

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI (SEMEN BEKU DAN KAPUR)
SERTA WAKTU PERENDAMAN TERHADAP KUAT TEKAN, SIFAT
FISIS, KOMPOSISI KIMIA, STRUKTUR FASA, DAN MORFOLOGI
PADA MORTAR**

(Skripsi)

Oleh

Khairunnisa



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI (SEMEN BEKU DAN KAPUR) SERTA WAKTU PERENDAMAN TERHADAP KUAT TEKAN, SIFAT FISIS, KOMPOSISI KIMIA, STRUKTUR FASA, DAN MORFOLOGI PADA MORTAR

Oleh

Khairunnisa

Mortar terbuat dari campuran bahan semen, agregat halus (pasir) dan air. Semen berfungsi sebagai bahan perekat yang digunakan dalam campuran mortar. Semen yang baik adalah semen yang disimpan dalam keadaan penyimpanan yang tertutup dari udara yang lembab dan digunakan tidak dalam kondisi *expired*. Apabila salah dalam penyimpanan dan udara lembab, semen akan menjadi beku dan tidak bisa digunakan kembali sebagai bahan bangunan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai semen beku yang dapat digunakan kembali dengan cara dicampur dengan kapur untuk aktivasi sebagai campuran pembuatan mortar. Komposisi penambahan semen beku sebesar 60%, 65%, 70%, 75% dan 80% serta penambahan kapur sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari komposisi bahan sebesar 1000 gram. Mortar semen 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 absorpsi, uji porositas dan uji massa jenis serta karakterisasi mortar semen yaitu XRF, XRD, dan SEM-EDS. Mortar semen dengan penambahan variasi semen beku 70% dan 10% kapur pada umur perendaman 28 hari memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 7,37 MPa, sedangkan mortar semen dengan penambahan variasi semen beku 80% dan 0% kapur pada waktu perendaman 7 hari memiliki nilai kuat tekan terendah sebesar 1,78 MPa. Karakterisasi menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk pada mortar semen adalah *Calcium Silicate* (CaSiO₄), *Dicalcium Silicate* (2CaO.SiO₂), *Silicon Oxide* (SiO₂) dan *Fayalite* (Fe₂SiO₄).

Kata kunci: semen beku, kapur, semen jenis PCC, uji fisis, karakterisasi

ABSTRACT

THE EFFECT OF COMPOSITION VARIATION (HARDENED CEMENT AND LIMESTONE) AND SOAKING TIME ON COMPRESSIVE STRENGTH, PHYSICAL PROPERTIES, CHEMICAL COMPOSITION, PHASE STRUCTURE, AND MORPHOLOGY IN MORTAR

By

Khairunnisa

The mortar is made from a mixture of cement, small aggregate (sand), and water. Cement serves as a glue material used in the mixture. and mortar. Good cement is cement that is stored in good condition. storage that is closed from humid air and is not used in the condition is expired. When wrong in storage and in humid air, cement they are hardened and cannot be reused as building materials. Therefore, research has been conducted on hardened cement that can be used again by mixing it with limestone for activation as manufacturing of mortars. Composition of large hardened cement 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, and the addition of limestone of 0%, 5%, 10%, 15% and 20% of the ingredient composition of 1000 grams. Cement mortar printed size of 5x5x5 cm³ immersed in water for 7 days, 14 days, and 28 days. Mechanical tests are carried out strong pressure. fests tests include absorption tests. tests the porosity and mass test type and characterization of cement mortar is XRF. XRD and SEM-EDS Cement mortar with the addition of hardened cement variations 70% and 10% of limestone at the 28 days immersion life have strong pressure values the highest of 7.37 MPa, while the cement mortar with the addition 80% hardened cement variation and 0% limestone at 7 days immersion time It has a lowest pressure of 1.78 MPa. Characterized The phase formed on the cement mortar is *Calcium Silicate* (CaSiO₄), *Dicalcium Silicate* (2CaO.SiO₂) *Silicon Oxide* (SiO₂) and *Fayalite* (Fe₂SiO₄).

Keywords: *hardened cement, limestone, PCC type cement, physical test, characterization*

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI (SEMEN BEKU DAN KAPUR)
SERTA WAKTU PERENDAMAN TERHADAP KUAT TEKAN, SIFAT
FISIS, KOMPOSISI KIMIA, STRUKTUR FASA, DAN MORFOLOGI
PADA MORTAR**

Oleh

KHAIRUNNISA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

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



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **Pengaruh Variasi Komposisi (Semen Beku dan Kapur) serta Waktu Perendaman terhadap Kuat Tekan, Sifat Fisis, Komposisi Kimia, Struktur Fasa dan Morfologi pada Mortar**

Nama Mahasiswa : **Khairunnisa**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1957041013**

Program Studi : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Pembimbing I

Pembimbing II

Suprihatin, S.Si., M.Si.

NIP. 197304141997022001

Dr. Sudiby, S.T., M.Sc

NIP. 19820327015021002

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

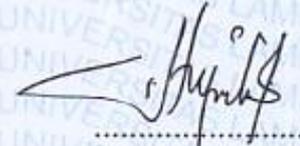
Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.

NIP. 198010102005011002

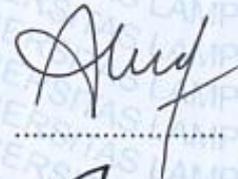
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Suprihatin, S.Si., M.Si.**



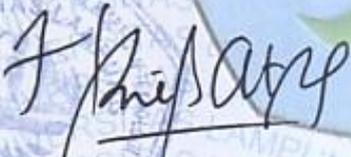
Sekretaris : **Dr. Sudfbyo, S.T., M.Sc.**



Penguji Bukan Pembimbing : **Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, 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 : **31 Juli 2023**

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, 31 Juli 2023



Khairunnisa

NPM. 1957041013

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Khairunnisa, dilahirkan pada tanggal 18 Agustus 2001 di Bengkulu. Penulis merupakan anak tunggal dari pasangan Bapak Ahmad Sabri dan Ibu Murlela.

Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis adalah Sekolah Dasar Negeri 1 Semidang Gumay pada Tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama Negeri 13 Kaur pada Tahun 2016, Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Bengkulu Selatan pada Tahun 2019. Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur SMMPTN.

Selama menempuh pendidikan, penulis aktif menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) pada bidang minat dan bakat pada tahun 2020-2021. Penulis telah menyelesaikan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN pada tahun 2022. Penulis juga mengikuti program MBKM Pejuang Muda pada tahun 2021 di Tulang Bawang, Lampung.

Selanjutnya penulis melakukan penelitian bidang non logam sebagai topik skripsi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung dengan judul “Pengaruh Variasi Komposisi (Semen Beku dan Kapur) Serta Waktu Perendaman Terhadap Kuat Tekan, Sifat Fisis, Komposisi Kimia, Struktur Fasa, dan Morfologi pada Mortar”. Penulis melakukan penelitian di Laboratorium Non Logam Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung.

MOTTO

“Yang terbaik menurut kita belum tentu yang terbaik menurut ALLAH SWT, sebaliknya yang terbaik menurut ALLAH tentu terbaik untuk kita tanpa disadari”

“Be a girl with a mind a woman with attitude, and a lady with class”

“ Pertanyaannya bukan lagi seberapa besar cita-cita kita. Tapi, seberapa besar kita untuk cita-cita itu. Sebab ada harga yang harus dibayar untuk sebuah mimpi besar”

(Dr. Gamal Albinsaid)

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan karya kecil ini

kepada

Bapak Tercinta Ahmad Sabri, dan Ibu Tercinta Murlela

“Terimakasih untuk segala do’a dan usaha yang selalu diberikan kepadaku serta selalu memberikan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini”

Keluarga besar & Sahabat-Sahabat Terdekat

Rekan-rekan seperjuangan “FISIKA FMIPA UNILA 2019”

Serta Almamater Tercinta

“Universitas Lampung”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi nikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi (Semen Beku dan Kapur) serta Waktu Perendaman terhadap Kuat Tekan, Sifat Fisis, Komposisi Kimia, Struktur Fasa dan Morfologi 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. Skripsi ini membahas tentang pengaruh variasi semen beku dan kapur pada pembuatan mortar semen kemudian diuji fisis dan dikarakterisasi menggunakan XRF, XRD, dan SEM-EDS.

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, 31 Juli 2023

Khairunnisa
NPM. 1957041013

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberi kesehatan, hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi (Semen Beku dan Kapur) serta Waktu Perendaman terhadap Kuat Tekan, Sifat Fisis, Komposisi Kimia, Struktur Fasa dan Morfologi pada Mortar”**. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Pertama yang telah banyak memberi bimbingan, motivasi, nasihat serta ilmunya.
2. Bapak Muhammad Amin, S.T dan Bapak Dr. Sudiby, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan saran, masukan dan arahan dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si. selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan selama penulisan skripsi.
4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
5. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

6. Bapak Iqbal Firdaus S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Akademik yang memberikan masukan-masukan serta nasehat selama masa studi di Jurusan Fisika.
7. Bapak pimpinan Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan yang telah mengizinkan saya untuk saya melakukan penelitian.
8. Seluruh dosen Fisika FMIPA UNILA yang telah memberikan ilmu selama menempuh pendidikan S1 di Fisika FMIPA UNILA.
9. Staf administrasi Jurusan Fisika FMIPA yang telah membantu dalam urusan administrasi selama menempuh pendidikan S1 Fisika.
10. Kedua orang tuaku tercinta Bapak Ahmad Sabri dan Ibu Murlela yang selalu memberikan cinta kasih, dukungan, pengorbanan dan do'a untuk penulis.
11. Saudara tak sedarahku Alya Hafiz, Lisana Shidqin 'Aliya, Nadya Olivia Kaban, Putri Ramadhani Arum Sari, Syaima Camila dan Yuyun Savela yang selalu ada disaat senang dan susah serta menjadi salah satu alasan penulis bisa bertahan melalui masa perkuliahan ini dengan baik sampai selesai.
12. Serta teman-teman seperjuangan Fisika 2019.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dengan hal yang lebih baik. Aamiin.

