Timbangan analitis 2600 gram	1. Timbang picnometer
2. Picnometer 100 cc	2. Timbang pasir kondisi SSD sebanyak 50 gram sebanyak 3 sampel
3. Oven	3. Masukkan pasir ke dalam picnometer dan isi dengan air
4. Pasir Kondisi SSD.	4. Picnometer diputar-putar hingga gelembung yang keluar hilang
	5. Picnometer tanpa gelembung ditimbang
	6. Catat hasilnya.

Sumber: ASTM C128 - 01

c. Berat Volume Pasir

Pengujian berat volume pasir ini bertujuan untuk mengukur berat volume pasir asli.

Tabel 3.8 Prosedur Berat Volume Pasir

Alat dan Bahan Pengujian	Prosedur Pengujian Berat Volume Pasir Tanpa Rojokan
<ol style="list-style-type: none"> 1. Timbangan analitis 2600 gram 2. Wadah takaran silinder dengan volume 10 liter atau 10 kg 3. Alat perojok 4. Pasir kering. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Timbang wadah takaran silinder dalam keadaan kering kosong 2. Isi takaran dengan pasir yang sudah di ayak saringan nomor #4 <i>full</i> wadah dan ratakan dengan rojokan 3. Timbang takaran dengan pasir. 4. Catat hasilnya 5. Lakukan pengujian tanpa rojokan selama 2 kali.
	<p style="text-align: center;">Prosedur Pengujian Berat Volume Pasir dengan Rojokan</p>
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Timbang wadah takaran silinder dalam keadaan kering kosong 2. Isi takaran dengan pasir yang sudah di ayak saringan nomor #4 sebanyak 1/3 bagian takaran silinder dan lakukan rojokan 25 kali, kemudian 2/3 dan 3/3 selanjutnya juga dilakukan masing masing 25 kali rojokan dan ratakan 3. Timbang takaran dengan pasir 4. Catat hasilnya 5. Lakukan pengujian dengan rojokan sebanyak 2 kali.

Sumber: ASTM C 29/C 29M - 97

d. Air Resapan Pasir

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur kadar resapan pasir yang telah di panaskan dalam oven selama 24 jam.

Tabel 3.9 Prosedur Air Resapan Pasir

Alat dan Bahan Pengujian	Prosedur Pengujian
1. Timbangan analitis 2600 gram	1. Siapkan 3 wadah untuk pasir dengan berat masing-masing 100 gram
2. Oven	2. Masukkan pasir yang sudah SSD ke dalam oven dengan loyang sebagai alasnya
3. Pasir dalam keadaan SSD.	3. Diamkan dalam oven 24 jam dengan <i>temperature</i> 110 ± 50
	4. Keluarkan pasir di dalam oven dan timbang pasir ketika sudah dingin.
	5. Catat hasilnya.

Sumber: ASTM C 128 – 07a

e. Kelembaban Pasir

Pengujian kelembaban pasir ini dilakukan untuk mengukur kondisi kelembaban pasir dengan kondisi kering.

Tabel 3.10 Prosedur Kelembaban Pasir

Alat dan Bahan Pengujian	Prosedur Pengujian
1. Timbangan analitis 2600 gram	1. Siapkan 3 wadah untuk pasir dengan berat masing-masing 250 gram
2. Oven	2. Pasir dalam keadaan asli di ayak dalam saringan nomor #4 dan ditimbang dengan berat 250 gram sebanyak 3 kali dalam wadah yang sudah disiapkan
3. Pan	3. Masukkan pasir yang sudah ditimbang ke dalam oven dengan pas sebagai alasnya
4. Pasir dalam keadaan asli yang sudah di ayak dengan saringan pasir nomor #4.	4. Diamkan dalam oven 24 jam dengan <i>temperature</i> 110 ± 50
	5. Keluarkan pasir di dalam oven dan timbang pasir ketika sudah dingin.
	6. Catat hasilnya.

Sumber: ASTM C 556 - 97

4. Pengujian Kerikil

a. Analisa Saringan Kerikil

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan gradasi kerikil yang akan digunakan dalam kebutuhan pembuatan beton.

Tabel 3.11 Prosedur Analisa Saringan Kerikil

Alat dan Bahan Pengujian	Prosedur Pengujian
1. Timbangan 10 kg	1. Timbang kerikil sebanyak 12 kg
2. Satu set ayakan ASTM (#3/2, #3/4, #3/8, #4, #8, #16, #30, #50, #100, Pan)	2. Masukkan kerikil ke dalam ayakan dari ukuran yang paling besar dan getarkan alat selama 10 menit
3. Shieve Shaker	3. Timbang ayakan dengan kerikil yang tertinggal
4. Kerikil dalam kondisi kering dari oven.	4. Catat hasilnya.

Sumber: ASTM C 33 - 03

b. Berat Jenis Kerikil

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur berat jenis kerikil dalam kondisi SSD (kerikil yang sudah direndam selama 24 jam).

Tabel 3.12 Prosedur Pengujian Berat Jenis Kerikil

Alat dan Bahan Pengujian	Prosedur Pengujian
1. Timbangan 25 kg	1. Kerikil yang sudah direndam selama 24 jam
2. Kontainer	kemudian di lap satu persatu sampai kondisi SSD
3. <i>Mounting table</i>	
4. Keranjang <i>sample</i>	2. Timbang kerikil kondisi SSD sebanyak 3000 gram sebanyak 3 <i>sample</i>
5. Kerikil dalam kondisi SSD	
6. Air Suling.	3. Timbang berat kerikil di dalam air
	4. Catat hasilnya.

Sumber: ASTM C 127 - 07

c. Berat Volume Kerikil

Pengujian berat volume ini dilakukan untuk mengetahui berat volume kerikil dalam keadaan rojokan maupun tidak di rojok.

Tabel 3.13 Prosedur Berat Volume Kerikil

Alat dan Bahan Pengujian	Prosedur Pengujian Berat Volume Kerikil Tanpa Rojokan
1. Timbangan analitis 25 kg 2. Wadah takaran silinder dengan volume 15 liter atau 15 kg 3. Alat perojok 4. Kerikil kering.	1. Timbang wadah takaran silinder dalam keadaan kering kosong 2. Isi takaran dengan kerikil dan ratakan dengan rojokan 3. Timbang takaran dengan kerikil 4. Catat hasilnya 5. Lakukan pengujian tanpa rojokan selama 2 kali.
	Prosedur Pengujian Berat Volume Kerikil dengan Rojokan
	1. Timbang wadah takaran silinder dalam keadaan kering kosong 2. Isi takaran dengan kerikil sebanyak 1/3 bagian takaran silinder dan lakukan rojokan 25 kali, kemudian 2/3 dan 3/3 selanjutnya juga dilakukan masing masing 25 kali rojokan dan ratakan 3. Timbang takaran dengan kerikil 4. Catat hasilnya 5. Lakukan pengujian dengan rojokan sebanyak 2 kali.

Sumber: ASTM C 29/C 29M - 97

d. Air Resapan Kerikil

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur kadar resapan air dalam kerikil yang telah di masukkan ke dalam oven selama 24 jam.

Tabel 3.14 Prosedur Air Resapan Kerikil

Alat dan Bahan Pengujian	Prosedur Pengujian
1. Timbangan 25 kg 2. Oven 3. Kerikil dalam kondisi SSD.	1. Siapkan 3 wadah untuk kerikil dengan berat masing-masing 500 gram

Alat dan Bahan Pengujian	Prosedur Pengujian
	<ol style="list-style-type: none"> 2. Masukkan kerikil dalam oven selama 24 jam 3. Keluarkan kerikil dari dalam oven dan timbang kerikil ketika sudah dingin. 4. Catat hasilnya.

Sumber: ASTM C 127 - 88

e. Kelembaban Kerikil

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan air yang ada dalam kerikil campuran beton.

Tabel 3.15 Prosedur Kelembaban Kerikil

Alat dan Bahan Pengujian	Prosedur Pengujian
<ol style="list-style-type: none"> 1. Timbangan analitis 2600 gram 2. Oven 3. Pan 4. Kerikil dalam keadaan asli. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Siapkan 3 wadah untuk kerikil dengan berat masing-masing 500 gram 2. Kerikil dalam keadaan asli di timbang dengan berat 5000 gram sebanyak 3 kali dalam wadah yang sudah disiapkan 3. Masukkan kerikil yang sudah ditimbang ke dalam oven dengan pas sebagai alasnya 4. Diamkan dalam oven 24 jam dengan <i>temperature</i> 110 ± 50 5. Keluarkan kerikil di dalam oven dan timbang kerikil ketika sudah dingin. 6. Catat hasilnya.

Sumber: ASTM C 556 - 97

5. Perencanaan Campuran Bahan

Setelah diperoleh bahan dan alat yang diperlukan, maka dilakukan pencampuran bahan sesuai dengan literatur. Dilakukan pengadukan bahan dengan mencampur semen dengan agregat dengan merata, setelah itu dimasukkan abu vulkanik. Bahan-bahan tersebut diaduk hingga rata pada tempat yang sudah disiapkan. Kemudian dicampur dengan senyawa air.

- Slump Test

Pada kegiatan ini dilakukan pengujian Slump test (uji kekentalan beton) agar dapat mencapai kuat tekan beton rencana.

- Perletakan Bekisting dan Perawatan

Setelah melakukan pengujian kekentalan, Langkah selanjutnya yaitu meletakkan pada bekisting untuk pengerasan. Kemudian dilakukan perawatan suhu ruang agar beton dapat mengeras dengan sempurna. Setelah benda uji dikeluarkan dari bekisting dan diberi nama, kemudian benda uji diletakkan didalam air untuk masa perawatan beton.

- Uji Karakteristik Mekanik

Setelah 7 hari direndam dilakukan pengujian karakteristik mekanik beton pada beton umur 28 hari yang meliputi pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan pengujian modulus elastisitas beton. Kemudian diawali dengan penimbangan berat uji, setelah itu dilakukan pengujian menggunakan mesin uji desak hidrolis dan mencatat benda uji yang sudah mulai retak.

3.5 Variabel Penelitian

Variable yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

3.5.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu jenis variable dimana ketika variable diubah mengakibatkan terjadinya perubahan pada variable lain (Leo, 2020). Pada penelitian ini, abu vulkanik Gunung Semeru merupakan jenis variable bebas.

3.5.2 Variabel Terikat

Variable terikat merupakan variable yang dapat berubah dikarenakan akibat dari penambahan variable bebas (Leo, 2020). Pengujian karakteristik mekanik beton merupakan variable terikat dalam penelitian ini.

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Penyiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu alat yang tersedia di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Universitas Jember. Persiapan

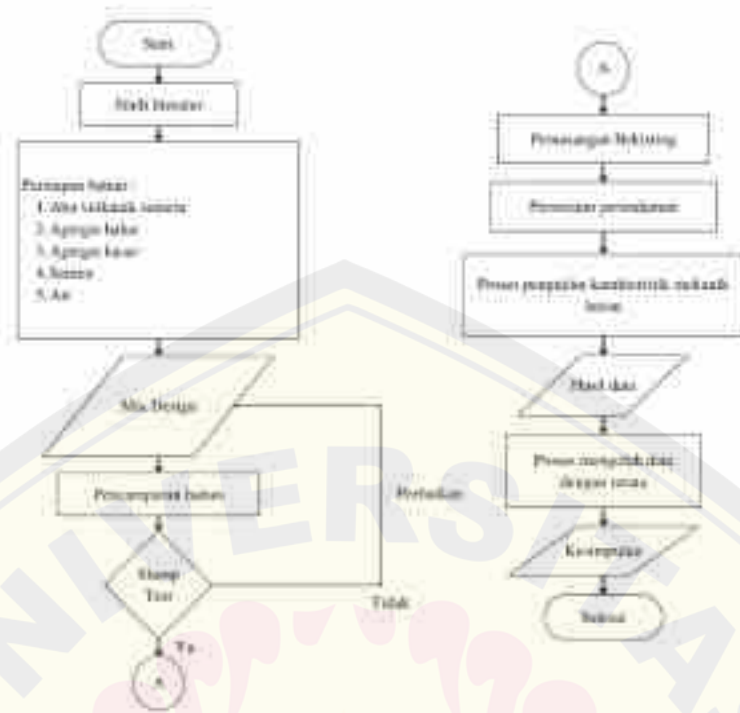
bahan abu vulkanik Gunung Semeru yang sudah didapat. Mempersiapkan semen Portland Gresik, kerikil sebagai agregat kasar, pasir sebagai agregat halus, serta senyawa air untuk menyatukan semua komponen penyusun beton.

3.6.2 Pembuatan Beton Normal dan Beton Campuran Abu Vulkanik

Pembuatan beton normal dimulai dengan mencampurkan agregat kasar, agregat halus, semen Portland, dan senyawa air. Setelah semua sudah dicampurkan pada mesin aduk, beton dilakukan pengujian slump agar campuran beton tidak terlalu kental sehingga tidak terjadi beton berongga. Campuran beton dimasukkan kedalam bekisting silinder. Setelah beton mengeras dilakukan perawatan beton dengan cara merendam kedalam air. Setelah 28 hari dilakukan perawatan, beton dikeluarkan untuk dilakukan pengujian karakteristik mekanik yang meliputi kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas.

3.7 Analisis Data

Setelah semua benda uji dilakukan pengujian kuat tekan dilakukan analisis ANOVA dan Regresi Linear dari beragam variasi perbandingan abu vulkanik Gunung Semeru terhadap berat semen.



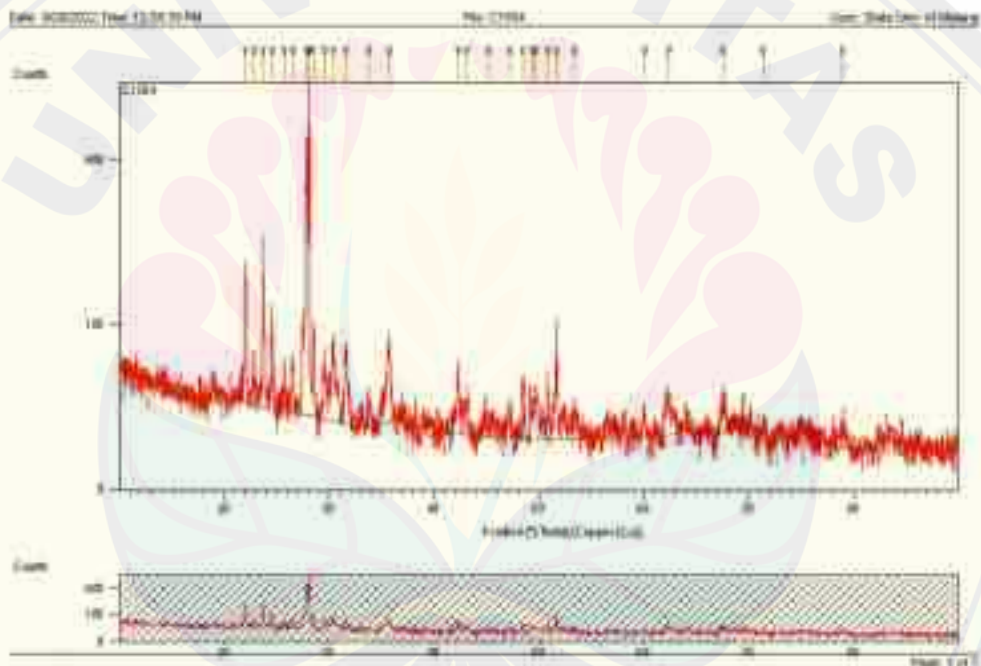
Gambar 3.3 Flowchart

BAB 4. HASIL PENELITIAN

4.1 Hasil Pengujian XRD pada Abu Vulkanik Semeru

Pengujian XRD pada abu vulkanik Semeru dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Maju Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam Universitas Negeri Malang.

