

**ANALISIS SILIKA AMORF PADA BETON DENGAN SUBSTITUSI ABU
TEMPURUNG KELAPA MENGGUNAKAN X-RAY DIFFRACTION
(XRD)**



**Dibuat Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Mengikuti Ujian Sarjana
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Palembang**

Oleh

FARIZY DWITAMA

112022053

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
2026**

**ANALISIS SILIKA AMORF PADA BETON DENGAN SUBSTITUSI ABU
TEMPURUNG KELAPA MENGGUNAKAN X-RAY DIFFRACTION
(XRD)**



**Dibuat Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Mengikuti Ujian Sarjana
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Palembang**

Oleh

FARIZY DWITAMA

112022053

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
2026**

**ANALISIS SILIKA AMORF PADA BETON DENGAN SUBSTITUSI ABU
TEMPURUNG KELAPA MENGGUNAKAN X-RAY DIFFRACTION
(XRD)**

TUGAS AKHIR



Oleh :

FARIZY DWITAMA

112022053

Disetujui Oleh :

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Palembang



Ir. A. Junaidi, M. T.

NIDN : 0202026502

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik UM Palembang



Ir. Mira Setiawati, S. T., M. T.

NIDN : 0006078101

**ANALISIS SILIKA AMORF PADA BETON DENGAN SUBSTITUSI ABU
TEMPURUNG KELAPA MENGGUNAKAN X-RAY DIFFRACTION
(XRD)**



Oleh :

FARIZY DWITAMA

112022053

Disetujui Oleh :

Pembimbing Tugas Akhir

Pembimbing I,

Ir. Revisdah, M.T.

NIDN : 0231056403

Pembimbing II,

Dr. Verinazul Septriansyah, S.T., M.T.

NIDN : 0221098601

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Farizy Dwitama

NIM : 112022053

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Palembang

Mengatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Analisa Silika Amorf Pada Beton Dengan Subtitusi Abu Tempurung Kelapa Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD)” ini adalah benar – benar karya penulis sendiri dan bukan merupakan hasil jiplakan. Apabila dikemudian hari terbukti skripsi ini hasil jiplakan, maka saya akan menanggung resiko sesuai dengan peraturan yang berlaku di perguruan tinggi ini.



ANALISIS SILIKA AMORF PADA BETON DENGAN SUBSTITUSI ABU TEMPURUNG KELAPA MENGGUNAKAN X-RAY DIFFRACTION (XRD)

Farizy Dwitama¹, Revisdah², Verinazul Septriasyah³

INTISARI

Farizy Dwitama/112022053/ Analisis Silika Amorf Pada Beton Dengan Substitusi Abu Tempurung Kelapa Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD)

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan karena memiliki kemampuan menahan beban tekan yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik fase kristalin dan amorf pada beton yang memiliki variasi 0% sampai 6,25% yang menggunakan substitusi abu tempurung kelapa melalui pengujian *X-Ray Diffraction (XRD)* serta menghubungkannya dengan hasil pengujian kuat tekan beton sehingga dapat diketahui pengaruh perubahan mikrostruktur terhadap sifat mekanis beton.

Pada awalnya karakterisasi mineralogi diawali dengan pemotongan sampel terpilih yang di mana data pola difraksinya diolah lewat perangkat lunak *Origin 2018* guna menghitung proporsi fase kristalin-amorf sekaligus memetakan perubahan mikrostrukturnya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu tempurung kelapa memiliki kandungan senyawa pozzolanik pada kelas N, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan substitusi semen. Pengujian kuat tekan memperlihatkan bahwa variasi 2,5% menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 26,80 MPa. Pada penambahan abu yang melebihi kadar tersebut menyebabkan penurunan kuat tekan. Analisis *XRD* menunjukkan bahwa seluruh variasi beton didominasi oleh fase amorf dengan persentase sekitar 97,87–98,99%, sedangkan fase kristalin hanya berkisar 1,01–2,13%. Kesimpulan dari hasil penelitian, bahwa variasi 2,5% merupakan komposisi yang paling optimal karena menghasilkan fase amorf baik.

Kata kunci: Beton, Abu Tempurung Kelapa, XRD, Origin 2018.

ANALYSIS OF AMORPHOUS SILICA IN CONCRETE WITH COCONUT SHELL ASH SUBSTITUTION USING X-RAY DIFFRACTION (XRD)

Farizy Dwitama¹, Revisdah², Verinazul Septriansyah³

ABSTRACT

Farizy Dwitama/112022053/Analysis of Amorphous Silica In Concrete With Coconut Shell Ash Substitution Using X-Ray Diffraction (XRD).

Concrete is one of the most widely used construction materials due to its high compressive strength. This study aimed to analyze the crystalline and amorphous phase characteristics of concrete containing coconut shell ash as a partial cement substitution at replacement levels of 0%, 1.25%, 2.5%, 3.75%, 5%, and 6.25% using the X-Ray Diffraction (XRD) method. Furthermore, the XRD results were correlated with the compressive strength of concrete to evaluate the influence of microstructural changes on its mechanical properties.

The research began with the selection and cutting of concrete specimens, followed by X-Ray Diffraction (XRD) testing to obtain diffraction patterns. The diffraction data were subsequently processed using Origin 2018 software to determine the proportions of crystalline and amorphous phases and to evaluate the microstructural characteristics of concrete containing coconut shell ash.

The results indicated that coconut shell ash possesses pozzolanic properties that meet the requirements of Class N, making it suitable as a partial cement replacement material. The compressive strength test showed that the 2.5% substitution level produced the highest compressive strength of 26.80 MPa. However, increasing the substitution level beyond this percentage resulted in a gradual reduction in compressive strength. The XRD analysis revealed that all concrete mixtures were predominantly composed of the amorphous phase, ranging from 97.87% to 98.99%, while the crystalline phase ranged from 1.01% to 2.13%. Based on these findings, it can be concluded that the 2.5% coconut shell ash substitution is the optimum mixture because it provides the most favorable amorphous phase composition and the highest compressive strength.