Bandar Lampung, 31 Juli 2023

Khairunnisa

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5

1.3	Tujuan Penelitian	5
1.4	Batasan Masalah	6
1.5	Manfaat Penelitian	7
II. TINJAUAN PUSTAKA		
2.1	Mortar.....	8
2.2	Kapur (<i>Limestone</i>)	10
2.3	Semen.....	11
2.3.1	Semen <i>Portland</i>	11
2.3.2	Semen Beku	15
2.4	Air	16
2.5	Pengujian dan Karakterisasi	17
2.5.1	Pengujian.....	17
2.5.2	Karakterisasi.....	20
III. METODE PENELITIAN		
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	29
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	29
3.2.1	Alat Penelitian	29
3.2.2	Bahan Penelitian.....	29
3.3	Prosedur Penelitian	
3.3.1	Preparasi Bahan	30
3.3.2	Karakterisasi Bahan	31
3.3.3	Pembuatan Mortar Semen	31
3.3.4	Pengujian pada Mortar Semen.....	32
3.3.5	Karakterisasi Mortar Semen.....	34
3.4	Diagram Alir	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Pengujian Mortar Semen	38
4.1.1	Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen.....	39
4.1.2	Hasil Pengujian Absorpsi pada Mortar Semen.....	42
4.1.3	Hasil Pengujian Porositas pada Mortar Semen	44
4.1.4	Hasil Pengujian Densitas pada Mortar Semen	45

4.2	Hasil Karakterisasi Bahan Baku	46
4.2.1	Hasil Karakterisasi XRF Semen Beku	47
4.2.2	Hasil Karakterisasi XRF Kapur	48
4.2.3	Hasil Karakterisasi XRF Semen jenis PCC	48
4.3	Hasil Karakterisasi Mortar Semen.....	49
4.3.1	Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) pada Mortar Semen.....	50
4.3.2	Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) pada Mortar Semen.....	51
4.3.3	Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive Spectoscopy</i> (SEM-EDS) pada Mortar Semen	56
V. KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran.....	66

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Prinsip kerja XRF.....	21
Gambar 2.2 Ilustrasi prinsip kerja XRD.....	23
Gambar 2.3 Skema hukum Bragg	24
Gambar 2.4 Skema SEM	27
Gambar 3.1 Diagram alir preparasi bahan.....	35
Gambar 3.2 Diagram alir karakterisasi bahan baku	36
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian.....	37
Gambar 4.1 Grafik hubungan variasi komposisi dan waktu perendaman terhadap kuat tekan mortar semen	40
Gambar 4.2 Grafik hubungan variasi komposisi dan waktu perendaman terhadap absorpsi pada mortar semen	42
Gambar 4.3 Grafik hubungan variasi komposisi dan waktu perendaman terhadap porositas pada mortar semen	44
Gambar 4.4 Grafik hubungan variasi komposisi dan waktu perendaman terhadap densitas pada mortar semen.....	45
Gambar 4.5 Difraktogram XRD mortar semen kode sampel 70sb/10k	52

Gambar 4.6	Difraktogram XRD mortar semen kode sampel 60sb/20k	53
Gambar 4.7	Difraktogram XRD mortar semen kode sampel 80sb/00k	54
Gambar 4.8	Hasil analisis SEM-EDS kode sampel 70sb/10k (a) Hasil karakterisasi SEM-EDS (b) Hasil morfologi mortar semen	57
Gambar 4.9	Spektrum EDS dengan kode sampel 70sb/10k	58
Gambar 4.10	Hasil analisis SEM-EDS kode sampel 60sb/20k (a) Hasil karakterisasi SEM-EDS (b) Hasil morfologi mortar semen.....	59
Gambar 4.11	Spektrum EDS dengan kode sampel 60sb/20k	60
Gambar 4.12	Hasil analisis SEM-EDS mortar semen kode sampel 80sb/00k	62
Gambar 4.13	Spektrum EDS dengan kode sampel 80sb/00k	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi kimia semen <i>portland</i>	12
Tabel 2.2 Kualitas semen berdasarkan umur penyimpanan	15
Tabel 3.1 Variasi komposisi bahan	30
Tabel 4.1 Tabel pengujian kuat tekan mortar semen umur 7 hari	39
Tabel 4.2 Tabel pengujian kuat tekan mortar semen umur 14 hari.....	39
Tabel 4.3 Tabel pengujian kuat tekan mortar semen umur 28 hari.....	40
Tabel 4.4 Hasil karakterisasi XRF semen beku	47
Tabel 4.5 Hasil karakterisasi XRF kapur	48
Tabel 4.6 Hasil karakterisasi XRF semen jenis PCC	48
Tabel 4.7 Hasil karakterisasi XRF mortar semen	50
Tabel 4.8 Fasa XRD mortar semen kode sampel 70sb/10k.....	52
Tabel 4.9 Fasa XRD mortar semen kode sampel 60sb20k.....	54
Tabel 4.10 Fasa XRD mortar semen kode sampel 80sb/00k.....	55
Tabel 4.11 Komposisi unsur mortar semen kode sampel 70sb/10k.....	58
Tabel 4.12 Komposisi unsur mortar semen kode sampel 60sb/20k.....	61
Tabel 4.13 Komposisi unsur mortar semen kode sampel 80sb/00k.....	63

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan kemajuan zaman yang semakin pesat, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pembangunan sangat dibutuhkan dalam memasuki pasar global. Salah satu bentuk perkembangan teknologi pembangunan adalah semakin banyaknya konstruksi yang dibangun seperti pembangunan gedung, jembatan, jalan dan lain sebagainya (Firyanto, 2018). Dengan kemajuan tersebut, sejumlah penelitian terus dikembangkan untuk menghasilkan teknologi konstruksi yang memadai dari segi kualitas dan kuantitas, serta bisa menekan biaya produksi. Demikian pula dengan bahan-bahan pendukung maupun bahan tambahan untuk kepentingan dunia konstruksi ini terus dikembangkan (Syuryadi, 2011).

Konstruksi pembangunan memerlukan perencanaan serta perancangan yang baik dari segi desain konstruksi hingga material-material yang akan digunakan. Salah satu material konstruksi yang sangat penting yaitu mortar. Mortar merupakan campuran dari bahan perekat (tanah liat, kapur dan semen), agregat halus (pasir), dan air (Wenda *et al.*, 2018). Mortar berfungsi sebagai matrik pengikat atau bahan pengisi bagian penyusun suatu konstruksi, baik yang bersifat struktural maupun non-struktural. Contoh penggunaan mortar untuk konstruksi bersifat struktural

ialah pasangan bata belah untuk pondasi sedangkan contoh non-struktural ialah untuk merekatkan pasangan bata untuk dinding (Sihombing *et al.*, 2018).

Semakin meningkatnya penggunaan mortar dan beton di dunia industri konstruksi menyebabkan penggunaan material dari alam menjadi semakin tinggi. Hal ini ditandai dengan peningkatan terhadap jumlah konsumsi semen yang mencapai 40,7 juta ton pada tahun 2010 dengan tingkat pertumbuhan konsumsi semen diperkirakan sebesar 6% per tahun (Aprizal dan Prapto, 2015).

Semen merupakan salah satu jenis bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik (Winamo dan Pujantara, 2015). Pada dasarnya, semen berfungsi memberikan pengerasan terhadap material campuran lainnya menjadi suatu bentuk yang kaku dan tahan lama, karena memiliki sifat kohesif dan adhesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat (Hepiyanto dan Arif, 2019). Selain itu, semen juga berfungsi untuk mengisi rongga diantara butiran-butiran agregat pada bahan material konstruksi bangunan (Wenda *et al.*, 2018).

Ketika semen yang tidak digunakan dalam jangka waktu penyimpanan yang disarankan atau ketika tidak disimpan dengan cara yang benar, maka semen akan beku karena senyawa yang terkandung dalam semen bereaksi dengan uap air yang ada di udara (Widjojoko, 2010). Umumnya, bahan dasar pembuatan semen sebagai bahan perekat dan pengikat dalam bangunan adalah kapur yang mengandung unsur CaO sebagai unsur pengikat.

Kapur (*limestone*) atau batu gamping adalah salah satu jenis batuan karbonat dimana mineral utama penyusunnya adalah kalsit (CaCO_3), mineral lainnya merupakan mineral pengotor, biasanya terdiri dari kuarsa (SiO_2), karbonat yang berasosiasi dengan mineral besi dan mineral lempung serta bahan organik sisa tumbuhan. Batu kapur termasuk ke dalam jenis batuan sedimen karena mineral kalsit terbentuk melalui proses sedimentasi. Batu kapur banyak digunakan dalam berbagai industri, sebagai bahan baku pembuatan semen, bahan imbuhan dalam industri peleburan logam besi dan bukan besi, bahan pengisi pada pembuatan barang-barang dari karet, plastik, cat, pasta gigi, bahan pengisi pelapis kertas, dan lain sebagainya (Aziz, 2010). Kapur yang dikenal di Indonesia umumnya kapur udara atau kapur yang mengeras dengan CO_2 dari udara (Tjokrodinuljo, 2007).

Penelitian yang dilakukan oleh Amin *et al.*, (2019) mengenai pengaruh penambahan batu kapur (*limestone*) sebagai campuran mortar semen terhadap karakteristik semen, dilakukan dengan variasi batu kapur (*limestone*) mulai 0%, 5%, 10% dan 15%. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar persentase pemakaian batu kapur (*limestone*) di dalam campuran semen, maka kehalusan semen semakin meningkat. Pada kuat tekan semen, nilai kuat tekan tertinggi terletak pada umur 28 hari dan pada penggunaan semen dengan penambahan 0% (tanpa *limestone*). Campuran optimum dengan penambahan bervariasi batu kapur (*limestone*) di dalam campuran semen adalah 84,2% klinker, 5% batu kapur (*limestone*), 1,8% gipsium dan 9% trass.

Penelitian yang dilakukan oleh Zuraidah dan Hastono, (2017) mengenai pengaruh variasi persentase komposisi serbuk kapur sebagai *cementitious* pada mortar

dengan komposisi 0%, 25%, 75% dan 100% dari berat semen. Hasil penelitian diperoleh bahwa semakin bertambahnya komposisi serbuk kapur maka kuat tekan mortar semakin menurun. Kuat tekan mortar pada umur 28 hari dengan variasi komposisi 0% sebesar 9,76 MPa, 25% sebesar 7,65 MPa, 75% sebesar 4,67 MPa, dan 100% sebesar 1,18 MPa. Sedangkan berat jenis mortar menggunakan serbuk kapur akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya variasi campuran serbuk kapur.