Pengujian XRD pada penelitian dilakukan pada variabel bebas yaitu abu vulkanik Semeru. Uji XRD pada abu vulkanik Semeru akan memberikan informasi mengenai karakteristik dimensi. Informasi karakteristik dimensi abu vulkanik Semeru diperlukan untuk mengetahui sifat reaktan sebagai substitusi parsial semen.



Gambar 4.4 Hasil Uji XRD Abu Vulkanik Semeru

Berdasarkan grafik XRD yang diperoleh dari pengujian menunjukkan bahwa abu vulkanik Semeru dapat menjadi pengganti sebagian dari semen penyusun beton. Grafik menunjukkan hasil tertinggi pada sudut theta 28,09 sebesar 612. Grafik menunjukkan tingkat kristalisasi partikel yang sedikit. Pada grafik hanya terlihat puncak tertinggi pada sudut theta 28,09 dimana, pada titik tersebut partikel mengalami pemadatan atau sudah berbentuk kristal. Sehingga tidak dapat

mengisi ruang pada pemadatan beton. Setelah pada sudut theta 28.09 grafik mengalami penurunan gundukan, hal itu menunjukkan bahwa partikel abu vulkanik berada pada fase amorf. Fase amorf merupakan fase dimana partikel abu vulkanik memiliki tingkat kelarutan yang sangat tinggi. Sehingga dapat larut dalam air dan semen untuk proses pengerasan pada beton.

Pada analisis menggunakan aplikasi *match* memberikan informasi bahwa pada abu vulkanik semeru ini terdapat kandungan Aluminium, Kalsium, Natrium, Oksigen, dan Silika. Kandungan alumina dan silika terkandung dalam sifat *pozzolan* yang dapat bereaksi dengan semen dan air. Abu vulkanik ini juga terkandung *labradorite* dan batuan *andesit*. Pengaruh *andesit* dapat meningkatkan kuat tekan pada mortar (Herullah, *et al.*, 2017).

Pada hasil analisa XRD menggunakan *match* menunjukkan terdapat kandungan Al, Ca, K, Kr, Na, O, Si, Cu, C, P, dll. Abu vulkanik memiliki kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O sehingga, abu vulkanik termasuk pada kategori senyawa *pozzolan* (Kusumastuti, 2013).



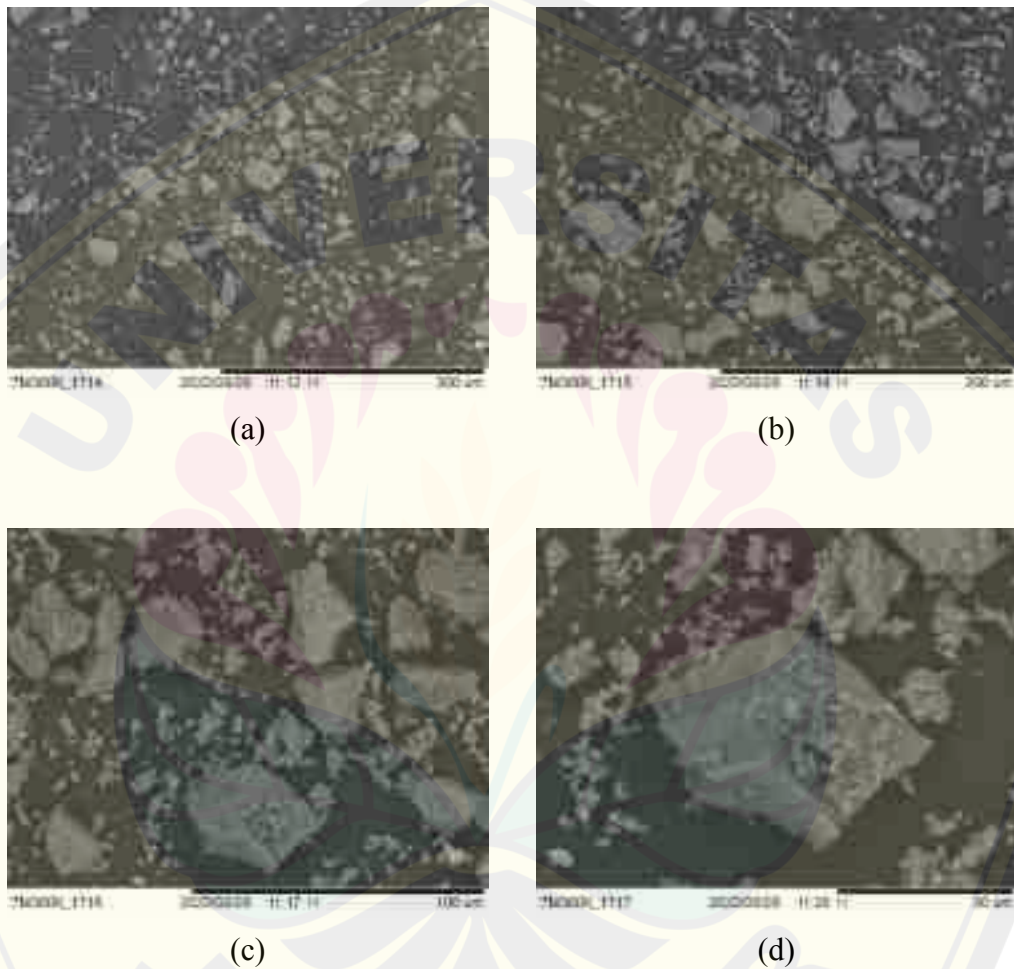
Gambar 4.5 Alat Pengujian XRD

4.2 Hasil Pengujian SEM pada Abu Vulkanik Semeru

Pengujian *Scanning Electron Microscope* atau SEM yaitu pengujian memindai atau membaca suatu *sample* yang tidak terlihat oleh mata. Pengujian SEM dengan *sample* Abu Vulkanik Semeru dilakukan di Laboratorium bagian Farmasetika, Fakultas Farmasi Universitas Jember.

Uji SEM digunakan untuk memperoleh informasi mengenai ukuran sebenarnya dari abu vulkanik Semeru. Pengujian SEM di Laboratorium Farmasetika Fakultas Farmasi Universitas Jember menggunakan alat *Hitachi Tabletop Microscope TM3000*.

Pengujian ini dilakukan untuk diperoleh hasil ukuran dengan perbesaran 300mm, 500mm, 1000mm, dan 2000mm.



(a) Perbesaran 300mm; (b) Perbesaran 500mm; (c) Perbesaran 1000mm;
(d) Perbesaran 2000mm

Gambar 4.3 Hasil Scanning Electron Microscope (SEM) Abu Vulkanik Semeru dengan 4 perbesaran

Hasil Uji SEM dapat dilihat pada Gambar 4.3 Hasil Scanning Electron Microscope (SEM) Abu Vulkanik Semeru dengan 4 perbesaran. Berdasarkan gambar dari hasil pengujian *Scanning Electron Microscope* menunjukkan ukuran partikel abu Semeru pada perbesaran 300mm dapat mengisi rongga pada campuran beton. Pada perbesaran 2000mm juga menunjukkan adanya partikel abu Semeru yang masih berukuran sangat kecil. Oleh karena itu, ukuran partikel abu Semeru dapat digunakan campuran sebagian semen pada beton. Pada pengujian XRD juga menunjukkan bahwa abu Semeru memiliki sifat *pozzolan* yang sama seperti semen.

Berdasarkan analisis gambar SEM menggunakan aplikasi *imageJ* pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa ukuran abu vulkanik Semeru kurang dari 30 μm . Abu vulkanik Semeru dikatakan dapat digunakan sebagai substitusi parsial semen memiliki ukuran kurang dari atau sama dengan 30 μm . Partikel semen memiliki ukuran 30 μm (Malvern Panalytical, 2009).



Gambar 6.4 Hasil Analisis ImageJ Data SEM Abu Vulkanik Semeru



Gambar 4.5 Alat Uji SEM

4.3 Hasil Pengujian Material Beton

Pengujian material beton dilakukan untuk menentukn kebutuhan masing-masing material pembentuk beton. Pada penelitian ini dilakukan dua belas (12) pengujian. Pengujian semen, pengujian abu vulkanik, pengujian agregat kasar, dan pengujian agregat halus.

4.3.1 Pengujian Semen

Pengujian semen dilakukan dua uji, yaitu tanpa rojokan dan dengan rojokan. Uji semen mendapatkan rata-rata perhitungan sebesar $1,172 \text{ gr/cm}^3$.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Pengujian Semen

BERAT VOLUME SEMEN					
Percobaan Nomor	Dengan Rojokan		Tanpa Rojokan		Satuan
	1	2	1	2	
Berat Silinder (W1)	6900	6900	6900	6900	gr
Berat Silinder (W1) + Semen (W2)	10400	10600	10550	10250	gr
Berat Semen (W2-W1)	3500	3700	3650	3350	gr
Volume Silinder (V)	3028.78	3028.78	3028.78	3028.78	cm ³
Berat Volume (BV=W2-W1/V)	1.156	1.222	1.205	1.106	gr
Berat Volume Rata-Rata	1.189		1.156		gr/cm ³
Berat Volume Rata-Rata Total			1.172		gr/cm ³

Sumber: ASTM C 188 - 95

Berdasarkan kegiatan pengujian semen yaitu uji berat volume diperoleh data pada tabel 4.1. Perhitungan dapat dilakukan sesuai dengan persamaan 2.4.

$$M = \frac{G - T}{V}$$

$$M = \frac{3500}{3028,78} = 1.156 \text{ gr}$$

$$M = \frac{3700}{3028,78} = 1.222 \text{ gr}$$

$$M = \frac{3650}{3028,78} = 1.205 \text{ gr}$$

$$M = \frac{3350}{3028,78} = 1.106 \text{ gr}$$

Sehingga diperoleh rata-rata berat volume semen yaitu $1,172 \text{ gr/cm}^3$.

Berdasarkan perolehan hasil pengujian berat volume semen didapatkan hasil uji sebanyak 4 kali pengujian (dengan rojokan dan tanpa rojokan) diperoleh masing-masing sebesar 1,156 gram; 1,222 gram; 1,205 gram; dan 1,106 gram. Hasil dari keempat pengujian tersebut memiliki selisih kurang dari 0,1 gram dari masing-masing pengujian. Pengujian berat volume semen ini menggunakan acuan pada ASTM C 188 - 95 dimana, persyaratan nilai pengujian tidak boleh lebih dari 0,03 gram dari masing-masing pengujian. Sehingga hasil pada pengujian ini dapat memenuhi persyaratan ASTM C 188 - 95.

4.3.2 Pengujian Abu Vulkanik

Pengujian semen dilakukan dua uji, yaitu tanpa rojokan dan dengan rojokan. Uji semen mendapatkan rata-rata perhitungan sebesar $1,172 \text{ gr/cm}^3$.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Pengujian Abu Vulkanik

BERAT VOLUME ABU VULKANIK SEMERU					
Percobaan Nomor	Dengan Rojokan		Tanpa Rojokan		Satuan
	1	2	1	2	
Berat Silinder (W1)	6900	6900	6900	6900	gr
Berat Silinder (W1) + Abu Vulkanik (W2)	11350	11250	11000	10850	gr
Berat Abu Vulkanik (W2-W1)	4450	4350	4100	3950	gr
Volume Silinder (V)	3028.78	3028.78	3028.78	3028.78	cm ³
Berat Volume (BV=W2-W1/V)	1.469	1.436	1.354	1.304	gr

BERAT VOLUME ABU VULKANIK SEMERU					
Percobaan Nomor	Dengan Rojokan		Tanpa Rojokan		Satuan
	1	2	1	2	
Berat Volume Rata-Rata	1.453		1.329		gr/cm ³
Berat Volume Rata-Rata Total			1.391		gr/cm ³

Sumber: ASTM C 188 - 95

Berdasarkan kegiatan pengujian abuvulkanik yaitu uji berat volume diperoleh data pada tabel 4.2. Perhitungan dapat dilakukan sesuai dengan persamaan 2.4.

$$M = \frac{G - T}{V}$$

$$M = \frac{4450}{3028,78} = 1.469 \text{ gr}$$

$$M = \frac{4350}{3028,78} = 1.436 \text{ gr}$$

$$M = \frac{4100}{3028,78} = 1.354 \text{ gr}$$

$$M = \frac{3950}{3028,78} = 1.304 \text{ gr}$$

Sehingga diperoleh rata-rata berat volume abu vulkanik yaitu 1,391 gr/cm³

Berdasarkan perolehan hasil pengujian berat volume abu vulkanik didapatkan hasil uji sebanyak 4 kali pengujian (dengan rojokan dan tanpa rojokan) diperoleh masing-masing sebesar 1,469 gram; 1,436 gram; 1,354 gram; dan 1,304 gram. Hasil dari keempat pengujian tersebut memiliki selisih kurang dari 0,1 gram dari masing-masing pengujian. Pengujian berat volume abu vulkanik ini menggunakan acuan pada ASTM C 188 - 95 dimana, persyaratan nilai pengujian tidak boleh lebih dari 0,03 gram dari masing-masing pengujian. Sehingga hasil pada pengujian ini dapat memenuhi persyaratan ASTM C 188 - 95.

Besar nilai berat volume semen dan abu vulkanik diperoleh lebih besar berat volume abu vulkanik semeru. Oleh karena itu, pada perhitungan mix design penentuan jumlah kebutuhan semen pada pembuatan beton akan dikalikan dengan selisih rata-rata berat volume abu vulkanik dan semen.

4.3.3 Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus dilakukan lima kali pengujian yaitu analisa saringan pasir, berat jenis pasir, berat volume pasir, air resapan pasir, dan kelembaban pasir.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Pengujian Analisa Saringan Pasir

ANALISA SARINGAN PASIR							
Saringan Nomor	Saringan mm	Berat Saringan	Berat Saringan + Pasir	Berat Pasir Tertinggal		% Kumulatif	
				Gram	%	Tinggal	Lolos
4	4.76	427	427.7	0.7	0.07	0.07	99.93
8	2.38	419.8	587.1	167.3	16.93	17.00	83.00
16	1.19	406.2	622.7	216.5	21.91	38.91	61.09
30	0.59	402.2	816.8	414.6	41.96	80.86	19.14
50	0.297	408	448.6	40.6	4.11	84.97	15.03
100	0.149	385.9	512.9	127	12.85	97.82	2.18
pan	0	355.2	376.7	21.5	2.18	100	0.00
Jumlah		2804.3	3792.5	988.2	100	419.64	280.36

Sumber: ASTM C 33 - 03

Perhitungan berat pasir tertinggal yaitu :

$$\text{Berat Pasir Tertinggal Nomor 4} = \frac{(427,7 - 427) \cdot 100}{988,2} = 0,07\%$$

$$\text{Berat Pasir Tertinggal Nomor 8} = \frac{(587,1 - 419,8) \cdot 100}{988,2} = 16,93\%$$

$$\text{Berat Pasir Tertinggal Nomor 16} = \frac{(622,7 - 406,2) \cdot 100}{988,2} = 21,91\%$$

$$\text{Berat Pasir Tertinggal Nomor 30} = \frac{(816,8 - 402,2) \cdot 100}{988,2} = 41,96\%$$

$$\text{Berat Pasir Tertinggal Nomor 50} = \frac{(448,6 - 408) \cdot 100}{988,2} = 4,11\%$$

$$\text{Berat Pasir Tertinggal Nomor 100} = \frac{(512,9 - 385,9) \cdot 100}{988,2} = 12,85\%$$

$$\text{Berat Pasir Tertinggal Nomor 4} = \frac{(376,7 - 355,2) \cdot 100}{988,2} = 2,18\%$$

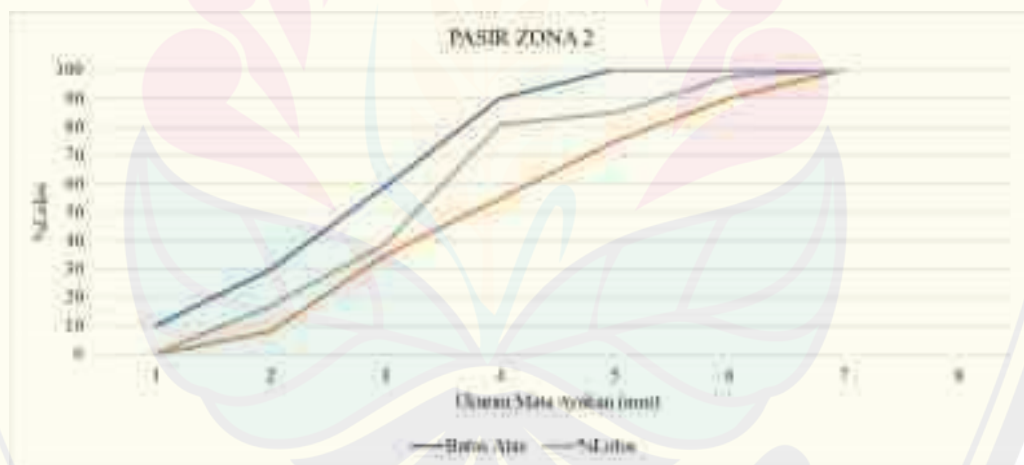
Perhitungan % kumulatif lolos yaitu dengan pengurangan dari 100 dengan persentase dari perhitungan berat pasir tertinggal.

