

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI SEMEN PCC AKTIF : SEMEN PCC
BEKU DAN WAKTU PERENDAMAN TERHADAP SIFAT MEKANIS,
SIFAT FISIS DAN KARAKTERISTIK PADA MORTAR**

(SKRIPSI)

Oleh

Yuyun Savela



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI SEMEN PCC AKTIF : SEMEN PCC BEKU DAN WAKTU PERENDAMAN TERHADAP SIFAT FISIS, SIFAT MEKANIS DAN KARAKTERISTIK PADA MORTAR

Oleh

Yuyun Savela

Mortar adalah campuran yang tersusun atas semen, pasir dan air yang memiliki persentase berbeda. Semen merupakan salah satu komponen dalam campuran pembuatan mortar yang berfungsi sebagai bahan perekat. Senyawa-senyawa kimia dari semen *Portland* adalah tidak stabil, sehingga sangat cenderung untuk bereaksi dengan air. Karena itu apabila semen dibiarkan terbuka, maka semen bisa mengeras atau menjadi beku karena senyawa tersebut bereaksi dengan uap air yang ada di udara. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai proses aktivasi semen PCC beku dengan menambahkan semen PCC aktif sebagai campuran pembuatan mortar. Variasi komposisi semen PCC aktif : semen PCC beku sebesar 100% : 0%, 35% : 65%, 30% : 70%, 25% : 75%, 20% : 80%, 15% : 85% dan 0% : 100%. Mortar dicetak dengan ukuran 5x5x5 cm³, direndam dalam air selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Uji mekanis dilakukan yaitu kuat tekan, uji fisis meliputi uji massa jenis, uji porositas dan uji absorpsi serta karakterisasi mortar semen yaitu XRF dan SEM-EDS. Mortar dengan variasi semen PCC aktif 100% dan 0% semen PCC beku pada umur perendaman 28 hari memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 6,1 MPa, sedangkan mortar semen dengan variasi semen PCC aktif 0% dan 100% semen PCC beku pada waktu perendaman 7 hari memiliki nilai kuat tekan terendah sebesar 1,5 MPa.

Kata Kunci: *semen PCC aktif, semen PCC beku, kuat tekan, massa jenis, porositas, absorpsi, XRF, SEM-EDS.*

ABSTRACT

THE EFFECT OF VARIATIONS IN THE COMPOSITION OF ACTIVE PCC CEMENT: FROZEN PCC CEMENT AND SOAKING TIME ON PHYSICAL PROPERTIES, MECHANICAL PROPERTIES AND CHARACTERISTICS OF MORTAR

By

Yuyun Savela

Mortar is a mixture composed of cement, sand and water that has different percentages. Cement is one of the components in the mortar manufacturing mixture that functions as an adhesive. The chemical compounds of Portland cement are unstable, so it is very likely to react with water. Therefore, if the cement is left open, the cement can harden or become frozen because the compound reacts with water vapor in the air. Therefore, research was conducted on the activation process of frozen PCC cement by adding active PCC cement as a mixture for making mortar. Variation of active PCC cement composition: frozen PCC cement by 100% : 0%, 35% : 65%, 30% : 70%, 25% : 75%, 20% : 80%, 15% : 85% and 0% : 100%. Mortar molded with a size of 5x5x5 cm³, soaked in water for 7 days, 14 days and 28 days. Mechanical tests are carried out, namely compressive strength, physical tests include density tests, porosity tests and absorption tests and characterization of cement mortar, namely XRF and SEM-EDS. Mortar with a variation of 100% active PCC cement and 0% frozen PCC cement at 28 days soaking age has the highest compressive strength value of 6.1 MPa, while cement mortar with 0% active PCC cement variation and 100% frozen PCC cement at 7 days soaking time has the lowest compressive strength value of 1.5 MPa.

Keywords: active PCC cement, frozen PCC cement, compressive strength, density, porosity, absorption, XRF, SEM-EDS.

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI SEMEN PCC AKTIF : SEMEN PCC
BEKU DAN WAKTU PERENDAMAN TERHADAP SIFAT FISIS, SIFAT
MEKANIS DAN KARAKTERISTIK PADA MORTAR**

Oleh

YUYUN SAVELA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Fisika

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI SEMEN
PCC AKTIF : SEMEN PCC BEKU DAN
WAKTU PERENDAMAN TERHADAP SIFAT
FISIS, SIFAT MEKANIS DAN
KARAKTERISTIK PADA MORTAR**

Nama Mahasiswa

Yayun Savela

Nomor Pokok Mahasiswa

1917041072

Jurusan

Fisika

Fakultas

Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Syafrudi S.C.'.

Drs. Syafrudi, M.Si.

NIP. 196108211992031002

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sudibyo'.

Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.

NIP. 19820327015021002

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Gurum'.

Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.

NIP. 198010102005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

Drs. Syafriadi, M.Si.

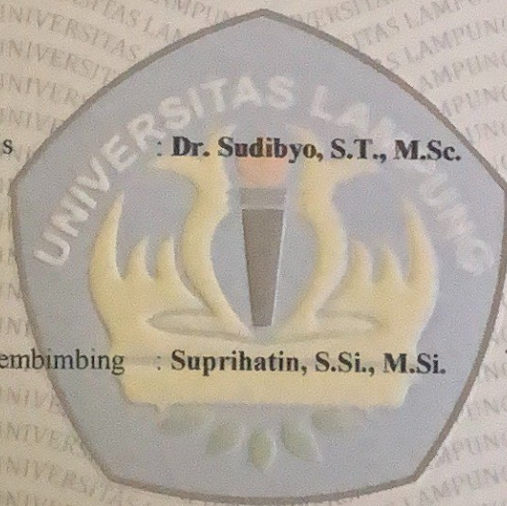
Sekretaris

Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.

Penguji

Bukan Pembimbing

Suprihatin, S.Si., M.Si.



2.

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Mei 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar Pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 06 Mei 2024
Penulis,



Yuyun Savela
NPM. 1917041072

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Yuyun Savela, dilahirkan pada tanggal 18 April 2002 di Waringinsari. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Muhdi dan Ibu Maryati.

Penulis menyelesaikan Pendidikan formal pertama di Taman Kanak-Kanak (TK) Aisiyah Bustanul Athfal Waringinsari pada tahun 2008, Pendidikan Sekolah Dasar (SD) Muhammadiyah Waringinsari Barat pada Tahun 2014 dan Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Sukoharjo pada Tahun 2017, Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 2 Pringsewu pada Tahun 2019.

Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai Anggota Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) pada biro KRT pada tahun 2020-2021. Penulis telah menyelesaikan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN), Tanjung Bintang pada Tahun 2022. Penulis juga telah mengikuti program pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada Tahun 2022 di Desa Nibung, Kecamatan Gunung Pelindung, Lampung Timur.

MOTTO

**“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, Sesungguhnya
Bersama kesulitan ada kemudahan”**

(QS. Al – Insyirah: 5 – 6)

**“Kita dicintai, oleh Tuhan. Bahkan saat kita merasa sendirian atau saat
ingin menyerah, kita tak pernah dibiarkan menyerah. Tak pernah”**

(Syahid Muhammad)

**“Apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirmu dan apa yang
ditakdirkan untukmu tidak akan pernah melewatkanmu”**

(Umar bin Khattab)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan karya kecil ini

kepada

Bapak Tercinta Muhdi, dan Ibu Tercinta Maryati

“Terima kasih untuk segala doá dan usaha yang selalu diberikan demi
keberhasilanku dan tak lupa kakakku yang selalu memberikan semangat dalam
menyelesaikan skripsi ini”

Keluarga Besar & Sahabat Sahabat Terdekat

Pekan-rekan seperjuangan “FISIKA FMIPA UNILA 2019”

Serta Almamater Tercinta

” Universitas Lampung”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi nikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi Semen PCC Aktif : Semen PCC Beku dan Waktu Perendaman terhadap Sifat Mekanis, Sifat Fisis dan Karakteristik pada Mortar”** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya agar lebih sempurna dan dapat memperkaya ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 06 Mei 2024

Yuyun Savela

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberi kesehatan, hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi Semen PCC Aktif : Semen PCC Beku dan Waktu Perendaman terhadap Sifat Mekanis, Sifat Fisis dan Karakteristik pada Mortar”**. yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

Dalam proses penulisan skripsi dapat berjalan dikarenakan terdapat banyak pihak yang membantu. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. selaku Pembimbing Pertama yang telah banyak memberi bimbingan, motivasi, nasihat serta ilmunya.
2. Bapak Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan saran, masukan dan arahan dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Muhammad Amin, S.T. selaku Pembimbing Lapangan yang telah membantu selama proses penelitian ini.
4. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan selama penulisan skripsi.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M. Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan selama masa studi di Jurusan Fisika.

6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Sc. selaku Dekan FMIPA, Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Lampung.
8. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Lampung.
9. Kepala Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan yang telah memfasilitasi penulis selama penelitian berlangsung.
10. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
11. Bapak Badriyadi, Bapak Edi, Teteh Amna dan seluruh staff Jurusan Fisika FMIPA yang telah membantu dalam segala urusan administrasi.
12. Kedua Orang tua, Bapak Muhdi dan Ibu Maryati, Kakak Dedi Saputra, Kakak Indah Oktaria dan Kakak Khusnul Azis atas doa dan dukungan kepada penulis sehingga dapat mengerjakan skripsi dengan lancar.
13. Sahabat Luthfiyah Laila Permata, Silvia Rizki Aulia, Shinta Afidah Yahya, Ati Nuria Rohmah, Alya Hafiz, Putri Ramadhani Arum Sari, Lisana Shidqin 'Aliya, Khairunnisa dan Syaima Camilla, yang telah memberikan bantuan, motivasi, dukungan dan doa kepada penulis selama masa perkuliahan hingga menyelesaikan skripsi ini.
14. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini dan belum bisa disebutkan satu persatu.