Wenda *et al.*, (2018) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi komposisi campuran mortar terhadap kuat tekan dengan menggunakan variasi campuran semen jenis PCC (*Portland Composite Cement*) tanpa tambahan material lain. Hasil penelitian diperoleh bahwa semakin bertambahnya komposisi pasir, maka kuat tekan mortar semakin menurun. Dimana kuat tekan mortar pada umur 7 hari dan 28 hari untuk variasi komposisi campuran semen dan pasir pada perbandingan 1:4, 1:5, 1:6 dan 1:7 masing-masing diperoleh kuat tekan rata-rata 9,5 MPa, 11,68 MPa, 7,65 MPa dan 5,31 MPa. Sehingga campuran plesteran dinding atau spesi untuk merekatkan keramik lantai dan dinding bangunan sederhana mortar yang direkomendasikan adalah komposisi campuran dengan perbandingan semen:pasir 1:5.

Berdasarkan studi literatur di atas, dilakukan penelitian pembuatan mortar dengan menggunakan bahan utama semen beku. Penelitian ini dilakukan menggunakan campuran kapur (*limestone*), semen jenis PCC, pasir dan air yang kemudian dicetak berbentuk kubus dengan ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ dan direndam pada bak berisi air selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Selanjutnya dilakukan uji mekanis (kuat

tekan) dan uji fisis (absorpsi, porositas dan densitas). Karakterisasi mortar yang dilakukan yaitu *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi kimia, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur fasa yang terbentuk, dan *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengetahui morfologi pada sampel.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi (semen beku dan kapur) serta waktu perendaman terhadap sifat mekanis (kuat tekan) dan sifat fisis (absorpsi, porositas dan densitas), komposisi kimia, struktur fasa dan morfologi pada mortar?
2. Apakah semen beku dapat digunakan kembali sebagai aktivasi semen aktif untuk bahan konstruksi bangunan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi komposisi (semen beku dan kapur) serta waktu perendaman terhadap sifat mekanis (kuat tekan) dan sifat fisis (absorpsi, porositas dan densitas), komposisi kimia, struktur fasa dan morfologi pada mortar.
2. Untuk mengetahui apakah semen beku dapat digunakan kembali sebagai aktivasi semen aktif untuk bahan konstruksi bangunan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bahan yang digunakan yaitu semen beku, kapur (*limestone*), semen jenis PCC, pasir dan air.
2. Jenis semen yang digunakan adalah semen *Portland Composite Cement* (PCC).
3. Kapur (*limestone*) yang digunakan adalah jenis kapur tohor yang berasal dari Batu Puru, Natar, Lampung Selatan.
4. Pasir yang digunakan berasal dari PLTU Tarahan, Kabupaten Lampung Selatan.
5. Air yang digunakan berasal dari Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan.
6. Perbandingan komposisi (semen beku, kapur, semen jenis PCC) dan pasir yaitu 1:5.
7. Variasi bebas:
 - a. Variasi komposisi semen beku: 60%, 65%, 70%, 75% dan 80%.
 - b. Variasi komposisi kapur (*limestone*): 20%, 15%, 10%, 5%, dan 0%.
 - c. Variasi waktu perendaman: 7 hari, 14 hari dan 28 hari.
8. Variasi tetap:
 - a. Semen jenis PCC: 20%.
 - b. Air yang digunakan: 150 ml.
 - c. Massa total komposisi bahan (semen beku+kapur+semen jenis PCC): 166,65 gram.
 - d. Massa pasir: 833,35 gram.

9. Sampel berukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$.
10. Uji yang dilakukan yaitu uji mekanis (kuat tekan) dan uji fisis (absorpsi, porositas dan densitas).
11. Karakterisasi yang dilakukan adalah XRF, XRD dan SEM-EDS. Sampel berukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$.
12. Uji yang dilakukan yaitu uji mekanis (kuat tekan) dan uji fisis (absorpsi, porositas dan densitas).
13. Karakterisasi yang dilakukan adalah XRF, XRD dan SEM-EDS.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi pengaruh variasi komposisi (semen beku, kapur) dan waktu perendaman yang baik pada pembuatan mortar.
2. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.
3. Menambah wawasan bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam pembuatan mortar semen.
4. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika FMIPA di Universitas Lampung bidang KBK Fisika Material.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mortar

Mortar merupakan campuran yang terdiri dari agregat (pasir), air dan semen pada proporsi tertentu sebagai bahan perekat (Wenno *et al.*, 2014). Fungsi utama mortar adalah menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun material konstruksi. Mortar mempunyai nilai penyusutan yang relatif kecil. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan gesernya dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar tersebut. Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar atau cepat, maka mortar akan mengeras dengan cepat dan kehilangan ikatan adhesinya (Simanullang, 2014).

Sebagai bahan pengikat, mortar harus mempunyai konsentrasi/kekentalan standar. Konsentrasi mortar ini nantinya akan berguna dalam menentukan kekuatan mortar yang menjadi spesi ataupun plesteran dinding sehingga diharapkan mortar yang menahan gaya tekan akibat beban yang bekerja padanya tidak hancur. Mortar dapat digunakan dalam bentuk struktur (pasta kubus beton) maupun non struktur, misalnya pada pekerjaan pasangan dinding bata atau batako, pekerjaan plesteran dinding, pekerjaan pasangan keramik dinding, pekerjaan perataan dasar lantai sampai pada pekerjaan pasangan keramik lantai (Mulyadi *et al.*, 2020).

Menurut SNI 03-6825-2002 mortar terdiri dari 3 macam yaitu:

1. Mortar lumpur (*mud mortar*) yaitu mortar yang terbuat dari tanah.
2. Mortar kapur yaitu mortar yang terbuat dari kapur.
3. Mortar semen yaitu mortar yang terbuat dari semen.

Kualitas dan mutu mortar ditentukan oleh beberapa faktor yaitu bahan dasar, bahan tambahan, proses pembuatan dan alat yang digunakan. Semakin baik mutu suatu bahan bakunya, maka komposisi perbandingan campuran yang direncanakan akan menghasilkan mortar yang berkualitas baik pula. Bahan penyusun mortar meliputi semen *portland*, pasir, air, dan bahan tambah, di mana setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda (Sihombing *et al.*, 2018).

Dalam SNI 03-6882-2002 dan ASTM C 270, mortar diklasifikasikan menjadi 4 tipe berdasarkan sifat mortar (*propety specifications*) yaitu: tipe M, S, N dan O.

1) Mortar tipe M

Mortar tipe M adalah adukan dengan kuat tekan yang tinggi, dipakai untuk dinding bata, dinding, pasangan pondasi, adukan pasangan pipa air kotor, adukan dinding penahan dan adukan untuk pembangunan jalan. Kuat tekan minimumnya sebesar 17,2 MPa.

2) Mortar tipe S

Mortar tipe S adalah adukan kuat tekan sedang, dipakai bila tidak disyaratkan menggunakan tipe M, tetapi diperlukan daya rekat tinggi serta adanya gaya samping. Kuat tekan minimumnya sebesar 12,5 MPa.

3) Mortar tipe N

Mortar tipe S adalah adukan dengan kuat tekan sedang. Mortar dengan kekuatan sedang ini memberikan kesesuaian yang paling baik antara kuat tekan dan kuat lentur, workabilitas, dan dari segi ekonomi yang direkomendasikan untuk aplikasi konstruksi pasangan umumnya. Kuat tekan minimumnya sebesar 5,2 MPa.

4) Mortar tipe O

Mortar tipe O adalah adukan dengan kuat tekan rendah, dipakai untuk pasangan dinding terlindung dan tidak menahan beban. Kuat tekan minimumnya sebesar 2,4 MPa (Yunanda, 2017).

2.2 Kapur (*Limestone*)

Batu kapur (*limestone*) atau batu gamping merupakan salah satu jenis batuan sedimen yang memiliki komposisi mineral-mineral utama yang terkandung dari kalsit, dengan rumus unsur kimia CaCO_3 . Proses terciptanya batu kapur melalui proses pengendapan yang terjadi selama ratusan hingga ribuan tahun, dengan terus adanya penumpukan atau penimbunan yang dihasilkan dari fosil kerangka dari binatang. Dalam pembentukan batu kapur, air hujan akan menimbulkan reaksi terhadap penumpukan kerangka tersebut yang mana air hujan ini membantu serta mempercepat proses terbentuknya batu kapur (*limestone*). Setelah melewati proses yang cukup panjang maka terbentuklah batuan kapur. Batu kapur memiliki banyak jenis, tekstur yang berbeda baik dari segi kepadatan, tingkat kekerasan batu serta juga warna yang dihasilkan (Sankara, 2022).

Penambahan *limestone* ke dalam campuran semen berfungsi meningkatkan kuat tekan (Amin *et al.*, 2019). Hal ini terjadi karena *limestone* mempunyai bentuk fisik yang mudah halus, sehingga dengan nilai kehalusan tersebut, *limestone* dapat menutup rongga-rongga yang terdapat di dalam semen sehingga bisa meningkatkan kuat tekan (Hariawan, 2012). Kehalusan semen akan mempengaruhi konsistensi normal dan waktu pengikatan. Semakin halus suatu semen maka semakin besar luas permukaannya, sehingga air yang diperlukan untuk mencapai konsistensi normal semakin tinggi. Reaksi hidrasi dan waktu pengikatan semakin cepat, serta panas hidrasi dan kuat tekan semakin tinggi, bila semen terlalu kasar maka kuat tekan, plastisitas, dan kestabilannya akan rendah (Vera *et al.*, 2000).

Semakin banyak penambahan *limestone* ke dalam semen tidak berarti kuat tekannya juga bertambah, karena dengan bertambahnya *limestone* maka klinker yang digunakan menjadi berkurang, sedangkan yang menyumbangkan kuat tekan semen yaitu senyawa potensial yang terdapat di dalam klinker. Semakin besar persentase pemakaian batu kapur di dalam campuran, maka kehalusan semen semakin meningkat (Amin *et al.*, 2019).

2.3 Semen

2.3.1 Semen *Portland*

Semen berdasarkan Standar Nasional Indonesia nomor 15-2049-2004 adalah bubuk halus yang memiliki sifat adhesif maupun kohesif, yaitu bahan pengikat. Bahan pengikat adalah suatu reaksi semen mengikat butir-butir agregat sehingga

membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Fungsi dari semen adalah untuk mengikat pasir dan butiran kuarsa serta untuk mengisi ruang antar pasir dan butiran kuarsa. Semen diperoleh dengan cara pembakaran bersama dengan perbandingan yang telah ditentukan (Hargono *et al.*, 2009).