Berdasarkan perhitungan pengujian analisa saringan pasir diperoleh pasir dengan zona 2.

Tabel 4.4 Batas Gradasi Pasir

Batas Gradasi Pasir							
Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4	
Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0	15	0
20	5	30	8	40	12	50	15
34	15	59	35	79	60	100	80
70	30	90	55	100	75	100	90
95	60	100	75	100	85	100	95
100	90	100	90	100	90	100	95
100	100	100	100	100	100	100	100

Sumber: SNI 03-2834-2000



Gambar 4.6 Grafik Pasir Zona 2

Berdasarkan perolehan hasil pengujian analisis saringan agregat halus didapatkan pasir dengan klasifikasi masuk pada zona 2. Berdasarkan tabel 4.3 mengenai perhitungan analisa saringan pasir, diperoleh berat pasir tertinggal pada semua ukuran saringan tidak lebih 45% dari berat pasir 988,2 gram. Pengujian ini mengacu pada peraturan ASTM C 33 - 03 yang menyatakan bahwa agregat halus

tidak boleh lebih dari 45% pasir yang tertinggal dalam setiap saringan. Sehingga hasil dari penelitian telah memenuhi persyaratan dari acuan ASTM C 33 - 03 analisa saringan pasir.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Pengujian Berat Jenis Pasir

BERAT JENIS PASIR			
Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Picnometer + Pasir + Air (W2)	163.3	163.5	154.5
Berat Pasir SSD (W1)	50	50	50
Berat Picnometer + Air (W3)	133.1	133.8	125
Berat Jenis Pasir (BJ)	2.53	2.46	2.44
Rata-rata		2.48	

Sumber: ASTM C 128 - 01

Berdasarkan persamaan 2.5 diperoleh perhitungan dibawah ini.

$$BJ 1 = \frac{50}{(50 + 133,1) - 163,3} = 2,53 \text{ gram}$$

$$BJ 2 = \frac{50}{(50 + 133,8) - 163,5} = 2,46 \text{ gram}$$

$$BJ 3 = \frac{50}{(50 + 125) - 154,5} = 2,44 \text{ gram}$$

Berdasarkan perolehan hasil pengujian berat jenis agregat halus didapatkan hasil uji sebanyak 3 kali pengujian diperoleh masing-masing sebesar 2.53 gram; 2,46 gram; dan 2,44 gram. Hasil dari ketiga pengujian tersebut memiliki selisih kurang dari 0,02 gram dari masing-masing pengujian. Pengujian berat jenis pasir ini menggunakan acuan pada ASTM C 128 - 01 dimana, persyaratan nilai pengujian 0 – 0,027 gram dari masing-masing pengujian. Sehingga hasil pada pengujian ini dapat memenuhi persyaratan ASTM C 128 - 01.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Pengujian Berat Volume Pasir

BERAT VOLUME PASIR				
Percobaan Nomor	Dengan Rojokan		Tanpa Rojokan	
	1	2	1	2

Berat Silinder (W1)	7100	7100	7100	7100
Berat Silinder (W1) + Pasir (W2)	20100	20300	18650	18850
Berat Pasir (W2-W1)	13000	13200	11550	11750
Volume Silinder (V)	9678.79	9678.79	9678.79	9678.79
Berat Volume (BV=W2-W1/V)	1.34	1.36	1.19	1.21
Berat Volume Rata-Rata	1.35		1.20	
Rata-rata			1.28	

Sumber: ASTM C 29/C 29M – 97

Berdasarkan persamaan 2.4 diperoleh perhitungan dibawah ini.

$$BV \text{ 1 dengan rojokan} = \frac{20100 - 7100}{9678,79} = 1,34 \text{ gr/cm}^3$$

$$BV \text{ 2 dengan rojokan} = \frac{20300 - 7100}{9678,79} = 1,36 \text{ gr/cm}^3$$

$$BV \text{ 1 tanpa rojokan} = \frac{18650 - 7100}{9678,79} = 1,19 \text{ gr/cm}^3$$

$$BV \text{ 2 tanpa rojokan} = \frac{18850 - 7100}{9678,79} = 1,21 \text{ gr/cm}^3$$

Perhitungan volume silinder sudah diketahui $9678,79 \text{ cm}^3$ dengan persamaan $V = \pi \cdot r^2 \cdot t$.

Berdasarkan perolehan hasil pengujian berat volume agregat halus didapatkan 2 hasil uji dengan rojokan masing-masing sebesar $1,34 \text{ gr/cm}^3$ dan $1,36 \text{ gr/cm}^3$. Pengujian dengan rojokan mempunyai selisih sebesar $0,02 \text{ gr/cm}^3$ dari dua percobaan dengan rojokan. Pengujian berat volume pasir juga dilakukan dengan tanpa rojokan masing-masing diperoleh sebesar $1,19 \text{ gr/cm}^3$ dan $1,21 \text{ gr/cm}^3$ pada selisih 2 pengujian tanpa rojokan berat volume kerikil. Selisih berat volume kerikil tanpa rojokan sebesar $0,02 \text{ gr/cm}^3$. Acuan yang digunakan dalam pengujian ini yaitu ASTM C 29/C 29M – 97 dimana, menyatakan bahwa pada pengujian tanpa rojokan tidak lebih dari $0,04 \text{ gr/cm}^3$ antara dua kali pengujian. Sedangkan pada pengujian dengan rojokan tidak lebih dari $0,125 \text{ gr/cm}^3$ dari dua

kali pengujian. Sehingga, pada pengujian berat volume agregat halus ini telah memenuhi standar dari acuan ASTM C 29/C 29M – 97.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Pengujian Air Resapan Pasir

AIR RESAPAN PASIR			
Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Pasir (W1)	100	100	100
Berat Pasir Oven (W2)	97.35	97.2	97.55
Kadar Air Resapan	2.72	2.88	2.51
Rata-rata	2.70		

Sumber: ASTM C 128 – 07a

Berdasarkan persamaan 2.6 diperoleh perhitungan dibawah ini.

$$\text{Kadar air resapan 1 (\%)} = \frac{100 - 97,35}{97,35} \cdot 100 = 2,72 \%$$

$$\text{Kadar air resapan 2 (\%)} = \frac{100 - 97,2}{97,2} \cdot 100 = 2,88 \%$$

$$\text{Kadar air resapan 3 (\%)} = \frac{100 - 97,55}{97,55} \cdot 100 = 2,51 \%$$

Berdasarkan perolehan hasil pengujian air resapan agregat halus didapatkan hasil uji sebanyak 3 kali pengujian diperoleh masing-masing sebesar 2,72%; 2,88%; dan 2,51%. Hasil dari ketiga pengujian tersebut memiliki hasil lebih kurang 2% dari masing-masing pengujian. Pengujian air resapan pasir ini menggunakan acuan pada ASTM C 128 – 07a dimana, persyaratan nilai pengujian kurang dari 4% dari massa pasir. Sehingga hasil pada pengujian ini dapat memenuhi persyaratan ASTM C 128 – 07a.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Pengujian Kelembaban Pasir

KELEMBABAN PASIR			
Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Pasir Asli (W1)	250	250	250
Berat Pasir Oven (W2)	238.5	238.3	238.2
Kelembaban Pasir	4.821803	4.909778	4.95382
Rata-rata	4.895133615		

Sumber: ASTM C 556 - 97

Berdasarkan persamaan 2.7 diperoleh perhitungan dibawah ini.

$$\text{Kelembaban Pasir 1 (\%)} = \frac{250 - 238,5}{238,5} \cdot 100 = 4,821803 \%$$

$$\text{Kelembaban Pasir 2 (\%)} = \frac{250 - 238,3}{238,3} \cdot 100 = 4,909778 \%$$

$$\text{Kelembaban Pasir 3 (\%)} = \frac{250 - 238,2}{238,2} \cdot 100 = 4,953820 \%$$

Berdasarkan perolehan hasil pengujian kelembaban agregat halus didapatkan hasil uji sebanyak 3 kali pengujian diperoleh masing-masing sebesar 4,82%; 4,90%; dan 4,95%. Hasil dari ketiga pengujian tersebut memiliki selisih lebih kurang dari 0,1% dari masing-masing pengujian. Pengujian kelembaban pasir ini menggunakan acuan pada ASTM C 566 - 97 dimana, persyaratan nilai pengujian tidak boleh lebih dari 0,79% dari masing-masing pengujian. Sehingga hasil pada pengujian ini dapat memenuhi persyaratan ASTM C 566 - 97.

4.3.3 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar dilakukan lima kali pengujian yaitu analisa saringan kerikil, berat jenis kerikil, berat volume kerikil, air resapan kerikil, dan kelembaban kerikil.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Pengujian Analisa Saringan Kerikil

ANALISA SARINGAN KERIKIL						
Saringan Nomor	mm	Berat Saringan	Berat Kerikil Tertinggal		% Kumulatif	
			Gram	%	Tinggal	Lolos
3/4"	19	555.2	0	0	0	100
3/8"	9.5	452	2380.5	47.55103671	47.55104	52.44896
4	4.75	426.8	2525.8	50.45343774	98.00447	1.995526
8	2.36	419.1	67.4	1.34633055	99.35081	0.649195
16	1.18	405.9	8.4	0.167791938	99.5186	0.481403
Pan	0	355.2	24.1	0.48140306	100	0
Jumlah		2614.2	5006.2	100	444.4249	155.5751

Sumber: ASTM C 33 - 03

Perhitungan berat kerikil tertinggal dalam % yaitu :

$$\text{Berat Kerikil Tertinggal Nomor } 3/4'' = \frac{0}{5006,2} \cdot 100 = 0 \%$$

$$\text{Berat Kerikil Tertinggal Nomor } 3/8'' = \frac{2380,5}{5006,2} \cdot 100 = 47,5510 \%$$

$$\text{Berat Kerikil Tertinggal Nomor } 4 = \frac{2525,8}{5006,2} \cdot 100 = 50,4534 \%$$

$$\text{Berat Kerikil Tertinggal Nomor } 8 = \frac{67,4}{5006,2} \cdot 100 = 1,3463 \%$$

$$\text{Berat Kerikil Tertinggal Nomor } 16 = \frac{8,4}{5006,2} \cdot 100 = 0,1677 \%$$

$$\text{Berat Kerikil Tertinggal Pann} = \frac{24,1}{5006,2} \cdot 100 = 0,4814 \%$$

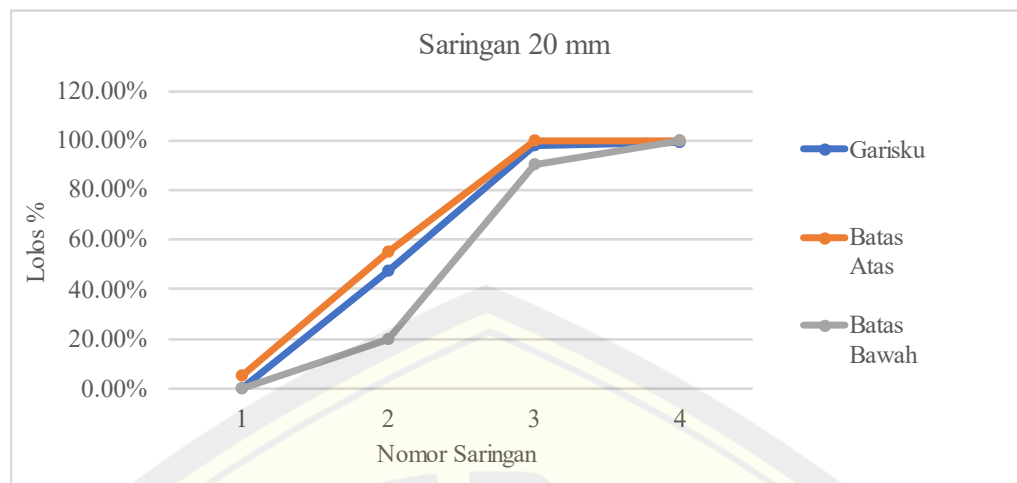
Berdasarkan persamaan 2.8 diperoleh perhitungan modulus halus yaitu :

$$\text{Modulus Halus} = \frac{444,4249}{100} = 3,44$$

Tabel 4.10 Batas Gradasi Kerikil

Batas Gradasi Kerikil						
Lolos 10mm		Lolos 20mm		Lolos 30mm		
Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	
0%	0%	100%	100%	100%	100%	
100%	85%	100%	90%	100%	90%	
70%	40%	55%	20%	70%	30%	
5%	0%	5%	0%	15%	0%	

Sumber: ASTM C 33 - 03



Gambar 4.7 Grafik Kerikil Ukuran 20 mm

Berdasarkan perolehan hasil pengujian analisa saringan agregat kasar didapatkan kerikil dengan klasifikasi masuk pada jenis agregat ukuran 20 mm. Pengujian ini menggunakan acuan peraturan ASTM C 136 – 01 dimana, pada peraturan tersebut menyatakan bahwa ukuran kerikil yang sesuai yaitu tidak lebih dari lolos saringan 50 mm (ukuran kerikil tidak lebih dari 50 mm). Sehingga pengujian analisa saringan kerikil sesuai dengan persyaratan ASTM C 136 – 01 dengan ukuran agregat sebesar 20 mm.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Pengujian Berat Jenis Kerikil

BERAT JENIS KERIKIL			
Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Kerikil di Udara (W1)	3000	3000	3000
Berat Kerikil di Air (W2)	1841	1850	1861
Berat Jenis Kerikil (BJ)	2.588438309	2.608696	2.633889
Rata-rata	2.610341113		

Sumber: ASTM C 127-07

Berdasarkan persamaan 2.5 diperoleh perhitungan dibawah ini.

$$BJ\ 1 = \frac{3000}{(3000 + 1841) - 1841} = 2,58\ gram$$

$$BJ\ 2 = \frac{3000}{(3000 + 1850) - 1850} = 2,60\ gram$$

$$BJ\ 1 = \frac{3000}{(3000 + 1861) - 1861} = 2,63\ gram$$

Berdasarkan perolehan hasil pengujian berat jenis agregat kasar didapatkan hasil uji sebanyak 3 kali pengujian diperoleh masing-masing sebesar 2.58 gram; 2,60 gram; dan 2,63 gram. Hasil dari ketiga pengujian tersebut memiliki selisih kurang lebih 0,01 gram dari masing-masing pengujian. Pengujian berat jenis kerikil ini menggunakan acuan pada ASTM C 127-07 dimana, persyaratan nilai pengujian 0 – 0,025 gram dari masing-masing pengujian. Sehingga hasil pada pengujian ini dapat memenuhi persyaratan ASTM C 127-07.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Pengujian Berat Volume Kerikil

Percobaan Nomor	BERAT VOLUME KERIKIL			
	Dengan Rojokan		Tanpa Rojokan	
	1	2	1	2
Berat Silinder (W1)	10100	10100	10100	10100
Berat Silinder (W1) + Kerikil (W2)	33150	33750	31800	31550
Berat Kerikil (W2-W1)	23050	23650	21700	21450
Volume Silinder (V)	15010.03	15010.03	15010.03	15010.03
Berat Volume (BV=W2-W1/V)	1.535639835	1.575613	1.4457	1.429044
Berat Volume Rata-Rata	1.555626		1.437372	
Rata-rata	1.496499			

Sumber: ASTM C 29/C 29M – 97

Berdasarkan persamaan 2.4 diperoleh perhitungan dibawah ini.

$$BV\ 1\ dengan\ rojokan = \frac{33150 - 10100}{15010,03} = 1,53\ gr/cm^3$$

$$BV\ 2\ dengan\ rojokan = \frac{33750 - 10100}{15010,03} = 1,57\ gr/cm^3$$

$$BV\ 1\ tanpa\ rojokan = \frac{31550 - 10100}{15010,03} = 1,44\ gr/cm^3$$

$$BV\ 2\ tanpa\ rojokan = \frac{31800 - 10100}{15010,03} = 1,42\ gr/cm^3$$

Perhitungan volume silinder sudah diketahui 15010,03 cm³ dengan persamaan $V = \pi \cdot r^2 \cdot t$.

