

**PENGARUH *SLAG* CANGKANG SAWIT SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR
PADA PEMBUATAN MORTAR**

(Skripsi)

Oleh
Ida Nur Khamidah
1917041048



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

ABSTRAK

PENGARUH *SLAG* CANGKANG SAWIT SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR PADA PEMBUATAN MORTAR

Oleh

Ida Nur Khamidah

Mortar merupakan bahan bangunan yang dapat digunakan sebagai bahan konstruksi. Mortar terbuat dari pasir dan semen saja atau dengan bahan campuran lain. Penelitian *slag* cangkang sawit sebagai substitusi pasir pada mortar dilakukan untuk mengetahui pengaruh *slag* cangkang sawit terhadap uji fisis dan mekanis mortar. Variasi substitusi *slag* cangkang sawit sebesar 20 %, 30 %, 40 %, 50 % dan 60 % dari massa pasir dengan total bahan 1000 gram. Mortar dicetak dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm³, dilakukan perendaman dengan variasi umur perendaman 7, 14 dan 21 hari. Uji mekanis dan fisis meliputi uji kuat tekan, uji massa jenis, uji porositas dan uji absorpsi serta karakterisasi mortar yaitu XRF, XRD dan SEM-EDS. Mortar dengan umur perendaman 21 hari memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 18,4 MPa. Karakterisasi menunjukkan bahwa fase yang terbentuk pada mortar adalah *calcium carbonate* (CaCO₃) dan *silicon oxide* (SiO₂).

Kata kunci: *Slag*, cangkang sawit, pasir, mortar dan kuat tekan.

ABSTRACT

THE EFFECT OF PALM OIL SHELL SLAG AS A SUBSTITUTION OF SAND IN MORTAR PRODUCTION

By

Ida Nur Khamidah

Mortar is a material that can be used as a construction material. Mortar is made of sand and cement or with other mixed ingredients. Research on palm shell slag as a substitute for sand in mortar was carried out to determine the effect of palm shell slag on the physical and mechanical tests of mortar. Variations of palm shell slag substitution of 20 %, 30 %, 40 %, 50 % and 60 % of the mass of sand with a total of 1000 grams of material. The mortar was printed with a size of 5 x 5 x 5 cm³, soaked with variations of immersion age of 7, 14 and 21 days. Mechanical and physical tests include compressive strength test, density test, porosity test and absorption test as well as mortar characterization are XRF, XRD and SEM-EDS. Mortar with immersion age of 21 days has the highest compressive strength value of 18.4 MPa. The characterization shows that the phases formed in the mortar are calcium carbonate (CaCO₃) and silicon oxide (SiO₂).

Keywords: Slag, palm shell, sand, mortar and compressive strength.

**PENGARUH *SLAG* CANGKANG SAWIT SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR
PADA PEMBUATAN MORTAR**

Oleh

IDA NUR KHAMIDAH

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 SLAG CANGKANG SAWIT
SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR PADA
PEMBUATAN MORTAR**

Nama Mahasiswa : **Ida Nur Khamidah**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1917041048**

Program Studi : **Fisika**

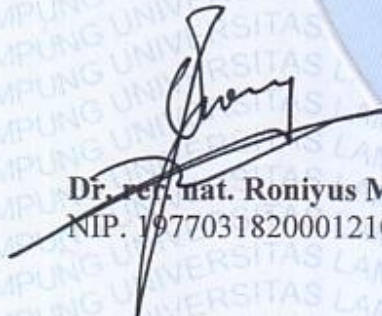
Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**


MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

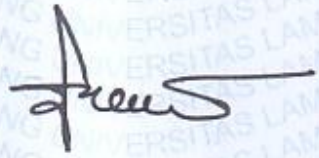
Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. ref. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.
NIP. 197703182000121003


Dr. Sudiby, S.T., M.Sc.
NIP. 19820327015021002

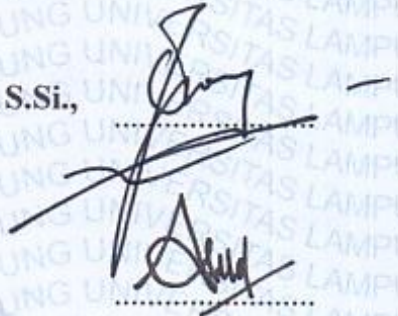
2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA


Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002

MENGESAHKAN

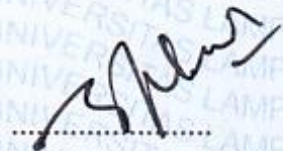
1. Tim Penguji

**Ketua : Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si.,
M.Si.**



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

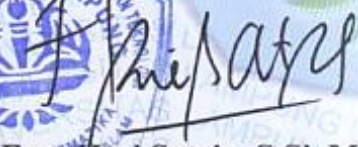
Penguji Bukan Pembimbing : Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si, M.Si.
NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 01 Agustus 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, 01 Agustus 2023



Ida Nur Khamidah
NPM. 1917041048

RIWAYAT HIDUP



penulis bernama Ida Nur Khamidah dilahirkan pada 29 Oktober di Brebes Jawa Tengah. Anak kedua dari tiga bersaudara pasangan Alm. Bapak Sofaeni dan Ibu Wagiyem.

Penulis menyelesaikan pendidikan tingkat dasar di SD Negeri 1 Kesumadadi kecamatan Bekri Kabupaten Lampung Tengah pada tahun 2012, kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah di MTs Guppi 1 Kesumadadi dan lulus pada tahun 2015. Kemudian pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan tingkat menengah atas di SMAS Kesuma Bakti dan tamat pada tahun 2018. Kemudian pada tahun 2019 penulis melanjutkan pendidikan ke tingkat perguruan tinggi di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Selama menempuh jenjang pendidikan S1 di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, penulis memilih konsentrasi pada bidang Fisika Material, kemudian melakukan Praktik Kerja Lapangan di PTPN VII Unit Bekri Lampung Tengah. Selanjutnya penulis mengikuti program

pengabdian masyarakat dengan mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pematang Tahalo, Kecamatan Jabung, Kabupaen Lampung Timur pada tahun 2022. Selanjutnya penulis memilih penelitian di bidang non logam sebagai topik skripsi di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung dengan judul “**Pengaruh *Slag* Cangkang Sawit sebagai Substitusi Pasir Pada Pembuatan Mortar**” dan melakukan penelitian di Laboratorium Non Logam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), yang bertempat di Tanjung Bintang, Lampung Selatan, Provinsi Lampung.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S Al-Baqarah, 2:286)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain)”.

(Q.S Al-Insyirah, 94:5-6)

“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanku tidak akan pernah mejadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkanku”.

(Umar bin Khattab)

Orang lain ga akan paham *struggle* dan masa sulitnya kita, yang mereka ingin tahu hanya bagian dari *success stories*-nya aja. Jadi berjuanglah untuk diri sendiri meskipun gak akan ada yang tepuk tangan. Kelak diri kita di masa depan akan sangat bangga dengan apa yang kita perjuangkan hari ini.

Jadi tetap berjuang dan semangat.

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan secuil karya ini kepada

Alm. Bapak Sofaeni, Ibu tercinta Wagiyem dan abang tersayang Dedi

Imawan

“terimakasih untuk segala do’a dan usaha yang selalu diberikan demi keberhasilan saya ini tak lupa adikku yang selalu membrikan saya 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 ucapkan kehadiran Allah Subhanahu wa Ta,ala, yang telah memberikan nikmat kesehatan, kelancaran dan berkat karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh *Slag* Cangkang Sawit Sebagai Substitusi Pasir Pada Pembuatan 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 *slag* cangkang sawit pada pembuatan mortar kemudian diuji fisis dan dikarakterisasi menggunakan XRF, XRD, dan SEM-EDS.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun guna dalam penulisan berikutnya yang lebih baik. Semoga skripsi ini bermanfaat dan dapat menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, 01 Agustus 2023

Ida Nur Khamidah
NPM. 1917041048

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberi kesehatan, nikmat, karuania serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh *Slag* Cangkang Sawit Sebagai Substitusi Pasir Pada Pembuatan Mortar”**. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Pertama yang telah banyak memberi bimbingan, motivasi, nasihat serta ilmunya.
2. Bapak Dr. Sudibyoy, 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. Bapak Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si. selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan selama penulisan skripsi.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

7. Bapak Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si., selaku Pembimbing Akademik yang memberikan masukan-masukan serta nasehat selama masa studi di jurusan Fisika.
8. Kedua orang tuaku Alm. Bapak Sofaeni dan Ibu Wagiyem serta kepada abang saya tersayang Dedi Imawan dan adik saya Abdul Khamid yang selalu memberikan cinta kasih, dukungan, pengorbanan, dan do'a untuk penulis.
9. Sahabat-sahabat saya Amapel Odenia, Lis Dwi Andini, Hania Fahrani dan Fhidea Pining Gusti yang selalu ada disaat senang dan susah serta telah menjadi kawan diskusi yang baik. Semoga Allah SWT membalas dengan hal yang lebih baik. Aminn.
10. Teman-teman Pagar Nusa Bekri yang selalu memberikan semangat dan canda tawa kepada penulis.
11. Serta teman-teman seperjuangan Fisika 2019.