Bandar Lampung, 06 Mei 2024

Yuyun Savela
NPM. 1917041072

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
MENGESAHKAN	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
 I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mortar.....	7
2.2 Semen.....	9
2.2.1. <i>Portland Composite Cement (PCC)</i>	10
2.2.2. Semen PCC Beku.....	11
2.2.3. Reaksi Hidrolisis Semen	12
2.3 Agregat.....	13
2.4 Air	14
2.5 Uji dan Karakterisasi.....	15
2.5.1. Kuat Tekan.....	15
2.5.2. Densitas.....	16
2.5.3. Porositas	17
2.5.4. Absorptivitas	17
2.5.5. <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	19
2.5.6. <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)</i>	20

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
3.2 Alat dan Bahan.....	23
3.2.1 Alat Penelitian.....	23
3.2.2 Bahan Penelitian	24
3.3 Prosedur Penelitian	24
3.3.1 Preparasi Bahan	24
3.3.2 Sampel mortar	24
3.3.3 Uji Kuat Tekan.....	25
3.3.4 Uji Densitas, Porositas dan Absorptivitas.....	26
3.3.5 Karakterisasi XRF dan SEM-EDS Sampel Mortar.....	26
3.4 Diagram Alir	27
3.4.1 Diagram Alir Preparasi Bahan	27
3.4.2 Diagram Alir Sampel mortar.....	28
3.4.3 Diagram Alir Uji Mekanis Mortar	30

3.4.4	Diagram Alir Uji Fisis Mortar.....	31
3.4.5	Diagram Alir Karakterisasi XRF dan SEM-EDS Sampel Mortar	32
3.4.6	Diagram Alir Penelitian	33

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pengaruh Variasi Komposisi Semen PCC Aktif : Semen PCC Beku dan Waktu Perendaman terhadap Sifat Mekanis pada Mortar	34
4.1.1.	Hasil Uji Kuat Tekan Mortar	34
4.2	Pengaruh Variasi Komposisi Semen PCC Aktif : Semen PCC Beku dan Waktu Perendaman terhadap Sifat Fisis pada Mortar.....	36
4.2.1.	Hasil Uji Densitas Mortar	36
4.2.2.	Hasil Uji Porositas Mortar	37
4.2.3.	Hasil Uji Absorptivitas Mortar	39
4.3	Pengaruh Variasi Komposisi Semen PCC Aktif : Semen PCC Beku dan Waktu Perendaman terhadap Karakteristik pada Mortar.....	40
4.3.1.	Hasil Karakterisasi Bahan Baku Mortar menggunakan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	40
4.3.2.	Hasil Karakterisasi Sampel Mortar menggunakan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	41
4.3.3.	Hasil Karakterisasi Sampel Mortar 0A/100B menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	42
4.3.3.	Hasil Karakterisasi Sampel Mortar 15A/85B menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	44
4.3.3.	Hasil Karakterisasi Sampel Mortar 35A/65B menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	46

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran.....	49

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Prinsip kerja XRF	19
Gambar 2.2. Skema SEM-EDS	21
Gambar 3.1. Diagram alir preparasi bahan.....	27
Gambar 3.2. Diagram alir sampel mortar	28
Gambar 3.3. Diagram alir uji mekanis mortar.....	30
Gambar 3.4. Diagram alir uji fisis mortar	31
Gambar 3.5. Diagram alir karakterisasi XRF dan SEM-EDS sampel mortar	32
Gambar 3.6. Diagram alir penelitian	33
Gambar 4.1. Pengaruh variasi komposisi dan waktu perendaman terhadap kuat tekan mortar.....	34
Gambar 4.2. Pengaruh variasi komposisi dan waktu perendaman terhadap densitas mortar.....	36
Gambar 4.3. Pengaruh variasi komposisi dan waktu perendaman terhadap porositas mortar	37
Gambar 4.4. Pengaruh variasi komposisi dan waktu perendaman terhadap absorptivitas mortar	39
Gambar 4.5. (a) Hasil SEM dengan perbesaran 100.000x, (b) Hasil SEM-EDS mortar dan (c) Spektrum EDS mortar.....	43
Gambar 4.6. (a) Hasil SEM dengan perbesaran 100.000x, (b) Hasil SEM-EDS mortar dan (c) Spektrum EDS mortar	46
Gambar 4.7. (a) Hasil SEM dengan perbesaran 100.000x, (b) Hasil SEM-EDS mortar dan (c) Spektrum EDS mortar	47

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Senyawa utama penyusun semen <i>portland</i>	11
Tabel 3.1. Variasi komposisi sampel mortar	25
Tabel 4.1. Hasil Karakterisasi Bahan Baku Mortar menggunakan XRF	40
Tabel 4.2. Hasil Karakterisasi Sampel Mortar menggunakan XRF	41
Tabel 4.3. Komposisi unsur sampel 0A/100B.....	43
Tabel 4.4. Komposisi unsur sampel 15A/85B.....	45
Tabel 4.5. Komposisi unsur sampel 35A/65B.....	47

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu material yang banyak digunakan pada kegiatan pembangunan adalah mortar. Mortar banyak digunakan sebagai material konstruksi karena kemudahan dalam memperoleh bahan-bahan penyusunnya serta kemudahan dalam pengerjaannya. Kualitas mortar dipengaruhi oleh bahan-bahan penyusunnya. Penggunaan bahan penyusun yang sesuai dengan spesifikasi akan menghasilkan mortar dengan mutu yang baik (Lado dkk, 2018).

Mortar dan beton dapat digunakan sebagai pengikat batu bata, pekerjaan plasteran serta pengikat keramik pada dinding. Peranan mortar dalam aplikasi konstruksi sangatlah penting sehingga pembuatan serta penggunaannya harus diperhatikan dengan seksama agar mendapatkan hasil konstruksi yang efisien. Secara fungsional, mortar mengikat batu bata serta menahan terhadap rembesan air dan udara. Pemilihan dan penggunaan berbagai material pembentuk mortar secara langsung mempengaruhi karakteristik lekatan pada dinding tembok. Untuk konstruksi penahan beban, kekuatan dan pengaruh mortar sama pentingnya dengan kekuatan batu bata (Kusumah dkk, 2016).

Penting untuk mengetahui kuat tekan yang mampu ditahan mortar sebagai pendukung konstruksi struktur yang menerima beban. Mortar terdiri dari campuran

material yaitu, semen dan agregat halus (pasir) serta air. Semen merupakan salah satu komponen dalam campuran pembuatan mortar. Penggunaan jenis semen berpengaruh terhadap kualitas campuran mortar. Semen banyak digunakan pada pekerjaan pasangan dan pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Apabila dicampurkan dengan air semen akan bereaksi dan menjadi pasta semen. Semen memiliki fungsi sebagai pengikat butiran agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Dalam campuran mortar terdapat sekitar 10% - 25% komposisi semen dari volume mortar. Komposisi tersebut sangat menentukan mutu kekuatan mortar yang akan direncanakan (Suryanto, 2018).

Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi komposisi campuran mortar terhadap kuat tekan. Komposisi yang digunakan adalah pasir : semen yaitu 1:4, 1:5, 1:6 dan 1:7 menggunakan semen gresik dan semen holcim serta pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada umur 14 dan 28 hari. Kuat tekan yang dihasilkan mortar dengan menggunakan semen gresik dan mortar menggunakan semen holcim memiliki kuat tekan yang berbeda pada setiap variasinya. Semen gresik memiliki kuat tekan tertinggi pada perbandingan komposisi campuran mortar 1:5 yaitu sebesar 11,68 MPa, sedangkan mortar dengan semen holcim pada komposisi campuran 1:4 yaitu sebesar 13,38 MPa. Pada hasil pengujian resapan air pada mortar memperoleh hasil persentase resapan air tertinggi pada komposisi campuran 1:7 untuk semen gresik yaitu sebesar 1,77% dengan kuat tekan sebesar 5,31 MPa, sedangkan semen holcim memperoleh persentase resapan air tertinggi pada komposisi campuran 1:7 yaitu sebesar 0,96% dengan kuat tekan

sebesar 3,19 MPa. Hal ini menunjukkan semakin tinggi nilai persentase resapan pada air maka semakin rendah nilai kuat tekan mortar (Wenda dkk, 2018).

Penelitian lain yang banyak dikembangkan mengenai mortar yaitu dengan menambahkan bahan lain ke material campuran mortar, contohnya penelitian analisis pengaruh penambahan limbah pecahan kaca terhadap campuran mortar. Nilai kuat tekan mortar dengan komposisi campuran mortar normal kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari yaitu $52,53 \text{ kg/cm}^2$, setelah penambahan 3% serbuk kaca ke dalam komposisi campuran mortar normal didapat kuat tekan rata-rata mortar yaitu sebesar $54,40 \text{ kg/cm}^2$ pada umur 28 hari, pada penambahan 6% dan 9% bubuk kaca ke dalam komposisi campuran mortar normal didapat kuat tekan rata-rata mortar secara berturut-turut yaitu $46,93 \text{ kg/cm}^2$ dan $41,96 \text{ kg/cm}^2$ pada umur 28 hari. Dengan demikian nilai kuat tekan mortar dengan pencampuran limbah pecahan kaca 3% akan meningkat dari mortar normal. Sedangkan mortar dengan pencampuran limbah pecahan kaca 6%, 9% cenderung menurun dari mortar normal (Mulyadi dkk, 2020).

Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan semen yang sudah membeku karena reaksi hidrolisis dengan uap air di udara terbuka sehingga semen mengeras, dengan variasi semen PCC aktif : semen PCC beku sebesar 100% : 0%, 35% : 65%, 30% : 70%, 25% : 75%, 20% : 80%, 15% : 85% dan 0% : 100%. Penelitian ini menggunakan perbandingan semen dan pasir yaitu 1:5, perbandingan ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 03-6882-2002). Mortar dicetak dengan ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ dan direndam selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari (SNI 03-6825-2002). Uji mekanis pada penelitian ini adalah uji kuat tekan (kemampuan

mortar untuk menahan tekanan). Uji fisis yang dilakukan antara lain yaitu uji densitas (pengukuran massa setiap satuan volume benda), uji porositas (persentase dari ruang kosong mortar terhadap volume mortar) dan uji absorptivitas (persentase air yang diserap oleh mortar). Sedangkan karakterisasi mortar yang dilakukan yaitu *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi kimia dan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) mengetahui morfologi mortar.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi semen PCC aktif : semen PCC beku dan waktu perendaman terhadap sifat mekanis pada mortar?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi semen PCC aktif : semen PCC beku dan waktu perendaman terhadap sifat fisis pada mortar?
3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi semen PCC aktif : semen PCC beku dan waktu perendaman terhadap karakteristik pada mortar?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi semen PCC aktif : semen PCC beku dan waktu perendaman terhadap sifat mekanis pada mortar.
2. Mengetahui pengaruh variasi komposisi semen PCC aktif : semen PCC beku dan waktu perendaman terhadap sifat fisis pada mortar.