Berdasarkan perolehan hasil pengujian berat volume agregat kasar didapatkan 2 hasil uji dengan rojokan masing-masing sebesar $1,53 \text{ gr/cm}^3$ dan $1,57 \text{ gr/cm}^3$. Pengujian dengan rojokan mempunyai selisih sebesar $0,04 \text{ gr/cm}^3$ dari dua percobaan dengan rojokan. Pengujian berat volume kerikil juga dilakukan dengan tanpa rojokan masing-masing diperoleh sebesar $1,44 \text{ gr/cm}^3$ dan $1,42 \text{ gr/cm}^3$ pada selisih 2 pengujian tanpa rojokan berat volume kerikil. Selisih berat volume kerikil tanpa rojokan sebesar $0,02 \text{ gr/cm}^3$. Acuan yang digunakan dalam pengujian ini yaitu ASTM C 29/C 29M – 97 dimana, menyatakan bahwa pada pengujian tanpa rojokan tidak lebih dari $0,04 \text{ gr/cm}^3$ antara dua kali pengujian. Sedangkan pada pengujian dengan rojokan tidak lebih dari $0,085 \text{ gr/cm}^3$ dari dua kali pengujian. Sehingga, pada pengujian berat volume agregat kasar ini telah memenuhi standar dari acuan ASTM C 29/C 29M – 97.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Pengujian Air Resapan Kerikil

AIR RESAPAN KERIKIL			
Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Kerikil SSD (W1)	500	500	500
Berat Kerikil Oven (W2)	490.4	490.6	491.2
Kadar Air Resapan	1.957586	1.916021	1.791531
Rata-rata	1.888379263		

Sumber: ASTM C 127 - 88

Berdasarkan persamaan 2.6 diperoleh perhitungan dibawah ini.

$$\text{Kadar air resapan 1 (\%)} = \frac{500 - 490,4}{490,4} \cdot 100 = 1,95 \%$$

$$\text{Kadar air resapan 2 (\%)} = \frac{500 - 490,6}{490,6} \cdot 100 = 1,91 \%$$

$$\text{Kadar air resapan 3 (\%)} = \frac{500 - 491,2}{491,2} \cdot 100 = 1,79 \%$$

Berdasarkan perolehan hasil pengujian air resapan agregat kasar didapatkan hasil uji dengan rata-rata sebesar 1,88%. Pengujian air resapan kerikil ini dilakukan tiga kali pekerjaan. Acuan dalam pengerjaan nilai air resapan ini adalah dari peraturan ASTM C 127 - 88. Nilai rerata dari air resapan kerikil yaitu 1,88% telah memenuhi persyaratan ASTM C 127 – 88 dimana kurang dari 2%.

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Pengujian Kelembaban Kerikil

KELEMBABAN KERIKIL			
Percobaan Nomor	1	2	3
Berat Kerikil Asli (W1)	500	500	500
Berat Kerikil Oven (W2)	496.5	496.6	496.5
Kelembaban Kerikil	0.704934542	0.684656	0.704935
Rata-rata	0.698174914		

Sumber: ASTM C 556 - 97

Berdasarkan persamaan 2.7 diperoleh perhitungan dibawah ini.

$$\text{Kelembaban Pasir 1 (\%)} = \frac{500 - 496,5}{496,5} \cdot 100 = 0,7049 \%$$

$$\text{Kelembaban Pasir 2 (\%)} = \frac{500 - 496,6}{496,6} \cdot 100 = 0,6846 \%$$

$$\text{Kelembaban Pasir 3 (\%)} = \frac{500 - 496,5}{496,5} \cdot 100 = 0,7049 \%$$

Berdasarkan perolehan hasil pengujian kelembaban agregat kasar didapatkan hasil uji sebanyak 3 kali pengujian diperoleh masing-masing sebesar 0,70%; 0,68%; dan 0,70%. Hasil dari ketiga pengujian tersebut memiliki selisih kurang dari 0,1% dari masing-masing pengujian. Pengujian kelembaban kerikil ini menggunakan acuan pada ASTM C 566 - 97 dimana, persyaratan nilai pengujian tidak boleh lebih dari 0,79% dari masing-masing pengujian. Sehingga hasil pada pengujian ini dapat memenuhi persyaratan ASTM C 566 - 97.

4.4 Mix Design

Mix design merupakan kegiatan pencampuran bahan untuk menentukan besar jumlah suatu material yang dibutuhkan dalam beton berukuran yang direncanakan. Penelitian ini menggunakan benda uji dengan ukuran 15 x 30 cm.

oleh karena itu, berdasarkan perhitungan mix design yang dilakukan diperoleh proporsi sebagai berikut.

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Mix Design

NO.	Uraian	Nilai	
1	Kuat Tekan yang diisyaratkan, pada umur 28 hari ($f'c$)	20	Mpa
2	Devisiasi Standar (s)	-	Mpa
3	Nilai Tambah (m)	-	Mpa
4	Kuat Tekan rata-rata yang direncanakan ($f'c+12$)	32	Mpa
5	Jenis Semen	Tipe I	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
7	Jenis Agregat Halus	Alami	
8	Faktor Air Semen	0.55	
9	Faktor Air Semen Maksimum (tabel 3.4)	0.6	
10	Nilai Slump	60-180	mm
11	Ukuran Maksimum Agregat Kasar	20	mm
12	Kebutuhan Air	204.9	kg/m^3
13	Kebutuhan Semen Portland	372.55	kg/m^3
14	Kebutuhan Semen Portland Min (tabel 3.9)	275	kg/m^3
15	Penyesuaian Jumlah Air atau FAS	-	
16	Daerah Gradasi Agregat Halus	Zona 2	
17	Persen Berat Agregat Halus Terhadap Campuran	42.5	%
18	Berat Jenis Agregat Campuran	2.55	
19	Berat Jenis Beton	2299.00	
20	Kebutuhan Agregat Total	1721.55	
21	Kebutuhan Agregat Halus	731.66	
22	Kebutuhan Agregat Kasar	989.89	

Sumber: Perhitungan Mix Design Beton yang menggunakan Abu Vulkanik Semeru sebagai Substitusi Parsial Semen melalui Data Kuantitatif Universitas Jember 2023

Tabel 4.16 Kebutuhan Material dalam Mix Design

Kebutuhan Material								
Kode	A. V. Semeru (%)	Semen (%)	Benda Uji	Abu Vulkanik Semeru (kg)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (l)
G1	0%	100%	5	0.00	2.81	4.49	6.22	1.54
G2	5%	95%	5	0.14	2.67	4.49	6.22	1.54
G3	10%	90%	5	0.28	2.53	4.49	6.22	1.54

Kebutuhan Material								
Kode	A. V. Semeru (%)	Semen (%)	Benda Uji	Abu Vulkanik Semeru (kg)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (l)
G4	15%	85%	5	0.42	2.39	4.49	6.22	1.54
G5	20%	80%	5	0.56	2.25	4.49	6.22	1.54
G6	25%	75%	5	0.70	2.11	4.49	6.22	1.54
G7	30%	70%	5	0.84	1.97	4.49	6.22	1.54
G8	35%	65%	5	0.98	1.83	4.49	6.22	1.54
G9	40%	60%	5	1.13	1.69	4.49	6.22	1.54

Sumber: Perhitungan Mix Design Beton yang menggunakan Abu Vulkanik

Semeru sebagai Substitusi Parsial Semen Universitas Jember 2023

Berdasarkan tabel 4.15 dari hasil perhitungan mix design. Kebutuhan material agregat halus beton setiap satu silinder ukuran 15 x 30 cm sebesar 4,49 kg. agregat kasar diperlukan sebesar 6,22 kg. Kebutuhan semen dalam setiap silinder sebesar 3,34 kg, dan kebutuhan air dalam pencampuran beton sebesar 1,54 liter. Kebutuhan abu vulkanik Semeru dihitung dengan mengalikan berat semen dengan variasi dari abu vulkanik yang ditentukan.

Penentuan berat kg abu vulkanik dan semen ditentukan oleh berat volume pada abu vulkanik dan semen. Rerata berat volume abu vulkanik dan semen masing-masing yaitu $1,391 \text{ gr/cm}^3$ dan $1,172 \text{ gr/cm}^3$. Perhitungan berat semen yang dibutuhkan yaitu :

Semen = koreksi safety factor .kebutuhan semen portland

$$\text{Semen} = (1,2) \cdot (372,55) = 447,05 \text{ m}^3$$

*Proporsi Semen = Volume Silinder 15x30 cm * Berat Semen*

$$\text{Proporsi Semen} = 0,0052988 \cdot 447,05 = 2,37 \text{ kg}$$

Penelitian ini menggunakan abu vulkanik sebagai substitusi parsial semen, sehingga diperoleh perhitungan menjadi :

$$\text{Proporsi Semen} = 2,37 \frac{1,391}{1,172} = 2,81 \text{ kg}$$

Jadi, proporsi semen yang dibutuhkan dalam satu cetakan silinder ukuran 15x30 cm sebanyak 2,81 kg. Proporsi abu vulkanik tiap variasi dihitung dengan mengalikan berat proporsi semen dengan jumlah persentase yang ditentukan.

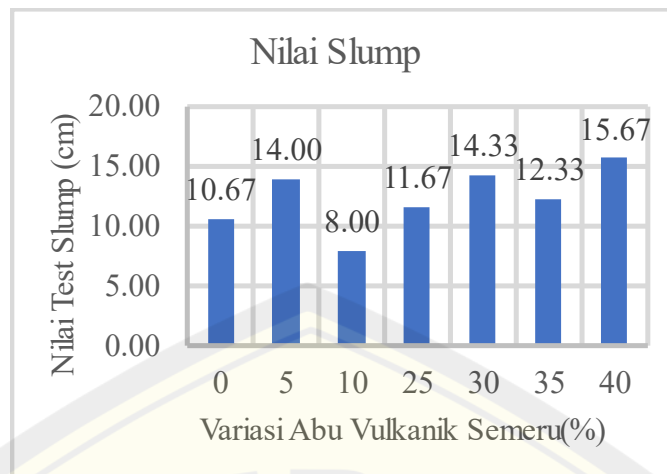
4.5 Slump Test

Kegiatan uji slump test dilakukan sebelum pemasangan bekisting. Pengujian slump test diperoleh nilai 8 sampai dengan 16 cm. Semakin tinggi nilai slump maka, nilai kuat tekan beton semakin turun. Akan tetapi nilai slump 8 sampai 16 cm telah memenuhi persyaratan nilai slump yaitu 6 sampai 18 cm.

Tabel 4.17 Hasil Slump Test

No.	Kode	Nilai Slump (cm)	Rerata (cm)
1	G N	13	
2	G N	10	10,67
3	G N	9	
6	G 5	14	
7	G 5	16	14
8	G 5	12	
11	G 10	9	
12	G 10	7	8
13	G 10	8	
16	G 15	15	
17	G 15	17	16
18	G 15	16	
21	G 20	17	
22	G 20	15	15,33
23	G 20	14	
26	G 25	13	
27	G 25	12	11,67
28	G 25	10	
31	G 30	17	
32	G 30	15	14,33
33	G 30	11	
36	G 35	14	
37	G 35	12	12,33
38	G 35	11	
41	G 40	16	
42	G 40	17	14,4
43	G 40	14	

Sumber: Pengujian Laboratorium Data Kuantitatif Universitas Jember 2023



Gambar 4.8 Grafik Slump Test (cm)

Berdasarkan tabel 4.17 dan gambar 4.8 diperoleh rerata nilai slump test yang bervariasi, variasi tersebut disebabkan karena tidak dilakukan penetapan nilai slump (kebebasan nilai slump). Kebebasan nilai slump dilakukan, karena penambahan abu vulkanik yang juga membutuhkan air yang lebih untuk didapatkan workabilitas atau kekentalan dalam pengadukan campuran beton. Pada penambahan abu vulkanik sebanyak 10% terhadap berat semen diperoleh nilai slump yang rendah (8 cm). Hasil kuat tekan rerata beton pada gambar 4.9, diperoleh nilai kuat tekan tertinggi pada variasi 10%.

4.6 Hasil Uji Karakteristik Mekanik Beton

Pengujian karakteristik mekanik beton meliputi uji kuat tekan beton, uji kuat belah tarik beton, dan uji modulus elastisitas beton.

4.6.1 Hasil Uji Kuat Tekan Beton

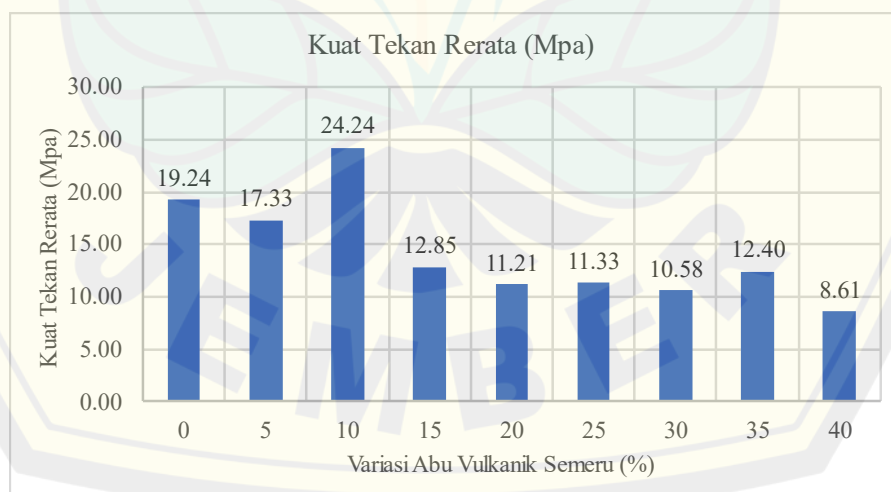
Proses kegiatan perendaman pada beton dilakukan selama 7 hari. Ketika beton sudah pada umur ke 28 hari dilakukan pengujian kuat tekan. Benda uji yang digunakan kuat tekan berukuran 15 x 30 cm. Pengujian kuat tekan beton dilakukan sebanyak 45 benda uji dengan masing-masing 5 benda uji setiap variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40%.