Bandar Lampung, 01 Agustus 2023

Ida Nur Khamidah

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
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.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pasir	7
2.2 Semen	8
2.3 <i>Slag</i> Cangkang Sawit.....	8
2.4 Mortar	9
2.5 Uji Fisis dan Karakterisasi.....	12
2.5.1 Porositas.....	12
2.5.2 Absorpsi	12
2.5.3 Massa Jenis	13
2.5.4 Kuat Tekan.....	13
2.5.5 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	14
2.5.6 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	15
2.5.7 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	17

III. METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan tempat Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.2.1 Alat.....	20
3.2.2 Bahan	20
3.3 Prosedur Penelitian.....	21
3.3.1 Preparasi Material.....	21
3.3.2 Pembuatan Mortar dan Karakterisasi	22
3.4 Diagram Alir.....	23
3.4.1 Preparasi Material.....	23
3.4.2 Pembuatan dan Karakterisasi Mortar	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Uji Fisis Mortar dengan Campuran <i>Slag</i> Cangkang Sawit	25
4.1.1. Hasil Pengujian Massa Jenis.....	25
4.1.2 Hasil Pengujian Porositas	27
4.1.3 Hasil Pengujian Absorpsi.....	30
4.2 Hasil Uji Mekanis Mortar.....	32
4.2.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar	32
4.3 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	34
4.3.1. Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) Bahan Baku	34
4.3.2 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) pada Mortar.....	36
4.4. Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	38
4.4.1. Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) pada Mortar	38
4.5 Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM)	45
4.5.1 Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM) pada Mortar.....	45
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	61

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema Difraksi Sinar-X.....	14
Gambar 2.2 Prinsip Kerja <i>X-Ray Fluoresence</i>	16
Gambar 2.3 Skema <i>Scanning Electron Miscroscopy</i>	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Preparasi Material.....	23
Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan an Karakterisasi.....	24
Gambar 4.1. Grafik massa jenis (ρ) mortar pada umur 7, 14 dan 21 hari.....	25
Gambar 4.2. Porositas (P) pada umur 7, 14 dan 21 hari.....	28
Gambar 4.3. Absorpsi pada umur 7,14 dan 21 hari.....	30
Gambar 4.4. Kuat tekan mortar pada umur 7, 14 dan 21 hari.....	32
Gambar 4.5. Difaktogram XRD mortar variasi komposisi V umur 7 hari (K5.7).	39
Gambar 4.6. Difaktogram XRD mortar variasi komposisi III umur 14 (K3.14).	41
Gambar 4.7. Difaktogram XRD mortar variasi komposisi I umur 21 hari (K1.21).....	43
Gambar 4.8 Hasil karakterisasi SEM-EDS mortar variasi komposisi V umur 7 hari (K5.7).....	46
Gambar 4.9 Morfologi mortar variasi komposisi V umur 7 hari (K5.7).....	48
Gambar 4.10 Hasil karakterisasi SEM-EDS mortar variasi komposisi III umur 14 (K3.14).....	49
Gambar 4.11 Morfologi mortar mortar variasi komposisi III umur 14 (K3.14)...	51
Gambar 4.12 Hasil karakterisasi SEM-EDS mortar variasi komposisi I umur 21 hari (K1.21).....	52
Gambar 4.13 Morfologi mortar variasi komposisi I umur 21 hari (K1.21).....	54

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Komposisi bahan pembuatan mortar.....	21
Tabel 4.1. Hasil Karakterisasi XRF Bahan Baku.....	35
Tabel 4.2. Hasil Karakterisasi XRF Unsur produk Mortar	36
Tabel 4.3. Hasil Karakterisasi XRF pada Mortar.....	37
Tabel 4.4. Fase XRD mortar variasi komposisi V umur 7 hari (K5.7).....	40
Tabel 4.5. Fase XRD mortar variasi komposisi III umur 14 (K3.14).....	42
Tabel 4.6. Fase XRD mortar variasi komposisi I umur 21 hari (K1.21).....	44
Tabel 4.7. Fase Keseluruhan karakterisasi XRD produk mortar.....	45
Tabel 4.8. Komposisi unsur pada mortar kode sampel K5.7 menggunakan EDS.....	47
Tabel 4.9. Komposisi unsur pada mortar dengan kode sampel K3.14 menggunakan EDS.....	50
Tabel 4.10. Komposisi unsur pada mortar dengan kode sampel K1 21 menggunakan EDS.....	53

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan konstruksi bangunan di Indonesia berkembang pesat seiring dengan perkembangannya dalam berbagai aspek kehidupan yang memerlukan pengawasan akan dampak terhadap lingkungan. Bahan konstruksi beton yang mengutamakan pada kerasnya bangunan agar tahan lama, yang memiliki daya dukung optimum dan biaya yang relatif murah. Beton atau mortar merupakan campuran bahan terdiri dari semen, pasir dan air. Pada pembuatannya, pasir merupakan bahan baku terbanyak yang digunakan yaitu sebanyak 70 % – 75 % dari volume mortar (Fuad *et al.*, 2020). Semakin banyak kebutuhan pasir sebagai agregat maka semakin banyak jumlah pasir yang dibutuhkan untuk menghadapi situasi ini, banyak penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan berbagai macam bahan atau limbah yang dapat digunakan sebagai pengganti pasir pada pembuatan mortar. Di saat yang sama, limbah padat yang dihasilkan oleh aktifitas industri setiap harinya mencapai 66.941,36 m³ (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2017) yang menjadi perhatian global dalam hal perbaikan lingkungan dan daur ulang sumber daya alam. Pemanfaatan limbah industri ini sangat diperlukan guna melindungi lingkungan. Namun, dengan meningkatnya kualitas hidup maka jumlah limbah dengan pesat serta pembuangannya telah menjadi masalah yang signifikan. Maka jumlah limbah dengan pesat serta pembuangannya telah menjadi masalah yang signifikan. Ada

beberapa jenis limbah industri yang dapat di daur ulang sebagai bahan bangunan, salah satunya *slag* cangkang sawit dianggap sebagai pengganti yang paling cocok untuk pasir. Karena memiliki tekstur yang keras dan bisa digunakan sebagai bahan bangunan yang menghasilkan produk bahan bangunan yang lebih ringan dibanding menggunakan pasir namun memiliki kuat tekan yang hampir sama dengan pasir (Khairul, 2021). Tekstur keras berwarna putih keabuan yang memiliki kandungan unsur silika dioksida (SiO_2). Senyawa SiO_2 ini memiliki komposisi yang besar berkisar 50 % pada pembuatan beton sehingga *slag* cangkang sawit termasuk dalam agregat yang baik dan memenuhi standar pengganti pasir sebagai bahan pengisi pada beton atau mortar (Prianti *et al.*, 2017) .

Daur ulang menjadi salah satu cara alternatif untuk mengurangi pembuangan sampah atau limbah yang menghemat energi. Salah satu penelitian yang telah dilakukan yaitu menguji substitusi pasir dengan menggunakan *slag* cangkang sawit pada penelitian tersebut dilakukan penelitian mengenai pembuatan beton dari daur ulang limbah padat *slag* cangkang sawit sebagai pengganti pasir dalam campuran beton. Dalam penelitian ini bahan dikarakterisasi secara mekanis dan fisik (Rahman *and* Fathurrahman, 2017). Limbah *slag* cangkang sawit selain digunakan sebagai biomassa juga bisa dimanfaatkan sebagai *filler* (bahan pengisi) karena mampu menutupi rongga atau pori diantara partikel agregat serta memiliki potensi sebagai material pozzolan (Yusra dan Opirina, 2019).

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah *slag* cangkang sawit untuk pembuatan mortar telah dilakukan sebelumnya yaitu pada penelitian yang di lakukan oleh Asadi *et al.*, (2021) penelitian ini menggunakan *slag* cangkang sawit untuk dimanfaatkan sebagai substitusi massa pasir. Variasi *slag* cangkang sawit yang

digunakan sebesar 25 %, 50 %, 75 % dan 100 % massa pasir untuk waktu rendaman selama 7 dan 28 hari. Benda uji yang digunakan untuk memeriksa kuat tekannya adalah benda uji berbentuk kubus dengan diameter 50 x 50 x 50 mm³. Sampel dikarakterisasi dengan uji densitas, peyerapan air, kuat tekan dan konduktivitas termal. Semua uji dilakukan dalam suhu kamar 23 – 30 °C. Hasil yang diperoleh bahwa pada hari ke 28, variasi substitusi 100 % menurunkan densitas dan konduktivitas termal (Asadi *et al.*, 2021).