3. Mengetahui pengaruh variasi komposisi semen PCC aktif : semen PCC beku dan waktu perendaman terhadap karakteristik pada mortar.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni-Agustus 2023.
2. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Non-Logam dan Laboratorium Analisis Kimia Balai Pusat Riset Teknologi Pertambangan-Badan Riset Inovasi Nasional (BPTM-BRIN) Tanjung Bintang, Lampung Selatan.
3. Pasir yang digunakan berasal dari Tanjung Bintang.
4. Semen yang digunakan adalah semen jenis PCC.
5. Persentase semen PCC aktif : semen PCC beku yang digunakan adalah 100% : 0%, 35% : 65%, 30% : 70%, 25% : 75%, 20% : 80%, 15% : 85% dan 0% : 100%.
6. Ukuran benda uji mortar yaitu $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$.
7. Variasi waktu perendaman adalah 7, 14 dan 28 hari.
8. Uji mekanis yang dilakukan adalah kuat tekan menggunakan mesin uji kuat tekan *Computer Universal Testing Machines* Type HT-2402.
9. Uji fisis yang dilakukan adalah densitas, porositas dan absorptivitas.
10. Alat karakterisasi yang digunakan adalah *X-Ray Fluorescence* (XRF) *PanAnalytical Type minipal 4* dan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) Quattro S.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi bagi industri bahan bangunan.
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi selanjutnya mengenai pembuatan mortar.
3. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika FMIPA Unila dalam bidang Fisika Material.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mortar

Mortar adalah campuran yang tersusun atas semen, pasir dan air yang memiliki persentase yang berbeda. Untuk menentukan kekuatan mortar yang menjadi plasteran dinding maka mortar harus mempunyai kekentalan standard sebagai bahan pengikat, sehingga diharapkan mortar tidak hancur akibat menahan gaya tekanan beban yang bekerja padanya (Mulyono, 2003).

Fungsi utama mortar adalah sebagai matrik pengikat atau bahan pengisi bagian penyusun konstruksi baik yang bersifat struktural maupun non struktural. Mortar digunakan sebagai spesi dinding dan juga pondasi pada contoh penggunaan mortar untuk konstruksi bersifat struktural, sedangkan contoh penggunaan mortar untuk konstruksi bersifat non struktural mortar digunakan sebagai pelapis dinding terluar. Mortar dirancang untuk menahan gaya tekan (sebagai pengikat batu bata pada dinding maupun pondasi) sebagai konstruksi struktural, sehingga perlu diketahui besar kuat tekan yang dapat ditahan oleh mortar baik pada saat proses pembangunan maupun setelah konstruksi direncanakan dapat menahan seluruh beban (Adi, 2009).

Kekuatan mortar tergantung pada kohesi pasta semen terhadap partikel agregat halusny. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air dan kekuatan goresnya dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar tersebut dan mortar mempunyai nilai

penyusun yang relatif kecil. Apabila terjadi penyerapan air pada mortar dengan cepat dan dengan jumlah yang besar, maka mortar akan mengeras dan kehilangan ikatan adhesinya. Untuk membuat campuran mortar yang baik dan memenuhi persyaratan dan mempunyai perhitungan untuk menghasilkan adukan mortar segar dan menghasilkan konstruksi yang kuat. Campuran mortar yang baik adalah campuran mortar yang dapat diangkat, dituang, dipadatkan dan tidak ada kecenderungan untuk terjadi pemisahan pasir, air dan semen dari adukan. Campuran mortar dapat dikatakan baik apabila mortar tersebut membentuk beton atau konstruksi yang keras, kuat, tahan lama, kedap air, tahan aus dan kembang susutnya kecil (Tjokrodinuljo, 1996).

Mortar memiliki beberapa kelebihan yaitu ringan sehingga memudahkan pekerja untuk memindahkan dan memasang bata, bentuknya yang sangat homogen antar satu dengan yang lain sehingga diperlukan sedikit perekat bata dan juga mortar memiliki kekuatan yang paling tinggi dibanding batako maupun bata merah konvensional. Dikarenakan sifat-sifat tersebut maka mortar memiliki cakupan yang luas untuk diaplikasikan pada berbagai macam pekerjaan seperti sebagai bahan pengikat antara bata satu dengan yang lainnya juga untuk menyalurkan beban (Simanullang, 2014).

Tipe dan spesifikasi mortar menurut SNI 03-6882-2002 dibagi menjadi 4 yaitu :

1. Mortar tipe M adalah mortar yang memiliki kekuatan 17,2 MPa. Mortar tipe M adalah campuran yang memiliki kuat tekan yang tinggi sehingga dapat memikul beban tekan yang besar. Mortar tipe ini direkomendasikan untuk pasangan bertulang maupun pasangan tidak bertulang.

2. Mortar tipe S adalah mortar yang mempunyai kekuatan 12,5 MPa. Mortar tipe ini memiliki beban tekan normal dengan kuat lekat lentur yang dapat menahan beban lateral besar yang berasal dari bawah tanah, angin dan beban gempa. Mortar tipe S ini juga direkomendasikan untuk struktur pada bawah tanah atau yang selalu berhubungan dengan tanah seperti pondasi, dinding penahan tanah dan saluran pembuangan karena memiliki keawetan yang tinggi.
3. Mortar tipe N adalah mortar yang memiliki kekuatan 5,2 MPa. Mortar dengan kekuatan sedang ini memiliki kesesuaian yang paling baik antara kuat tekan dan kuat lentur, workabilitas dan dari segi ekonomi. Sehingga mortar tipe S direkomendasikan untuk aplikasi konstruksi pasangan umumnya yaitu untuk konstruksi pasangan di atas tanah baik penahan beban interior maupun eksterior.
4. Mortar tipe O adalah mortar yang mempunyai kekuatan 2,4 MPa. Mortar tipe ini memiliki kuat tekan yang rendah dan memiliki kandungan kapur yang tinggi. Mortar tipe ini direkomendasikan untuk dinding interior dan eksterior yang tidak menahan beban struktur, yang tidak menjadi beku dalam keadaan lembab atau jenuh.

2.2 Semen

Secara umum semen dapat didefinisikan sebagai bahan perekat yang mampu merekatkan *fragmen-fragmen* mineral menjadi suatu kesatuan massa yang padat (Naville, 1995). Semen merupakan campuran dari beberapa senyawa kimia yang bersifat hidrolis. Hidrolis memiliki arti apabila suatu bahan dicampur dengan air

dalam jumlah tertentu akan mengakibatkan bahan-bahan lain menjadi satu kesatuan massa yang dapat memadat dan mengeras serta tidak larut (Firdaus, 2007).

Semen merupakan hasil industri dari paduan bahan baku batu kapur dan tanah liat sebagai bahan utama dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk. Batu kapur atau gamping adalah bahan alam yang mengandung senyawa yang terdiri dari silika oksida (SiO_2), alumina oksida (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3) dan magnesium oksida (MgO) (Daminggo dkk, 2011).

Proses pembuatan semen dilakukan dengan cara membakar batu kapur dan tanah liat yang telah dihaluskan terlebih dahulu kemudian dilakukan penggilingan dan pembakaran menjadi lelehan dalam tungku, sehingga terjadi penguraian (CaCO_3) menjadi batu tohor (CaO) dan karbon dioksida (CO_2). Batu kapur bereaksi dengan senyawa-senyawa lain membentuk klinker kemudian digiling sampai menjadi tepung yang kemudian dikenal sebagai semen *portland* (Imam dan Frandian, 2017).

2.2.1 Portland Composite Cement (PCC)

Portland Composite Cement (PCC) didefinisikan sebagai pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama klinker semen *portland* dan gypsum dengan satu atau lebih bahan anorganik yaitu prozzolan, senyawa silikat, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6-35% dari massa semen atau hasil pencampuran antara bubuk semen *portland* dengan bubuk bahan organik lain (SNI-15-2049-2004).

PCC memiliki beberapa keunggulan yaitu mudah pengerjaannya, suhu adukan rendah sehingga hasilnya tidak mudah retak, menghasilkan permukaan plasteran

yang halus, tahan terhadap serangan sulfat dan bangunan menjadi tahan lama. Sehingga semen jenis ini dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti rumah, jembatan, jalan beton dan gedung bertingkat (Nadia dan Fauzi, 2011).

2.2.2 Semen PCC beku

Secara termodinamis senyawa-senyawa kimia dari semen *portland* adalah tidak stabil, sehingga sangat cenderung untuk bereaksi dengan air. Karena itu apabila semen dibiarkan terbuka, maka semen bisa mengeras atau menjadi beku karena senyawa tersebut bereaksi dengan uap air yang ada diudara (Widojako, 2010). Adapun senyawa utama penyusun semen *portland* ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Senyawa utama penyusun semen *portland* (Naville, 1995)

No.	Nama oksida	Rumus kimia	Notasi pendek
1.	Trikalsium silikat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
2.	Dikalsium silikat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
3.	Trikalsium aluminat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
4.	Tetrakalsium aluminoferrit	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Produk hidrasi dan kecepatan bereaksi dengan air dari setiap senyawa penyusun semen *portland* berbeda-beda.

a. Trikalsium silikat

Senyawa C_3S sangat berpengaruh terhadap pengerasan semen karena senyawa ini dapat mengeras dalam beberapa jam dan dapat melepaskan panas, pada awal umurnya terutama 14 hari pertama kualitas dan kuantitas yang terbentuk dalam

ikatan menentukan pengaruh terhadap kekuatan beton (Sugiyanto dan Sebayang, 2005).

b. Dikalsium silikat

Senyawa C_2S berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 hari sampai 28 hari yang berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat. Senyawa ini memiliki ketahanan agresi kimia yang relatif tinggi dengan penyusutan yang relatif rendah (Sugiyanto dan Sebayang, 2005).

c. Trikalsium aluminat

Senyawa C_3A berhidrasi sangat cepat disertai sejumlah besar panas sehingga berpengaruh pada nilai panas hidrasi yang tinggi, baik pada awal maupun pada pengerasan berikutnya. Senyawa ini hanya memberikan sumbangan sedikit pada kekuatan mortar (Sugiyanto dan Sebayang, 2005).

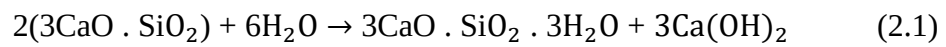
d. Tetrakalsium aluminoferrit

Senyawa ini kurang penting karena tidak banyak pengaruhnya terhadap kekuatan dan sifat semen (Sugiyanto dan Sebayang, 2005).

2.2.3 Reaksi Hidrolisis Semen

Istilah hidrolisis disebut sebagai proses kimia dekomposisi yang melibatkan pemisahan ikatan dan penambahan kation hidrogen dan anion hidroksida air. Ketika semen dicampur dengan air akan terjadi sejumlah reaksi kimia, tahap reaksi ini disebut hidrolisis semen. Hidrolisis semen merupakan langkah awal dalam proses hidrasi semen. Hidrasi adalah reaksi kimia antara air dan senyawa semen yang telah

mengalami hidrolisis, terutama (C-S-H) dan (C-H). Karena sifatnya yang sangat kompleks proses reaksi kimia semen dengan air sehingga membentuk massa padat ini masih belum diketahui secara rinci. Kalsium silikat bereaksi dengan air menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H) dan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) pada saat terjadi hidrasi (Neville, 1995). Rumusan perkiraan untuk reaksi hidrasi dari unsur C_3S dan C_2S dapat ditulis sebagai berikut.



$$\Delta G = 120.824.504 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta G = 104.406.704 \text{ kJ/mol}$$

2.3 Agregat

Agregat merupakan material yang berasal dari batu alam atau material yang berasal dari hasil pabrik (contohnya pabrik penghasil ampas biji baja sebagai produk yang digunakan untuk agregat). Agregat digunakan sebagai bahan campuran beraspal, mortar atau beton. Agregat yang paling ideal adalah agregat agregat yang memiliki ukuran dan gradasi yang baik, kuat, keras, bersudut, berbentuk kubus, permukaan yang bersih, kasar dan tidak mengikat air (*hydrophobic*) yang penyerapan air oleh agregat maksimum 3%. Menurut ukuran butiran agregat, umumnya agregat digolongkan menjadi dua yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci). Fungsi agregat kasar dalam campuran

aspal adalah selain memberikan stabilitas dalam campuran juga sebagai pengisi mortar sehingga campuran menjadi ekonomis (Pallmbunga dkk, 2020).