Tabel 4.18 Hasil Uji Kuat Tekan Beton

No.	Kode	Abu Vulkanik	Massa	Luas	Kuat Tekan	Kuat Tekan
		Semeru		Benda Uji		Rerata
		(%)	(kg)	(cm ²)	(Mpa)	(Mpa)
1	G N	0	12.35		20.89	
2	G N	0	12.4		15.29	
3	G N	0	12.23	176.6	19.82	19.24
4	G N	0	12.35		23.78	
5	G N	0	12.56		16.42	
6	G 5	5	12.29		15.86	
7	G 5	5	12.38		15.86	
8	G 5	5	12.46	176.6	18.12	17.33
9	G 5	5	12.17		16.42	
10	G 5	5	12.42		20.39	
11	G 10	10	12.61		22.65	
12	G 10	10	12.47		23.78	
13	G 10	10	12.43	176.6	22.65	24.24
14	G 10	10	12.69		27.18	
15	G 10	10	12.61		24.92	
16	G 15	15	12.39		11.33	
17	G 15	15	12.5		12.74	
18	G 15	15	12.2	176.6	15.29	12.85
19	G 15	15	12.13		13.02	
20	G 15	15	12.4		11.89	
21	G 20	20	12.16		10.76	
22	G 20	20	12.42		14.72	
23	G 20	20	12.52	176.6	11.33	11.21
24	G 20	20	12.35		9.06	
25	G 20	20	12.28		10.19	
26	G 25	25	12.45		7.36	
27	G 25	25	12.34		9.63	
28	G 25	25	12.43	176.6	15.29	11.33
29	G 25	25	12.25		10.76	

No.	Kode	Abu Vulkanik	Massa	Luas	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata
		Semeru (%)		Benda Uji (cm^2)		
30	G 25	25	11.98		13.59	
31	G 30	30	12.77		10.76	
32	G 30	30	12.57		8.83	
33	G 30	30	12.68	176.6	11.33	10.58
34	G 30	30	12.49		11.21	
35	G 30	30	12.23		10.76	
36	G 35	35	12.3		10.76	
37	G 35	35	12.43		11.89	
38	G 35	35	11.98	176.6	13.59	12,40
39	G 35	35	12.07		12.46	
40	G 35	35	12.31		13.31	
41	G 40	40	12.12		5.10	
42	G 40	40	12.33		7.93	
43	G 40	40	12.57	176.6	11.33	10.89
44	G 40	40	12.13		11.33	
45	G 40	40	12.09		7.36	

Sumber: Pengujian Laboratorium Data Kuantitatif Universitas Jember 2023



Gambar 4.9 Hasil Kuat Tekan Rerata Beton (Mpa)

Berdasarkan tabel 4.18 dan gambar 4.9 yang merupakan hasil dari pengujian kuat tekan benda uji, diperoleh titik optimum kuat tekan beton pada variasi 10%. Kuat tekan rerata yang paling tinggi diperoleh pada titik 10% variasi abu vulkanik terhadap berat semen. Benda uji dengan variasi 10% diperoleh kuat tekan sebesar 24,24 Mpa, dimana hasil tersebut melebihi kuat tekan beton yang direncanakan yaitu 20 Mpa. Hasil tersebut juga memenuhi pernyataan bahwa penambahan abu vulkanik mampu menambah nilai kuat tekan rencana pada titik variasi abu vulkanik maksimal pada 35% terhadap berat semen sebagai substitusi parsial. Gambar juga menunjukkan bahwa setelah pada campuran abu vulkanik 35% nilai kuat tekan beton menurun jauh.

Pengujian kuat tekan beton terjadi peningkatan pada variasi 10% dikarenakan nilai slump yang rendah. Semakin rendah nilai slump maka, semakin tinggi nilai kuat tekan pada beton (Fadli M. Van Gobel, 2017).

Pengujian kuat tekan beton juga dilakukan analisis menggunakan aplikasi SPSS ANOVA pada tabel 4.18 yaitu.

Tabel 4.19 Analisis Linear *Model Summary*

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.781 ^a	0.611	0.555	3.35719

a. Predictors: (Constant), Variasi Abu Vulkanik Semeru

Sumber: Aplikasi SPSS

Tabel 4.20 Analisis data ANOVA

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	123.697	1	123.697	10.975	.013 ^b
	Residual	78.895	7	11.271		
	Total	202.592	8			

a. Dependent Variable: Kuat Tekan Beton

ANOVA ^a					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
b. Predictors: (Constant), Variasi Abu Vulkanik Semeru					

Sumber: Aplikasi SPSS

Tabel 4.21 Range interval *R Square* dengan tingkat hubungan

Interval <i>R Square</i>	Tingkat Hubungan
0,8-1,00	Sangat Kuat
0,6-0,79	Kuat
0,4-0,59	Sedang
0,2-0,39	Rendah
0,0-0,19	Sangat Rendah

Sumber: Sugiyono (2014)

Berdasarkan tabel 4.19 pada pengujian analisis regresi linear diperoleh nilai *R Square* sebesar 0,611 atau 61,1% dimana, nilai tersebut menjelaskan bahwa variasi abu vulkanik terhadap kuat tekan beton memiliki hubungan yang kuat (Sugiyono, 2014). Pada tabel 4.20 pada pengujian analisis ANOVA diperoleh juga nilai *F* hitung = 10,975 dengan tingkat signifikan sebesar 0,013. Nilai signifikan tersebut kurang dari 0,05 maka, asumsi H_0 dapat diterima dan H_1 tidak dapat diterima.

Berdasarkan nilai *F* hitung diperoleh sebesar 10,975 dimana nilai tersebut lebih besar daripada nilai *F* tabel. Nilai *F* tabel diperoleh dari jumlah variabel *independent* atau variabel bebas untuk *df*₁ dan pengurangan jumlah variasi dari abu vulkanik dengan variabel *independent* untuk nilai *df*₂. Sehingga diperoleh *F* tabel sebesar 5,317. Oleh karena itu, penambahan variasi abu vulkanik semeru memiliki pengaruh terhadap nilai kuat tekan pada beton.

Perhitungan besar nilai kuat tekan pada beton dapat diperoleh berdasarkan persamaan 2.1 yaitu.

$$f'c = \frac{P}{A}$$

$$f'c_{GN 1} = \frac{369}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 20,89 \text{ Mpa}$$

4.6.2 Hasil Uji Kuat Belah Tarik Beton

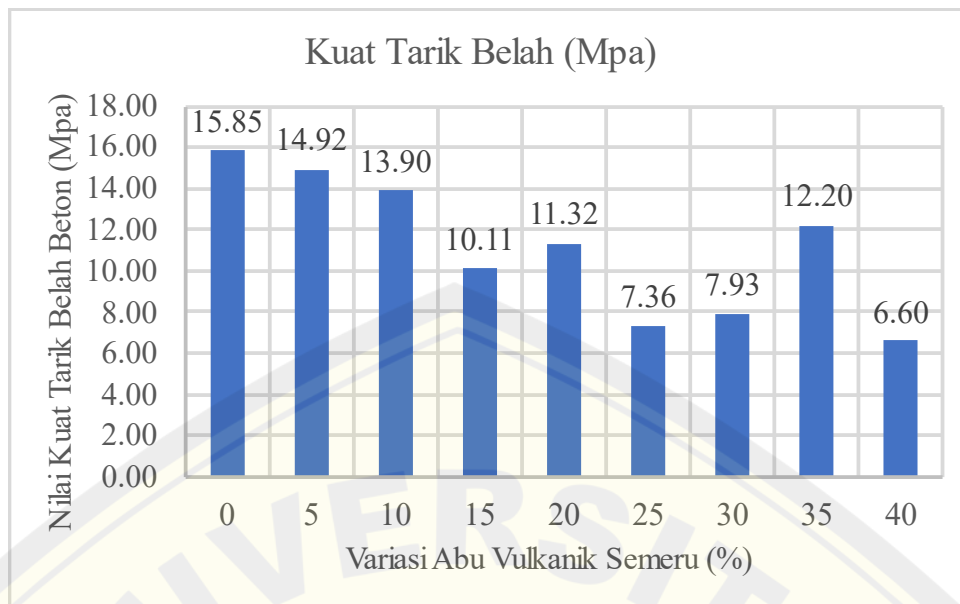
Pengujian kuat belah tarik beton juga dilakukan pada beton umur 28 hari. Benda uji juga berukuran 15 x 30 cm. Nilai kuat belah tarik beton pada umumnya berkisar 9% sampai dengan 15% dari nilai kuat tekan beton.

Tabel 4.22 Hasil Uji Kuat Belah Tarik Beton

No.	Kode	Abu Vulkanik	Massa	Luas	Tarik Belah	Tarik Belah Rerata
		Semeru (%)	(kg)	Benda Uji (cm^2)		
1	G N	0	12.29		16.99	
2	G N	0	12.11		15.57	
3	G N	0	12.71	70.65	15.43	15.85279547
4	G N	0	12.42		17.13	
5	G N	0	12.14		14.15	
6	G 5	5	12.42		15.57	
7	G 5	5	12.4		13.73	
8	G 5	5	12.16	70.65	16.99	14.91861288
9	G 5	5	12.61		14.30	
10	G 5	5	12.33		14.01	
11	G 10	10	12.52		14.01	
12	G 10	10	12.19		13.87	
13	G 10	10	12.31	70.65	15.43	13.8995046
14	G 10	10	12.4		12.03	
15	G 10	10	12.69		14.15	
16	G 15	15	12.38		11.32	
17	G 15	15	12.35		11.18	
18	G 15	15	12.4	70.65	8.49	10.106157
19	G 15	15	12.52		8.21	
20	G 15	15	12.16		11.32	
21	G 20	20	12.53		9.91	
22	G 20	20	12.41	70.65	9.91	11.323425
23	G 20	20	12.26		11.32	

No.	Kode	Abu Vulkanik	Massa	Luas Benda Uji	Tarik Belah	Tarik Belah Rerata
		Semeru (%)				
24	G 20	20	12.71		11.32	
25	G 20	20	12.32		14.15	
26	G 25	25	12.52		8.49	
27	G 25	25	12.24		8.49	
28	G 25	25	12.38	70.65	5.66	7.360226
29	G 25	25	12.14		5.66	
30	G 25	25	12.53		8.49	
31	G 30	30	12.26		9.20	
32	G 30	30	12.2		6.94	
33	G 30	30	12.23	70.65	6.37	7.926397735
34	G 30	30	12.49		8.35	
35	G 30	30	12.45		8.78	
36	G 35	35	12.22		11.18	
37	G 35	35	12.49		13.31	
38	G 35	35	12.44	70.65	11.32	12.200991
39	G 35	35	12.34		13.87	
40	G 35	35	12.53		11.32	
41	G 40	40	12.6		6.23	
42	G 40	40	12.15		7.08	
43	G 40	40	12.35	70.65	6.37	6.595895258
44	G 40	40	12.22		6.23	
45	G 40	40	12.38		7.08	

Sumber: Pengujian Laboratorium Data Kuantitatif Universitas Jember 2023



Gambar 4.10 Hasil Kuat Belah Tarik Rerata Beton (Mpa)

Berdasarkan tabel 4.22 dan gambar 4.10 mengenai hasil dari perhitungan kuat tarik belah beton diperoleh nilai yang beragam dan tidak diperoleh nilai optimum seperti pada nilai kuat tekan beton. Gambar menunjukkan nilai masing-masing variasi yaitu 15,85 Mpa, 14,91 Mpa, 13,89 Mpa, dan 10,11 Mpa. Pada variasi urutan terkecil nilai kuat tarik belah mengalami penurunan dan kemudian naik dan turun lagi. Nilai kuat belah tarik beton hanya diperoleh sekitar 9% sampai 15% dari nilai kuat tekan beton (Nuklirullah, *et all.* 2022). Akan tetapi, hasil penelitian menggunakan abu vulkanik sebagai substitusi parsial semen diperoleh sekitar 50% hingga 100%. Pada variasi beton normal tanpa penambahan abu vulkanik Semeru diperoleh perbandingan sebesar 80% dari nilai kuat tekan. Perbandingan sebesar 100% dari nilai kuat tekan terjadi pada variasi 20% abu vulkanik Semeru. Penambahan nilai kuat tarik belah disebabkan karena abu vulkanik Semeru memiliki kandungan alumina dan silika yang sangat banyak. Selain itu juga terkandung *labradorite* serta *chabazite* yang semakin menyebabkan nilai kuat tarik belah meningkat.

Tabel 4.23 Analisis Linear Model Summary

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.808 ^a	0.652	0.603	2.13174

a. Predictors: (Constant), Variasi Abu Vulkanik Semeru

Sumber: Aplikasi SPSS

Tabel 4.24 Analisis data ANOVA

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	59.700	1	59.700	13.137	.008 ^b
	Residual	31.810	7	4.544		
	Total	91.511	8			

a. Dependent Variable: Kuat Tarik Belah Beton
b. Predictors: (Constant), Variasi Abu Vulkanik Semeru

Sumber: Aplikasi SPSS

Berdasarkan tabel 4.23 pada pengujian analisis regresi linear diperoleh nilai R Square sebesar 0,620 atau 62% dimana, nilai tersebut menjelaskan bahwa variasi abu vulkanik terhadap kuat tarik belah beton memiliki hubungan yang kuat (Sugiyono, 2014). Pada tabel 4.24 pada pengujian analisis ANOVA diperoleh juga nilai F hitung = 13,137 dengan tingkat signifikan sebesar 0,008. Nilai signifikan tersebut kurang dari 0,05 maka, asumsi H₀ dapat diterima dan H₁ tidak dapat diterima.

Berdasarkan nilai F hitung diperoleh sebesar 13,137 dimana nilai tersebut lebih besar daripada nilai F tabel. Nilai F tabel diperoleh dari jumlah variabel *independent* atau variabel bebas untuk df₁ dan pengurangan jumlah variasi dari abu vulkanik dengan variabel *independent* untuk nilai df₂. Sehingga diperoleh F tabel sebesar 5,317. Oleh karena itu, penambahan variasi abu vulkanik semeru memiliki pengaruh terhadap nilai kuat tarik belah pada beton.

Perhitungan besar nilai kuat tarik belah pada beton dapat diperoleh berdasarkan persamaan 2.1 yaitu.

$$f'c = \frac{P}{A}$$

$$f'c_{GN 1} = \frac{120}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 16,99 \text{ Mpa}$$

4.6.3 Hasil Uji Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas pada beton dilakukan Ketika umur 28 hari. Pengujian ini dilakukan sebelum pengujian kuat tekan dilaksanakan.