Penelitian selanjutnya mengenai pemanfaatan limbah *slag* cangkang sawit untuk pembuatan mortar telah dilakukan sebelumnya diantaranya pada penelitian yang dilakukan oleh Rahman dan Setiyawan, (2020). Dalam penelitian ini didapatkan informasi bahwa *slag* cangkang sawit dapat dijadikan sebagai substitusi pasir. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10 % massa pasir dengan benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm untuk waktu rendam selama 3 hari, 7 hari dan 28 hari. Dalam penelitian ini, untuk mengevaluasi apakah limbah *slag* cangkang sawit bisa digunakan sebagai bahan beton maka dilakukan karakterisasi terhadap kadar air, kadar lumpur, dan uji kuat tekan pada benda uji. Hasil dari karakterisasi yaitu terdapat kadar air sebesar 26,5 %, kadar lumpur sebesar 5,5 % dan pengujian kuat tekan pada waktu rendaman 3, 7, dan 28 hari didapatkan kuat tekan dalam optimum sebesar 29,09 MPa pada variasi 10 %. Hal ini variasi waktu rendaman mempengaruhi uji kuat tekan (Rahman dan Setiyawan, 2020).

Selanjutnya penelitian lain mengenai pemanfaatan *slag* cangkang sawit pembuatan mortar yaitu penelitian oleh Prianti *et al.*, (2017). Pada penelitian ini menggunakan

slag cangkang sawit yang dimanfaatkan sebagai substitusi pasir. Dengan variasi *slag* cangkang sawit yang digunakan sebesar 25 % massa pasir untuk waktu rendaman selama 28 hari. Hasil yang diperoleh kadar lumpur sebesar 3,6 %, pada uji kuat tekan optimum dengan komposisi 25 % *slag* cangkang sawit diperoleh sebesar 17,83 MPa (Prianti *et al.*, 2017). Untuk syarat pasir kadar lumpur tidak boleh melebihi 5 % karena dapat mengakibatkan ikatan hidrogen pasta semen dan pasir berkurang akibat pengaruh lumpur sebagai pengotor, dalam hal ini *slag* cangkang sawit dapat dijadikan pengganti pasir (Samekto dan Rahmadiyanto, 2001).

Berdasarkan hasil dari beberapa penelitian di atas, maka akan dilakukan pembuatan mortar dengan bahan utama *slag* cangkang sawit yang berasal dari PTPN VII Unit Bekri Lampung Tengah, sebagai material substitusi pasir. Penelitian ini dilakukan dengan komposisi perbandingan 1 : 5 (semen : pasir) dengan timbangan komposisi masing-masing. Substitusi variasi dengan menggunakan *slag* cangkang sawit dengan persentase komposisi sebesar 20 %, 30 %, 40 %, 50 % dan 60 %, dengan umur rendaman 7, 14 dan 21 hari (SNI 03-6825-2002) pada pembuatan mortar variasi ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar absorpsi, porositas dan kuat tekan yang paling baik terhadap mortar (Sulaiman, 2018). Kemudian dicetak berbentuk kubus dengan ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ (SNI 03-6825-2002) untuk menguji kuat tekannya dan dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $110 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam. Selanjutnya dilakukan uji fisis dan mekanis yaitu uji massa jenis (pengukuran massa setiap satuan volume benda), uji porositas (persentase ruang kosong mortar terhadap volume benda), uji absorpsi (menentukan besarnya persentase air yang diserap oleh suatu bahan), uji kuat tekan (kemampuan mortar untuk menahan

tekanan). Kemudian karakterisasi yang dilakukan yaitu *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi kimia bahan uji, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fase kristal pada bahan uji dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi dari permukaan mortar.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah di paparkan, maka rumusan masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh *slag* cangkang sawit sebagai substitusi pasir pada mortar?
2. Bagaimana komposisi kimia yang dihasilkan mortar menggunakan *X-Ray Flourescene* (XRF)?
3. Bagaimana fase kristal dan mengetahui morfologi yang dihasilkan mortar menggunakan karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)?
4. Bagaimana pengaruh *slag* cangkang sawit sebagai substitusi pasir terhadap uji massa jenis, absorpsi, porositas dan kuat tekan pada mortar?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh *slag* cangkang sawit sebagai substitusi pasir pada mortar?
2. Mengetahui komposisi kimia mortar menggunakan *X-Ray Flourescene* (XRF)?
3. Mengetahui fase kristal dan mengetahui morfologi yang terbentuk pada mortar menggunakan karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)?

4. Mengetahui pengaruh *slag* cangkang sawit sebagai substitusi pasir terhadap uji massa jenis, absorpsi, porositas dan kuat tekan pada mortar?

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. *slag* cangkang sawit yang digunakan berasal dari PTPN VII Unit Bekri Lampung Tengah.
2. Perbandingan atau komposisi antara semen dan pasir yaitu 1 : 5.
3. Persentase *slag* cangkang sawit sebagai substitusi pasir sebanyak 20 %, 30 %, 40 %, 50 % dan 60 % dari berat pasir.
4. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada umur 7, 14 dan 21 hari.
5. Benda uji pembuatan mortar berukuran (5 x 5 x 5) cm³.
6. Karakterisasi yang digunakan yaitu XRF, XRD, SEM, serta uji fisis dan mekanis meliputi massa jenis, porositas, absorpsi, dan kuat tekan pada mortar yang di uji.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

Memberi informasi serta pengetahuan mengenai pemanfaatan *slag* cangkang sawit sebagai substitusi pasir pada pembuatan mortar yang dapat dijadikan sumber referensi penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir

Menurut SNI 03-6820-2002 agregat halus adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi batuan atau pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai butiran sebesar 4,76 mm. Pasir atau agregat halus merupakan bahan pengisi yang dipakai bersama bahan pengikat dan air membentuk campuran yang padat dan keras. Pasir yang dimaksud ialah butiran mineral yang keras dengan butiran antara 0,15 mm sampai dengan 5 mm. Butirannya lebih halus dari pada pasir sungai dan mengandung garam. Garam yang dapat mengikat sehingga butiran pasir agak basah serta menyebabkan pengembangan volume bila mortar bangunan (Tjokrodimuljo, 1996). Pasir pun memiliki berbagai macam variasi yang berbeda dengan karakteristik khusus untuk masing – masing jenis. Variasi pasir antara lain adalah pasir pasang, pasir beton, pasir merah, pasir elod dan juga pasir sungai. Agregat pasir sendiri merupakan partikel kecil yang terbentuk oleh erosi batuan atau pelapukan. Pasir memiliki pengaruh yang besar terhadap kinerja mortar, sehingga pemilihan pasir merupakan bagian penting dari pembuatan mortar atau beton. Pasir harus bersih, keras dan bergradasi baik. Pasir bertindak sebagai pengisi untuk campuran mortar dan membuat sekitar 70 % – 75 % dari volume mortar yang telah mengeras (Fuad *et.al*, 2020).

2.2 Semen

Semen merupakan serbuk atau tepung yang terbuat dari kapur dan material yang sering digunakan untuk membuat beton, merekatkan batu bata ataupun membuat tembok (Passa, 2021). Semen merupakan material fleksibel yang dapat ditemukan di Indonesia. Ada tiga jenis semen yang umum ditemukan di Indonesia; yaitu *Ordinary Portland Cement* (OPC), *Portland Cement Composite* (PCC) dan *Portland Pozzolan Cement* (PPC). Semen PCC (*Portland Composite Cement*) adalah semen Portland yang masuk kedalam kategori *blended cement* atau semen campur (Setiati dan Hanna, 2018). Menurut SNI 15-7064-2004, Portland semen campur adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan dengan terak (klinker) semen Portland dengan satu atau lebih bahan anorganik. Bahan-bahan anorganik pada semen PCC merupakan bahan-bahan mineral yang memiliki sifat pozzolonik atau memiliki sifat pozzolan yaitu bahan-bahan mineral yang unsur-unsurnya tidak memiliki sifat semen, namun bila bereaksi dengan kalsium oksida dan air pada temperatur biasa, bisa membentuk senyawa yang mempunyai ciri-ciri semen PCC (Nadia, 2011).