Secara umum komponen utama dalam pembuatan semen adalah oksida kapur (CaO), oksida silika (SiO₂), oksida alumina (Al₂O₃), dan oksida besi (Fe₂O₃). Selain itu semen juga mengandung oksida magnesium (MgO), oksida alkali (Na₂O dan K₂O), oksida titan (TiO₂), oksida fosfor (P₂O₅), serta gipsum atau sulfur (SO₃) (Lobang, 2021). Komposisi kimia pada semen *portland* ditampilkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Komposisi kimia semen *portland* (Sumber: Widojoko, 2010).

Oksida	Persentase(%)
Kapur (CaO)	60-65
Silika (SiO ₂)	7-25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3-8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5-6
Magnesia (MgO)	0,5-4
Sulfur (SO ₃)	1-2
Potash (Na ₂ O+K ₂ O)	0,5-1

Komponen utama memberikan kontribusi terhadap proses pembentukan klinker dan sifat-sifat semen yang dihasilkan. CaO dan SiO₂ memberikan pengaruh terhadap kuat tekan semen, serta Al₂O₃ dan Fe₂O₃ dapat menurunkan temperatur peleburan pada proses pembentukan klinker (Botahala, 2020).

Semen *portland* (*portland cement*) merupakan bahan perekat hidrolis yang sangat penting dalam konstruksi beton. Bahan perekat hidrolis yaitu dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan *gips* sebagai bahan pembantu untuk membentuk pasta semen atau *grout* bila bersenyawa dengan air dapat mengeras dan jika bereaksi dengan agregat halus biasa disebut dengan mortar (Tjokrodimuljo, 2007).

Klasifikasi semen *portland* menurut ASTM (*American Society for Testing and Material*) sebagai berikut:

1. Semen *portland* tipe I

Semen *portland* tipe I merupakan jenis semen *portland* yang paling banyak digunakan oleh masyarakat luas dan banyak beredar di pasaran. Karena dalam penggunaannya, tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal. Biasanya diterapkan pada bangunan rumah pemukiman, gedung-gedung bertingkat, jembatan, trotoar, struktur rel dan lain-lain.

2. Semen *portland* tipe II

Semen *portland* jenis ini memiliki ketahanan terhadap serangan sulfat yang cukup baik yaitu antara 0,10% hingga 0,20% dan panas hidrasi yang bersifat sedang. Biasanya diterapkan pada konstruksi bangunan di pinggir laut, tanah rawa, saluran irigasi, bendungan dan landasan jembatan.

3. Semen *portland* tipe III

Semen *portland* yang dipakai untuk konstruksi bangunan yang memerlukan laju pengerasan tekan awal yang tinggi (pengerasan cepat) kurang lebih kisaran satu minggu. Contoh penerapannya pada bangunan jalan raya bebas hambatan dan bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan asam sulfat.

4. Semen *portland* tipe IV

Semen *portland* yang memerlukan panas hidrasi yang rendah. Oleh karena itu, semen jenis ini memperoleh tingkat kuat beton dengan lebih lambat ketimbang *portland* tipe I serta digunakan dalam kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum.

5. Semen *portland* tipe V

Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat, biasanya terletak pada bangunan-bangunan tanah atau air yang mengandung sulfat melebihi 0,20% dan sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, jembatan, terowongan, pelabuhan dan konstruksi dalam air. Biasanya diterapkan pada konstruksi bangunan di pinggir laut, tanah rawa, saluran irigasi, bendungan dan landasan jembatan.

2.3.2 Semen Beku

Semen beku merupakan semen yang mengeras karena senyawa-senyawa kimia dari semen yang tidak stabil secara termodinamis, sehingga sangat cenderung untuk bereaksi dengan air. Karena itu bila semen dibiarkan terbuka, maka semen bisa mengeras karena senyawa yang terkandung dalam semen bereaksi dengan uap air yang ada di udara (Widjoko, 2010). Semen beku/mengeras biasanya disebabkan oleh penyimpanan yang kurang tepat (Untari, 2021).

Menurut Studio (2022) tekstur semen yang berbentuk bubuk halus memiliki kecenderungan untuk menyerap kelembaban dari atmosfer. Ketika menyerap kelembaban, semen terhidrasi dan akibatnya penggunaan semen itu tidak berkontribusi pada pengembangan kekuatan atau berkontribusi lebih sedikit, sehingga semen dapat mengeras dan membentuk gumpalan (semen mengeras/beku). Selain itu, air atau kelembaban selama musim hujan juga dapat memperburuk kualitas semen untuk waktu yang lama. Umumnya kualitas semen mulai memburuk setelah sekitar tiga bulan dari masa produksi. Kualitas semen berdasarkan umur penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kualitas semen berdasarkan umur penyimpanan (Sumber: Studio, 2022)

Umur penyimpanan semen	Pengurangan kualitas semen
3 Bulan	20%-30%
6 Bulan	30%-40%
12 Bulan	40%-45%

Ketika semen yang tidak dikonsumsi dalam jangka waktu penyimpanan yang disarankan atau ketika tidak disimpan dengan cara yang benar, maka semen akan kadaluwarsa. Oleh karena itu, tingkat kehilangan kekuatan semen berhubungan erat dengan penyimpanan lingkungan dimana semen ditempatkan (Deng *et al.*, 2002).

Udara yang lembab merupakan udara yang banyak mengandung uap air. Partikel-partikel uap air mampu meresap masuk ke dalam kantong semen sehingga dapat mengubah wujud semen dari awalnya bubuk menjadi gumpalan-gumpalan keras karena telah bereaksi (Untari, 2022).

2.4 Air

Dalam konstruksi bangunan, air memiliki banyak fungsi diantaranya membersihkan kotoran yang menempel pada media campuran untuk pengecoran, pemadatan dan perawatan beton (Sasmita dan Andaryati, 2021). Fungsi air pada pembuatan mortar merupakan salah satu faktor penting, dimana air sebagai bahan pencampuran, pengaduk, dan pemicu reaksi hidrasi antara semen dan agregat, yang akan menjadi pasta pengikat agregat (Tjokrodimuljo, 1992).

Menurut SNI 03-2847-2002, air yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.

2. Air pencampur yang digunakan pada beton yang di dalamnya tertanam logam alumunium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton.

2.5 Pengujian dan Karakterisasi

2.5.1 Pengujian

Pengujian pada produk mortar meliputi uji mekanis dan uji fisis.

- Uji Mekanis

1. Kuat Tekan

Kekuatan tekan adalah sifat kemampuan menahan atau memikul suatu beban tekan. Kekuatan tekan yang diukur adalah kekuatan tekan pasta, mortar, dan beton terhadap beban yang diberikan (Hargono *et al.*, 2009).

Faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan yaitu:

- a. Kualitas Semen

Meliputi kehalusan dan komposisi semen. Makin halus partikel-partikel semen akan menghasilkan kekuatan tekan makin tinggi.

- b. Kualitas Selain Semen

Meliputi kualitas agregat, kekuatan tekan agregat dan pasta, kekerasan permukaan, konsentrasi, ukuran agregat, *water cement ratio*, volume udara, cara pengerjaan seperti pengadukan, pengeringan, dan umur mortar.

Menurut Handayani (2010), besarnya tekanan pada batu bata dapat ditentukan menggunakan Persamaan (2.1).

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

dengan P sebagai kuat tekan (MPa), F sebagai beban maksimum (gaya tekan) (N), A sebagai luas bidang bahan (mm^2).

Kuat tekan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

1. Pengaruh mutu semen *portland*.
2. Pengaruh agregat yang digunakan.
3. Pengaruh dari perbandingan adukan beton.
4. Pengaruh air untuk membuat adukan.
5. Pengaruh umur beton.
6. Pengaruh waktu pencampuran.
7. Pengaruh perawatan.
8. Pengaruh campuran bahan tambah (Tjokrodimuljo, 1995).

- Uji Fisis

1. Penyerapan (Absorpsi)

Absorpsi atau penyerapan merupakan kemampuan air untuk bergerak melalui rongga-rongga kapiler melalui permukaan hingga lapisan dalam pada beton ketika benda tersebut bersentuhan dengan air. Biasanya penelitian absorpsi diukur dengan menghitung persentase antara perbedaan massa dari kondisi kering dengan kondisi SSD (*saturated surface dry*) (Liliani *et al.*, 2022).

Menurut ASTM-C 642-06 nilai absorpsi dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.2)

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

dengan A sebagai absorpsi (%), w_1 sebagai massa kering (g), w_2 sebagai massa setelah dikeringkan (g).

2. Porositas

Porositas merupakan perbandingan volume pori-pori (volume yang dapat ditempati oleh fluida) terhadap volume total beton. Ruang pori pada beton umumnya terjadi akibat kesalahan dalam pelaksanaan dan pengecoran seperti faktor air semen yang dapat berpengaruh pada lekatan antara pasta semen dengan agregat. Semakin tinggi tingkat kepadatan pada beton maka semakin besar mutu beton itu sendiri, sebaliknya semakin besar porositas beton, maka kekuatan beton akan semakin kecil (Sutapa, 2011).

Menurut ASTM-C 642-06 nilai porositas dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.3)

$$P = \frac{w_2 - w_1}{w_2 - w_3} \times 100\% \quad (2.3)$$

dengan P sebagai porositas (%), w_1 sebagai massa kering (g), w_2 sebagai massa setelah dikeringkan (g), w_3 sebagai massa di dalam air (g).

3. Massa Jenis (Densitas)

Densitas adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi densitas (massa jenis) suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya (Sitindaon dan Harahap, 2014).

Menurut ASTM-C 642-06 nilai massa jenis dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.4)

$$\rho = \frac{w_1}{w_2 - w_3} \times \rho_{air} \quad (2.4)$$

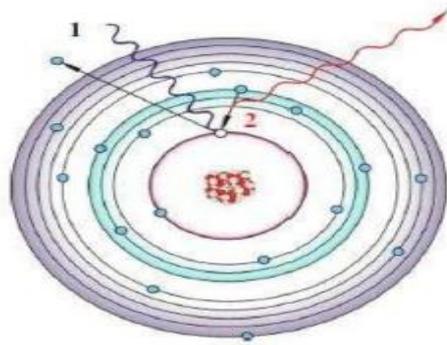
dengan ρ sebagai massa jenis (g/cm^3), w_1 sebagai massa kering (g), w_2 sebagai massa setelah dikeringkan (g), w_3 sebagai massa di dalam air (g), ρ_{air} sebagai massa jenis air (g/cm^3).