Tabel 4.25 Hasil Uji Modulus Elastisitas Beton

Beton Normal						
No	Berat (kg)	Luas (cm^2)	Tegangan (kN)	Delta I (micrometer)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Rerata (Mpa)
1	12.35		369	210	19886.78908	
2	12.4		270	175	17461.5709	
3	12.23	176.6	350	200	19805.94847	20873.04447
4	12.35		420	200	23767.13817	
5	12.56		290	140	23443.77574	
5%						
No	Berat (kg)	Luas (cm^2)	Tegangan (kN)	Delta I (micrometer)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Rerata (Mpa)
1	12.29		280	156	20313.79331	
2	12.38		280	189	16766.94051	
3	12.46	176.6	320	170	21303.87735	20392.89545
4	12.17		290	165	19891.68851	
5	12.42		360	172	23688.17758	
10%						
No	Berat (kg)	Luas (cm^2)	Tegangan (kN)	Delta I (micrometer)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Rerata (Mpa)
1	12.61		400	76	59566.76233	
2	12.47		420	65	73129.6559	
3	12.43	176.6	400	75	60360.98582	61925.91159
4	12.69		480	100	54324.88724	
5	12.61		440	80	62247.26663	
15%						
No	Berat (kg)	Luas (cm^2)	Tegangan (kN)	Delta I (micrometer)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Rerata (Mpa)
1	12.39		200	105	21557.49494	
2	12.5		225	88	28937.26238	
3	12.2	176.6	270	92	33214.94465	33831.6445
4	12.13		230	100	26030.67514	

5	12.4		210	40	59417.84542	
20%						

No	Berat (kg)	Luas (cm ²)	Tegangan (kN)	Delta I (micrometer)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Rerata (Mpa)
1	12.16		190	200	10751.8006	
2	12.42		260	80	36782.47574	
3	12.52	176.6	200	140	16168.1212	17685.43719
4	12.35		160	200	9054.147874	
5	12.28		180	130	15670.64055	

25%						
-----	--	--	--	--	--	--

No	Berat (kg)	Luas (cm ²)	Tegangan (kN)	Delta I (micrometer)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Rerata (Mpa)
1	12.45		130	125	11770.39224	
2	12.34		170	120	16033.38686	
3	12.43	176.6	270	200	15278.87454	16960.09146
4	12.25		190	115	18698.78365	
5	11.98		240	118	23019.02002	

30%						
-----	--	--	--	--	--	--

No	Berat (kg)	Luas (cm ²)	Tegangan (kN)	Delta I (micrometer)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Rerata (Mpa)
1	12.77		190	120	17919.66767	
2	12.57		156	100	17655.58835	
3	12.68	176.6	200	130	17411.82283	20061.15605
4	12.49		198	135	16599.2711	
5	12.23		190	70	30719.43029	

35%						
-----	--	--	--	--	--	--

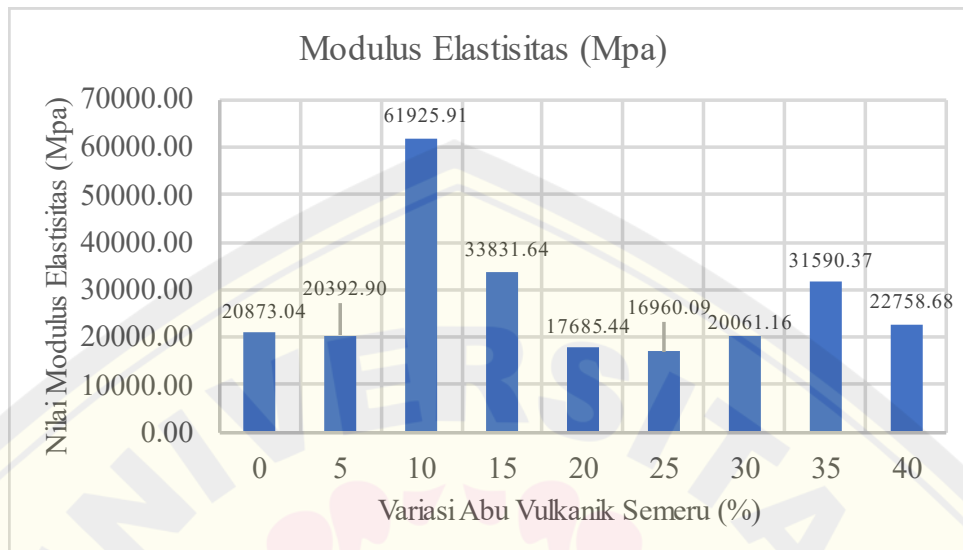
No	Berat (kg)	Luas (cm ²)	Tegangan (kN)	Delta I (micrometer)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Rerata (Mpa)
1	12.3		190	98	21942.4502	
2	12.43		210	110	21606.48924	
3	11.98	176.6	240	100	27162.44362	31590.37408
4	12.07		220	120	20749.08888	
5	12.31		235	40	66491.39845	

40%						
-----	--	--	--	--	--	--

No	Berat (kg)	Luas (cm ²)	Tegangan (kN)	Delta I (micrometer)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Rerata (Mpa)
1	12.12		90	98	10393.7922	
2	12.33	176.6	140	100	15844.75878	22758.68369
3	12.57		200	180	12575.20538	

4	12.13	200	40	56588.42421
5	12.09	130	80	18391.23787

Sumber: Pengujian Laboratorium Data Kuantitatif Universitas Jember 2023



Gambar 4.11 Hasil Modulus Elastisitas Rerata Beton (Mpa)

Berdasarkan tabel 4.25 dan gambar 4.11 diperoleh titik optimum modulus elastisitas beton pada variasi abu vulkanik sebagai substitusi parsial semen 10%. Titik optimum ini memiliki kesamaan terhadap nilai kuat tekan beton. Pengujian modulus elastisitas digunakan untuk mengetahui besar deformasi elastis atau besar kuat nya dalam sebuah konstruksi pembangunan dalam penumpukan beton. Oleh karena itu, semakin besar nilai kuat tekan maka semakin besar pula nilai modulus elastisitas pada beton. Berdasarkan penelitian sebelumnya, peningkatan nilai modulus elastisitas pada beton sama dengan peningkatan kuat tekan pada beton (Leonova, *et all.* 2022).

Tabel 4.26 Analisis Linear Model Summary

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.191 ^a	0.036	-0.101	14940.17636

a. Predictors: (Constant), Variasi Abu Vulkanik Semeru

Sumber: Aplikasi SPSS

Tabel 4.27 Analisis data ANOVA

ANOVA ^a					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	58936911.176	1	58936911.176	0.264	.623 ^b
1 Residual	1562462088.432	7	223208869.776		
Total	1621398999.608	8			

a. Dependent Variable: Modulus Elastisitas beton

b. Predictors: (Constant), Variasi Abu Vulkanik Semeru

Sumber: Aplikasi SPSS

Berdasarkan tabel 4.26 pada pengujian analisis regresi linear diperoleh nilai R Square sebesar 0,036 atau 3,6% dimana, nilai tersebut menjelaskan bahwa variasi abu vulkanik terhadap modulus elastisitas beton memiliki hubungan yang rendah (Sugiyono, 2014). Pada tabel 4.27 pada pengujian analisis ANOVA diperoleh juga nilai F hitung = 0,264 dengan tingkat signifikan sebesar 0,623. Nilai signifikan tersebut lebih besar dari 0,05 maka, asumsi H0 tidak dapat diterima dan H1 dapat diterima.

Berdasarkan nilai F hitung diperoleh sebesar 0,264 dimana nilai tersebut lebih kecil daripada nilai F tabel. Nilai F tabel diperoleh dari jumlah variabel *independent* atau variabel bebas untuk df1 dan pengurangan jumlah variasi dari abu vulkanik dengan variabel *independent* untuk nilai df2. Sehingga diperoleh F tabel sebesar 5,317. Oleh karena itu, penambahan variasi abu vulkanik semeru tidak memiliki pengaruh terhadap nilai modulus elastisitas pada beton.

Perhitungan besar nilai modulus elastisitas dapat dihitung melalui persamaan 2.3 yaitu.

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

$$E_{GN1} = \frac{369 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{210 * 0,001 / 200} = 19886,78 \text{ Mpa}$$

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Beton merupakan campuran agregat kasar dan agregat halus dengan semen dan senyawa air untuk membentuk benda padat yang sangat kuat. Beragam inovasi dilakukan untuk membuat beton memiliki kualitas yang kuat dengan menambah bahan tambahan lainnya pada campuran beton. Abu vulkanik Semeru memiliki kandungan silika dan alumina yang tidak sedikit. Kandungan tersebut dimiliki pada material yang memiliki sifat *pozzolan*. Sifat *pozzolan* merupakan sifat yang mampu mengikat semen dan air pada pembuatan beton sehingga beton dapat mengeras dengan sempurna dan memiliki kualitas yang baik.

Abu vulkanik semeru berfungsi sebagai substitusi parsial semen dengan berbagai variasi persentasenya. Penelitian ini menggunakan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30, 35%, dan 40 % sebagai tolak ukur menentukan kualitas beton. Karakteristik mekanik beton dilakukan pada penelitian ini yang terdiri dari tiga jenis pengujian yaitu uji kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton.

1. Pengujian kuat tekan beton menghasilkan titik optimum pada variasi abu vulkanik semeru sebagai substitusi parsial semen 10%. Pada variasi tersebut diperoleh nilai kuat tekan 24,24 Mpa. Nilai tersebut melebihi nilai kuat tekan beton acuan yaitu 20 Mpa. Perbandingan beton yang menggunakan variasi abu vulkanik semeru sebagai substitusi parsial semen diperoleh mutu yang lebih baik daripada beton normal dengan nilai kuat tekan sebesar 19,24 Mpa. Pada hasil dari analisis SPSS juga didapat hasil hubungan antara variasi abu vulkanik Semeru terhadap kuat tekan beton kuat. Oleh karena itu, penggunaan abu vulkanik semeru sebagai substitusi parsial semen dapat menaikkan nilai kuat tekan pada beton dengan variasi sebesar 10%.
2. Pengujian kuat tarik belah beton memiliki hubungan yang signifikan dari variasi abu vulkanik Semeru. Pada analisis ANOVA dan regresi menunjukkan bahwa penambahan variasi abu vulkanik Semeru memiliki hubungan yang signifikan terhadap kuat tarik belah pada beton. Hasil uji kuat tarik belah beton

juga menunjukkan perbandingan sebesar 50% hingga 100% dari nilai kuat tekan beton. Oleh karena itu, penambahan variasi abu vulkanik Semeru juga dapat meningkatkan kuat tarik belah pada beton.

3. Pengujian modulus elastisitas beton memperoleh titik optimum pada variasi abu vulkanik semeru sebagai substitusi parsial semen 10%. Pada variasi tersebut diperoleh nilai modulus elastisitas sebesar 61925,91 Mpa. Pengujian modulus elastisitas ini berbanding lurus dengan kuat tekan beton. Semakin besar kuat tekan beton yang diperoleh maka, nilai modulus elastisitas beton juga semakin naik. Akan tetapi, pada hasil analisis ANOVA dan regresi penambahan variasi abu vulkanik Semeru tidak memiliki hubungan yang signifikan terhadap modulus elastisitas beton.

5.2 Saran

Saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan nilai slump yang sama dengan kebutuhan fas tetap untuk semua perlakuan.
2. Penelitian selanjutnya bisa memfungsikan abu vulkanik sebagai filler.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, S., dan Hadi, H. 2015. Identifikasi Sifat Kimia Abu Vulkanik dan Upaya Pemulihan Tanaman Karet Terdampak Letusan Gunung Kelud (*Studi Kasus: Ngrangkah Pawon Field, East Java*). *Warta Perkaratan*. 34(1): 19-30.
- Agnes, A. 2005. *Variasi Penambahan Sikament NN dan Serat Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Kristen Imanuel.
- Agustin, D. 2022. *Sifat Mekanik Beton Ringan menggunakan Geopolymer dengan Styrofoam sebagai Substitusi Agregat Kasar*. Jember: Teknik Sipil Universitas Jember.
- Anshory, A., Sumarni, S., dan Roemintoyo. 2015. Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Kelud sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus pada Beton Normal sebagai Pendukung Bahan Ajar Mata Kuliah Teknologi Beton (pada Mahasiswa PTB, JPTK, UNS). *Pendidikan Teknik Bangunan*. 6(6): 1-11.
- ASTM C 127 – 07. Standard Test Method for Density, Relative Density (*Specific Gravity*), and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM C 127 – 88 (Reapproved 2001). Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM C 128 – 01. Standard Test Method for Density, Relative Density (*Specific Gravity*), and Absorption of Fine Aggregate.
- ASTM C 128 – 07a. Standard Test Method for Density, Relative Density (*Specific Gravity*), and Absorption of Fine Aggregate.
- ASTM C 136 – 01. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Course Aggregates.
- ASTM C 188 – 95. Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.
- ASTM C 29/C 29M – 97. Standard Test Method for Bulk Density (“*Unit Weight*”) and Voids in Aggregate.
- ASTM C 33 – 03. Standard Specification for Concrete Aggregates.
- ASTM C 566 – 97 (Reapproved 2004). Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.
- Farikhin, F. 2016. *Analisa Scanning Electron Microscope Komposit Polyester dengan Filler Karbon Aktif dan Karbon Non Aktif*. Surakarta: Teknik Mesin.

- Fatimah, S., *et al.* 2022. How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*. 2(1): 65-76.
- Girsang, F. 2017. *Pengaruh Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton (Penelitian)*. Medan: Teknik Sipil Universitas Mean Area.
- Gobel, F. 2017. Nilai Kuat Tekan Beton pada Slump Beton tertentu. *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi*. 5(1): 22-33.
- Hartanto, T. 2011. Kelebihan dan Kelemahan Penggunaan Beton Bertulang terhadap Kayu pada Konstruksi Kuda-Kuda. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*. 9(13).
- Herullah *et al.* 2017. Analisa Pengaruh Penambahan Variasi Bubuk Andesit Terhadap Karakteristik Kuat Tekan Mortar. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 06(01):1-10.
- Junaidi, A. 2015. Pemanfaatan Silika Gel untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton. *Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*. 4(2): 53-64.
- Karlina, Y., Kusumastuti, E., dan Prasetya, A. 2017. Peran Abu Vulkanik Sebagai Filler dalam Sintesis PEM Berbahan Dasar Kitosan. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 6(1): 77-83.
- Kusumastuti, E. 2013. Sintesis Geopolimer Berbahan Abu Vulkanik Dengan Penambahan Alumunium Hidroksida sebagai Pengatur Rasio Silika dan Alumina. *Jurnal Sain dan Teknologi SainteknoL*. 11(1): 45-56.
- Leonova, *et al.* 2021. Hubungan Antara Kuat Tekan dengan Modulus Elastisitas terhadap Usia Beton untuk Berbagai Variasi Kadar *Superplasticizer*. *Magister Teknik Sipil UNTAN*. 21(1): 1-6.
- Majalah Ilmiah UKRIM Edisi 1. 2013. *Pengaruh Abu Vulkanik Gunung Merapi Terhadap Kuat Tekan Beton*. XVIII. 35-44. Yogyakarta.
- Majalah Ilmiah UNSIQ Teras Edisi II. 2019. *Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Abu Vulkanik Sebagai Pengganti Semen*. Desember. Halaman 1-12. Wonosobo.
- Mulyono, T., 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Narka, I., Dibia, I., dan Atmaja, I. 2021. Pengaruh Abu Vulkanis Gunung Agung dan Pupuk Kompos terhadap Beberapa Sifat Tanah dan Hasil Kacang Tunggak (*Vigna unguiculata (L.) Walp.*). *Journal on Agriculture Science*. 11(12): 167-175.

- Nuklirullah, *et al.* 2022. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton dengan Serat Bambu dari Tusuk Gigi Sebagai Bahan Tambah. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*. 11(1): 56-65.
- Pertiwi *et al.* 2011. Perbandingan Penggunaan Pasir Lumajang dengan Pasir Gunung Merapi terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Aplikasi*. 9(2): 13-22.
- Putra, D., dan Widjaja D. 2015. Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan Beton Ringan dengan *Crumb Rubber* dan Pecahan Genteng. *Rekayasa Sipil*. 4(2): 76-88.
- Putro, S., dan Nain, E. 1998. *Pengaruh Serangan Magnesium Sulfat dan Penambahan Fly Ash Terhadap Kuat Desak Beton*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Rahamudin, R., Manalip, H., dan Mondoringin, M. 2016. Pengujian Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Beton Ringan Beragregat Kasar (Batu Apung) dan Abu Sekam Padi sebagai Substitusi Parsial Semen. *Jurnal Sipil Statik*. 4(3): 225-231.
- Regar, R. Sumajouw, M., dan Dapas, Servie. 2014. Nilai Kuat Tarik Belah Beton dengan Variasi Ukuran Dimensi Benda Uji. *Jurnal Sipil Statik*. 2(5): 269-276.
- Reigita, M., dan Agus, A. 2018. Pengaruh Penambahan Serpihan Aluminium Sebagai Bahan Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton. *Widyakala*. 5(1): 38-47.
- Rusyandi, K., Mukodas, J., dan Gunawan, Y. 2012. Perancangan Beton *Self Compacting Concrete* (Beton Memadat Sendiri) Dengan Penambahan *Fly Ash* dan *Structuro*. *Jurnal Konstruksi*. 10(1): 1-11.
- Ryan, M., dan Pratama, K. 2017. Identifikasi Trajektori Debu Vulkanik Letusan Gunung Gamalama dengan *Hysplit* dan Metode RGB pada Citra Satelit Himawari 8. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*. 4(2): 29-35.
- Saputro, M., dan Hepiyanto, R. 2018. Penambahan Serbuk Limbah Batu Kumpang Pada Campuran Beton. *Jurnal CIVILLA*. 3(1): 116-123.
- Seminar Nasional III Teknik Sipil. 2013. *Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Beragregat Kasar Pellet Plastik Polypropylene*. 18-23. Surakarta.
- Setyoningsih, R. 2017. Pengaruh Penambahan dan Penggantian Parsial Semen dengan Abu Vulkanik Terhadap Kuat Tekan SCC. *Kurvatek*. 2(2): 1-10.
- Soebandono, B., Pujianto, A., dan Kurniawan, D. 2013. Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Campuran Limbah Plastik HDPE. *Semesta Teknika*. 16(1): 76-82.