Keywords: Concrete, Coconut Shell Ash, X-Ray Diffraction (XRD), Origin 2018.

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto :

“ cukup besar tuk mengampuni tuk mengasihi tanpa memperhitungkan masa yang
lalu walau kering bisakah kita tetap meembasuh”

(Baskara Putra)

“Den Ajembar, Den Momot Lawan, Den Mangku, Den Kaya Segara”

(Penulis)

“Sura Dira Jayaningrat, Lebur Dening Pangastuti”

(Penulis)

“Anglaras Iling Banyu, Angeli Ananging Ora Keli”

(Penulis)

“Sekarangku pergi anggap aku mati selamatkan diri oh evakuasi, jangan cari aku
siang hari sore hari nanti malam ini ku menari dengan bayangan diri sendiri”

(Baskara Putra)

Persembahan :

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

- ❖ Allah swt, yang telah memberikan ridho, kuasa, rahmat dan karunianya kepada saya untuk bisa tetap menyusun tugas akhir sampai detik ini.
- ❖ Kepada panutan saya yaitu, Bapak Muhiri yang telah banyak mengorbankan semua nya demi untuk merakit mesin tempur nya yang akan di pergunakan di masa depan nanti, di balik didikanmu yang sangat keras, aku yakin ada hati lembut yang tidak ingin mesin tempurnya gagal di masa depan.
- ❖ Kepada seseorang yang sudah sangat kuat mempertaruhkan nyawa nya yaitu, Ibunda yang telah banyak melantunkan doa untuk keberhasilan anak mu ini, walaupun dari banyaknya kata menyalahkan diriku tetapi satu kata yang akan aku ingat didalam diriku yaitu “semangat” dimana pertama kamu keluaran disaat diriku menghadapi banyak kesulitan.
- ❖ Kepada seseorang yang selalu ada di sampingku setelah ibunda yaitu, saudariku Ameilya yang banyak membantu seluruh usahaku dari awal masuk kuliah hingga aku bisa menyelesaikan tugas akhir sekarang, membantu aku memikul banyak beban yang aku tanggung, ucapan terina kasih hanya bisa aku berikan kepada dirimu.
- ❖ Orang yang berharga setelah keluarga dan saudaraku, Nanda Aprilia Z.P terima kasih sudah banyak membantu perjuangan diriku sampai di titik ini, satu yang aku minta kepada kamu yaitu tetep selalu bersama diriku sampai dimana ada waktu untuk mempersatukan kita yang tidak memiliki kata perpisahan didalamnya.
- ❖ Teman seperjuanganku kalian banyak mengajarkan kesetian, kekuatan, komitmen, dan solidaritas. Selalu ada didalam kondisi baik maupun senang, canda tawa, suka duka yang ada saat kalian ajarkan itu. Terima kasih kepada Muiz Ferdi Ikromi, M. Andriko Saputra, M. Andrika Saputra, M. Farhan Triandika, Jafar Al-Sayyid, Rani Kartika Sari, Nova Eliza, Salsabila Nazwa, dan Nandito Aprian telah bersama-sama memperjuangkan sebuah perjuangan yang tiada artinya bagi aku, banyak didalam diriku bersyukur karena ada kalian di dalam cerita perjuangan ini. Sekali lagi terima kasih atas perjuangan, cerita dan seluruh tenaga kalian kepada diriku.

- ❖ Dosen pembimbingku, ibu Ir. Revisdah, M.T dan bapak Dr. Verinazul Septriasyah, S.T.,M.T yang selalu membimbing diriku untuk menyelesaikan tugas akhir ini, banyak saran dan masukan yang kalian berikan kepada diriku untuk menyelesaikan tugas akhir, hanya ucapan terima kasih yang diriku berikan kepada kalian.
- ❖ Seorang mentor yang pernah saya temui, M. Agus Wahyudi, S.Kom dan Ir. Ar. Nur Hadiyatun Nabawi, S.T., M.Ars.,IAI yang banyak sekali memberikan masukan yang nantinya berguna untuk diri saya di masa depan, serta membantu saya dalam menyusun tugas akhir ini, terima kasih yang bisa saya ucapkan kepada kalian selama membimbing dan mengarahkan saya.
- ❖ Untuk teman-teman Team Bojonegoro, terima kasih sudah banyak memberikan cerita, canda tawa, suka duka kepada diri saya, harapan saya kalian tetap terus memberikan itu semua sebagai kenangan dan pembelajaran di diri saya.
- ❖ Almamater hijauku, Universitas Muhammadiyah Palembang yang telah menjadi tempat saya membina ilmu, pengalaman, serta membentuk karakter diri saya untuk di masa yang akan datang.

PRAKATA

Assalamu'alaikum warrohmatullahi wabarokatuh Alhamdulillah,

segala puji dan syukur saya hanturkan kepada Allah SWT. atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“Analisis Silika Amorf Pada Beton Dengan Subtitusi Abu Tempurung Kelapa Menggunakan *X-Ray Diffraction* ”**. Tugas akhir ini disusun untuk diajukan sebagai syarat dalam ujian sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Palembang. Saya menyadari bahwa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Abid Djazuli, S.E., M.M., Selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Palembang.
2. Bapak Ir. A. Junaidi, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
3. Ibu Mira Setiawati S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang.
4. Ibu Ir. Revisdah, M.T., Selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan kepada penulis.
5. Bapak Dr. Verinazul Septriansyah S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan waktu, ilmu, serta arahan kepada penulis.
6. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil dan para Staf Karyawan Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang.
7. Orang tua dan saudara yang sangat saya sayangi yang telah memberikan dukungan dan do'a sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Asisten Laboratorium yang membantu saya menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Semua yang telah membantu dan memberikan bimbingan serta arahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih atas segala dukungannya semoga semua yang kita lakukan selalu mendapat limpahan rahmat dan karunia dari Allah SWT, Aamiin ya rabbalalamiin. Wassalamu'alaikum warrohmatullahi wabarokatuh