Adapun agregat halus (pasir) mempunyai butiran sebesar 0,14 – 5 mm, dapat diperoleh dari disintegrasi batuan alam (*natural sand*) dan juga dapat dengan memecahkannya (*artificial sand*). Pasir adalah bahan pengisi yang dipakai bersama bahan pengikat dan air untuk campuran yang padat dan keras (Tjokrodinuljo, 1996).

Selain sebagai bahan pengisi, pasir juga berpengaruh terhadap sifat tahan susut, keretakan dan kekerasan atau produk bahan bangunan campuran semen lainnya. Pasir harus bersifat keras, kekal dan mempunyai susunan butir (gradasi) yang baik. Selain itu juga pasir yang digunakan harus bermutu baik yaitu pasir yang bebas dari lumpur, tanah liat, zat organik, garam florida dan garam sulfat (Sedeyaningsih, 2010).

Persyaratan pasir sesuai standar yaitu berbutir tajam dan memiliki kekerasan yang baik, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% yang ditentukan terhadap berat keringnya, apabila kadar lumpur melampaui 5% maka harus dicuci, tidak boleh mengandung bahan-bahan organis, terdiri dari butiran-butiran beraneka ragam besarnya dan pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat untuk beton (PBI, 1971).

2.4 Air

Air merupakan zat cair yang terdiri dari senyawa hidrogen (H) dan oksigen (O₂) kemudian menjadi air murni yang memiliki rumus kimia H₂O. Air diperlukan untuk membuat semen menjadi pasta sehingga adukan beton atau mortar menjadi mudah

dikerjakan dan digunakan untuk proses hidrasi semen sehingga terjadi lekatan antara semen dan agregat (Sutrisno, 2017). Air yang digunakan harus memenuhi syarat untuk bahan campuran seperti tidak boleh mengandung lumpur, tidak boleh mengandung garam (asam, zat organik dan sebagainya) dan bebas dari zat-zat yang membahayakan. Kualitas mortar akan menurun dan dapat mengubah sifat-sifat mortar yang dihasilkan apabila air mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, seperti tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia yang lainnya (Laintarawan dkk, 2009).

2.5 Pengujian dan Karakterisasi

Adapun pengujian dan karakterisasi pada penelitian ini meliputi:

2.5.1. Kuat Tekan

Kuat tekan (*compressive strength*) adalah salah satu sifat mekanik bahan. Kuat tekan didapatkan dari gaya (F) yang diberikan pada bahan dibagi dengan luas bidang tekan (A). Massa ini akan menekan bahan sepanjang arah tekan. Alat uji tekan memberikan informasi mengenai gaya yang diberikan dan luas permukaan tekan dihitung sesuai sampel yang digunakan (Hossain dkk, 2016). Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari mortar. Mortar yang akan diuji diletakkan pada mesin penekan. Ditekan dengan alat penekan sampai mortar pecah atau maksimal menahan beban atau tekanan. Pada saat pecah dicatat besarnya gaya tekan maksimum yang bekerja. Kuat tekan merupakan ukuran maksimum suatu bahan menerima beban aksial (Syamsudin dkk, 2011). Kuat tekan suatu bahan merupakan perbandingan besarnya beban maksimum yang dapat ditahan beban

dengan luas penampang bahan yang mengalami gaya tersebut. Pengukuran kuat tekan mengacu pada standar AST C-133-97 dan dihitung dengan persamaan:

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

Keterangan:

P = Kuat tekan (MPa)

F = Beban maksimum (N)

A = Luas bidang bahan (mm^2) (Winarno, 2015).

2.5.2. Densitas

Densitas (*density*) adalah perbandingan massa dari suatu volume bahan pada suatu temperatur terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur tersebut (Laoli dkk, 2013). Nilai uji densitas dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \rho_{air} \quad (2.4)$$

Keterangan:

ρ = Densitas (g/cm^3)

W_1 = Massa awal (g)

W_2 = Massa setelah direndam (g)

W_3 = Massa dalam air (g)

ρ_{air} = Densitas air ($1 g/cm^3$)

2.5.3. Porositas

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume lubang-lubang kosong yang dimiliki oleh zat padat (volume kosong) dengan jumlah dari volume zat padat yang ditempati oleh zat padat (Vlack, 1989). Pada pengujian porositas benda uji mortar, porositas adalah besarnya persentase ruang-ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada benda uji dan merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kekuatan benda uji mortar tersebut. Pori-pori benda uji biasanya berisi udara atau air yang saling berhubungan dan dinamakan kapiler (Nugroho, 2010). Menurut ASTM-C 642-06 nilai porositas dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.3).

$$P = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:

P = Nilai Porositas (%)

W_1 = Massa awal (g)

W_2 = Massa setelah direndam (g)

W_3 = Massa dalam air (g)

2.5.4. Absorptivitas

Pengujian absorptivitas dilakukan untuk mengetahui besarnya penyerapan air yang terdapat pada benda uji mortar. Besar kecilnya nilai absorptivitas ini akan mempengaruhi nilai kuat tekan benda uji mortar. Penyerapan air yang terdapat pada mortar menyatakan besarnya pori atau rongga yang dimiliki oleh benda uji tersebut. Semakin banyak atau besar pori dalam benda uji mortar akan membuat benda uji

menyerap air semakin banyak sehingga akan mengakibatkan berkurangnya ketahanan atau kekuatan pada benda uji tersebut. Salah satu penyebab dari banyaknya pori adalah pemadatan yang kurang baik atau jenis material pencampur yang digunakan. Selain itu, tidak tepatnya komposisi material penyusun dapat membuat benda uji memiliki rongga udara (Jacky dkk, 2018).

Dalam adukan beton atau mortar, air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori antara butir-butir agregat halus, juga bersifat sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak atau padat. Penyebab semakin meningkatnya daya serap air adalah semakin meningkatnya porositas mortar semen akibat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen. Air ini akan menguap atau tinggal dalam mortar semen yang akan menyebabkan terjadinya pori-pori pada pasta semen sehingga akan menghasilkan pasta yang porous, hal ini akan menyebabkan semakin berkurangnya kekedapan air mortar semen (Ratnaningsih dkk, 2014). Besarnya absorptivitas dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$Absorpsi (\%) = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad (2.6)$$

Keterangan:

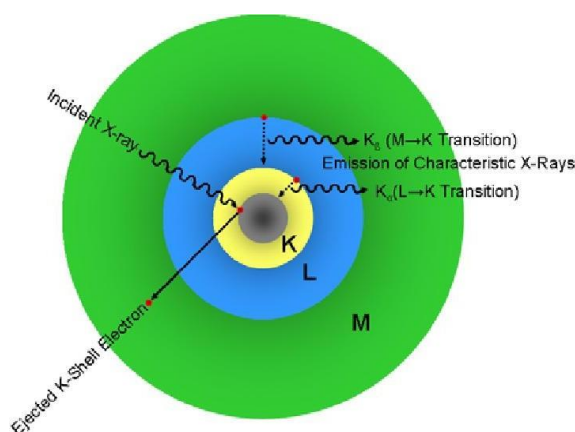
W_1 = Massa awal (g)

W_2 = Massa setelah direndam (g)

2.5.5. *X-Ray Fluorescence (XRF)*

Karakterisasi menggunakan XRF digunakan untuk mengetahui komposisi kimia dari semua jenis bahan. Teknik ini dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur berdasarkan pada panjang gelombang dan jumlah *X-Ray* yang dipancarkan kembali setelah suatu material ditembak *X-Ray* berenergi tinggi. Bahan uji berupa padat, cair, bubuk, hasil penyaringan atau bentuk lainnya. XRF terkadang juga bisa digunakan untuk menentukan ketebalan dan komposisi lapisan (Brouwer, 2010).

Dalam XRF, sumber *X-Ray* meradiasi sampel sehingga unsur-unsur yang muncul dalam sampel akan memancarkan radiasi *X-Ray* neon dan energi diskrit, seperti warna untuk cahaya optik (Brouwer, 2006) Prinsip kerja XRF ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Prinsip kerja XRF (Atmodjo dkk, 2013).

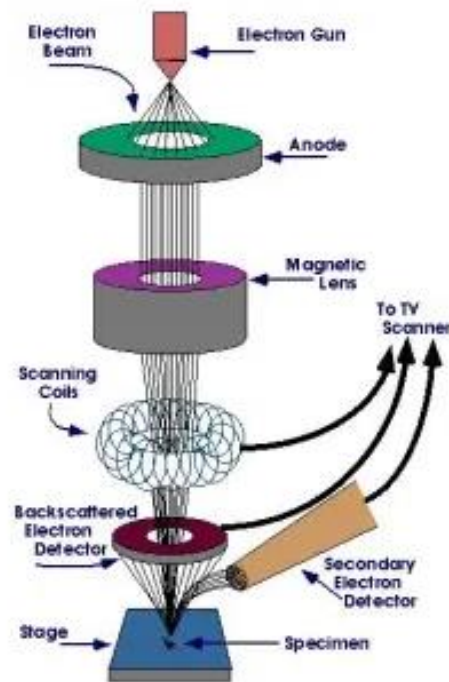
Berdasarkan Gambar 2.1 reaksi *X-Ray* terjadi selama elektron bergerak dari tingkat energi yang lebih tinggi untuk mengisi kekosongan yang diakibatkan oleh pelepasan elektron, sehingga terjadi perbedaan energi antara dua kulit yang mengakibatkan terjadinya *X-Ray*. Spektrum *X-Ray* yang diperoleh selama proses tersebut terdapat sejumlah puncak energi karakteristik. Energi dari puncak tersebut mengarah ke identifikasi unsur yang terjadi dalam sampel analisis kualitatif dan

intensitas puncak yang absolut konsentrasi unsur (semi-kuantitatif atau kuantitatif analisis) (Atmodjo dkk, 2013).