2.3 Slag Cangkang Sawit

Slag cangkang sawit diperoleh dari proses pembakaran pada pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan bahan bakar limbah cangkang sawit pada suhu mulai dari 700 hingga 1.000 °C (Thushari dan Babel, 2018). *Slag* cangkang sawit memiliki sejumlah besar silika dioksida yang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti pasir karena *slag* cangkang sawit salah satu bahan pozzolanik yang dapat ditemukan diberbagai tempat (Thushari dan Babel, 2018).

Slag cangkang sawit adalah zat halus yang memiliki kandungan silika dan alumina yang dapat bereaksi untuk menghasilkan material pasir (Kusumastuti *et al.*, 2022). *Slag* cangkang sawit merupakan bahan pozzolanik, yaitu material yang tidak mengikat seperti semen, namun mengandung senyawa Silika Oksida (SiO_2) (Rahman dan Fathurrahman, 2017). Pada *slag* cangkang sawit ini mengandung silika (SiO_2) yang merupakan biomassa dan berpotensi untuk dimanfaatkan. *Slag* cangkang sawit mempunyai kadar silika sebesar 51,47 %. Kadar SiO_2 yang cukup tinggi sehingga termasuk salah satu bahan campuran pasir tanpa mengurangi kualitasnya. Kandungan silika yang tinggi ini dapat meningkatkan kuat pada beton (Gunawan *et al.*, 2018).

2.4 Mortar

Menurut SNI 03-6882-2002, mortar merupakan campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland), dan air dengan komposisi tertentu. Beberapa macam mortar yang dibedakan berdasarkan bahan perekatnya seperti:

- a. Mortar lumpur yang dibuat dari bahan tanah yang cukup baik, pasir dan air. Mortar ini biasa dipakai sebagai bahan tembok atau bahan tungku api di pedesaan.
- b. Mortar kapur dibuat dari pasir, semen merah, kapur dan air. Mortar ini biasa dipakai untuk pembuatan dinding tembok batu bata (Bunganaen *et al.*, 2016).

Fungsi utama mortar merupakan menaikkan rekatan serta ketahanan ikatnya dengan bagian-bagian penyusun suatu konstruksi. Mortar memiliki nilai penyusutan yang relatif kecil. Mortar wajib tahan terhadap penyerapan air dan kekuatan gesernya

dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar tersebut. Mortar dari bahan bangunan memiliki sifat kerapatan (densitas), porositas serta kekuatan tekan (Ali dan Walujodjati, 2021). Mortar juga memiliki ketebalan standar. Ketebalan mortar standar ini nantinya akan digunakan untuk menentukan kekuatan mortar untuk memplester dinding, sehingga diharapkan mortar yang menahan gaya tekan akibat beban yang bekerja padanya tidak akan hancur (Mulyono, 2003). Mortar dengan tambahan butiran halus dapat mengurangi kelembaban. Hal ini disebabkan oleh efek pengisi pori dalam struktur mortar, mengurangi jumlah udara yang dibutuhkan untuk membasahi dan melumasi agregat. Selain itu, kekuatan mekanik seperti fleksibilitas dan kekuatan tekan meningkat secara signifikan. Hal ini disebabkan adanya partikel *filler* yang menyusun mortar. Mortar yang mengandung limbah halus memiliki banyak kelebihan, tetapi juga memiliki kelemahan seperti modulus tinggi dan mudah retak. Peningkatan modulus elastisitas berarti mortar lebih keras. Ini menyebabkan keretakan internal dan eksternal pada mortar. Untuk menghindari hal tersebut, perlu digunakan material terbaik untuk agregat daur ulang dari limbah konstruksi dan pembongkaran (Jesus *et al.*, 2019).

Menurut SNI 03-6882-2002 tipe dan spesifikasi pada mortar adalah:

1. Mortar Tipe M

Mortar tipe M merupakan campuran dengan kuat tekan yang tinggi yang direkomendasikan untuk pasangan bertulang maupun pasangan tidak bertulang yang memikul beban tekan besar. Mortar tipe M adalah mortar yang mempunyai kekuatan minimum 17,2 Mpa.

2. Mortar Tipe S

Mortar tipe S adalah mortar yang mempunyai nilai kekuatan minimum 12,4 Mpa. Mortar tipe ini direkomendasikan untuk struktur yang akan memikul beban tekan normal tetapi sangat kuat tekan lentur yang diperlukan untuk menahan beban lateral besar yang berasal dari tekanan tanah, angin dan beban gempa. Karena keawetannya yang tinggi, mortar tipe S juga direkomendasikan untuk struktur dibawah tanah, serta yang berhubungan dengan tanah seperti pondasi.

3. Mortar Tipe N

Mortar tipe N merupakan mortar yang mempunyai kekuatan minimum 5,2 Mpa. Mortar tipe ini biasa digunakan untuk konstruksi pasangan di atas tanah yang direkomendasikan untuk dinding penahan beban interior maupun eksterior. Mortar dengan kekuatan sedang ini memberikan kesesuaian yang paling baik antara kuat tekan dan kawat lentur dan dari segi ekonomi yang untuk aplikasi konstruksi pasangan umumnya.

4. Mortar Tipe O

Mortar tipe O adalah mortar yang mempunyai kekuatan 2,4 Mpa. Mortar tipe ini mengandung kapur tinggi dan kuat tekan rendah yang direkomendasikan untuk dinding interior dan eksterior yang tidak menahan beban struktur, yang tidak menjadi beku dalam keadaan lembab atau jenuh. Mortar tipe ini biasanya digunakan untuk pekerjaan setempat, memiliki workabilitas yang baik dan biaya yang ekonomis murah.

2.5 Uji Fisis dan Karakterisasi

Adapun pengujian fisis dan karakterisasi dalam penelitian adalah.

2.5.1 Porositas

porositas adalah besarnya persentase pori-pori kosong atau kadar yang terdapat pada benda uji dan merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kekuatan benda uji mortar tersebut. Pori pada benda uji biasanya berisi udara yang saling berhubungan (Nugroho, 2010). Pengujian porositas mortar mengacu pada ASTM C642-07. Dimana besarnya porositas dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$P = \frac{m_2 - m_1}{m_2 - m_3} \times 100\% \quad (2)$$

dengan P adalah nilai porositas (%), m_1 sebagai massa benda uji kering (g), m_2 sebagai massa benda uji setelah direndam (g), m_3 sebagai massa benda uji yang berada di dalam air (g).

2.5.2 Absorpsi

Absorpsi adalah perbandingan massa basah dikurangi massa kering dibagi dengan massa kering dikali seratus (Syahwati dan Wahyuni, 2019). Dalam pengujian absorpsi atau penyerapan air juga mengacu pada persentase berat air yang mampu diserap oleh suatu agregat jika direndam air (Mulyono, 2003). Air ini akan menguap atau tinggal dalam semen mortar, kejadian ini dapat mengurangi penurunan kekedapan semen air mortar (Ratnaningsih *et al.*, 2014). Menurut SNI 03-1970-2008 besarnya absorpsi/penyerapan dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (3)$$

dengan A adalah nilai absorpsi (%), m_1 sebagai massa benda uji kering (g) dan m_2 massa benda uji setelah direndam (g)

2.5.3 Massa Jenis

Massa jenis atau disebut juga kerapatan (densitas) suatu zat didefinisikan sebagai perbandingan massa suatu zat dengan volume zat tersebut. Kerapatan biasanya diukur dalam satuan gram per centimeter kubik (g/cm^3) atau kilogram per meter kubik (kg/m^3) (Ali dan Walujodjati, 2021). Pengujian densitas bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai densitas benda yang diuji yang mengacu pada ASTM C127. 2004. Dimana nilai uji massa jenis dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m_1}{m_2 - m_3} \rho_{air} \quad (4)$$

dengan ρ adalah massa jenis (g/cm^3), m_1 adalah massa benda uji kering (g), m_2 sebagai massa benda uji setelah direndam (g), m_3 sebagai massa benda uji yang berada dalam air, dan ρ_{air} sebagai massa jenis air (g/cm^3).

2.5.4 Kuat Tekan

Kuat tekan didefinisikan sebagai besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin kuat tekan menurut SNI 03-6825-2002. Nilai kuat mortar diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji kubus yang dibebani dengan gaya tekan sampai mencapai beban maksimum (Maryoto, 2008).