Palembang, Juli 2026

Farizy Dwitama
NIM : 112022053

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	v
INTISARI.....	vi
ABSTRACT.....	vii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	viii
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Batasan Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Beton	4
2.2 Semen dan Proses Hidrasi.....	4
2.3 Fase Kristalin dan Amorf	5
2.4 Kegunaan Beton Normal.....	7
2.5 Jenis-jenis Beton	8
2.6 Karakteristik Beton	8
2.7 Abu Tempurung Kelapa	9
2.8 Kuat Tekan Beton.....	10
2.9 Umur Beton.....	11
2.10 Perawatan Beton.....	11
2.11 Pengujian Mikrostruktur	12
2.11.1 X-Ray Diffraction.....	13
2.11.2 X-Ray Fluorescence (XRF).....	14

2.12 Amorf dan Kristalinitas	16
BAB III	25
METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Lokasi Penelitian.....	25
3.2 Penelitian Eksperimen Laboratorium Dengan Analisis Karakterisasi XRD.....	25
3.3 Bagan Alir Penelitian	26
1. TAHAP KE-SATU	27
3. TAHAP KE-TIGA.....	28
4. TAHAP KE-EMPAT	34
5. TAHAP KE-LIMA	37
6. TAHAP KE-ENAM	37
7. TAHAP KE-TUJUH.....	38
8. TAHAP KE-DELAPAN.....	38
9. TAHAP KE-SEMBILAN.....	39
10. TAHAP KE-SEPULUH	41
11. TAHAP KE-SEBELAS	42
12. TAHAP KE-DUABELAS.....	43
BAB IV	46
HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Hasil Pengujian XRF	46
4.2 Hasil Pengujian Mikrostruktur	48
4.3 Hasil Pengolahan Data	59
4.4 Hubungan Berat Jenis dan X-Ray Diffraction	69
BAB V.....	72
KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	73
LAMPIRAN I	76
LAMPIRAN II	80
LAMPIRAN III.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Abu tempurung kelapa	10
Gambar 2. 2 Analisis perbandingan mutu beton terhadap zat tambahan	11
Gambar 2. 3 Pengujian mikrostruktur	13
Gambar 2. 4 Difraksi sinar-X dengan kristalin.....	14
Gambar 3. 1 Bagan alir penelitian	26
Gambar 3. 2 Grafik gradasi 20 mm	30
Gambar 3. 3 Grafik gradasi 20 mm	33
Gambar 3. 4 Grafik nilai slump beton	35
Gambar 4. 1 Keberadaan senyawa sampel BN + ATK 0%	48
Gambar 4. 2 Keberadaan senyawa sampel BN + ATK 1,25%	49
Gambar 4. 3 Keberadaan senyawa sampel BN + ATK 2,5%	51
Gambar 4. 4 Keberadaan senyawa sampel BN + ATK 3,75%	53
Gambar 4. 5 Keberadaan senyawa sampel BN + ATK 5%	55
Gambar 4. 6 Keberadaan senyawa sampel BN + ATK 6,25%	57
Gambar 4. 7 Nilai titik puncak sampel BN + ATK 0%	60
Gambar 4. 8 Nilai titik puncak sampel BN + ATK 1,25%	61
Gambar 4. 9 Nilai titik puncak sampel BN + ATK 2,5%	63
Gambar 4. 10 Nilai titik puncak sampel BN + ATK 3,75%	64
Gambar 4. 11 Nilai titik puncak sampel BN + ATK 5%.....	66
Gambar 4. 12 Nilai titik puncak sampel BN + ATK 6,25%	67
Gambar 4. 13 Grafik hubungan kuat tekan beton dengan fase amorf XRD.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu	20
Tabel 3. 1 Hasil pengujian analisa saringan halus	30
Tabel 3. 2 Hasil pengujian kadar air agregat halus.....	31
Tabel 3. 3 Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus.....	31
Tabel 3. 4 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus	32
Tabel 3. 5 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar	32
Tabel 3. 6 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar	34
Tabel 3. 7 Nilai slump pada setiap variasi	35
Tabel 3. 8 Hasil kuat tekan rata-rata	36
Tabel 4. 1 Hasil pengujian XRF	46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karakteristik beton sangat dipengaruhi oleh material pembentuknya, yaitu semen Portland, air, agregat (kasar dan halus), serta bahan tambahan tertentu. Guna memahami bagaimana beton berfungsi sebagai satu kesatuan, sangat penting untuk mendalami sifat-sifat unik dari setiap elemen penyusun tersebut (Triandjaja dkk., 2022).

(Rochman, 2021) Beton dipahami sebagai hasil dari sinergi mekanis dan kimiawi antar material penyusunnya, sehingga penguasaan terhadap tiap komponen menjadi landasan sebelum mengkaji beton secara utuh. Hal ini memungkinkan insinyur merancang komposisi material yang optimal guna menghasilkan beton yang kuat, efisien, serta memenuhi standar fungsionalitas dan aspek ekonomis.

Abu tempurung kelapa, yang merupakan residu hasil pembakaran total, mengandung unsur penting seperti karbon dan silika. Berkat kandungan tersebut, material ini sering dimanfaatkan sebagai bahan tambah yang efektif untuk kebutuhan konstruksi bangunan dan pengayaan lahan tani. (Ajien dkk., 2023)

Silika adalah material pozzolank yang sangat halus, dihasilkan sebagai produk sampingan dari proses produksi silikon atau paduan silikon di dalam tungku busur listrik. Material ini terutama terdiri dari partikel amorf silika (SiO_2) dengan ukuran partikel sangat kecil (sekitar 100 kali lebih halus dari semen portland), sehingga memiliki luas permukaan yang sangat besar. (Andi dkk., 2025.)