2.5.6. *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)*

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan salah satu jenis metode karakterisasi material yang dapat mengetahui karakteristik dari suatu material dengan perbesaran mencapai 150.000x. SEM biasanya dilengkapi dengan EDS untuk menangkap *X-Ray* yang dipantulkan oleh electron. SEM yang umumnya dilengkapi dengan EDS dapat digunakan untuk:

1. Pemeriksaan karakteristik spesimen metalografi dengan perbesaran hingga 150.000x.
2. Pemeriksaan permukaan patahan dan permukaan yang memiliki kedalaman tertentu yang tidak mungkin diperiksa dengan mikroskop optik.
4. Analisis unsur pada spesimen dalam range mikron pada permukaan bulk spesimen.
5. Distribusi komposisi kimia pada permukaan bulk spesimen sampai jarak mendekati 1 mikron.



Gambar 2.2. Skema SEM-EDS

Cara kerja SEM dilengkapi dengan filament tungsten berfungsi untuk menembakkan electron dihasilkan dari adanya beda potensial. Elektron kemudian menumbuk benda kerja dan ketika menumbuk terjadi interaksi antara primary elektron dengan spesimen sehingga menghasilkan *X-Ray* dan elektron. Hasil interaksi yang keluar dari dalam material ditangkap oleh tiga detector :

1. Detektor SE: menangkap *secondary electrons* dan menghasilkan image.
2. Detektor BSE: menangkap *backscattered electrons* dan menghasilkan image sesuai perbedaan kontras berdasarkan perbedaan berat massa atom.
3. Detektor *X-Ray*: mengidentifikasi unsur kimia yang terdapat dalam material.

EDS merupakan suatu sistem peralatan dan software tambahan yang dipasangkan pada suatu mikroskop elektron. EDS dapat digunakan untuk menganalisis semi kuantitatif unsur-unsur dari material. Secara umum EDS dapat digunakan untuk :

1. Menganalisis kontaminan: Analisis inklusi, antarmuka, analisis partikel, pemetaan unsur (*elemental mapping*), analisis deposit korosi dan analisis ketidakmurnian (sampai ketelitian diatas 2% berat).
2. Kontrol kualitas: Analisis pelapisan, verifikasi material dan inklus.

(Anton Prasetyo, 2012).

Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) juga dapat digunakan untuk mempelajari sifat-sifat permukaan suatu objek, yang di dalamnya dapat menimbulkan kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil. Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit luar pindah ke kulit yang lebih dalam. Proses ini menghasilkan energi *X-Ray* tertentu dan menghasilkan perbedaan antara dua energi ikatan pada kulit tersebut. Emisi *X-Ray* dihasilkan dari proses yang disebut XRF. Pada umumnya kulit K dan L terlibat pada deteksi XRF. Sehingga sering terdapat istilah $K\alpha$ dan $K\beta$ serta $L\alpha$ dan $L\beta$ pada XRF. Jenis spektrum *X-Ray* dari sampel yang diradiasi akan menggambarkan puncak-puncak pada intensitas yang berbeda (Viklund, 2008).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai bulan Agustus 2023 di Laboratorium Non-Logam, Laboratorium Analisis Kimia, Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN yang bertempat di Jl. Ir. Sutami KM. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ball mill*, timbangan digital, ayakan lolos 250 *mesh* dan 300 *mesh*, *mixer*, gelas ukur, cetakan kubus ukuran 5 x 5 x 5 cm³, baskom, sendok semen, tumbukan, sarung tangan, kuas, sendok, gayung, ember, plastik sampel, wadah nampan, oven, *X-Ray Fluorescence* (XRF) *PanAnalytical Type minipal 4*, *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) Quattro S dan mesin uji kuat tekan *Computer Universal Testing Machines* Type HT-2402.

3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen PCC beku, semen PCC aktif dan pasir yang berasal dari Tanjung Bintang dan air.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari preparasi bahan, sampel mortar, uji mekanis mortar, uji fisis mortar dan karakterisasi XRF dan SEM-EDS sampel mortar.

3.3.1 Preparasi Bahan

a. Semen PCC beku

Semen PCC beku di *ball mill* $\pm$ 8 jam dan diayak dengan ukuran lolos 250 *mesh*.

Semen PCC beku dikarakterisasi menggunakan XRF.

b. Semen PCC aktif

Semen PCC aktif dikarakterisasi menggunakan XRF.

3.3.2 Sampel Mortar

Prosedur sampel mortar dalam penelitian ini adalah:

- a. Bahan ditimbang sesuai dengan komposisi yang terdapat pada Tabel 3.1.
- b. Semen dan pasir dicampur hingga homogen menggunakan *mixer* per variasi komposisi.
- c. Ditambahkan air sebanyak 190 ml secara bertahap.
- d. Adukan semen diletakkan ke dalam cetakan kubus yang berukuran 5 x 5 x 5 cm³.

- e. Pengisian dilakukan lapis demi lapis dan dipadatkan menggunakan tumbukan.
- f. Permukaan diratakan menggunakan sendok perata.
- g. Sampel mortar didiamkan selama 24 jam dengan suhu ruang.
- h. Sampel mortar dilepaskan dari cetakan.
- i. Sampel mortar diberi kode sampel.
- j. Sampel mortar didiamkan kembali selama 24 jam pada suhu ruang.
- k. Sampel mortar direndam dengan variasi waktu 7, 14 dan 28 hari.
- l. Sampel mortar diangkat dan didiamkan selama 24 jam.
- m. Sampel mortar siap diuji.

Tabel 3.1. Variasi komposisi sampel mortar.

No.	Kode Sampel	Variasi (%)	Semen PCC aktif (g)	Semen PCC beku (g)	Pasir (g)	Air (ml)
1	100A/0B	100 : 0	166,7	0	833,3	190
2	35A/65B	35 : 65	25	141,7	833,3	190
3	30A/70B	30 : 70	33,34	133,36	833,3	190
4	25A/75B	25 : 75	41,67	125,03	833,3	190
5	20A/80B	20 : 80	50	116,7	833,3	190
6	15A/85B	15 : 85	58,34	108,36	833,3	190
7	0A/100B	0 : 100	0	166,7	833,3	190

3.3.3 Uji Kuat Tekan

Prosedur uji kuat tekan mortar sesuai dengan SNI 03-6825-2002 sebagai berikut:

1. Sampel mortar diletakkan pada mesin uji kuat tekan secara simetris.
2. Sampel mortar diberi tekanan maksimum hingga sampel rusak.
3. Dicatat besarnya tekanan maksimum yang diperoleh.
4. Kuat tekan sampel mortar kemudian dihitung.

3.3.4 Uji Densitas, Porositas dan Absorptivitas

Uji fisis mortar meliputi uji densitas, porositas dan absorptivitas. Prosedur uji fisis mortar adalah sebagai berikut:

- a. Sampel mortar siap uji.
- b. Sampel mortar ditimbang menggunakan timbangan digital dan hasilnya dicatat (W_1).
- c. Sampel mortar direndam kembali selama 24 jam.
- d. Sampel mortar diangkat dan dilap menggunakan tissue basah.
- e. Sampel mortar ditimbang kembali menggunakan timbangan digital untuk memperoleh massa basah (W_2) mortar dan hasilnya dicatat.
- f. Sampel mortar ditimbang kembali dalam keadaan digantung dalam air untuk memperoleh massa dalam air (W_3) mortar dan hasilnya dicatat.
- g. Densitas, persentase porositas dan persentase absorptivitas kemudian dihitung.

3.3.5 Karakterisasi XRF dan SEM-EDS Sampel Mortar

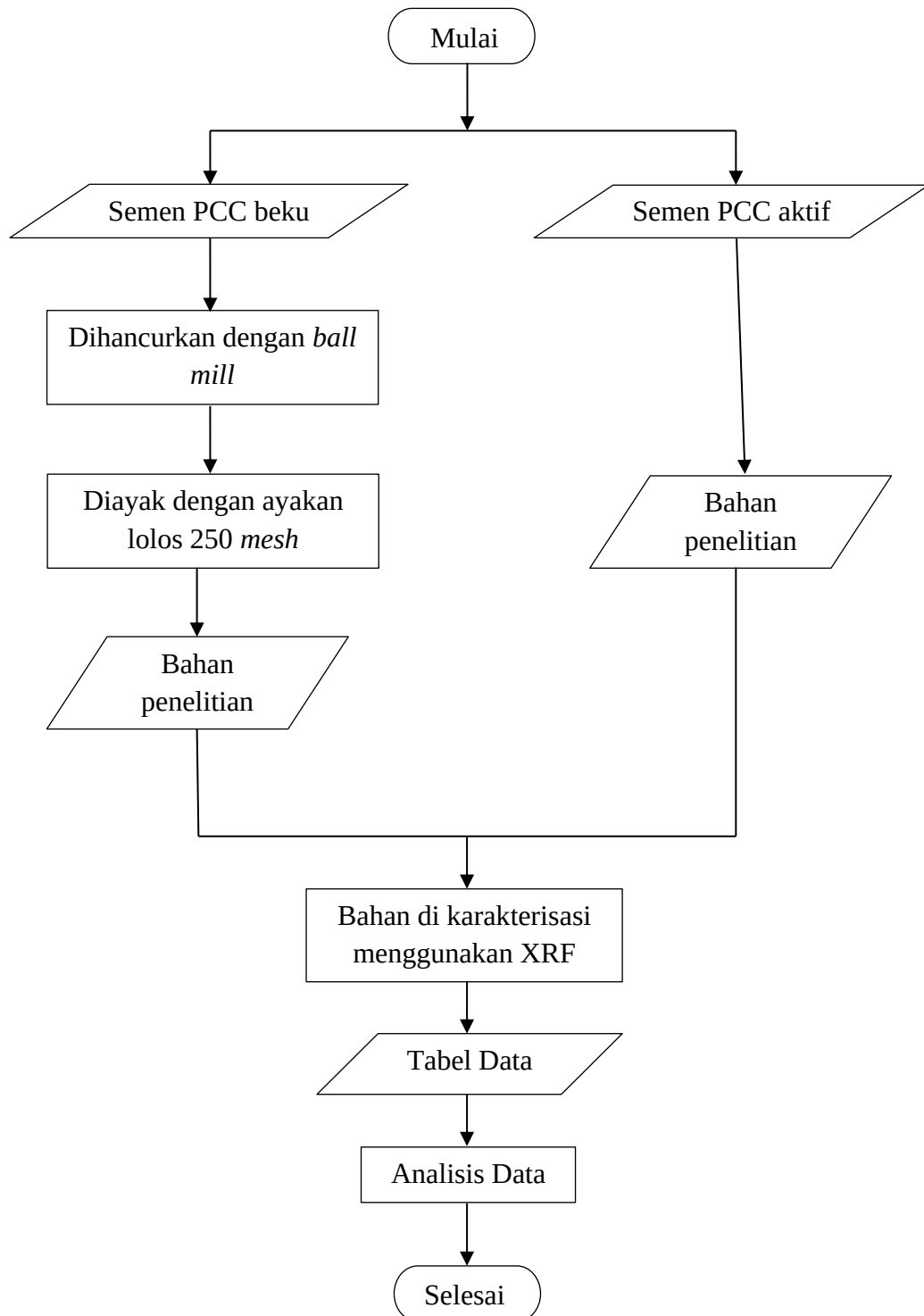
Karakterisasi mortar menggunakan XRF dan SEM-EDS. Tahapan karakterisasi mortar sebagai berikut.