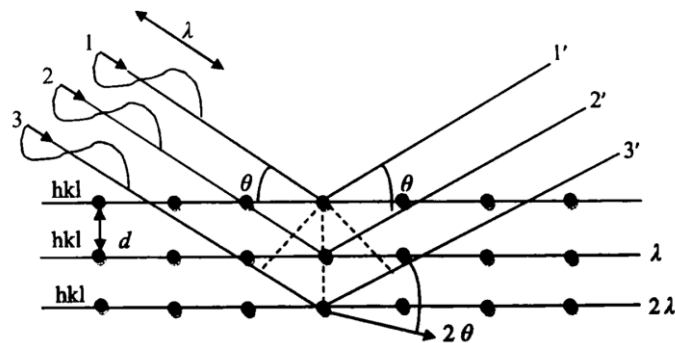
Dengan nilai kuat tekan yang diketahui persamaannya:

$$P = \frac{F}{A} \quad (5)$$

dengan P merupakan kuat tekan mortar (MPa), F adalah gaya tekan (N) dan A adalah luas bidang sampel (mm^2).

2.5.5 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) adalah metode analisa yang memanfaatkan interaksi antara Sinar-X jenis karakteristik dengan atom yang tersusun dalam sebuah sistem kristal yang bertujuan untuk meneliti struktur kristalnya (Manurung, 2019). Sinar-X ditemukan pada tahun 1895 oleh Roentgen seorang Fisikawan Jerman, dan dinamakan demikian karena sifatnya yang tidak diketahui pada saat itu. Yang tidak seperti cahaya biasa, sinar ini jauh lebih tajam daripada cahaya dan bisa dengan mudah melewati tubuh manusia, kayu, potongan logam yang cukup tebal dan objek “buram” lainnya (Smallman, 1991). Skema difraksi Sinar-X oleh bahan kristal ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1. Difraksi Sinar-X (Cullity, 1978).

Apabila Sinar-X mengenai suatu material maka intensitas Sinar-X yang ditransmisikan akan lebih dari intensitas sinar datang. Hal ini dikarenakan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar yang dihantarkan tersebut akan saling menguatkan ketika

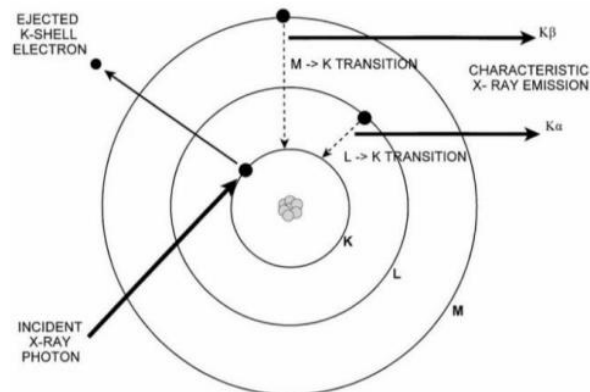
fasanya sama dan saling menghilangkan ketika fasanya berbeda. Berkas sinar yang saling menguatkan disebut sebagai berkas difraksi (Sumantry, 2013). Percobaan dilakukan dengan cara menembakkan Sinar-X tersebut pada sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg seperti Persamaan berikut:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (6)$$

dengan d merupakan jarak antara bidang ekuivalen (\AA), θ sebagai sudut difraksi ($^\circ$) dan λ adalah panjang gelombang Sinar-X (\AA), n sebagai orde difraksi (0, 1, 2, 3...). Sinar-X yang terdifraksi akan saling terhubung membentuk puncak-puncak dengan intensitas dan pada sudut tertentu. Pada awalnya, difraksi Sinar-X hanya digunakan untuk membuat struktur kristal. Namun metode ini tidak hanya diterapkan untuk menerapkan struktur, tetapi untuk masalah beragam seperti analisis kimia dan pengukuran tekanan, mempelajari fase dan pengukuran ukuran partikel, menentukan orientasi kristal tunggal atau sekarang dalam agregat polikristalin (Cullity, 1978).

2.5.6 X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence merupakan metode analisis yang digunakan untuk menganalisis serta menentukan konsentrasi suatu unsur sampel padatan, bubuk maupun cairan dalam suatu bahan secara kualitatif maupun kuantitatif. *X-Ray Fluorescence* mampu menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur pada sampel menggunakan metode spektrometri. Prinsip dari metode analisis *X-Ray Fluorescence* berdasarkan pada terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel (bahan) oleh sinar-X (Jenkin, 1995). Adapun prinsip kerja *X-Ray Fluorescence* dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2. Prinsip Kerja XRF (Kalnicky,2001).

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa sinar-X karakterisasi diberi tanda sebagai K, L, M, N dan seterusnya untuk menunjukkan dan kulit mana unsur itu berasal. Sedangkan α (α), β (β) dan γ (γ) dibuat untuk memberi tanda sinar-X itu berasal dari transisi elektron dari kulit yang lebih tinggi. Oleh karena itu K adalah sinar-X yang dihasilkan dari transisi elektron kulit L ke kulit K (Sumantri, 2013).

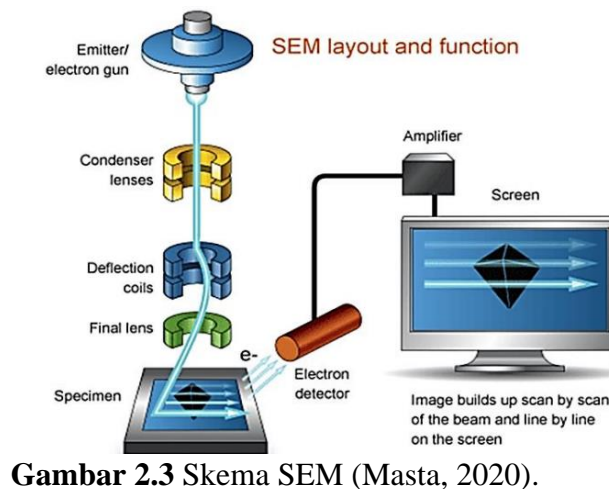
Radiasi fluoresensi memiliki energi yang khas tergantung dari elektron yang tereksitasi dan terdeksitasi pada atom penyusun sebuah material kekhasan karakteristik dari radiasi fluoresensi pada setiap unsur ini memungkinkan dapat dilakukannya analisa kualitatif untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang berbeda. Sementara itu, analisa kuantitatif untuk menentukan konsentrasi dari unsur yang dianalisis dapat ditentukan berdasarkan intensitas dari radiasi fluoresensi yang dipancarkan (Setiabudi *et al.*, 2012). Metode XRF dipilih untuk aplikasi di lapangan dan industri untuk kontrol material karena termasuk ke dalam metode yang cepat dan tidak merusak sampel (Jamaluddin dan Tahir, 2016).

Hasil analisis ditunjukkan oleh puncak spektrum yang mewakili jenis yang sesuai dengan energi Sinar-X karakteristiknya, sedangkan kuantitatif dapat diperoleh dengan membandingkan analisis sampel dengan standar. Suatu Analisis kuantitatif, terdapat faktor-faktor yang berpengaruh dalam menganalisis yaitu matriks bahan, kondisi kevakuman dan konsentrasi unsur, pengaruh unsur yang memiliki karakteristik energi unsur yang dianalisis (Jenkin *et al.*, 1995).

2.5.7 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy merupakan jenis mikroskop elektron yang menggambarkan spesimen dengan memindainya dengan menggunakan sinar elektron yang berenergi tinggi dalam sebuah objek yang menghasilkan citra (*image*) dari objek itu sendiri. *Image* yang dihasilkan oleh SEM yaitu berupa permukaan sampel dan pemetaan komposisi sampel. SEM ini ditemukan oleh seorang fisikan asal Jerman yang bernama Max Knoll yang memperkenalkan konsep SEM pada tahun 1935. yang menganggap bahwa sebuah *image* dapat dihasilkan dengan melakukan pemindaian pada permukaan sampel dengan cara memfokuskan berkas elektron sehalus mungkin (dengan diameter berkas elektron sangat kecil). SEM biasanya digunakan untuk melihat objek yang sangat kecil (skala nano) dalam bentuk *image*. Dimana *image* yang dihasilkan dari SEM ini berupa gambar hitam putih (tanpa warna), ini disebabkan oleh panjang gelombang yang dihasilkan elektron probe (elektron pemindai) tidak berada pada spektrum cahaya tampak. Elektron kemudian berinteraksi dengan atom-atom pada sampel. Kemudian elektron yang berinteraksi ini menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan sampel, komposisi, dan morfologi yang ditangkap oleh detektor. Resolusi yang dimiliki elektron lebih tinggi dari pada cahaya.

Dimana resolusi cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan resolusi elektron dapat mencapai sampai 0,1 – 0,2 nm (Masta, 2020).



Gambar 2.3 Skema SEM (Masta, 2020).