Pengujian XRD dilakukan untuk memetakan struktur amorf dan kristalin pada abu tempurung kelapa. Munculnya puncak difraksi yang lebar mengindikasikan keberadaan silika amorf, sedangkan puncak yang tajam menunjukkan fase kristalin; data ini krusial untuk memvalidasi kelayakan abu sebagai bahan pengikat alternatif pada beton. (Reddy, 2024)

Berangkat dari isu tersebut, penelitian ini mengeksplorasi dampak integrasi abu tempurung kelapa dalam campuran beton melalui analisis *X-Ray Diffraction* (XRD). Fokus utama studi ini adalah membedah transformasi fase amorf dan

kristalin pada beton tersebut, dengan harapan dapat memberikan solusi aplikatif bagi masyarakat dalam mengelola limbah tempurung kelapa secara lebih produktif. Oleh karena itu, penelitian ini diberi judul “ANALISIS SILIKA AMORF PADA BETON DENGAN SUBSTITUSI ABU TEMPURUNG KELAPA MENGGUNAKAN X-RAY DIFFRACTION (XRD)”.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada pemaparan latar belakang di atas, poin-poin permasalahan yang akan dikaji dalam studi ini mencakup:

1. Bagaimana karakteristik fase kristalin dan amorf beton dengan substitusi abu tempurung kelapa berdasarkan hasil pengujian X-Ray Diffraction (XRD) ?
2. Bagaimana hubungan perubahan fase kristalin dan amorf terhadap kuat tekan beton pada berbagai variasi substitusi abu tempurung kelapa ?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini berfokus pada optimasi pemanfaatan limbah tempurung kelapa sebagai substitusi dalam campuran beton, yang dianalisis secara mendalam menggunakan teknik *X-Ray Diffraction* (XRD). Target utamanya adalah untuk mengetahui nilai optimum amorf pada beton berdasarkan hasil kuat tekan beton serta senyawa mineralogi yang terdapat pada beton.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk menyederhanakan analisis dalam penelitian, maka penelitian ini diperlukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Sampel yang digunakan merupakan hasil dari penelitian saudara Nova Eliza tahun 2026 yang berjudul “Pengaruh Substitusi Abu Tempurung Kelapa pada Campuran Beton terhadap Kuat Tekan Beton” yang memiliki beberapa variasi sebesar 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75%, 5%, dan 6,25% dibuat sebanyak 3 sampel dan di cetak menggunakan cetakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
2. Penelitian ini berfokus pada uji fase amorf dan kristalin terhadap substitusi abu tempurung kelapa yang terdapat pada beton.
3. Abu tempurung kelapa yang digunakan berasal dari hasil pembakaran tempurung kelapa.

4. Umur beton yang diuji kuat tekannya dibatasi pada umur tertentu sesuai dengan standar pengujian yaitu, 28 hari.
5. Pelaksanaan penelitian dilaksanakan skala Laboratorium
6. Penelitian ini berfokus pada pengaruh sifat mineralogi terhadap substitusi abu tempurung yang terdapat pada beton.
7. Penelitian ini menggunakan metode *X-Ray Diffraction (XRD)*
8. Pada pengolahan data didukung dengan aplikasi Origin versi 2018 64 bit

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

I. PENDAHULUAN

Bab I berfungsi sebagai pengantar yang memaparkan landasan teori, identifikasi masalah, sasaran serta tujuan penelitian, metodologi yang diterapkan, hingga batasan ruang lingkup kajian.

II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab II menyajikan tinjauan pustaka dan landasan teori terkait pengujian beton yang dihimpun dari berbagai literatur ilmiah yang relevan..

III. METODELOGI PENELITIAN

Bab III memaparkan tahapan akuisisi serta teknik pemrosesan data yang diperlukan untuk mendukung proses komputasi dalam penelitian ini.

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab IV merupakan bab yang menguraikan tentang hasil data analisis yang di olah menggunakan sebuah aplikasi yang memunculkan sebuah angka perhitungan yang kemudian di hitung .

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab V menyajikan bagian penutup dari laporan ini, yang merangkum kesimpulan utama dari hasil analisis serta memberikan rekomendasi konstruktif bagi pengembangan penelitian di masa mendatang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Kualitas beton sangat bergantung pada material pembentuknya, seperti semen Portland, agregat, air, dan aditif. Memahami sifat masing-masing komponen ini adalah kunci untuk menganalisis perilaku beton sebagai satu kesatuan (Trial.dkk , 2022).

Menurut (Li dkk., 2022) Beton dipandang sebagai hasil dari sinergi mekanis dan kimiawi dari setiap unsurnya. Penguasaan sifat masing-masing bahan menjadi langkah awal yang krusial sebelum mempelajari beton secara menyeluruh. Dengan demikian, perencana dapat menyusun komposisi material yang efisien untuk mencapai target kekuatan, keandalan operasional, dan efisiensi biaya..

Karakteristik beton sangat ditentukan oleh perpaduan material dasarnya, yakni semen Portland, air, agregat, serta zat aditif. Pemahaman mendalam mengenai ciri khas setiap unsur penyusun tersebut sangat vital untuk mengidentifikasi bagaimana beton bereaksi sebagai satu kesatuan material (Pustaka.dkk , 2020).

2.2 Semen dan Proses Hidrasi

Sebagai material pengikat hidrolis utama dalam konstruksi beton, semen mengalami transformasi melalui mekanisme hidrasi yang sangat kompleks saat berinteraksi dengan air, di mana interaksi ini memicu serangkaian reaksi kimia dan fisik yang dimulai dari pelarutan hingga perpindahan ion di dalam larutan pori, fenomena ini tidak hanya melibatkan pembentukan inti kristal tetapi juga pertumbuhan berkelanjutan dari berbagai produk hidrasi yang secara progresif mengubah pasta semen menjadi struktur padat yang kokoh, sehingga memberikan kekuatan mekanis serta daya ikat yang esensial bagi integritas struktural beton secara keseluruhan (John, 2023).