2.5.2 Karakterisasi

Karakterisasi pada penelitian ini terdiri dari:

1. *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Fluoresensi sinar-X (XRF) digunakan untuk menganalisis unsur suatu bahan atau kemampuan menganalisis detail yang sangat kecil tanpa gangguan dari bahan-bahan di sekitarnya (Ferrati, 2014). XRF didasarkan pada prinsip bahwa atom individu, ketika tereksitasi oleh sumber energi eksternal, memancarkan foton sinar-X dengan energi atau panjang gelombang karakteristik. Dengan menghitung jumlah foton dari setiap energi yang dipancarkan dari sampel, unsur-unsur yang ada dapat diidentifikasi dan jumlahnya. Prinsip kerja XRF ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Prinsip kerja XRF (Gupta, 2014)

Pada Gambar 2.1, (1) sebuah kuantum sinar-X menumbuk elektron kulit bagian dalam dalam atom (sampel). Kemudian elektron dilepaskan meninggalkan atom dalam keadaan tereksitasi. (2) Elektron kulit dalam yang hilang digantikan oleh elektron dari kulit terluar. Perbedaan energi antara kulit dalam dan kulit luar diseimbangkan dengan emisi foton (radiasi fluoresensi sinar-X). Panjang gelombang dan energi radiasi fluoresensi spesifik untuk setiap elemen. Instrumen XRF modern mampu menganalisis sampel padat, cair, dan film tipis untuk komponen utama dan jejak (tingkat ppm). Analisisnya cepat dan biasanya preparasi sampel minimal atau tidak memerlukan waktu yang lama (Gupta, 2014).

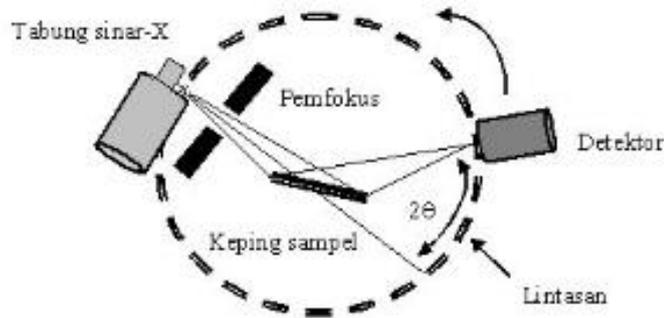
2. *X-Ray Diffraction (XRD)*

XRD merupakan teknik analisis non-destruktif untuk mengidentifikasi dan menentukan secara kuantitatif tentang bentuk-bentuk berbagai kristal, yang disebut dengan fasa. Identifikasi diperoleh dengan membandingkan pola difraksi dengan sinar-X. XRD dapat digunakan untuk menentukan fasa apa yang ada di dalam bahan dan konsentrasi bahan-bahan penyusunnya. XRD juga

dapat mengukur macam-macam keacakan dan penyimpangan kristal serta karakterisasi material kristal. XRD juga dapat mengidentifikasi mineral-mineral yang berbutir halus (Wicita, 2016).

Secara sederhana, prinsip kerja dari XRD yaitu setiap senyawa terdiri dari susunan atom-atom yang membentuk bidang tertentu. Jika sebuah bidang memiliki bentuk yang tertentu, maka partikel cahaya (foton) yang datang dengan sudut tertentu hanya akan menghasilkan pola pantulan maupun pembiasan yang khas. Dengan kata lain, tidak mungkin foton yang datang dengan sudut tertentu pada sebuah bidang dengan bentuk tertentu akan menghasilkan pola pantulan ataupun pembiasan yang bermacam-macam (Setiabudi *et al.*, 2014).

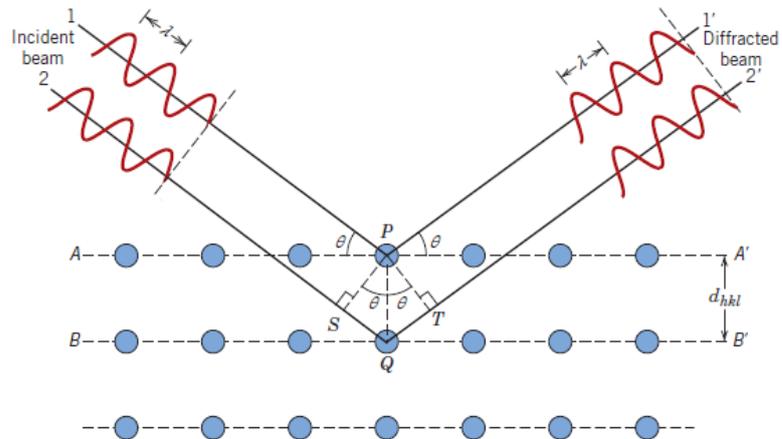
Salah satu teknik yang digunakan untuk menentukan struktur suatu padatan kristalin adalah metode difraksi sinar-X serbuk atau *X-Ray Diffraction* (XRD) seperti terlihat pada Gambar 2.2. Sampel berupa serbuk padatan kristalin yang memiliki ukuran kecil dengan diameter butiran kristalnya sekitar 10^{-7} – 10^{-4} m ditempatkan pada suatu plat kaca. Sinar-X diperoleh dari elektron yang keluar dari filamen panas dalam keadaan vakum pada tegangan tinggi, dengan kecepatan tinggi menumbuk permukaan logam.



Gambar 2.2 Ilustrasi prinsip kerja XRD

Sinar-X tersebut menembak sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi hukum Bragg. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya (Jamalludin, 2010).

Menurut Mukti (2012) ketika sinar-X monokromatik datang pada permukaan suatu kristal, sinar tersebut akan dipantulkan. Akan tetapi, pemantulan terjadi hanya ketika sudut datang mempunyai harga tertentu. Besarnya sudut datang bergantung dari panjang gelombang dan konstantakisi kristal. Sehingga peristiwa tersebut dapat digunakan sebagai salah satu model untuk menjelaskan pemantulan dan interferensi. Setiap kumpulan bidang kisi mempunyai sudut orientasi tertentu sehingga memenuhi difraksi sinar-X hukum Bragg seperti Gambar 2.3



Gambar 2.3 Skema Hukum Bragg (*Callister et al., 2009*).

Berdasarkan Gambar 2.3, dapat dilihat bahwa sinar datang 1 menumbuk titik P kemudian sinar akan dibelokkan, begitu juga dengan sinar 2 akan menumbuk titik Q dengan jarak $SQ + QT$. Dengan jarak $1P1' = \text{jarak sinar } 2Q2'$, maka:

$$\lambda = SQ + QT \quad (2.5)$$

$$\sin \theta = \frac{SQ}{PQ} = \frac{SQ}{d}$$

$$d \sin \theta = SQ \quad (2.6)$$

karena $SQ = QT$, maka

$$\lambda = 2SQ \quad (2.7)$$

atau

$$d \sin Q = SQ$$

$$d \sin Q = \frac{1}{2} \lambda$$

$$2 d \sin \theta = \lambda \quad (2.8)$$

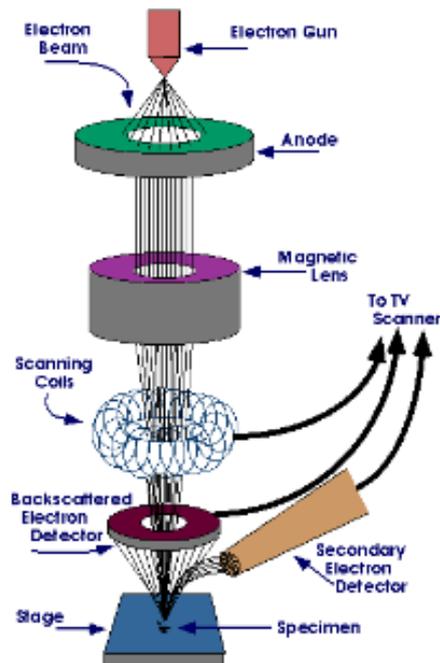
dengan d sebagai jarak antara bidang dalam kristal, θ sebagai sudut difraksi, λ sebagai panjang gelombang (m).

Ketika kristal digambarkan sebagai bidang paralel sesuai dengan bidang orientasi atomnya. Sinar datang dipantulkan sebagian pada masing-masing bidangnya, dimana bidang tersebut berfungsi seolah-olah sebagai cermin, dan pantulan sinar-sinar kemudian terkumpul pada detektor. Karena kumpulan pantulan sinar-sinar tersebut merupakan sinar-sinar yang koheren dan ada selisih lintasan dari masing-masing pantulan bidang kristal, maka akan terjadi peristiwa interferensi ketika diterima oleh detektor. Interferensi konstruktif terjadi jika selisih antar dua sinar berturutan merupakan kelipatan dari panjang gelombang (λ). Menurut persamaan Bragg, peristiwa difraksi terjadi apabila $\lambda < 2d$, sehingga untuk gelombang optik tidak dapat digunakan (Mukti, 2012).

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

SEM merupakan jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambar profil permukaan benda yang akan di amati. Prinsip kerja dari SEM yaitu dengan menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi. Pada permukaan benda yang dikenai berkas, maka akan memantulkan kembali berkas tersebut dan menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Namun, ada satu arah dimana berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Suatu detektor yang ada di dalam SEM akan mendeteksi elektron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi tersebut. Pada saat pengamatan, lokasi pada permukaan benda yang ditembak dengan berkas elektron di-scan ke seluruh area daerah pengamatan (Abdullah dan Khairurrijal, 2009).

Skema SEM ditampilkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema SEM (Sudrajat dan Bayuseno, 2014).

Peralatan utama yang terdapat pada mikroskop elektron atau SEM yaitu :

- 1) Pistol elektron, berupa filamen yang terbuat dari unsur yang mudah untuk melepaskan elektron.
- 2) Lensa magnetik untuk elektron, berupa lensa bersifat magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
- 3) Sistem vakum, karena elektron sangat kecil dan ringan maka jika ada molekul udara yang lain elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting (Wijayanto dan Bayuseno, 2014).

Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) adalah teknik analitik yang digunakan untuk analisis elemen atau karakterisasi kimia sampel. SEM-EDS dapat menentukan ukuran, bentuk, dan komposisi unsur partikel untuk mengidentifikasi partikel yang berbeda dan menghubungkannya dengan sumber yang mungkin (Yingzi *et al.*, 2015).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Desember 2022 sampai dengan Juni 2023 di Laboratorium Non-Logam, Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN yang bertempat di Jl. Ir. Sutami KM. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: timbangan digital, cetakan kubus $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$, *beaker glass* ukuran 100 ml, baskom, plastik *zipper* ukuran 1000 gram, pemadat besi, sarung tangan, ember, mesin *ball mill*, spidol *permanent*, mesin uji kuat tekan merk *universal testing machines* (UTM) *made in Thailand Type HT-2402 capacity 50 kN*, *X-Ray Fluorescence* (XRF) *PanAnalytical Type minipal 4*, *X-Ray Diffraction* (XRD) *PanAnalytical type expertpro*, *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) Quattro S.

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah: semen beku, kapur (*limestone*), semen jenis PCC, pasir dan air.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari preparasi bahan, karakterisasi bahan, pembuatan mortar semen dan pengujian mortar semen.

3.3.1 Preparasi Bahan

Preparasi bahan pada penelitian ini adalah:

1. Semen beku di-*ball mill* selama 8 jam dan diayak ukuran lolos 100 *mesh*, kemudian semen beku ditimbang dengan variasi komposisi sesuai dengan Tabel 3.1.
2. Kapur (*limestone*) diayak ukuran lolos 100 *mesh* dan ditimbang dengan komposisi sesuai dengan Tabel 3.1.
3. Semen jenis PCC ditimbang dengan komposisi sesuai dengan Tabel 3.1.
4. Pasir diayak ukuran lolos 50 *mesh* dan ditimbang dengan komposisi sesuai dengan Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Variasi komposisi bahan

Kode sampel	Komposisi (%)		Komposisi bahan (g)				Total (g)
	Semen beku: kapur: semen jenis PCC	Semen beku	Kapur	Semen jenis PCC	Pasir	Air (ml)	
60sb/20k	60:20:20	99,99	33,33	33,33	833,35	150	1150
65sb/15k	65:15:20	108,33	24,99	33,33	833,35	150	1150
70sb/10k	70:10:20	116,66	16,66	33,33	833,35	150	1150
75sb/05k	75:5:20	124,99	8,33	33,33	833,35	150	1150
80sb/00k	80:0:20	133,32	0	33,33	833,35	150	1150

Untuk memudahkan penyajian data, sampel diberi kode dengan format 60sb/20k, yang menunjukkan 60% semen beku dan 20% kapur, 65sb/15k menunjukkan 65% semen beku dan 15% kapur, 70sb/10k menunjukkan 70% semen beku dan 10% kapur, dan 80sb/00k menunjukkan 80% semen beku dan 0% kapur.

3.3.2 Karakterisasi Bahan

Prosedur karakterisasi bahan pada penelitian ini adalah:

1. Semen beku di-*ball mill* selama 8 jam, semen beku yang telah di-*ball mill* diayak dengan ukuran lolos 250 *mesh*.
2. Kapur diayak dengan ukuran lolos 250 *mesh*.
3. Semen beku, kapur dan semen jenis PCC dilakukan pemeriksaan dengan karakterisasi XRF.

3.3.3 Pembuatan Mortar Semen

Prosedur pembuatan mortar pada penelitian ini adalah:

1. Bahan baku mortar semen yaitu semen beku, kapur (*limestone*), semen jenis PCC, pasir dan air disiapkan, dan ditimbang sesuai variasi komposisi pada Tabel 3.1.
2. Bahan baku pembuatan mortar semen dimasukkan ke dalam wadah.
3. Air ditambahkan ke dalam campuran adonan sebanyak 150 ml secara perlahan ke dalam wadah.
4. Campuran bahan diaduk sesuai komposisi dengan *mixer* hingga homogen dan terbentuk adonan.

5. Adonan dimasukkan ke dalam cetakan kubus ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ yang sudah diolesi dengan oli agar mudah dilepas, kemudian dipadatkan menggunakan tumbukan besi ke dalam cetakan.
6. Permukaan mortar semen diratakan menggunakan sendok perata.
7. Mortar semen didiamkan dalam cetakan selama 24 jam pada suhu ruang.
8. Mortar semen dilepaskan dari cetakan.
9. Mortar semen direndam di dalam air dengan variasi waktu perendaman selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

3.3.4 Pengujian pada Mortar

Uji pada produk mortar semen terdiri dari uji mekanis dan uji fisis.

- Uji Mekanis

1. Kuat Tekan

Langkah-langkah uji kuat tekan pada mortar semen adalah:

- a. Mortar semen yang telah diangkat dari dalam air dengan waktu perendaman 7 hari, 14 hari dan 28 hari disiapkan.
- b. Mortar semen didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang.
- c. Mortar semen diletakkan pada mesin uji kuat tekan.
- d. Beban tekan maksimum yang dihasilkan dicatat ketika *dial* tidak naik lagi atau saat benda uji sudah hancur (P).
- e. Kuat tekan dengan dihitung menggunakan Persamaan (2.1)

- Uji Fisis Mortar

Uji fisis pada mortar semen terdiri dari:

1. Absorpsi

Langkah-langkah uji absorpsi pada mortar semen adalah:

- a. Massa mortar semen dalam keadaan kering ditimbang menggunakan timbangan digital, kemudian dicatat hasilnya (w_1).
- b. Mortar semen direndam ke dalam air selama 24 jam, tujuannya agar permukaan mortar benar-benar basah.
- c. Mortar semen diangkat lalu diusap sisi permukaan mortar yang berisi air menggunakan kain lap. Kemudian ditimbang pada timbangan digital untuk mencatat massa mortar semen setelah direndam dalam air (w_2).
- d. Absorpsi dihitung menggunakan Persamaan (2.2).

2. Porositas

Langkah-langkah uji porositas pada mortar semen adalah:

- a. Massa mortar semen dalam keadaan kering ditimbang menggunakan timbangan digital kemudian dicatat (w_1).
- b. Mortar semen direndam ke dalam air selama 24 jam, tujuannya agar permukaan mortar benar-benar basah.
- c. Mortar semen diangkat lalu diusap sisi permukaan mortar yang berisi air menggunakan kain lap. Kemudian ditimbang pada timbangan digital untuk mencatat massa mortar setelah direndam dalam air (w_2).
- d. Mortar semen ditimbang kembali dalam keadaan digantung dalam air menggunakan timbangan digital dan dicatat hasilnya (w_3).

- e. Porositas dihitung menggunakan Persamaan (2.3).

3. Densitas

Langkah-langkah uji densitas pada mortar semen adalah:

- a. Massa mortar semen dalam keadaan kering ditimbang menggunakan timbangan digital kemudian dicatat (w_1).
- b. Mortar semen direndam ke dalam air selama 24 jam, tujuannya agar permukaan mortar benar-benar basah.
- c. Mortar semen diangkat lalu diusap sisi permukaan mortar yang berisi air menggunakan kain lap. Kemudian ditimbang pada timbangan digital untuk mencatat massa mortar setelah direndam dalam air (w_2).
- d. Mortar semen ditimbang kembali dalam keadaan digantung dalam air menggunakan timbangan digital dan dicatat hasilnya (w_3).
- e. Nilai densitas dihitung menggunakan Persamaan (2.4).

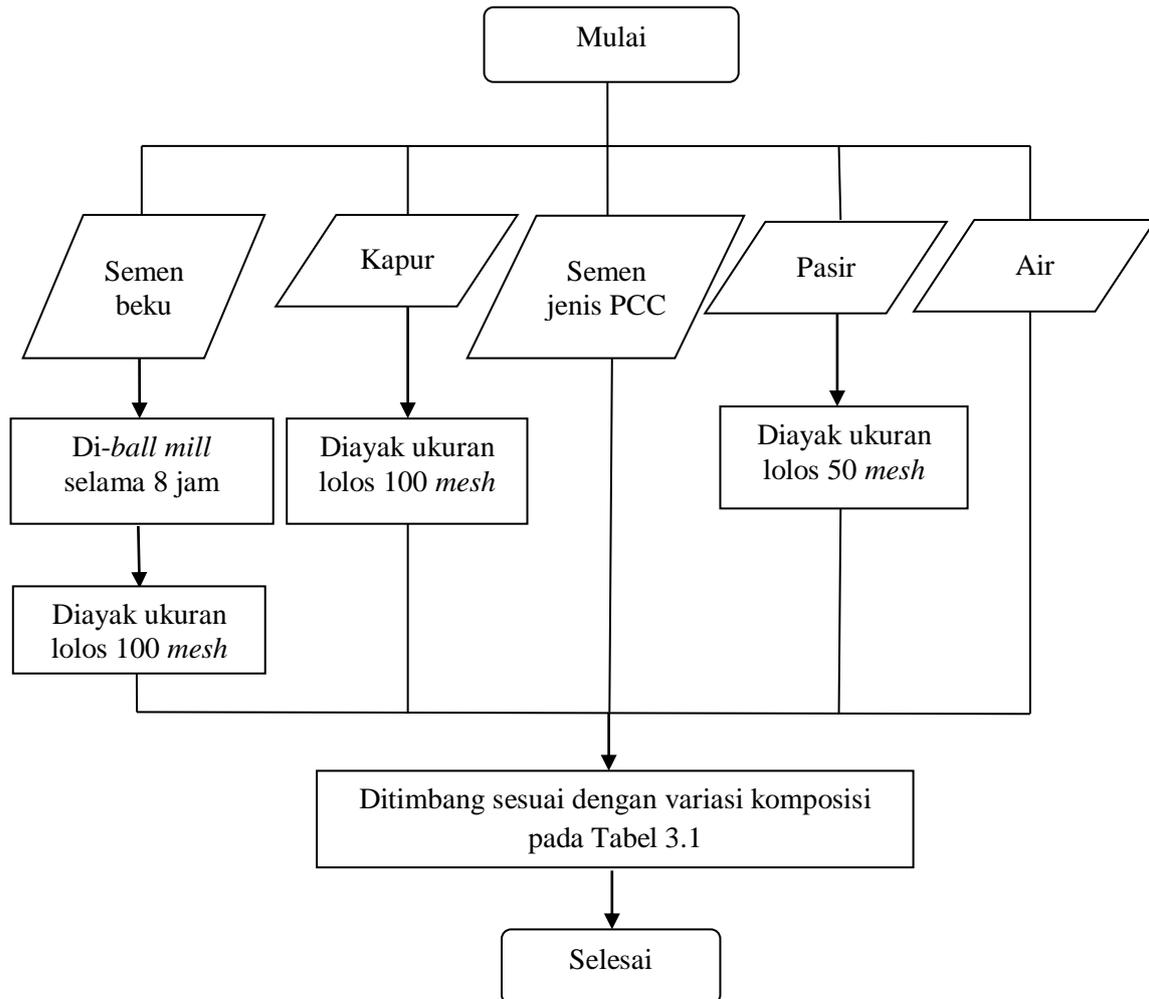
3.3.5 Karakterisasi Mortar Semen

Mortar semen yang memiliki nilai kuat tekan tertinggi, kuat tekan sedang dan kuat tekan terendah dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) menggunakan mesin XRF *PanAnalytical Type minipal 4*, *X-Ray Diffraction* (XRD) menggunakan mesin XRD *PanAnalytical type expertpro*, dan *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) menggunakan mesin SEM-EDS Quattro S.