Komponen pemindai pada **Gambar 2.3** sebelah kiri merupakan komponen yang menghasilkan input berupa sinyal elektron hasil interaksi dengan atom-atom sampel. Dalam komponen SEM terdapat pemindai sampel yang terdiri dari elektron gun, rangkaian lensa magnetik, tempat spesimen, scanning coils (*deflection coils*) dan detektor. Pada kolom SEM berbentuk tabung menjadi tempat dihasilkannya berkas elektron (*electron beam*) sampai menjadi elektron pemindai (*electron probe*). Elektron pemindai ini ditembakkan ke sampel yang akhirnya menghasilkan sinyal elektron setelah berinteraksi dengan sampel. Dalam kolom SEM elektron dihasilkan oleh elektron gun, yang dipercepat oleh anoda, yang diarahkan melalui seperangkat lensa magnetik, dan difokuskan melalui scanning coil yang akhirnya ditembakkan ke sampel. Setelah elektron ditembakkan, maka elektron akan berinteraksi dengan atom-atom sampel dalam tumbukan. Hasil dari teraksi tersebut adalah foton dan beberapa spektrum elektron yang kemudian ditangkap oleh detektor. Pada komponen penyaji gambar dan data serangkaian perangkat pengolah

input sinyal yang kemudian mengolahnya menjadi bentuk *image* (citra) dan data kuantitatif. Pada komponen ini berupa amplifier sebagai penguat data, processor sebagai perangkat untuk mengolah data dan layar digunakan untuk menampilkan gambar dan data (Masta, 2020).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada 25 Desember 2022 sampai 15 Februari 2023 di Laboratorium Non-Logam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), yang bertempat di Tanjung Bintang, Lampung Selatan, Provinsi Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ball mill*, timbangan analitik, gelas ukur 500 mL, ember, spatula, wadah nampan, sarung tangan, mortar kubus ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$, oven, tumbukan, mesin uji kuat tekan *Universal Testing Machine* (UTM), ayakan mesh no. 60, XRF *PANalytical*, XRD *PANalytical X'Pert³ Powder*, SEM *Scanning Electron Microscopy*.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *slag* cangkang sawit dari PTPN VII Unit Bekri, pasir sungai, semen PCC (*Portland Composite Cement*) dan air.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari preparasi material, pembuatan dan karakterisasi mortar.

3.3.1 Preparasi Material

Tahap preparasi material dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (Amin dan Suharto, 2017).

- a. *Slag* cangkang sawit dihaluskan menggunakan *ball milling* selama ± 8 jam sehingga didapatkan *slag* cangkang sawit halus.
- b. *Slag* cangkang sawit dikarakterisasi dengan *X-Ray Fluoresence* (XRF)
- c. Pasir dikarakterisasi dengan *X-Ray Fluoresence* (XRF)
- d. *Slag* cangkang sawit halus, pasir dan semen ditimbang sesuai dengan komposisi pada **Tabel 3.1**

Tabel 3.1. Komposisi bahan pembuatan mortar

Komposisi	Semen (g)	Pasir (g)	<i>Slag</i> cangkang sawit (g)
I (0 %)	170	830	0
II (20 %)	170	664	166
III (30 %)	170	581	249
IV (40 %)	170	498	332
V (50 %)	170	415	415
VI (60 %)	170	331	498

Komposisi bahan menggunakan perbandingan 1 : 5 (semen : pasir) dengan total bahan setiap sampel sebesar 1.000g pada timbangan variasi komposisi masing-masing. Variasi komposisi menggunakan *slag* cangkang sawit dengan persentase komposisi sebesar 20 %, 30 %, 40 %, 50 % dan 60 % dari berat pasir.

3.3.2 Pembuatan Mortar dan Karakterisasi

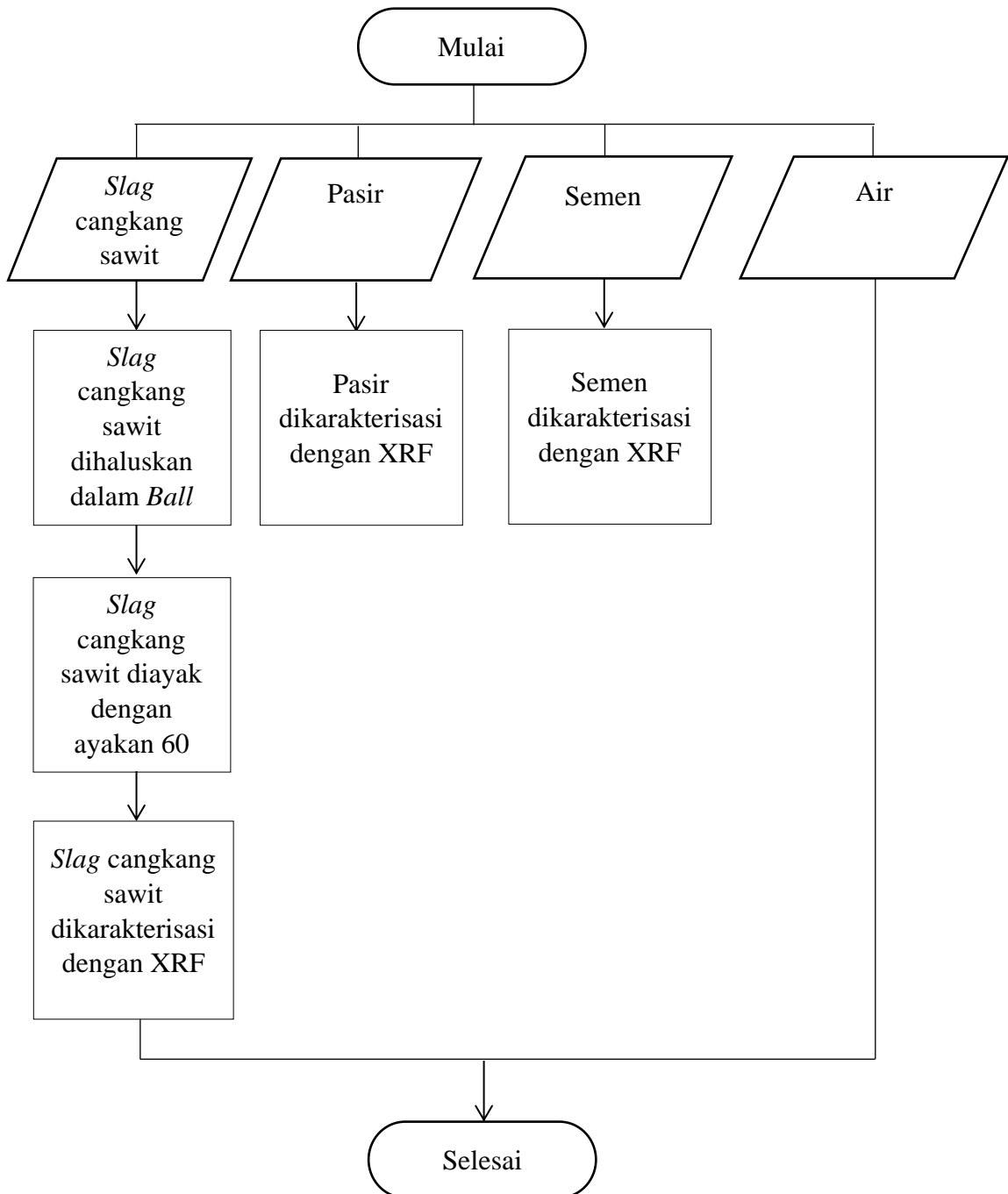
Langkah-langkah dalam pembuatan benda uji mortar dengan persentase 6 variasi komposisi seperti pada **Tabel 3.1** adalah sebagai berikut: (Amin dan Suharto, 2017).