1. Sampel mortar disiapkan (100% semen PCC beku, kuat tekan terendah dan kuat tekan tertinggi).
2. Setiap sampel dihaluskan menggunakan mortar agate.
3. Sampel yang telah halus disaring menggunakan ayakan ukuran 300 mesh.
4. Sampel ditimbang sebanyak 5 g.
5. Sampel dikarakterisasi menggunakan XRF dan SEM-EDS.

3.4 Diagram Alir

3.4.1 Diagram Alir Preparasi Bahan

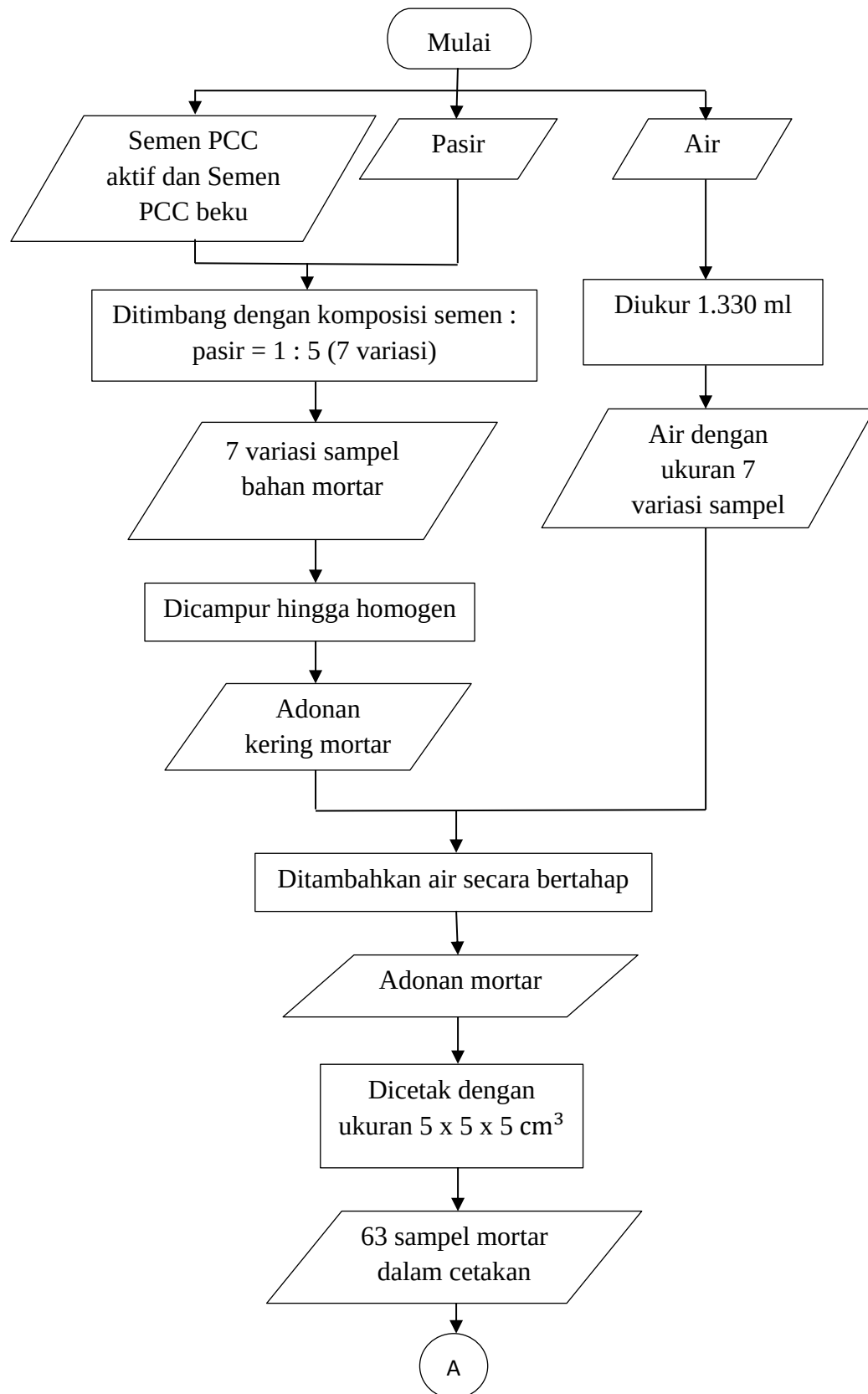
Diagram alir preparasi bahan terlihat pada Gambar 3.1.

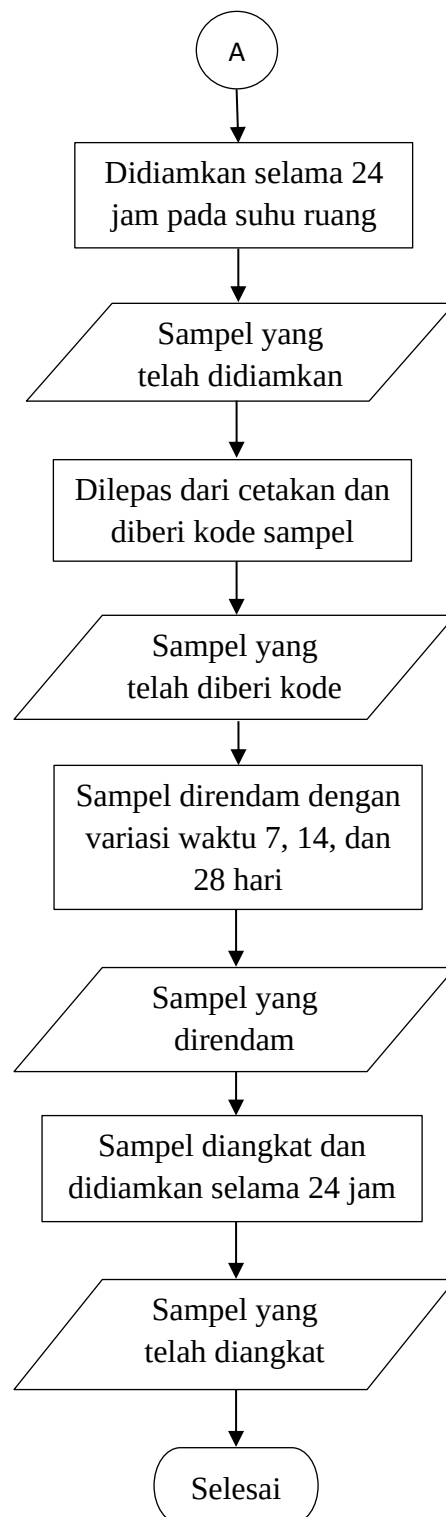


Gambar 3.1. Diagram alir preparasi bahan.

3.4.2 Diagram Alir Sampel mortar

Diagram alir sampel mortar terlihat pada Gambar 3.2.

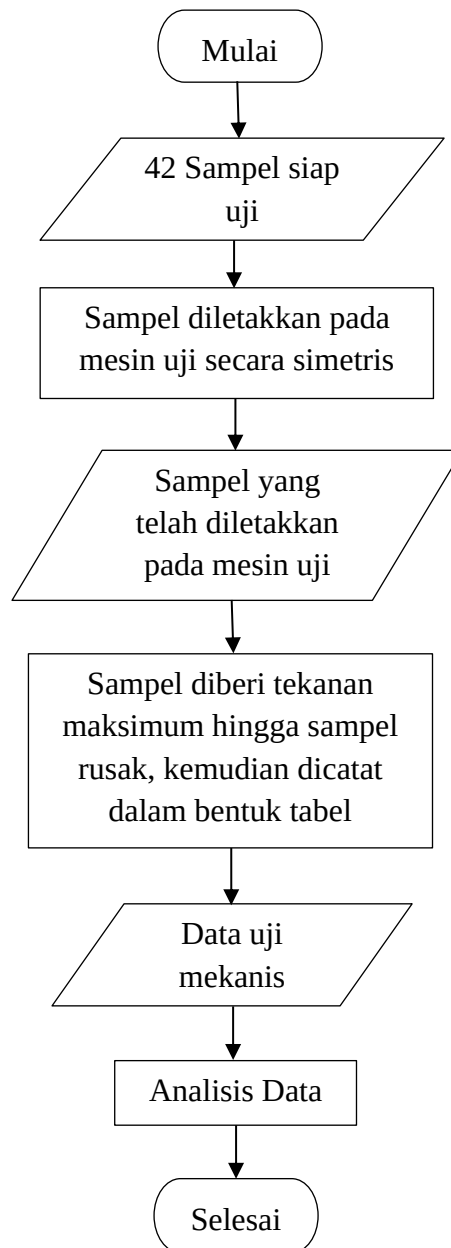




Gambar 3.2. Diagram alir sampel mortar.

3.4.3 Diagram Alir Uji Mekanis Mortar

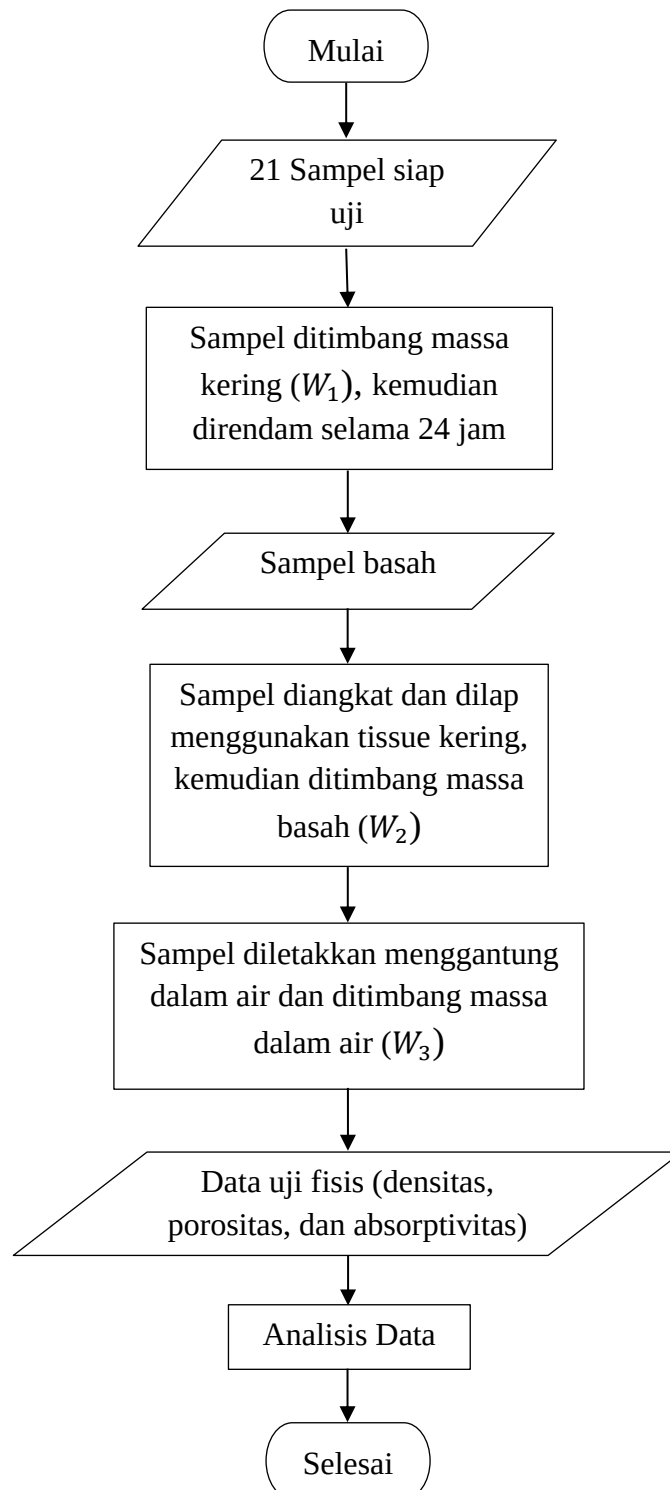
Diagram alir uji mekanis mortar terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Diagram alir uji mekanis mortar.