3.4 Diagram Alir

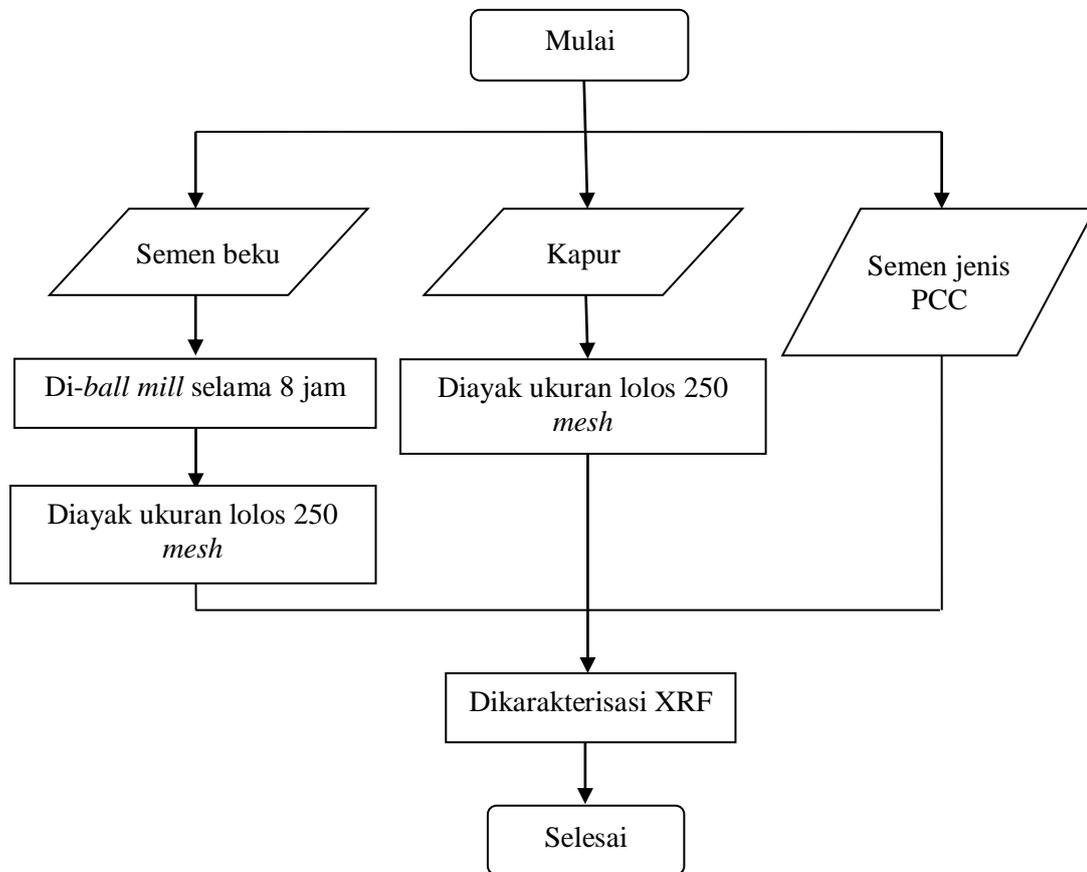
Secara garis besar, tahapan yang dilakukan pada penelitian ini disajikan dalam diagram alir pada Gambar 3.1, 3.2 dan 3.3.

1) Diagram Alir Preparasi Bahan



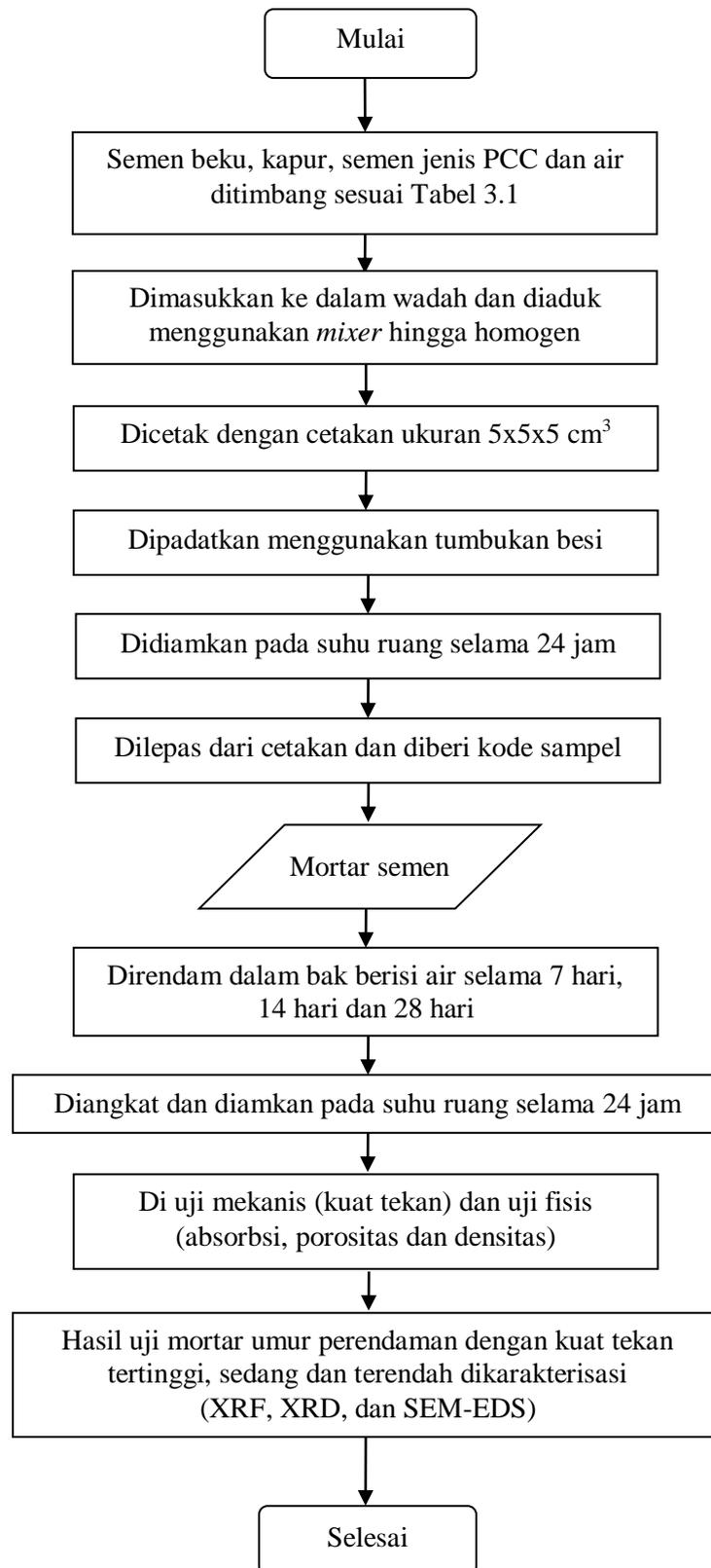
Gambar 3.1. Diagram alir preparasi bahan

2) Diagram Alir Karakterisasi Bahan Baku



Gambar 3.2. Diagram alir preparasi dan karakterisasi bahan baku

3) Diagram Alir Penelitian

**Gambar 3.3.** Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Mortar semen dengan penambahan semen beku 70% dan kapur 10% (kode sampel 70sb/10k) pada umur perendaman 28 hari memiliki nilai kuat tekan dan massa jenis tertinggi sebesar 7,3 MPa dan 2,99 g/cm³, serta memiliki nilai absorpsi dan porositas terendah sebesar 9,48% dan 18,87%. Sedangkan Mortar semen dengan kode sampel 80sb/00k pada umur perendaman 7 hari memiliki nilai kuat tekan dan massa jenis terendah sebesar 3 MPa dan 1,76 g/cm³, serta memiliki nilai absorpsi dan porositas tertinggi sebesar 15,92% dan 27,38%.

Dengan begitu, mortar semen pada penelitian ini masuk ke dalam kategori mortar tipe N karena memiliki nilai kuat tekan tertinggi yang lebih dari 5,2 MPa

2. Berdasarkan hasil karakterisasi XRF komposisi kimia yang dominan pada mortar adalah CaO, SiO₂ dan Fe₂O₃.

3. Berdasarkan hasil XRD fasa dominan yang terbentuk pada mortar adalah *Calcium Silicate* (CaSiO_4), *Dicalcium Silicate* ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) dan *Fayalite* (Fe_2SiO_4).
4. Berdasarkan hasil karakterisasi SEM-EDS pada mortar semen sampel 60sb/20k, 70sb/10k dan 80sb/00k menunjukkan bahwa pada ungu yang mengandung unsur Ca, dan biru muda mengandung unsur Si memiliki penyebaran warna yang merata. Sehingga Ca dan Si adalah unsur dominan yang terdapat dalam mortar semen.
5. Semen beku dapat digunakan kembali sebagai bahan konstruksi bangunan dengan penambahan komposisi semen beku pada campuran bahan aktivasi antara 60%-75%.