- a. Mengaduk pasir, semen dan *slag* cangkang sawit halus. Pengadukan dilakukan hingga merata selama 20 menit hingga menjadi adonan semen.
- b. Setelah diaduk secara merata, adonan bahan dimasukkan kedalam alat cetakan mortar yang berukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ (SNI 03-6825-2002) hingga menjadi mortar.
- c. Kemudian benda uji dikeringkan selama 24 jam pada suhu ruang (Amin dan Suharto, 2017).
- d. Setelah itu dimasukkan kedalam air rendaman dengan variabel umur mortar perendaman 7, 14 dan 21 hari (SNI 03-6825-2002).
- e. Mortar diuji fisis dan mekanis seperti porositas, absorpsi, massa jenis dan kuat tekan.
- f. Mortar dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *X-Ray Fluoresence (XRF)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

3.4 Diagram Alir

3.4.1 Preparasi Material

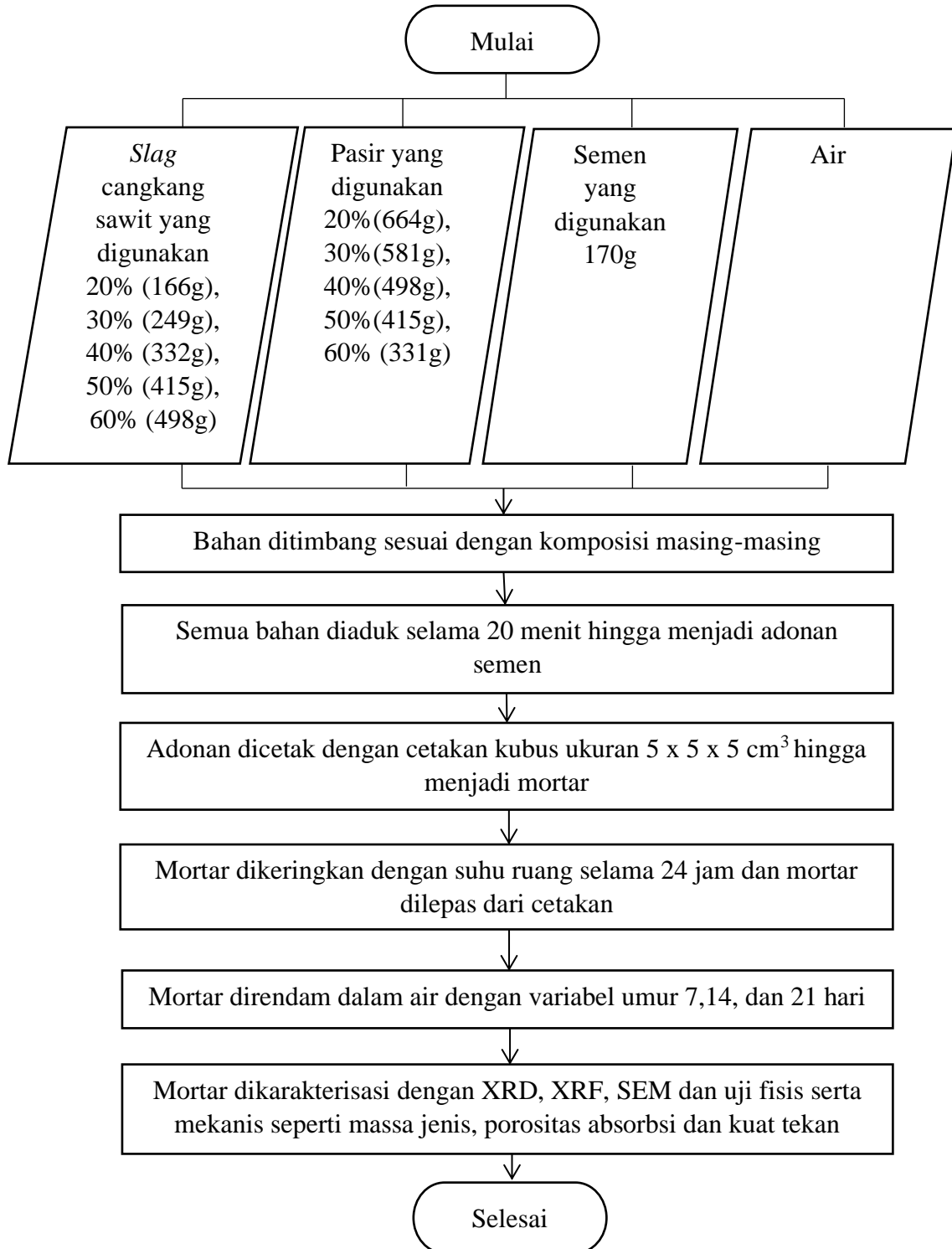
Diagram alir yang akan dilakukan adalah preparasi dan karakterisasi bahan pada masing-masing bahan baku. Adapun diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Preparasi Material.

3.4.2 Pembuatan dan Karakterisasi Mortar

Adapun diagram alir pada produk mortar yaitu pembuatan mortar pengujian fisis dan uji mekanis dan karakterisasi menggunakan XRF, XRD dan SEM-EDS pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Pembuatan dan Karakterisasi Mortar.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. *Slag* cangkang sawit halus dapat digunakan sebagai substitusi pasir pada mortar karena memiliki kandungan senyawa SiO_2 sebesar 51,47% massa. Senyawa SiO_2 dapat meningkatkan kekuatan tekan secara signifikan seiring dengan bertambahnya variasi komposisi 60% massa .
2. Hasil karakterisasi XRF pada mortar dengan variasi komposisi V umur 7 hari (K5.7), komposisi III umur 14 (K3.14) dan komposisi I umur 21 hari (K1.21) menunjukkan bahwa komposisi kimia didominasi oleh senyawa CaO , SiO_2 , K_2O , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO dan P_2O_5 . Hasil karakterisasi XRD menunjukkan fase yang terbentuk pada produk mortar yaitu *Calcium Carbonate* dan *Silicon Oxide*. Hasil karakterisasi SEM dan EDS pada mortar menunjukkan bahwa penyebaran unsur Ca dan Si merupakan penyebaran unsur yang paling dominan.
3. Hasil uji fisis (massa jenis, absorpsi dan porositas) dan uji mekanis (kuat tekan) sangat berkaitan jika nilai massa jenis dan kuat tekan yang diperoleh semakin tinggi dan nilai absorpsi serta porositas semakin rendah. Produk mortar pada umur rendaman 7 hari diperoleh nilai kuat tekan dan masa jenis tertinggi

sebesar 9,5 MPa dan 1,96 g/cm³ serta porositas dan absorpsi terendah sebesar 0,72% dan 0,32%. Produk mortar umur rendaman 14 hari diperoleh nilai kuat tekan dan masa jenis tertinggi sebesar 12,4 MPa dan 2,02 g/cm³ serta porositas dan absorpsi terendah sebesar 0,44 % dan 0,22%. Produk mortar umur rendaman 21 hari diperoleh nilai kuat tekan dan masa jenis tertinggi sebesar 18,4 MPa dan 2,07 g/cm³ serta porositas dan absorpsi terendah sebesar 0,41 % dan 0,02%. Sesuai dengan SNI 03-6882-2002 mortar yang tergolong mortar tipe N dengan kuat tekan sebesar 9,5 MPa, mortar tipe S dengan kuat tekan sebesar 12,4 MPa dan mortar tipe M dengan kuat tekan sebesar 18,4 MPa.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

Melakukan penambahan variasi komposisi sebesar 25 %, 35 %, 45 %, 55 % an 65 % *slag* cangkang sawit agar didapatkan kuat tekan tinggi dengan bentuk grafik garis lurus.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. S., & Walujodjati, E. 2021. Pengujian Kuat Tekan Mortar dengan Campuran Pasir Ladot. *Jurnal Konstruksi*. 19(1). 313-324.
- Amin, M., & Suharto. 2017. Pembuatan semen geopolimer ramah lingkungan berbahan baku mineral basal guna menuju lampung sejahtera. *Inovasi Pembangunan: Jurnal Kelitbangan*. 5(01). 30-45.
- Amin, M., Anwar., Sudiby., Birawida, D. C., Hendronursito, Y., Yanti, E. D., & Isnugroho, K. 2023. Pengaruh Penggunaan Material *Slag* Sebagai Bahan Substitusi Semen terhadap Sifat Fisis, Kuat Tekan dan Karakterisasi Mortar. *Jurnal Teknik Sipil*. 30(01). 53-62. DOI: 10.5614/jts.2023.30.1.7.
- Amalia, R., Suhendra., Amalia, R.K. 2021. Hubungan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton. *Jurnal Talenta Sipil*. 4(2). 225-235.
- Asadi, I., Shafigh, P., Hashemi, M., Akhiani, R. A., Maghfouri, M., Sajadi, B., Mahyuddin, N., Esfandiari, M., Talebi, R. H., and Metselaar, C. S. H. 2021. Thermophysical properties of sustainable cement mortar containing oil palm boiler clinker (OPBC) as a fine aggregate. *Journal Construction and Building Materials*. 268(121091). DOI:org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121091.
- ASTM C642-07 *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia. 04(02).
- ASTM C127. 2004. *Standard Test for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials (ASTM) International.
- Badan Pusat Statistik Indonesia. 2017. *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia*. Jakarta.
- Bunganaen, W., Hunggurami, E., & Bei-Ngala, Y. 2016. Pengaruh penambahan gula pasir terhadap kuat tekan dan sifat kedap air mortar. *Jurnal Teknik Sipil*. 5(1). 105-116. DOI:[org/10.35508/jts.5.1.105-116](https://doi.org/10.35508/jts.5.1.105-116)