Semen Portland tersusun dari empat fase klinker utama yang mencakup trikalsium silikat (C_3S), dikalsium silikat (C_2S), trikalsium aluminat (C_3A), serta

tetrakalsium aluminoferrit (C_4AF), di mana fase silikat C_3S dan C_2S memegang peranan krusial dalam mekanisme hidrasi dan evolusi kekuatan struktural semen; hal ini terjadi karena C_3S yang memiliki tingkat reaktivitas tinggi sangat mendominasi pembentukan produk hidrasi serta perkembangan kekuatan pada tahap awal, sementara C_2S yang bereaksi lebih lambat memberikan kontribusi signifikan bagi penguatan beton di tahap lanjut, sehingga sinergi dari karakteristik unik kedua fase tersebut memastikan bahwa seluruh proses hidrasi berlangsung secara bertahap dan menghasilkan peningkatan sifat mekanis yang konsisten seiring dengan bertambahnya usia kematangan beton (Li dkk., 2022).

Mekanisme hidrasi semen yang dipicu oleh interaksi dengan air dimulai melalui pelarutan parsial serta pelepasan ion-ion penyusun ke dalam larutan pori, yang kemudian diikuti oleh tahap pembentukan inti serta pertumbuhan produk hidrasi yang terbagi ke dalam beberapa fase perkembangan, mulai dari reaksi awal yang berlangsung cukup cepat hingga periode induksi atau masa dorman di mana laju reaksi mengalami penurunan, proses ini akan kembali meningkat pada periode percepatan seiring dengan pembentukan produk hidrasi yang intensif, sebelum akhirnya memasuki tahap perlambatan akibat semakin menebalnya lapisan produk pada permukaan partikel semen yang membatasi akses air untuk bereaksi dengan bagian semen yang tersisa (John, 2023).

Dalam penelitian beton yang melibatkan substitusi sebagian semen dengan abu tempurung kelapa, mekanisme hidrasi menjadi faktor krusial dalam memahami evolusi mikrostruktur, sementara kehadiran abu tempurung kelapa berpotensi memodifikasi karakteristik matriks semen melalui interaksi komponennya dengan produk hidrasi, perubahan morfologi yang mencakup fase kristalin dan amorf ini dapat diidentifikasi secara akurat melalui pengamatan *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk kemudian dikorelasikan dengan data kuat tekan beton guna memberikan gambaran komprehensif mengenai pengaruh substitusi material organik tersebut terhadap integritas struktural beton secara keseluruhan.

2.3 Fase Kristalin dan Amorf

Material penyusun beton memiliki struktur internal yang dapat terdiri atas fase kristalin dan fase amorf. Perbedaan kedua fase tersebut berkaitan dengan

tingkat keteraturan susunan atom atau molekul di dalam suatu material. Fase kristalin memiliki susunan atom yang teratur dan berulang dalam pola tertentu, sedangkan fase amorf mempunyai struktur yang tidak menunjukkan keteraturan jangka panjang seperti pada material kristalin. Keberadaan kedua fase tersebut penting dalam material berbasis semen karena dapat memengaruhi proses reaksi, perkembangan mikrostruktur, serta sifat mekanis beton (Huang dkk., 2026).

Pada material kristalin, susunan atom yang teratur menyebabkan adanya bidang-bidang kristal yang dapat menghasilkan pola difraksi tertentu ketika dikenai sinar-X. Oleh karena itu, keberadaan fase kristalin dapat diamati melalui pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dalam bentuk puncak-puncak difraksi yang relatif tajam. Posisi dan intensitas puncak tersebut dapat digunakan untuk membantu mengidentifikasi jenis mineral atau senyawa yang terdapat di dalam material. Dalam sistem semen, beberapa fase kristalin yang dapat ditemukan antara lain alite, belite, portlandit, kalsit, dan ettringite. XRD merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengidentifikasi fase-fase tersebut serta mengamati perubahan fase yang terjadi selama proses hidrasi (Huang dkk., 2026).

Berbeda dengan fase kristalin, material amorf tidak mempunyai susunan atom yang teratur dalam jangkauan yang panjang. Kondisi tersebut menyebabkan material amorf tidak menghasilkan puncak difraksi yang tajam seperti material kristalin. Pada hasil pengujian XRD, keberadaan fase amorf umumnya ditunjukkan oleh pola berupa latar belakang yang melebar atau *broad hump* pada rentang sudut tertentu. Akan tetapi, identifikasi fase amorf menggunakan XRD perlu dilakukan secara hati-hati karena bentuk pola difraksi dapat dipengaruhi oleh ukuran partikel, tingkat kristalinitas, serta keberadaan fase nano-kristalin (Huang dkk., 2026).

Dalam material berbasis semen, keberadaan fase amorf memiliki peranan penting terutama dalam pembentukan produk hidrasi. Salah satu produk utama hasil hidrasi semen adalah *calcium silicate hydrate* atau C-S-H. Fase C-S-H memiliki struktur yang kompleks dan tingkat keteraturan yang relatif rendah apabila dibandingkan dengan mineral kristalin. Oleh sebab itu, fase ini tidak selalu menghasilkan puncak difraksi yang tajam pada pengujian XRD. Meskipun demikian, C-S-H memiliki peranan penting dalam pembentukan struktur pengikat

dan perkembangan kekuatan pada material berbasis semen. Perkembangan ilmu material sementisius menunjukkan bahwa proses pembentukan fase pengikat dapat melibatkan tahapan antara berupa struktur amorf atau nanopartikel sebelum terbentuknya fase dengan tingkat keteraturan yang lebih tinggi (Huang dkk., 2026).

Bagi penelitian yang menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), menegaskan bahwa material sementisius dapat mengandung fase dengan tingkat keteraturan yang berbeda. Fase kristalin umumnya menghasilkan puncak difraksi yang lebih jelas, sedangkan C-S-H dapat bersifat amorf, sangat kurang kristalin, atau nanokristalin sehingga interpretasi XRD perlu dikaitkan dengan teknik karakterisasi lain. Perubahan dari prekursor amorf menuju fase yang lebih stabil juga menjadi bagian penting dalam memahami perkembangan mikrostruktur material.