5.2 Saran

1. Untuk memperoleh produk mortar dengan kualitas yang baik perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan semen beku yang di-*mesh* lebih halus.
2. Kualitas mortar semen dengan penambahan semen beku perlu ditingkatkan dengan memvariasikan komposisi dan penambahan bahan lainnya sebagai substitusi pembuatan mortar semen.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., dan Khairurrijal. 2009. Review: Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. Vol. 2. No. 1. Hal. 1-9.
- Amin, M. Shofiul, M. G. R, dan Tri Y. S. 2019. Pengaruh Penambahan Batu Kapur (*Limestone*) terhadap Karakteristik Semen. *Construction and Material Journal*. Vol.1. No. 2. Hal. 141-150.
- Aprizal, E. J., dan Prpto, P. 2015. Pengaruh Partial Replacement Semen Portland dengan Bentonite terhadap Kuat Tekan Beton berdasarkan Variasi Umur. *Jurnal Inersia*. Vol. 11. No. 1. Hal. 67-78.
- ASTM C 270: *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*. ASTM Internasional. West Conshohocken. PA. USA.
- ASTM C 642-06-2006. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. ASTM Internasional. West Conshohocken. PA. USA.
- Aziz, M. 2010. Batu Kapur dan Peningkatan Nilai Tambah Serta Spesifikasi untuk Industri. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. Vol. 6. No. 3. Hal. 116-131.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002: SNI 03-2847-2002. *Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002: SNI 03-6825-2002. *Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan*. Dewan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002 : SNI 03-6882-2002. *Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan*. Dewan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004: SNI 15-2049-2004. *Semen Portland*. Dewan Standarisasi Nasional. Bandung.
- Balasubramanian, J., Gopal. E., dan Periakaruppan, P. 2015. Strength and Microstructure of Mortar with Sand Substitutes. *Journal Chemical Engineering*. Vol. 10. No.1. Hal. 29-37.

- Botahala, L. 2020. Determination Rice Husk Amorphous Silica In Alor District As An Additive On The Manufacture Of Composite Portland Cement. *Scientific Journal Widya Teknik*. Vol. 19. No. 2. Hal. 74–78.
- Callister, J. W. D., Rethwisch, D.G. 2009. Materials Science and Engineering An Introduction 8Th. *John Wiley & Sons*.
- Deng, C. S., Breen. C., Yarwood, J., Habesch, S., Phipps, J., Craster, B., and Maitland, G. 2002. Ageing of oilfield Cement at High Humidity: a combined FEG-ESEM and Raman Microscopic Investigation. *J MaterChem* 12(10):3105–3112.
- Ferrati, M. 2014. The Investigation Of Ancient Metal Artefacts By Portable Xray Fluorescence Devices. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. Institute for Technologies Applied to Cultural Heritage. Italy.
- Firyanto, R.P. 2018. Pengaruh Kuat Tekan Mortar Campuran Silica Fume Sebagai Substitusi Semen (K-300) dengan Air Laut Sebagai Rendaman. *Skripsi*. Universitas 17 Agustus 1945. Surabaya.
- Gupta, A.K. 2014. Total Reflection X-Ray Fluorescence Spectroscopy Working Principles. *Journal Internasional of Core Engineering & Manegement (IJCEM)*. Vol. 1. No. 5. Hal. 36-55.
- Handayani, S. 2010. Kualitas Batu Merah dengan Penambahan Serbuk Gergaji. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*. Vol. 12. No. 1. Hal. 41-45.
- Hargono., Jaeni, M., dan Budi, F.S. 2009. Pengaruh Perbandingan Semen Pozolan dan Semen *Portland* terhadap Kekekalan Bentuk dan Kuat Tekan Semen. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 5. No. 2. Hal. 21–25.
- Hariawan, J.B. 2012. Pengaruh Perbedaan Karakteristik Type Semen Ordinary *Portland Cement* (OPC) dan *PortlandComposite Cement* (PCC) terhadap Kuat Tekan Mortar. *Makalah*. Universitas Gunadarma. Depok.
- Hepiyanto, R., dan Samsul, A. 2019. Pengaruh Variasi Penambahan Abu Serbuk Gergaji Kayu Pada Pasta Semen Terhadap Uji Bahan Semen. *Rank Teknik Journal*. Vol. 2. No.1. Hal. 117-122.
- Jamaluddin, K. 2010. *X-Ray Diffraction*. *Makalah Fisika Material*. Universitas Haluoleo. Kendari.
- Liliani., Ajeng, S., dan Jehudu, M. F. 2022. Efektifitas Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Bahan Tambah Untuk Netralisasi Air Asam Pada Campuran Beton Ditinjau Terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi. *Thesis*. Universitas Katholik Soegijapranata. Semarang.
- Lobang, Y. 2021. Analisis Konsentrasi Senyawa Kimia Dalam Semen Curah di Kabupaten Alor. *Skripsi*. Universitas Kalabahi. Nusa Tenggara Timur.

- Mukti, K. 2012. *Fabrikasi dan Karakterisasi XRD (X-Ray Diffractometer). Makalah*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Mulyadi, A., Suanto, P., dan Purba, W. 2020. Analisis Pengaruh Penambahan Limbah Pecahan Kaca Terhadap Campuran Mortar. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 10. No. 1. Hal.1-6.
- Pratama, M. I. 2022. Pengaruh Variasi Ukuran Butir, Komposisi Slag sebagai Substitusi Semen, dan Bottom Ash sebagai Pengganti Pasir terhadap Sifat Fisik dan Nilai Kuat Tekan Mortar. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Rommel, E., Wahyudi, Y., Dharmawan, R. 2015. Tinjauan Permeabilitas dan Absorpsi Beton dengan Menggunakan Bahan *Fly Ash* sebagai *Cementitious Permeability*. Vol. 13. No. 2. Hal.141-145.
- Sankara, I.G.K.A. 2022. Penggunaan Material Batu Kapur (*Limestone*) dalam Arsitektur Modern dan Tradisional. *Skripsi*. Institut Seni Indonesia Denpasar. Bali.
- Sasmita, A. Y., dan Andaryati. 2021. Beton dengan Agregat Kasar Berbahan Sampah Kantong Plastik. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*. Vol. 9. No.1. Hal. 9-16.
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Muzakir, A. 2014. *Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Sihombing, A. P, Yuzuar, A., dan Agustin, G. 2018. Pengaruh Penambahan Arang Batok Kelapa terhadap Kuat Tekan Mortar. *Jurnal Inersia*. Vol.10. No.1. Hal. 31-38.
- Simanullang, D.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. Hal. 621-631.
- Sitindaon, D., dan Harahap, M.H. 2014. Pengaruh Penambahan Styrofoam Pada Pembuatan Beton Ringan Menggunakan Pasir Merah Labuhan Batu Selatan. *Jurnal Einstein*. Vol. 2. No. 3. Hal. 14-19.
- Studio, A. 2022. Pengaruh Penyimpanan Pada Kualitas Pemakaian Semen Bangunan. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 2. No. 1. Hal 34-40.
- Sudradjat, A., dan Bayuseno, A. P. 2013. Analisis Korosi dan Kerak Pipa Nickel Alloy N06025 pada Waste Heat Boiler. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 2. No. 1. Hal. 40-45.

- Sutapa, A.A.G. 2011. Porositas, Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton dengan Agregat Kasar Batu Pecah Pasca Dibakar. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. Vol. 15. No.1. Hal. 50-57.
- Syuryadi, P.A. 2011. Kuat Tekan, Density, Absorpsi dan Modulus Elastisitas Mortar Campuran Semen, Abu Sekam Padi dan Precious Slag Ball dengan Perbandingan 30%, 25%, 45%. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.
- Tjokrodimuljo, K. 1992. *Bahan Bangunan*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Tjokrodimuljo, K. 1995. *Teknologi Beton*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Tjokrodimulyo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Untari, A. 2021. Karakteristik Beton dengan Menggunakan Berbagai Jenis Semen. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 1. Hal. 1. Hal. 83-89.
- Vera, R., dan Erry. 2000. *Semen Portland Bahan Baku Sifat-Sifat dan Pengujian*. Citeureup: Industrial Relation Division Training and Development Departement.
- Wenda, K., Zuridah, S., dan Hastono, B. 2018. Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar terhadap Kuat Tekan. *Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*. Vo. 1. No. 2. Hal. 217-226.
- Wenno, R., Wallah, S.E., dan Pandaleke, R. 2014. Kuat Tekan Mortar dengan Menggunakan Abu Terbang (*Fly Ash*) Asal PLTU Amurang Sebagai Substitusi Parsial Semen. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 2. No. 5. Hal. 252-259.
- Wicita, P. S. 2016. *X Ray Diffraction (XRD)-Kristalografi Sinar X*. Makalah. Universitas Padjajaran. Bandung.
- Widia, L., Marjunus, R., dan Sudibyo. 2021. Penggunaan Metode Taguchi untuk Menentukan Kondisi Parameter Optimum Pada Pembuatan CaO dari Batu Kapur (CaCO_3). *Journal of Energy, Material and Instrumentation Technology*. Vol. 2. No. 1. Hal. 24-29.
- Widjoko, L. 2010. Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Unjuk Kerja Mortar. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 1. No. 1. Hal 52-59.
- Wijayanto, S.O., dan Bayuseno, A.P. 2014. Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian: Mikrografi Dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 2. No. 1. Hal. 33-39.
- Winamo, H., dan Pujantara, R. 2015. *Pengaruh Komposisi Bahan Pengisi Styrofoam pada Pembuatan Batako Mortar Semen ditinjau dari Karakteristik dan Kuat Tekan*. Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Negeri Makassar. Makassar.

- Yingzi, L., Li, Y., Li, Q., Bao, J., Hao, D., Zhao, Z., Song, D., Wang, J., dan Hu, Z. 2015. Micro-to Nanoscale Morphologies and Chemical Components of Soils Investigated by SEM-EDS for Forensic Science. *Journal of Chemistry*. University of Jinan. China.
- Yunanda, M. 2017. Perbandingan Kuat Tekan Mortar dengan Memanfaatkan *Coal Ash Waste*. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 9. No. 1. Hal. 61-75.
- Zhang, H. 2011. Building Materials in Civil Engineering. *Woodhead Publishing Limited and Science Press*. Cambridge.
- Zuraidah, S., dan Hastono, B. 2017. Serbuk Kapur Sebagai *Cementitious* Pada Mortar. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. Vol. 2. No. 1. Hal 25-35.