3.4.4 Diagram Alir Uji Fisis Mortar

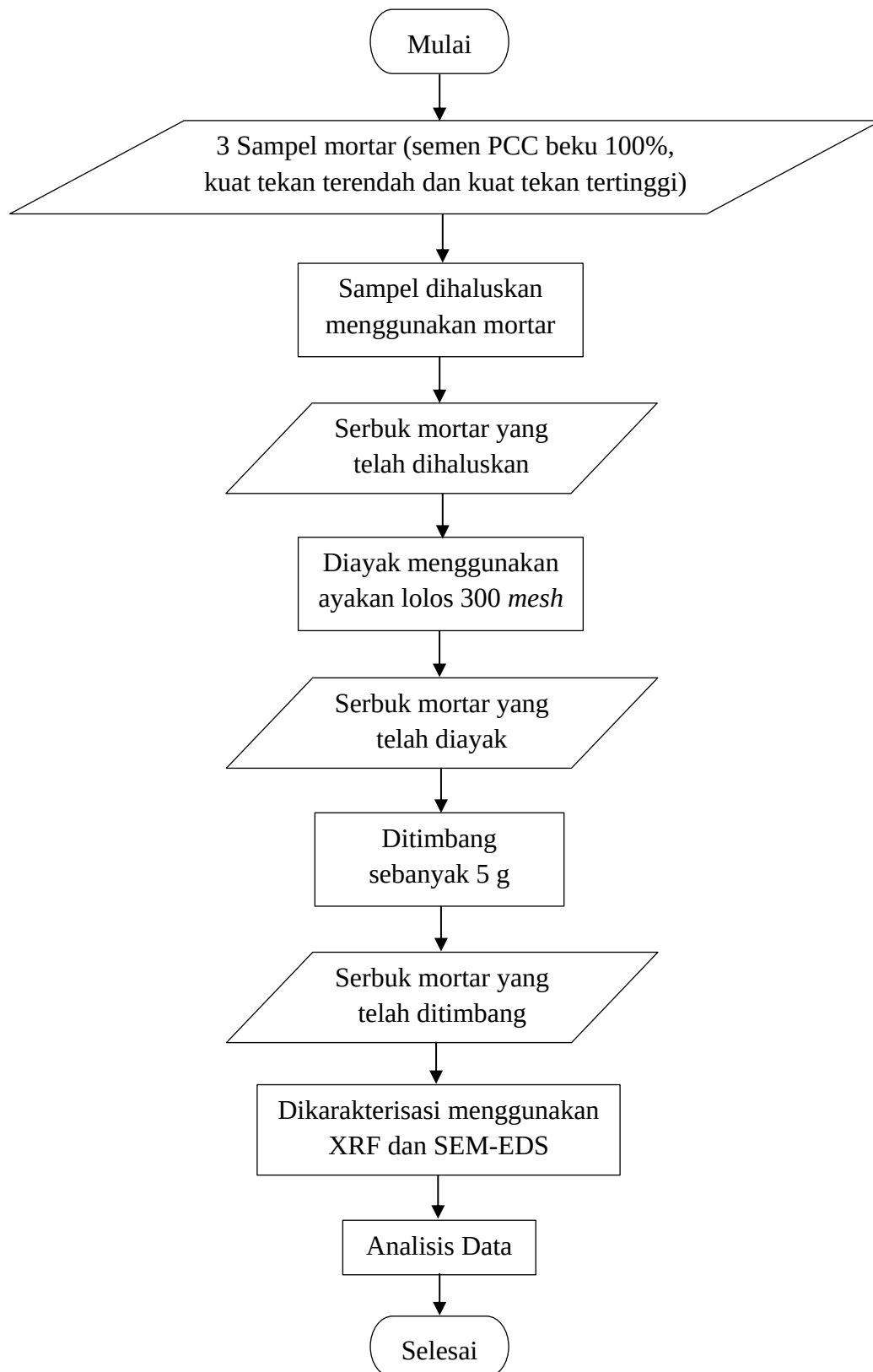
Diagram alir uji fisis mortar terlihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Diagram alir uji fisis mortar.

3.4.5 Diagram Alir Karakterisasi XRF dan SEM-EDS Sampel Mortar

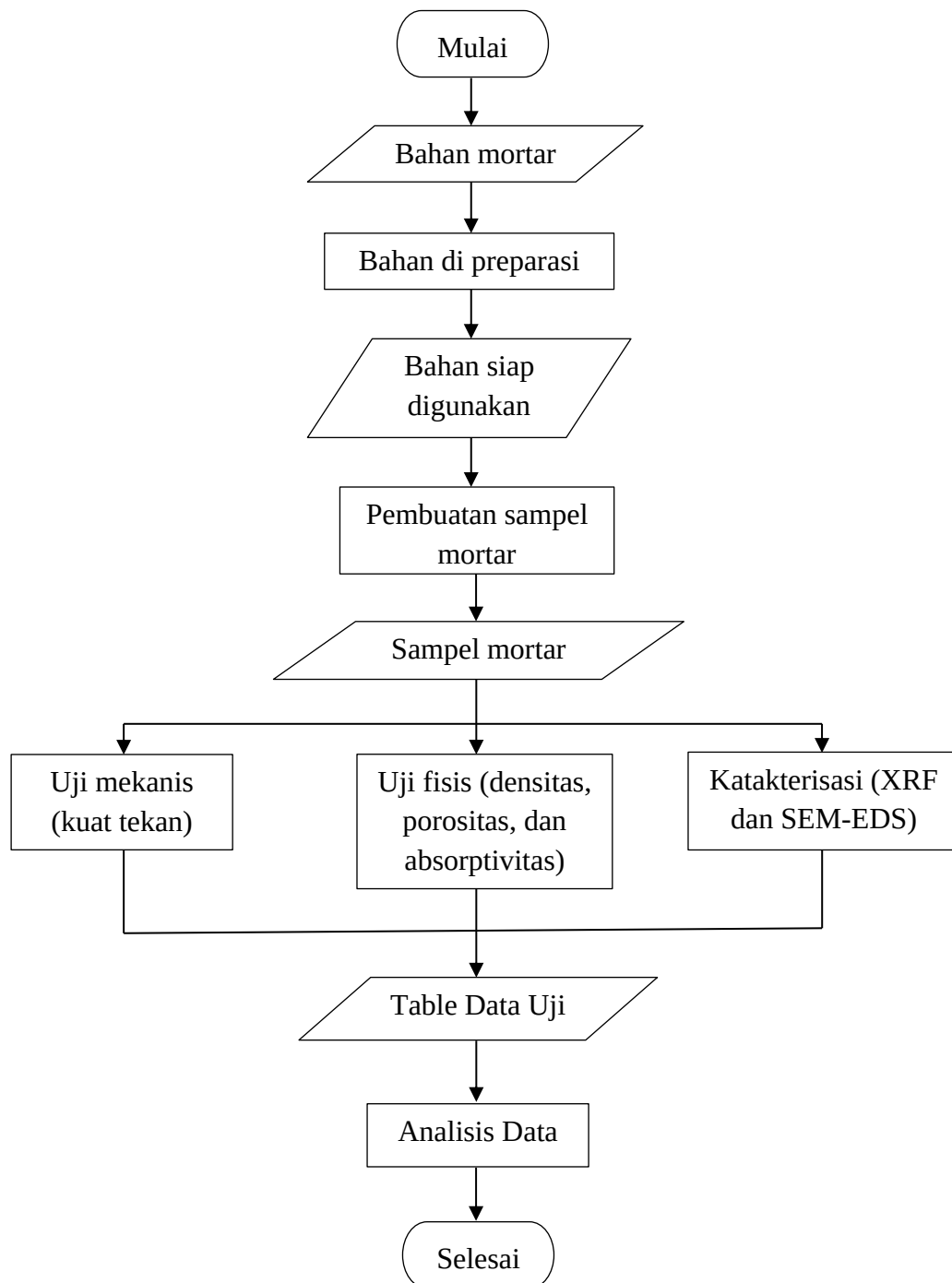
Diagram alir karakterisasi XRF dan SEM-EDS sampel mortar terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Diagram alir karakterisasi XRF dan SEM-EDS sampel mortar.

3.4.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian terlihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai kuat tekan mortar dipengaruhi oleh komposisi semen PCC aktif : semen PCC beku dan waktu perendaman, semakin besar persentase semen PCC beku dan semakin sebentar waktu perendaman maka semakin kecil nilai kuat tekan yang diperoleh. Nilai kuat tekan mortar tertinggi dengan penambahan semen PCC aktif sebagai substitusi semen PCC beku diperoleh sebesar 5,48 MPa yaitu mortar dengan komposisi 35% semen PCC aktif : 65% semen PCC beku pada waktu perendaman 28 hari, mortar ini termasuk dalam mortar tipe N.
2. Sifat fisis mortar dipengaruhi oleh komposisi semen PCC aktif : semen PCC beku dan waktu perendaman, semakin tinggi persentase semen PCC beku maka semakin kecil nilai densitas sehingga semakin besar nilai porositas dan absorptivitas yang diperoleh. Mortar terbaik dengan penambahan semen PCC aktif sebagai substitusi semen PCC beku diperoleh pada waktu perendaman 28 hari dengan komposisi 35% semen PCC aktif : 65% semen PCC dengan densitas tertinggi sebesar 1,95 g/cm³, serta memiliki nilai porositas dan absorptivitas terendah sebesar 18,11% dan 9,27%.