2.4 Kegunaan Beton Normal

Sebagai material utama infrastruktur di Indonesia, beton menawarkan kekuatan setangguh batu karang saat mengeras, namun sangat fleksibel untuk dibentuk sesuai desain arsitektur saat masih segar. Dengan teknik *finishing* khusus seperti ekspos agregat, beton mampu menonjolkan nilai estetika tinggi sekaligus memberikan perlindungan maksimal karena sifatnya yang tahan api dan korosi (Didik dkk.,2022).

Beton memiliki berbagai keunggulan yang menjadikannya sebagai salah satu material konstruksi yang paling banyak digunakan. Salah satu kelebihan adalah sifatnya yang mudah dibentuk mengikuti kebutuhan dan desain konstruksi selama masih dalam kondisi segar. Beton juga memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menahan beban, terutama beban tekan, sehingga cocok digunakan pada berbagai elemen struktural. Selain itu, beton mempunyai ketahanan yang tinggi atau temperatur yang ekstrem serta memiliki ketahanan aus yang baik, sehingga biaya pemeliharaan yang diperlukan relatif rendah (Didik dkk.,2022).

Pada saat masih segar, campuran beton mudah dipompa maupun disemprotkan ke lokasi pengecoran, termasuk untuk mengisi retakan atau memperbaiki beton yang telah mengalami kerusakan. Berbagai keunggulan

tersebut menjadikan beton sebagai material yang efisien, kuat, tahan lama, dan mudah diaplikasikan pada berbagai jenis pekerjaan konstruksi. Dalam berbagai proyek konstruksi berskala ringan hingga menengah, beton normal menjadi pilihan utama, mulai dari pembangunan hunian, gedung perkantoran, sarana pendidikan, hingga infrastruktur seperti jalan kaku dan jembatan (Didik,dkk 2022.).

2.5 Jenis-jenis Beton

Beton dapat diklasifikasikan berdasarkan berat jenisnya menjadi beton ringan, beton normal, dan beton berat. Beton ringan memiliki berat jenis kurang dari 1.900 kg/m^3 dan umumnya dimanfaatkan untuk elemen-elemen non-struktural karena bobotnya yang lebih ringan dibandingkan jenis beton lainnya. Beton ini dapat dibuat dengan membentuk gelembung udara di dalam adukan, menggunakan agregat ringan seperti tanah liat bakar atau batu apung, maupun dengan menerapkan campuran beton tanpa agregat halus (beton non-pasir). Beton normal memiliki berat jenis berkisar antara $2.200\text{--}2.500 \text{ kg/m}^3$ dan merupakan jenis beton yang paling banyak digunakan pada berbagai elemen struktural bangunan, seperti balok, kolom, pelat, dan pondasi. Sementara itu, beton berat memiliki berat jenis lebih dari 2.500 kg/m^3 dan umumnya digunakan pada struktur yang memerlukan perlindungan khusus, misalnya bangunan yang harus mampu mereduksi atau menahan paparan radiasi, seperti fasilitas nuklir atau ruang radiologi (Cheah dkk., 2021).

2.6 Karakteristik Beton

Guna menghasilkan beton yang fungsinya tepat sasaran, kita wajib memahami standar kualitas beton yang ideal. Poin intinya adalah formulasi material menjadi faktor kunci penentu mutu secara menyeluruh; di mana kualitas bahan dan konsistensi campuran pada setiap bagian produk harus tetap terjaga dengan baik (Demissew, 2022).

Karakteristik beton yang baik ditentukan oleh beberapa aspek penting, yaitu kepadatan, kekuatan, faktor air-semen, dan tekstur permukaannya. Kepadatan beton harus diupayakan setinggi mungkin dengan meminimalkan rongga di dalam campuran sehingga ruang yang tersedia dapat terisi secara optimal oleh agregat dan pasta semen. Pada kondisi tertentu, seperti konstruksi yang memerlukan perlindungan terhadap radiasi, kepadatan menjadi salah satu persyaratan utama.

Selain itu, beton juga harus memiliki kekuatan dan ketahanan yang memadai agar mampu menahan berbagai jenis beban serta mengurangi risiko terjadinya kerusakan selama masa layan. Faktor air-semen (water-cement ratio) merupakan parameter yang perlu dikendalikan dengan baik karena sangat berpengaruh terhadap pencapaian kuat tekan sesuai dengan mutu beton yang direncanakan. Di samping itu, tekstur permukaan beton, khususnya pada beton ekspos, harus memiliki permukaan yang padat, keras, dan tahan terhadap pengaruh cuaca sehingga mampu mempertahankan kualitas serta penampilannya dalam jangka waktu yang lama (Onaizi dkk., 2024).

2.7 Abu Tempurung Kelapa

Abu tempurung kelapa merupakan residu yang dihasilkan dari pembakaran tempurung kelapa yang telah mengalami karbonisasi atau pembakaran sempurna. Abu ini memiliki beberapa komponen, termasuk silika, kalsium oksida, dan karboin, sehingga menguntungkan untuk berbagai penggunaan, terutama dalam konstruksi serta pertanian. Penelitian mengenai pemanfaatan abu tempurung kelapa sebagai bahan substitusi semen dalam beton menunjukkan bahwa material limbah ini memiliki potensi sebagai bahan tambahan abu tempurung kelapa digunakan sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi persentase tertentu. Penelitian tersebut dilakukan dengan membuat beberapa benda uji beton silinder dan menguji kuat tekan serta karakteristik campuran beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu tempurung kelapa memiliki sifat pozzolan yang mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen, sehingga dapat mempengaruhi struktur internal beton. Namun, peningkatan kadar substitusi yang terlalu tinggi cenderung menurunkan kuat tekan beton karena berkurangnya kandungan semen aktif dalam campuran (Andi., 2025).