- Cahyani, R. A. T. and Rusdianto, Y. 2020. Concrete Performance with Ground Granulated Blast Furnace Slag as Supplementary Cementitious Materials, IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 771(1). DOI: 10.1088/1757-899X/771/1/012062.
- Cullity, B. D. 1978. *Elements of X-Ray Diffraction Second Edition*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Philippines. 82-84.
- Darvish, P., Alengaram, U. J., Poh, Y. S., Ibrahim, S., & Yusoff, S. 2020. Volume based design approach for sustainable palm oil clinker as whole replacement for conventional sand in mortar. *Journal of Building Engineering*. 32. 101660. DOI: [org/10.1016/j.jobe.2020.101660](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101660).
- Fuad, I. S., Perwira, A., & Jayusman, H. 2020. Pengaruh Pemakaian Semen Dan Pasir Yang Berbeda Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Desiminasi dan Teknologi*. 8(1). 8-12. DOI: [org/10.52333%2Fdestek.v8i1.578](https://doi.org/10.52333/2Fdestek.v8i1.578).
- Gunawan, H. C., Chrisna, D., & Lestyowati, Y. Pemanfaatan Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambahan Pada Campuran Beton. *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*. 5(2). 1-8. DOI: [.org/10.26418/jelast.v5i2.26395](https://doi.org/10.26418/jelast.v5i2.26395).
- Hamada, H. M., Jokhio, G. A., Yahaya, F. M., Humada, A. M., & Gul, Y. 2018. The present state of the use of palm oil fuel ash (POFA) in concrete. *Construction and Building Materials*. 175. 26-40. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2018.03.227](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.227).
- Itteredy, V., Rusandinata. 2018. Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Ilmiah Bering's*. 05(01). 21-26.
- Jamaludin, Massinai, M. A., dan Tahir, D. 2016. Analisis Kandungan Logam Oksida Menggunakan Metode XRF (X-Ray Fluorescence). 1(3). 1-7.
- Jamizar., Rani, I. G., & Putri, P. Y. 2013. Pengaruh Pemanfaatan Kerak Boiler Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambahan (*Admixture*) Semen Terhadap Kuat Tekan Mortar. *Jurnal Teknik Sipil*. 01(01).66-74.
- Jenkin, R., Gould, R. W. dan Dale, G. 1995. *Quantitative X-Ray Spectrometry, 2nd Edition*. Marcel Dekker. New York. 13-18.
- Jesus, S., Maia, C., Farinha, C. B., Brito, J. and Veiga, R. 2019. Rendering Mortars with Incorporation of Very Fine Aggregates from Construction and Demolition Waste. *Construction and Building Materials*. 229. 1-2.
- Kalnicky, D. J. dan Singhvi, R. 2001. Field Portable XRF Analysis of Environmental Samples. *Journal of Hazardous Materials*. 83(2). 93-122.

- Khairul, K. 2021. Pengenalan Alat Dan Proses Pengolahan Biogas Di PT. Perkebunan Nusantara III Biogas Plant Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Hapesong, Medan, Sumatera Utara. *Skripsi*. Doctoral dissertation. Politeknik LPP Yogyakarta.
- Kusumastuti, D. P., Sepriyanna, I., & Chairat, A. S. N. 2022. Pengaruh Penambahan Serbuk Arang Cangkang Sawit Terhadap Kuat Geser Langsung Pada Tanah Lempung. *Konstruksia*. 14(1). 33-39.
- Malathy, R., Shanmugam, R., Chung, I.M., Kim, S.H., Prabakaran, M. 2022. Mechanical and Microstructural Properties of Composite Mortars with Lime, Silica Fume and Rice Husk Ash. *Journal Processes Licensee MDPI*. 2-24.
- Manurung, Posman. 2019. *Analisis Data Difraksi Sinar-X Edisi Pertama*. AURA. Bandar Lampung
- Maryoto, A. 2008. Pengaruh Penggunaan *High Volume Fly Ash* pada Kuat Tekan Mortar. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*. 10(2). 103-114.
- Masta, N. 2020. *BMP Scanning Elctron Microscopy*. UKI. Jakarta.
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Mursal, I. L. P. 2018. Karakterisasi XRD Dan SEM Pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel Dalam Drug Delivery System. *Pharma Xplore: Jurnal Sains dan Ilmu Farmasi*. 3(2).
- Nadia, M.T.,. 2011. Pengaruh Kadar Silika Pada Agregat Halus Campuran Beton Terhadap Peningkatan Kuat Tekan. *Jurnal Konstruksi*. 3(1). 35- 43.
- Nugroho, E.H. 2010. Analisis Porositas dan Permeabilitas Beton dengan Bahan Tambah Fly Ash untuk Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*). *Tugas Akhir*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Passa, R. M. J. 2021. Waktu Pengikat Semen Portland (Konsistensi Normal) dengan Alat Vicat. *Jurnal Ilmu Teknik*. 1(3).
- Prianti, E., Malino. M. B., dan Lapanporo B. P. 2017. Pemanfaatan Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Parsial Pasir Pada Pembuatan Beton. *Positron*. 5(1). 26-29.
- Rahman, F., & Fathurrahman. 2017. Pemanfaatan Hasil Pembakaran Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pengganti Pasir Pada Pembuatan Beton Normal. *Media Ilmiah Teknik Sipil*. 6(1). 30–40.
- Rahman, F., & Setiyawan, D. B. 2020. Studi Eksperimental Sifat Mekanik Beton Normal Dengan Menggunakan Abu Dasar Limbah Hasil Pembakaran

Campuran Cangkang dan Serabut Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Agregat Halus. *Jurnal Teknologi Berkelanjutan*. 9(1). 48-56.

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 Nasional RAPI XIII*. 50-56.

Roslan, A. Z. M. I., Yusof, M. K. T. M., Sharipudin, S. S., Michael, Z. E. N. O., & Azhar, I. I. S. 2020. Feasibility study of palm boiler ash as cement and sand replacement in concrete. *Journal of Engineering Science and Technology*. 15(4). 2361-2378.

Samekto, W., & Rahmadiyanto, C. 2001. *Teknologi beton*. Kanisius, Yogyakarta.

Setiati, N. R., & Hanna, A. B. 2018. Pemanfaatan Semen Portland Slag untuk Meningkatkan Sifat Mekanik dan Durabilitas Beton. *Jurnal Permukiman*. 13(2). 77-89.

Setiabudi, A., Hardian, R., dan Muzakir, A. 2012. Karakteristik Material Prinsip dan Aplikasinya Dalam Penelitian Kimia. UPI Press. Bandung.

Smallman, R.E. 1991. *Modern Physical Metallurgy 4th Edition*. Terjemahan Djaprie, S. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 32.

Sumantry, T. 2013. Aplikasi XRF untuk Identifikasi Lempung Pada Kegiatan Penyimpanan Lestari Limbah Radioaktif. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VII. Pusat Teknologi Limbah RadioaktifBATAN. ISSN 14106086.

SNI 03-6820-2002. *Tentang Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan adukan dan Plasteran dengan Bahan Dasar Semen*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 15-7064-2004. *Semen portland komposit*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.

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

SNI 03-1970-2008. *Metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia. Bandung.

SNI 03-6825-2002. *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Standar Nasional. Jakarta.

- Sulaiman, L. 2018. Evaluasi Kuat tekan Beton recycle Agregat Dengan Campuran Air Laut dan Prediksi Modulus Elastisitasnya. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-ilmu Teknik*. 3(1). 25-36.
- Sulardi. 2017. Menentukan Condition Grade Kerusakan Struktur Bangunan Beton Dermaga Dengan Inspeksi Teknik dan Metode Perbaikannya. *Jurnal SAINS TERAPAN*. 3(2). 78-86.
- Susanto, J. P., Santoso, A. D., & Suwedi, N. 2017. Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 18(2). 165-172.
- Syahwati, M., & Wahyuni, A. S. (2019). Pengaruh Variasi Persentase Bubuk Cangkang Telur (Bct) Sebagai Bahan Penambah Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Absorpsi Mortar. *Jurnal Teknik Sipil*. 11(1). 27-32.
- Thushari, I., & Babel, S. 2018. Sustainable utilization of waste palm oil and sulfonated carbon catalyst derived from coconut meal residue for biodiesel production. *Bioresource Technology*. 248. 199–203.
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta.
- Yusra, A., & Opirina, L. 2019. The Influence of Palm Shell as Aggregate Substitution to The Compressive Normal Concrete Strength. In *Journal of Physics: Conference Series*. 1376(1) p. 012001. IOP Publishing.
- Zuraidah, S., & Hastono, B. 2018. Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*. 1(1). 8-13.