3. Hasil karakterisasi sampel terbaik mempunyai kandungan senyawa oksida dengan persentase terbesar CaO sebanyak 50,845%, SiO₂ sebanyak 23,588%, Fe₂O₃ sebanyak 11,493% dan Al₂O₃ sebanyak 9,729%. Unsur penyusun terdiri dari O sebanyak 41,87%, C sebanyak 29,39%, Ca sebanyak 17,93% dan Si sebanyak 6,64%, Al sebanyak 3,81% dan Mg sebanyak 0,35%.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang mortar semen PCC beku dengan berbagai macam variasi komposisi atau penambahan bahan lainnya sebagai substitusi pembuatan mortar semen untuk mengetahui mortar semen beku dengan kualitas berbeda.
2. Penelitian semen PCC beku perlu dilakukan lebih lanjut dengan alternatif lain supaya teraktivasi kembali guna mengetahui cara yang lebih efisien untuk pemanfaatan semen beku.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, R.Y. 2009. Kuat Tekan Mortar Dengan Berbagai Campuran Penyusun dan Umur. *Media Komunikasi Teknik Sipil*. No. 1. Hal. 67-68.
- Amin, M., Aji, B. B., Setiani, V. A., Syafriadi. 2018. Pengaruh Perlit Lampung sebagai Material Agregat Mortar terhadap Kuat Tekan. *Jurnal Kelitbangan*. Vol. 6. No. 1.
- Atmodjo, D. P. D., Suryana, D. dan Wibowo, H. 2013. Pengujian untuk kerja sampel holder XRF epsilon 5. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*. Bandung.
- Brouwer, P. 2006. *Theory of XRF 2nd ed*. Panalytical BV. Almelo. Amsterdam.
- Brouwer, P. 2010. *Theory of XRF: Getting Acquainted with The Principles*. Panalytical BV. Almelo. Amsterdam.
- Daminggo, M. R., Sonief, A. A., & Pratiko. 2011. *Pengaruh Putaran Blower pada Dust Collector terhadap Hasil Kapasitas Produksi Semen di Grinding Plant*.
- Faizah, R., Priyosulistyo, H., Aminullah, A. 2020. Sifat Fisik dan Mekanik Mortar dengan Campuran Serutan Karet Ban Bekas Berbagai Merek. *Jurnal Teknik Sipil*, 117-125.
- Fatimah, I. N., Budi, A. S., Sangadji, S. 2018. Pekaruh Kadar *Fly Ash* terhadap Kuat Tekan pada *High Volume Fly Ash-Selfcompacting Concrete* (HVFA-SCC) Benda Uji D 15 cm x 30 cm Usia 28 Hari. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*. Hal. 508-512.

- Firdaus, Apriyadi. 2007. Proses Pembuatan Semen Pada PT. Holcim Indonesia Tbk. *Skripsi*. Universitas Sultan Agung Tirtayasa. Banten.
- Hossain, M. M., Karim, M.R., Hasan, M., Hossain, M.K. and Zain, M.F.M. 2016. Durability of Mortar and Concrete Made up of Pozzolans as a Partial Replacement of Cement: A review. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol. 116. Pp. 128-140.
- Imam, A. A., dan Frandian, Y. 2017. *Makalah Semen Portland*. Universitas Teknologi Yogyakarta. Yogyakarta.
- Jacky, Elnov, D., Rama, A. D., Fernando, R. dan Rachmansyah. 2018. Pengaruh Pecahan Tempurung Kelapa sebagai Pengganti Agregat Kasar dalam Campuran Beton. *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*. Vol. 07. No. 26. Hal. 157-166.
- John, S.K., Nadir, Y., and Girija, K. 2021. Effect of source materials, additives on the mechanical properties and durability of fly ash and fly ash-slag geopolymer mortar: A review. *Construction and Building Materials*. Elsevier. Vol. 280.
- Kusumah, Andi, Anita Setyowati Srie Gunarti dan Sri Nuryati. 2016. Perbandingan Kuat Tekan Mortar Menggunakan Air Saluran Tarum Berat dan Air Bersih. *Jurnal Bentang*. Vol. 4. No. 2.
- Kusumahningrum, Evy, Sumarsono, Restu Faizah dan Nurul Chotimah. 2013. Sifat Fisik dan Mekanik Mortar dengan Campuran Limbah Abu Batu Batuan Vulkanik Sebagai Pengganti Pasir. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*. Vol. 6. No. 2. Hal. 138-146.
- Lado, Yandrianus, Sudiyo Utomo dan Elia Hunggurami. 2018. Uji Kuat Tekan Beton dan Mortar Menggunakan Pasis Kali Noeleke. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 7. No. 1.
- Laintarawan, I. P., Widnyana, I. N. S. dan Artana, I. W. 2009. *Buku Ajar Konstruksi Beton I*. Universitas Hindu Indonesia. Denpasar. Hal. 1-31.
- Laoli, M. E., Kasake, O. H., Manoppo, M. R. E. dan Jansen, F. 2013. Kajian Penyebab Perbedaan Nilai Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal Panas yang Dihitung Berdasarkan Metode Marshall dengan yang Dicari Langsung Berdasarkan Aasfto T209. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 1. No. 2. Hal. 128-132.

- Mulyadi, A., Suanto, P. dan Purba, W. 2020. Analisis Pengaruh Penambahan Limbah Pecahan Kaca Terhadap Campuran Mortar. *Jurnal Teknik Sipil UNPAL*. Vol. 10. No. 1. Hal. 1-6.
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Nadia dan Fauzi, A. 2011. Pengaruh Kadar Silika pada Agregat Halus Campuran Beton Terhadap Peningkatan Kuat Tekan. *Jurnal Konstruksia*. Vol. 3. No. 1. Hal. 35-43.
- Naville, A.M. 1995. *Properties of Concrete*. Pearson Education Limited. England. Pp. 1-56.
- Nursani, M., Karo, P. K., Yanti, Y. 2020. Pengaruh Variasi Penambahan Abu Ampas Tebu dan Serat Aampas Tebu Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Mortar. **DOI:** 10.22146/jfi.v24i3.55989
- PBI. 1971. Pengaturan Beton Bertulang Indonesia 1971. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. Bandung. Hal. 1-257.
- Pallmbunga, Gabriel Pabia, Rais Rachman dan Alplus. 2020. Penggunaan Agregat Sungai Batu Tiakka' pada Campuran AC-BC. *Jurnal Civil Engineering*. Vol. 2. No. 2.
- Passa, Raden Muhammad Julian dan Destiana Safitri. 2021. Waktu Pengikat Semen *Portland* (Konsistensi Normal) dengan Alat *Vicat*. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 1. No. 3.
- Pratama, M. I. (2022). Pengaruh Variasi Ukuran Butir, Komposisi Slag sebagai Substitusi Semen, dan Beton Sebagai Pengganti Pasir terhadap Sifat Fisik dan Nilai Kuat Tekan Mortar. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Putri, N. A., Bahari, S., Irwansyah, A. 2022. Pengaruh Penggunaan Persentase *Fly Ash* dan Perawatan terhadap Kuat Lentur Mortar. *Prceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*. Vol. 6. No. 1.
- Rahmayani, Ismi Siska, Edy Saputra dan Monita Olivia. 2017. Kuat Tekan dan Porositas Mortar Menggunakan Bahan Tambahan Bubuk Kulit Kerang Di Air Gambut. *Prosding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP)*. ISBN 978-602-61059-0-5.

Ratnaningsih, A., Badriani, R. E. dan Arifin, S. 2014. Pengaruh Penambahan Sekam Padi pada Campuran Beton Ringan Non Struktural terhadap Nilai Penyerapan dan Nilai Kuat Tekan Beton Campuran Semen, Kulit Kopi dan Fly Ash. *Simposium RAPI XIII*. Hal. 20-56.

Ravisdah dan Mira Setiawati. 2016. Pengaruh Air Soda terhadap Kuat Tekan Beton. Vol. 4. No. 4.

Sedeyaningsih, A. 2010. Pengaruh Penggantian Sebagian Agregat Halus Dengan Serbuk Batu Gamping Keras (*Karst*) Terhadap Kuat Tekan dan Berat Jenis Batako. *Skripsi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Teknik Bangunan Universitas Sebelas Maret*. Surakarta.

Simanullang, Dian Y. 2014. Kajian Kuat Tekan Mortar Menggunakan Pasir Sungai dan Pasir Apung dengan Bahan Tambah Fly Ash dan Conplast dengan Perawatan (*Curing*). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. Vol. 2. No. 4.

SNI 03-6825-2002. 2002. *Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 03-6882-2002. 2002. *Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Pasangan*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 15-2049-2004. 2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

Sugiyanto dan Sebayang, S. 2005. *Bahan Bangunan*. Penerbit Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Suryanto, Sunarto. 2018. Pengaruh Semen Komposit Pada Beton Mutu Tinggi Dengan Berbagai Aditif. *Jurnal Teknik Sipil*.

Sutrisno, Widarto. 2017. Pengaruh Bahan Tambahan Serbuk Kaca Pada Mortar. *Jurnal Rekayasa dan Inovasi Teknik Sipil*. Vol. 2. No. 2.

Syamsudin, R., Wicaksono, A. dan Fazairin, F. 2011. Pengaruh Air Laut pada Perawatan (*Curing*) Beton Terhadap Kuat Tekan dan Absorptivitas Beton dengan Variasi Faktor Air Semen dan Durasi Perawatan. *Jurnal Rekayasa Sipil*. Vol. 5. No. 2. ISSN: 1978-5658.

- Tjokrodimuljo. 1996. *Teknologi Beton*. Nafigiri. Yogyakarta.
- Viklund, A. 2008. *Teknik Pemeriksaan Material Menggunakan XRF,XRD dan SEMEDS*.
- Vlack, L. H. V. 1989. *Elemen-Elemen Ilmu dan Rekayasa Material*. Wesley. Addison.
- Wenda, Kantlus, Safira Zuridah dan Budi Hastono. 2018. Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan. *Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*. Vol. 1. No. 1.
- Widojako, L. 2010. Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Unjuk Kerja Mortar. *Jurnal Teknik Sipil UBL*. Vol. 1. No. 1. Hal. 52-59.
- Winarno, Her dan Rully Pujantara. 2015. Pengaruh Komposisi Bahan Pengisi Styrofoam Pada Pembuatan Batako Mortar Semen Ditinjau Dari Karakteristik dan Kuat Tekan. *Jurnal Scientific Pinisi*. Vol. 1. No.1.
- Zakariya, A., Yudhono, G., Rosyadi, S. 2021. Kajian Temperatur Beton Saat *Hardening Time* Menggunakan *Fly Ash* Sebagai Bahan Tambahan Semen. *Jurnal Jalan-Jembatan*. Vol. 38. No. 2.