Beton geopolimer biasanya mengandalkan *fly ash* batu bara sebagai binder pozzolanik. Namun, studi ini mengeksplorasi penggunaan abu tempurung kelapa yang kaya silika reaktif sebagai pengganti alternatif. Selain mendukung ekonomi sirkular melalui pemanfaatan limbah biomassa, riset ini bertujuan menguji efektivitas material tersebut terhadap kekuatan tekan beton, baik dengan maupun

tanpa aditif, guna mendorong inovasi konstruksi yang lebih hijau (Setiawan & Yuniarto, 2025).

Berdasarkan dari (SNI 2046:2014 Nasional,) menunjukkan bahwa klasifikasi abu tempurung kelapa berada pada kelas N yang di jelaskan Pozolan alam mentah atau telah dikalsinasi memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas N, misalnya beberapa tanah diatomae (hasil lapukan), batu rijang opalan dan serpih, tufa dan abu vulkanik atau batu apung, dikalsinasi atau tidak, dan berbagai bahan yang memerlukan kalsinasi untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan' misalnya lempung dan serpi (SNI 2046:2014).

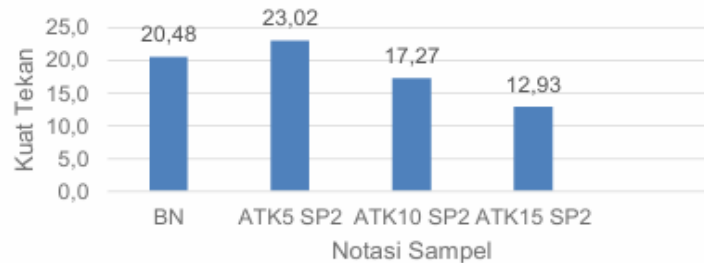


Gambar 2. 1 Abu tempurung kelapa

2.8 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan didefinisikan sebagai kapasitas beton dalam menahan beban tekan per satuan luas, yang sekaligus menjadi indikator utama kualitas suatu struktur. Mutu beton berbanding lurus dengan spesifikasi kekuatan yang dibutuhkan dalam perencanaan. Secara teknis, besaran nilai ini diperoleh dari pengujian standar pada sampel silinder berukuran 15x30 cm menggunakan mesin tekan hingga mencapai titik hancur (Abdien, 2020).

Dalam pengujian material, kuat tekan diartikan sebagai ambang batas beban pada permukaan benda uji yang memicu kegagalan struktural atau kehancuran saat ditekan menggunakan alat mekanis (Badan Standardisasi Nasional, 1990) (International, 2021).



Gambar 2. 2 Analisis perbandingan mutu beton terhadap zat tambahan

2.9 Umur Beton

Kapasitas tekan beton meningkat seiring bertambahnya usia material, dengan akselerasi yang signifikan hingga hari ke-21 sebelum akhirnya pertumbuhannya melandai. Jika proyek membutuhkan kekuatan awal yang cepat, penggunaan semen tipe I (PCC) dapat dikombinasikan dengan aditif kimia atau semen khusus. Secara keseluruhan, laju penguatan ini sangat bergantung pada material pembentuknya, terutama semen yang secara krusial menentukan performa mekanis beton (Beton., 2000).

2.10 Perawatan Beton

Metode perawatan beton mencakup teknik pembasahan, penggunaan membran, atau sistem penguapan (*steam*). Namun, aplikasi uap berisiko memicu hilangnya kadar air secara signifikan, yang berujung pada terhentinya proses hidrasi dan penurunan kekuatan. Selain itu, penguapan cepat dapat menyebabkan penyusutan kering prematur yang menimbulkan tegangan tarik serta risiko retak (Kurniawan, 2016).

Durasi perawatan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis semen yang digunakan, komposisi campuran, metode curing, serta kuat tekan rencana, selain kondisi lapangan seperti cuaca dan dimensi elemen beton. Pada beton normal, metode perawatan konvensional seperti perendaman air umumnya dilaksanakan selama paling sedikit tujuh hari pada rentang suhu 20–30°C. Lama perawatan dapat dikurangi menjadi sekitar tiga hari apabila menggunakan semen

dengan kekuatan awal tinggi, atau diperpanjang hingga kurang lebih tiga minggu pada beton dengan ukuran struktur yang masif. Penerapan metode perawatan menggunakan pemanasan mampu mempercepat proses curing hingga sekitar 24 jam. Suhu curing yang tinggi pada usia beton awal dapat meningkatkan perkembangan kuat tekan, namun pada umur selanjutnya justru berpotensi menurunkannya. Secara umum, suhu perawatan beton berada pada kisaran 40–100°C, dengan suhu yang dianggap paling optimal berkisar antara 65–80°C, bergantung pada tujuan dan kebutuhan penggunaan beton (Kurniawan, 2016).

2.11 Pengujian Mikrostruktur

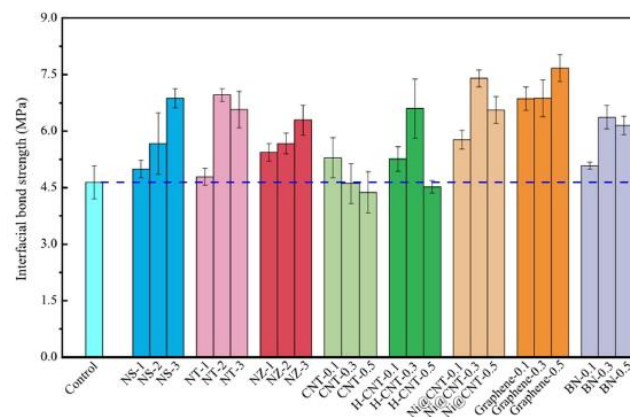
Pengujian mikrostruktur merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengamati dan mengevaluasi struktur internal material pada skala mikroskopis. Pada material konstruksi, khususnya mortar dan beton, pengujian mikrostruktur memberikan informasi mengenai distribusi partikel, ikatan antar fasa, ukuran pori, retakan mikro, serta interaksi antara bahan tambahan dengan matriks pengikat. Kajian ini penting untuk menjelaskan hubungan antara sifat mikro dan performa mekanik material (Siddika dkk., 2022).