- Soentpiet, B., Wallah, S., dan Manalip, H. 2018. Modulus Elastisitas Beton *Geopolymer* Berbasis *Fly Ash* dari PLTU Amurang. *Jurnal Sipil Statik*. 6(7): 517-526.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 1989. *Semen Portlan*. 03-0349. Jakarta: Manggala Wanabakti.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. 03-2834. Jakarta: Manggala Wanabakti.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. 03-2847. Jakarta: Manggala Wanabakti.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2014. *Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. 03-2491. Jakarta: Manggala Wanabakti.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2015. *Semen Portlan*. 2049. Jakarta: Manggala Wanabakti.
- Sulianti, I., Amiruddin., Shaputra, R., dan Daryoko. 2018. Analisis Pengaruh Besar Butiran Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Forum Mekanika*. 7(1): 1-58.
- Suryani, E., Hikmatullah, Suratman. 2015. Karakteristik Mineralogi dan Fisiko-Kimia Tanah-Tanah dari Abu Vulkanik di Halmahera, Maluku Utara, Indonesia. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 39(2): 85-98.
- Syamsuddin, R., Wicaksono, A., dan M, F. 2011. Pengaruh Air Laut pada Perawatan (*Curing*) Beton Terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi Beton dengan Variasi Faktor Air Semen dan Durasi Perawatan. *Rekayasa Sipil*. 5(2): 68-75.
- Umam, M., Alhidayah, Y., dan Fauziyah, R. 2019. Analisis Material Endapan Vulkan Gunung Semeru Kabupaten Lumajang. Jember: Majalah Pembelajaran Geografi. 13 Juni. Halaman 6-12.
- Wahyuni, E., Triyono, S., dan Suherman. 2012. Penentuan Komposisi Kimia Abu Vulkanik dari Erupsi Gunung Merapi. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 19(2): 150-159.
- Waleleng, J., *et al.* 2020. Pengaruh Substitusi Pozolan Alam terhadap Sifat Fisik dan Kinerja dalam Campuran CTB. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. 10(2): 135-150.
- Wasis., Juwono, A., dan Susilo, A. 2017. Studi Karakteristik Fisik dan Kimiawi Debu Gunung Semeru. *Prosiding Seminar Nasional XII Rekayasa Teknologi*

Industri dan Informasi Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta. 9 Desember 2017. 223-228.

Yudi *et al.* 2007. Karakteristik Semen Segar dan Kualitas Semen Cair Kuda dalam Pengencer Dimitropoulos yang Disuplementasi dengan Fruktosa, Trehalosa dan Rafinosa. Bogor: Media Peternakan. Desember. 163-172.

Yuswanto, S., dan Pramudiyanto. 2015. Pengaruh Penambahan Abu Vulkanik Gunung Kelud Terhadap Kuat Tekan Beton. *Inersia*. 11(1): 95-104.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Mix Design

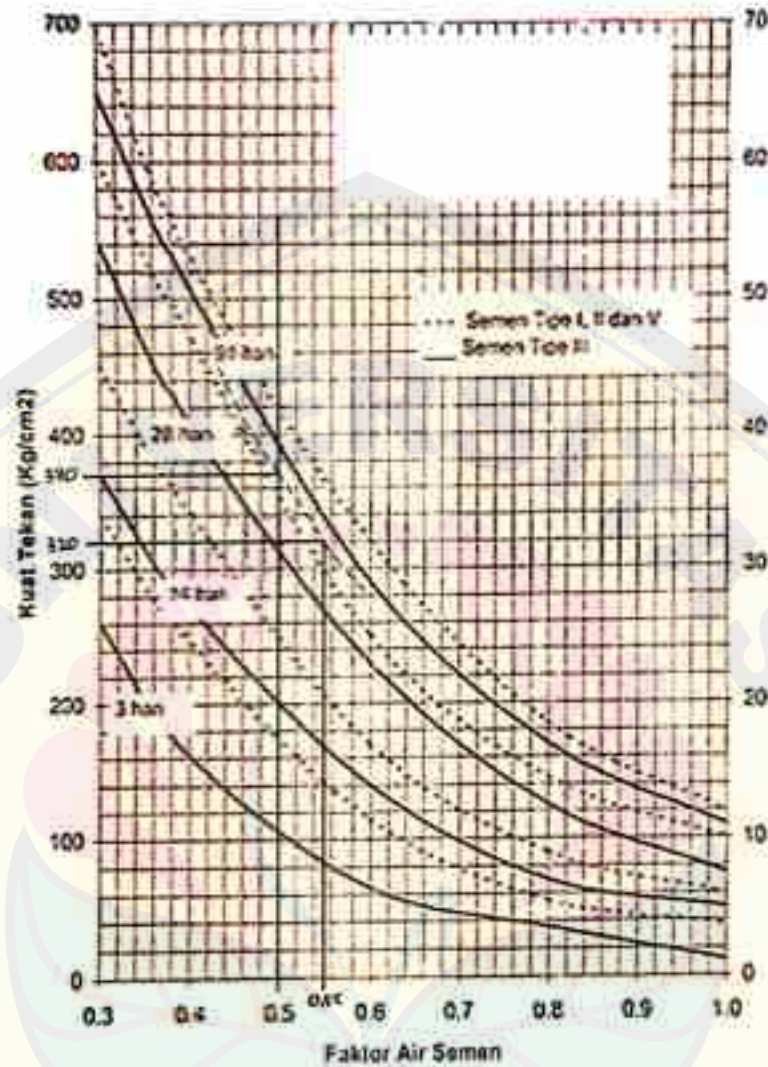
1. Penelitian ini merencanakan nilai kuat tekan sebesar 20 Mpa. Pada penelitian ini tidak dicantumkan nilai standar deviasi dikarenakan tidak melakukan pengujian sebelumnya jadi, nilai tambah atau m juga tidak dicantumkan karena tidak ada nilai standar deviasinya. Berdasarkan SNI 03-2834-2000, nilai kuat tekan rata-rata yang direncanakan memiliki persamaan yaitu kuat tekan rencana ditambahkan dengan 12 maka diperoleh 32 Mpa. Adapun jenis semen yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis semen tipe I (semen biasa). Jenis agregat yang digunakan yaitu batu pecah sebagai agregat kasar dan pasir alami berasal dari Lumajang sebagai agregat halus.
2. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini merupakan silinder 15*30 cm. Berdasarkan jenis semen, penelitian ini menggunakan semen tipe I. Pertama yang harus dilakukan dalam menggambar dalam grafik yaitu menentukan titik absis. Titik absis yang digunakan yaitu nilai FAS 0,5 berdasarkan SNI 03-2834-2000 sebagai garis pertama. Kemudian menarik garis dari kuat tekan sebesar 370 berdasarkan tabel 2 Perkiraan Kuat Tekan Beton (Mpa) dengan Faktor Air Semen 0,50 (SNI 03-2834-2000). Kemudian membuat garis lengkung baru sesuai dengan titik temu dari FAS 0,5 dengan kuat tekan 370. Selanjutnya menarik garis dari kuat tekan rerata yang direncanakan sebesar 320 hingga menyentuk garis lengkung baru yang telah dibuat. Sehingga diperoleh nilai FAS sebesar 0,55.

Tabel 2
Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan
Factor air semen, dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia

Jenis semen ...	Jenis agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk Bentuk uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan Batu pecah	25	31	46	53	Kubus
		30	40	53	60	



Grafik 1



3. Faktor air semen maksimum diperoleh dari tabel 4 dengan keterangan beton didalam ruangan dalam keadaan keliling non korosif sebesar 0,6.

Tabel 4
Persyaratan jumlah semen minimum dan factor air semen maksimum untuk berbagai
Macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi	Jumlah Semen minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinui berhubungan:		
a. air tawar		Lihat Tabel 6
b. air laut		Lihat Tabel 6

4. Nilai slump yang digunakan pada penelitian ini yaitu 60 sampai 180 mm. ukuran agregat kasar maksimum yaitu 20 mm. Kemudian menentukan kebutuhan air dengan persamaan $A = \frac{2}{3}Ah + \frac{1}{3}Ak$. Dimana A = jumlah air yang dibutuhkan ($\frac{\text{liter}}{\text{m}^3}$); Ah = jumlah air yang dibutuhkan berdasarkan agregat halus; dan Ak = jumlah air yang dibutuhkan berdasarkan agregat kasar.

Tabel 3
Perkiraan kadar air bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	---	---	---	---
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Catatan : Koreksi suhu udara :

Untuk suhu di atas 25°C , setiap kenaikan 3°C harus ditambahkan air 5 liter per m^3 adukan beton.

$$A = \frac{2}{3}Ah + \frac{1}{3}Ak$$

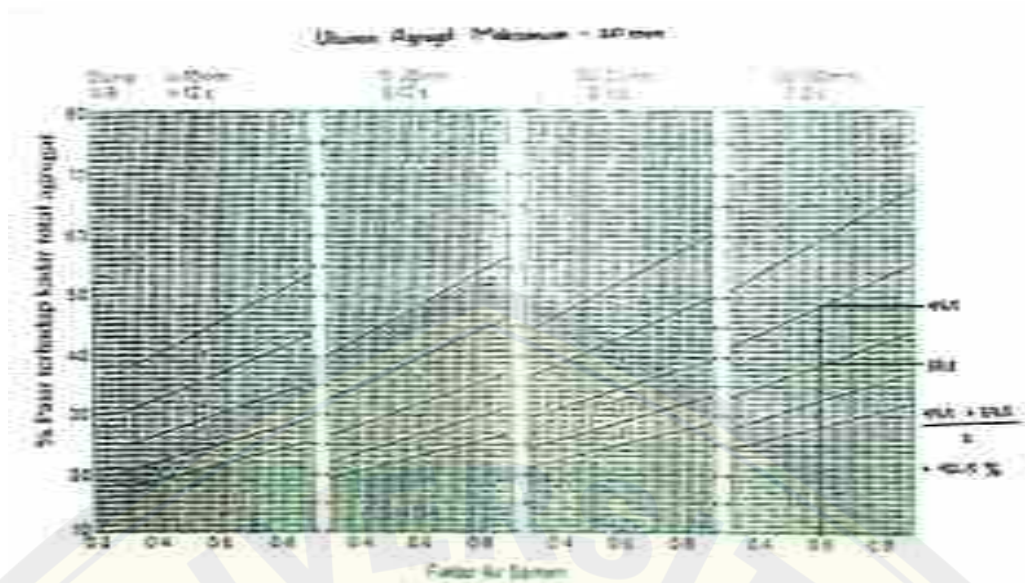
$$A = \frac{2}{3}195 + \frac{1}{3}225 = 204,9 \text{ kg/m}^3$$

5. Kebutuhan semen Portland diperoleh dengan pembagian kebutuhan air dan faktor air semen. $\text{kebutuhan semen portland} = \frac{204,9}{0,55} = 372,55 \text{ kg/m}^3$.
Nilai minimum dari kebutuhan semen portland yaitu 275 kg/m^3 berdasarkan tabel 4.

Tabel 4
Persyaratan jumlah semen minimum dan factor air semen maksimum untuk berbagai
Macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi	Jumlah Semen minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinuu berhubungan:		
a. air tawar		
b. air laut		Lihat Tabel 6

6. Berdasarkan perhitungan pada BAB 4 diperoleh daerah gradasi pasir zona 2. Kemudian persen berat agregat halus terhadap campuran yaitu berdasarkan grafik ukuran agregat maksimum 20 mm dengan nilai slump 60-180 mm. Kemudian menarik garis dari titik 0,6 hingga pada batas atas dan batas bawah pada zona 2. Selanjutnya diperoleh nilai sebesar 47,5 untuk batas atas dan 37,5 untuk batas bawah.

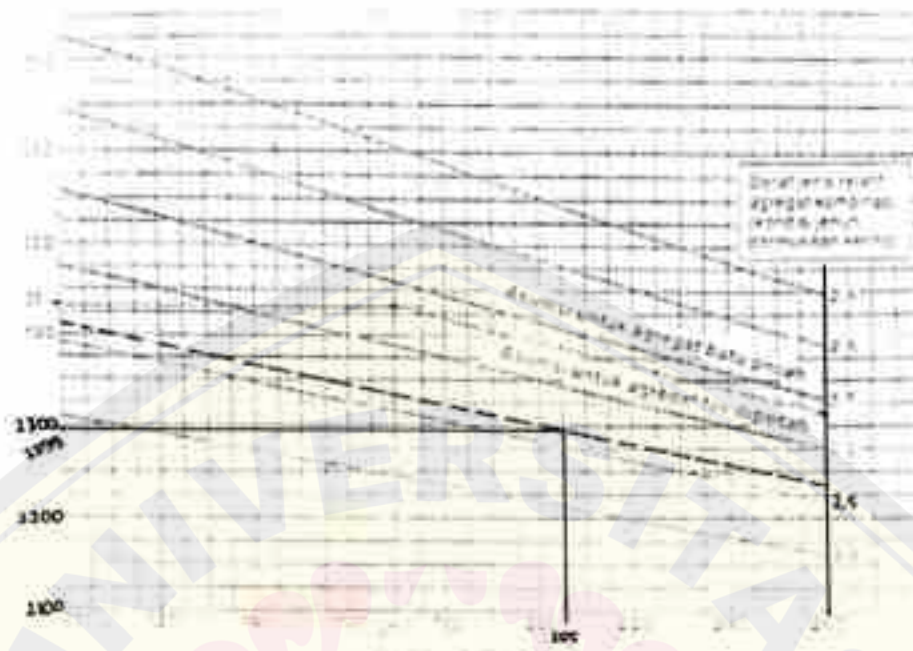


$$\text{Persen berat agregat halus terhadap campuran} = \frac{47,5+37,5}{2} = 42,5 \%$$

7. Perhitungan berat jenis agregat campuran berdasarkan SNI 03-2834-2000 diperoleh persamaan $Bj \text{ camp} = \frac{P}{100} bj \text{ agg halus} + \frac{K}{100} bj \text{ agg kasar}$. Dimana $Bj \text{ camp}$ = berat jenis agregat campuran ; $Bj \text{ agg halus}$ = berat jenis agregat halus ; $Bj \text{ agg kasar}$ = berat jenis agregat kasar ; P = presentase agregat halus terhadap agregat campuran ; dan K = presentase agregat kasar terhadap agregat campuran.

$$Bj \text{ camp} = \frac{42,5}{100} 2,48 + \frac{42,5}{100} 2,61 = 2,55$$

8. Perhitungan berat jenis beton diperoleh dari grafik 16 perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dikerjakan. Pertama dilakukan penatikan garis dari titik 260 keatas. Kemudian membuat garis miring bantu sebesar 2,55 berdasarkan nilai berat jenis agregat campuran. Setelah itu, menarik garis lagi dari titik 205 berdasarkan nilai kebutuhan air hingga menyentuh garis miring bantu 2,55. Dari penarikan garis diperoleh nilai berat jenis beton sebesar $2299 \frac{kg}{m^3}$.



Grafik 46
Perbedaan berat isi beton kasar yang telah selesai didapatkan

9. Berdasarkan perhitungan sebelumnya kemudian dilakukan menghitung kebutuhan agregat total dengan mengurangi nilai berat jenis beton dengan kebutuhan air dan kebutuhan semen portland. $kebutuhan\ agg\ total = 2299 - 204,9 - 371,55 = 1721,55$
10. Perhitungan kebutuhan agregat halus diperoleh perkalian persen berat agregat halus terhadap campuran dengan kebutuhan agregat total. $kebutuhan\ agregat\ halus = 42,5\% * 1721,55 = 731,66$. Sedangkan untuk kebutuhan agregat kasar dilakukan pengurangan kebutuhan agregat total dengan kebutuhan agregat halus. $1721,55 - 731,66 = 989,89$

Lampiran 2. Perhitungan Pembahasan

1. Perhitungan karakteristik mekanik beton yang meliputi kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas.

Kuat Tekan Beton:

$$f'c_{GN\ 2} = \frac{270}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 15,29\ Mpa$$

$$f'c_{GN\ 3} = \frac{350}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 19,82\ Mpa$$

$$f'c_{GN\ 4} = \frac{420}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 23,78\ Mpa$$

$$f'c_{GN\ 5} = \frac{290}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 16,42\ Mpa$$

$$f'c_{G5\ 1} = \frac{280}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 15,86\ Mpa$$

$$f'c_{G5\ 2} = \frac{280}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 15,86\ Mpa$$

$$f'c_{G5\ 3} = \frac{320}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 18,12\ Mpa$$

$$f'c_{G5\ 4} = \frac{290}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 16,42\ Mpa$$

$$f'c_{G5\ 5} = \frac{360}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 20,39\ Mpa$$

$$f'c_{G10\ 1} = \frac{400}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 22,65\ Mpa$$

$$f'c_{G10\ 2} = \frac{420}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 23,78\ Mpa$$

$$f'c_{G10\ 3} = \frac{400}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 22,65\ Mpa$$

$$f'c_{G10\ 4} = \frac{480}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 27,18\ Mpa$$

$$f'c_{G10\ 5} = \frac{440}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 24,92\ Mpa$$

$$f'c_{G15\ 1} = \frac{200}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,33\ Mpa$$

$$f'c_{G15\ 2} = \frac{225}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 12,74\ Mpa$$

$$f'c_{G15\ 3} = \frac{270}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 15,29\ Mpa$$

$$f'c_{G15\ 4} = \frac{230}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 13,02\ Mpa$$

$$f'c G15 5 = \frac{210}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,89 \text{ Mpa}$$

$$f'c G20 1 = \frac{190}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 10,76 \text{ Mpa}$$

$$f'c G20 2 = \frac{260}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 14,72 \text{ Mpa}$$

$$f'c G20 3 = \frac{200}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,33 \text{ Mpa}$$

$$f'c G20 4 = \frac{160}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 9,06 \text{ Mpa}$$

$$f'c G20 5 = \frac{180}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 10,19 \text{ Mpa}$$

$$f'c G25 1 = \frac{130}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 7,36 \text{ Mpa}$$

$$f'c G25 2 = \frac{170}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 9,63 \text{ Mpa}$$

$$f'c G25 3 = \frac{270}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 15,29 \text{ Mpa}$$

$$f'c G25 4 = \frac{190}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 10,76 \text{ Mpa}$$

$$f'c G25 5 = \frac{240}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 13,59 \text{ Mpa}$$

$$f'c G30 1 = \frac{190}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 10,76 \text{ Mpa}$$

$$f'c G30 2 = \frac{156}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 8,83 \text{ Mpa}$$

$$f'c G30 3 = \frac{200}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,33 \text{ Mpa}$$

$$f'c G30 4 = \frac{198}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,21 \text{ Mpa}$$

$$f'c G30 5 = \frac{190}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 10,76 \text{ Mpa}$$

$$f'c G35 1 = \frac{190}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 10,76 \text{ Mpa}$$

$$f'c G35 2 = \frac{210}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,89 \text{ Mpa}$$

$$f'c G35 3 = \frac{240}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 13,59 \text{ Mpa}$$

$$f'c G35 4 = \frac{220}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 12,46 \text{ Mpa}$$

$$f'c G35 5 = \frac{235}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 13,31 \text{ Mpa}$$

$$f'c G40 1 = \frac{90}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 5,10 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G40\ 2} = \frac{140}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 7,93 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G40\ 3} = \frac{200}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,33 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G40\ 4} = \frac{200}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,33 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G40\ 5} = \frac{130}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 7,36 \text{ Mpa}$$

Kuat Tarik Belah Beton:

$$f'c_{GN\ 2} = \frac{110}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 15,57 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{GN\ 3} = \frac{109}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 15,43 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{GN\ 4} = \frac{121}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 17,13 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{GN\ 5} = \frac{100}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 14,15 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G5\ 1} = \frac{110}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 15,57 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G5\ 2} = \frac{97}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 13,73 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G5\ 3} = \frac{120}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 16,99 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G5\ 4} = \frac{101}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 14,30 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G5\ 5} = \frac{99}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 14,01 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G10\ 1} = \frac{99}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 14,01 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G10\ 2} = \frac{98}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 13,87 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G10\ 3} = \frac{109}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 15,43 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G10\ 4} = \frac{85}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 12,03 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G10\ 5} = \frac{100}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 14,15 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G15\ 1} = \frac{80}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,32 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G15\ 2} = \frac{79}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,18 \text{ Mpa}$$

$$f'c G15 3 = \frac{60}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 8,49 \text{ Mpa}$$

$$f'c G15 4 = \frac{58}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 8,21 \text{ Mpa}$$

$$f'c G15 5 = \frac{80}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,32 \text{ Mpa}$$

$$f'c G20 1 = \frac{70}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 9,91 \text{ Mpa}$$

$$f'c G20 2 = \frac{70}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 9,91 \text{ Mpa}$$

$$f'c G20 3 = \frac{80}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,32 \text{ Mpa}$$

$$f'c G20 4 = \frac{80}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,32 \text{ Mpa}$$

$$f'c G20 5 = \frac{100}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 14,15 \text{ Mpa}$$

$$f'c G25 1 = \frac{60}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 8,49 \text{ Mpa}$$

$$f'c G25 2 = \frac{69}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 8,49 \text{ Mpa}$$

$$f'c G25 3 = \frac{98}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 5,66 \text{ Mpa}$$

$$f'c G25 4 = \frac{40}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 5,66 \text{ Mpa}$$

$$f'c G25 5 = \frac{60}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 8,49 \text{ Mpa}$$

$$f'c G30 1 = \frac{65}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 9,20 \text{ Mpa}$$

$$f'c G30 2 = \frac{49}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 6,94 \text{ Mpa}$$

$$f'c G30 3 = \frac{45}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 6,37 \text{ Mpa}$$

$$f'c G30 4 = \frac{59}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 8,35 \text{ Mpa}$$

$$f'c G30 5 = \frac{62}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 8,78 \text{ Mpa}$$

$$f'c G35 1 = \frac{79}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,18 \text{ Mpa}$$

$$f'c G35 2 = \frac{94}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 13,31 \text{ Mpa}$$

$$f'c G35 3 = \frac{80}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,32 \text{ Mpa}$$

$$f'c G35 4 = \frac{98}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 13,87 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G35\ 5} = \frac{80}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 11,32 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G40\ 1} = \frac{44}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 6,23 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G40\ 2} = \frac{50}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 7,08 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G40\ 3} = \frac{45}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 6,37 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G40\ 4} = \frac{44}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 6,23 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{G40\ 5} = \frac{50}{0,5 * \pi * 1,5 * 30} = 7,08 \text{ Mpa}$$

Modulus Elastisitas Beton:

$$E_{GN2} = \frac{270 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{175 * 0,001 / 200} = 17461,57 \text{ Mpa}$$

$$E_{GN3} = \frac{350 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{200 * 0,001 / 200} = 19805,94 \text{ Mpa}$$

$$E_{GN4} = \frac{420 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{200 * 0,001 / 200} = 23767,13 \text{ Mpa}$$

$$E_{GN5} = \frac{290 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{140 * 0,001 / 200} = 23443,77 \text{ Mpa}$$

$$E_{G5\ 1} = \frac{280 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{156 * 0,001 / 200} = 20313,79 \text{ Mpa}$$

$$E_{G5\ 2} = \frac{280 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{189 * 0,001 / 200} = 16766,94 \text{ Mpa}$$

$$E_{G5\ 3} = \frac{320 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{170 * 0,001 / 200} = 21303,87 \text{ Mpa}$$

$$E_{G5\ 4} = \frac{290 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{165 * 0,001 / 200} = 19891,68 \text{ Mpa}$$

$$E_{G5\ 5} = \frac{360 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{172 * 0,001 / 200} = 23688,17 \text{ Mpa}$$

$$E_{G10\ 1} = \frac{400 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{76 * 0,001 / 200} = 59566,76 \text{ Mpa}$$

$$E_{G10\ 2} = \frac{420 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{65 * 0,001 / 200} = 73129,65 \text{ Mpa}$$

$$E_{G10\ 3} = \frac{400 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{75 * 0,001 / 200} = 60360,98 \text{ Mpa}$$

$$E_{G10\ 4} = \frac{480 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{100 * 0,001 / 200} = 54324,88 \text{ Mpa}$$

$$E_{G10\ 5} = \frac{440 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{80 * 0,001 / 200} = 62247,26 \text{ Mpa}$$

$$E_{G15\ 1} = \frac{200 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{105 * 0,001 / 200} = 21557,49 \text{ Mpa}$$

$$E_{G15\ 2} = \frac{225 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{88 * 0,001 / 200} = 28937,26 \text{ Mpa}$$

$$E_{G15\ 3} = \frac{270 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{92 * 0,001 / 200} = 33214,94 \text{ Mpa}$$

$$E_{G15\ 4} = \frac{230 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{100 * 0,001 / 200} = 26030,67 \text{ Mpa}$$

$$E_{G15\ 5} = \frac{210 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{40 * 0,001 / 200} = 59417,84 \text{ Mpa}$$

$$E_{G20\ 1} = \frac{190 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{200 * 0,001 / 200} = 10751,80 \text{ Mpa}$$

$$E_{G20\ 2} = \frac{260 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{80 * 0,001 / 200} = 36782,47 \text{ Mpa}$$

$$E_{G20\ 3} = \frac{200 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{140 * 0,001 / 200} = 16168,12 \text{ Mpa}$$

$$E_{G20\ 4} = \frac{160 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{200 * 0,001 / 200} = 9054,14 \text{ Mpa}$$

$$E_{G20\ 5} = \frac{180 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{130 * 0,001 / 200} = 15670,64 \text{ Mpa}$$

$$E_{G25\ 1} = \frac{130 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{125 * 0,001 / 200} = 11770,39 \text{ Mpa}$$

$$E_{G25\ 2} = \frac{170 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{120 * 0,001 / 200} = 16033,38 \text{ Mpa}$$

$$E_{G25\ 3} = \frac{270 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{200 * 0,001 / 200} = 15278,87 \text{ Mpa}$$

$$E_{G25\ 4} = \frac{190 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{115 * 0,001 / 200} = 18698,78 \text{ Mpa}$$

$$E_{G25\ 5} = \frac{240 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{118 * 0,001 / 200} = 23019,02 \text{ Mpa}$$

$$E_{G30\ 1} = \frac{190 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{120 * 0,001 / 200} = 17919,66 \text{ Mpa}$$

$$E_{G30\ 2} = \frac{156 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{100 * 0,001 / 200} = 17655,58 \text{ Mpa}$$

$$E_{G30\ 3} = \frac{200 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{130 * 0,001 / 200} = 17411,82 \text{ Mpa}$$

$$E_{G30\ 4} = \frac{198 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{135 * 0,001 / 200} = 16599,27 \text{ Mpa}$$

$$E_{G30\ 5} = \frac{190 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{70 * 0,001 / 200} = 30719,43 \text{ Mpa}$$

$$E_{G35\ 1} = \frac{190 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{98 * 0,001 / 200} = 21942,45 \text{ Mpa}$$

$$E_{G35\ 2} = \frac{210 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{110 * 0,001 / 200} = 21606,48 \text{ Mpa}$$

$$E_{G35\ 3} = \frac{240 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{100 * 0,001 / 200} = 27162,44 \text{ Mpa}$$

$$E_{G35\ 4} = \frac{220 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{120 * 0,001 / 200} = 20749,08 \text{ Mpa}$$

$$E_{G35\ 5} = \frac{235 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{40 * 0,001 / 200} = 66491,39 \text{ Mpa}$$

$$E_{G40\ 1} = \frac{90 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{98 * 0,001 / 200} = 10393,79 \text{ Mpa}$$

$$E_{G40\ 2} = \frac{140 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{100 * 0,001 / 200} = 15844,75 \text{ Mpa}$$

$$E_{G40\ 3} = \frac{200 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{180 * 0,001 / 200} = 12575,20 \text{ Mpa}$$

$$E_{G40\ 4} = \frac{200 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{40 * 0,001 / 200} = 56588,42 \text{ Mpa}$$

$$E_{G40\ 5} = \frac{130 * 1000 / 0,25 * \pi * 150^2}{80 * 0,001 / 200} = 18391,23 \text{ Mpa}$$

Lampiran 3. Kegiatan Penelitian di Laboratorium




No	Kegiatan/Lokasi	Dokumentasi
1	Menghitung Berat Volume Kerikil/Laboratorium Struktur, Teknik Sipil, Universitas Jember.	
2	Menghitung Berat Volume Pasir/Laboratorium Struktur, Teknik Sipil, Universitas Jember.	



No	Kegiatan/Lokasi	Dokumentasi
3	Menghitung Berat Volume Semen/Laboratorium Struktur, Teknik Sipil, Universitas Jember.	 A photograph showing a person in a blue uniform using a scale to weigh cement in a laboratory setting. The person is leaning over a scale, and there are several bags of cement in the background.
4	Menghitung Berat Jenis Kerikil/Laboratorium Struktur, Teknik Sipil, Universitas Jember.	 A close-up photograph of a laboratory scale used for weighing aggregate. The scale is a mechanical platform scale with a vertical column and a weighing mechanism.

No	Kegiatan/Lokasi	Dokumentasi
5	Menghitung Analisa Saringan Kerikil/Laboratorium Struktur, Teknik Sipil, Universitas Jember.	
6	Mengayak kerikil /Laboratorium Struktur, Teknik Sipil, Universitas Jember.	

No	Kegiatan/Lokasi	Dokumentasi
7	Mengayak pasir/Laboratorium Struktur, Teknik Sipil, Universitas Jember.	
8	Menghitung kelembaban pasir/Laboratorium Struktur, Teknik Sipil, Universitas Jember.	

No	Kegiatan/Lokasi	Dokumentasi
9	Menghitung kelembaban Kerikil/Laboratorium Struktural, Teknik Sipil, Universitas Jember.	
10	Memasukkan kerikil kedalam oven/Laboratorium Struktural, Teknik Sipil, Universitas Jember.	

No	Kegiatan/Lokasi	Dokumentasi
11	Pengujian Modulus Elastisitas Beton/Laboratorium Struktural, Teknik Sipil, Universitas Jember.	
12	Slump test mix design/Laboratorium Struktural, Teknik Sipil, Universitas Jember.	
13	Pelepasan bekisting/Laboratorium Struktural, Teknik Sipil, Universitas Jember.	

No	Kegiatan/Lokasi	Dokumentasi
14	Pengujian kuat tekan beton/Laboratorium Struktural, Teknik Sipil, Universitas Jember.	
15	Membersihkan saluran air untuk tempat perendaman beton/Laboratorium Struktural, Teknik Sipil, Universitas Jember.	
16	Pengujian kuat tarik belah beton/Laboratorium Struktural, Teknik Sipil, Universitas Jember.	