Beberapa teknik yang umum digunakan dalam analisis mikrostruktur mortar atau beton antara lain: Scanning Electron Microscopy (SEM) dan X-Ray Diffraction (XRD). SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan, distribusi partikel, kepadatan matriks, dan keberadaan rongga. SEM mampu memberikan citra resolusi tinggi hingga skala nanometer. Sedangkan X-Ray Diffraction (XRD), bertujuan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dan amorf dalam material. Pada mortar dengan bahan tambahan pozzolanik seperti wood ash, XRD digunakan untuk mengetahui proporsi silika amorf yang berperan penting dalam reaktivitas pozzolanik (Siddika dkk., 2022).

Pengujian mikrostruktur berfungsi sebagai pelengkap data mekanik dan fisik. Misalnya, kuat tekan yang tinggi pada mortar sering berkorelasi dengan mikrostruktur yang padat, homogen, dan memiliki rongga minimal. Sebaliknya, penurunan kuat tekan biasanya diikuti dengan ditemukannya retakan mikro atau distribusi partikel yang tidak merata. Dengan demikian, pengujian mikrostruktur

memungkinkan peneliti untuk menjelaskan fenomena yang tidak dapat dijelaskan hanya melalui uji makroskopik (Siddika dkk., 2022).

Pengujian mikrostruktur memperkuat validitas penelitian dengan menghubungkan data kuantitatif (kuat tekan, berat jenis, dan lain-lain) dengan bukti visual dan struktural. Secara praktis, hasil pengujian ini dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan untuk mengoptimalkan komposisi campuran mortar agar memenuhi kriteria kekuatan, ketahanan, dan keberlanjutan dalam aplikasi konstruksi. (Xiao dkk., 2023)

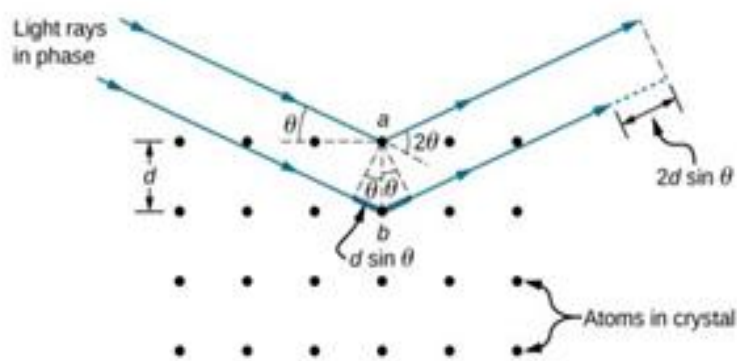


Gambar 2. 3 Pengujian mikrostruktur

2.11.1 X-Ray Diffraction

Melalui pengamatan pola difraksi, metode *X-ray Diffraction* (XRD) memungkinkan identifikasi sifat mineralogi secara mendalam. Teknik ini mengandalkan interaksi sinar-X yang terhambur pada sudut tertentu (sudut Bragg) saat mengenai atom-atom yang tersusun secara teratur dalam kisi kristal. (Oktamuliani, 2016).

Secara historis, interaksi sinar-X dengan kristal menjadi bukti nyata bahwa sinar-X adalah radiasi elektromagnetik, sebuah teori yang telah muncul sejak 1895. Puncaknya pada 1915, pasangan ayah dan anak yang legendaris dianugerahi Hadiah Nobel atas inovasi spektrometer sinar-X serta pengembangan Persamaan Bragg sebagai fondasi analisis material. (Oktamuliani, 2016)



Gambar 2. 4 Difraksi sinar-X dengan kristalin

Pengujian X-Ray Diffraction (XRD) atau pengujian pantulan sinar-X diawali dengan tahap persiapan sampel, di mana material yang akan diuji biasanya dibuat dalam bentuk serbuk halus dan homogen agar proses difraksi berlangsung optimal. Sampel kemudian ditempatkan pada sample holder dengan permukaan yang rata untuk menghindari kesalahan pembacaan. Setelah sampel siap, dilakukan kalibrasi alat XRD menggunakan bahan standar guna memastikan ketepatan sudut difraksi dan intensitas sinar-X yang dihasilkan. Selanjutnya, parameter pengujian diatur sesuai dengan karakteristik sampel, meliputi jenis sumber sinar-X, rentang sudut 2θ , ukuran langkah (step size), serta waktu pemindaian (Oktamuliani, 2016).

Proses pengujian dilakukan dengan menembakkan sinar-X ke arah sampel, di mana sinar tersebut akan terdifraksi oleh bidang kristal sesuai dengan Hukum Bragg. Pantulan sinar-X yang dihasilkan kemudian ditangkap oleh detektor dan direkam sebagai data intensitas terhadap sudut 2θ dalam bentuk difraktogram. Data hasil pengukuran selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak untuk menghilangkan noise dan menentukan posisi serta intensitas puncak difraksi. Tahap akhir adalah analisis dan interpretasi hasil, yang bertujuan untuk mengidentifikasi fasa kristal, menentukan tingkat kristalinitas, serta memperoleh informasi mengenai struktur kristal dan ukuran kristalit. Hasil analisis tersebut kemudian disajikan dalam bentuk laporan sebagai kesimpulan dari pengujian XRD

2.11.2 X-Ray Fluorescence (XRF)

Secara prinsip, pengujian XRF dimulai ketika sampel dikenai sinar-X primer yang berasal dari sumber eksitasi, seperti tabung sinar-X. Energi dari sinar-X tersebut berinteraksi dengan atom pada sampel dan dapat menyebabkan elektron

pada kulit atom bagian dalam terlepas. Peristiwa tersebut menghasilkan kekosongan elektron pada tingkat energi tertentu. Atom yang berada dalam kondisi tidak stabil kemudian mengalami proses relaksasi, yaitu elektron dari kulit yang memiliki tingkat energi lebih tinggi berpindah untuk mengisi kekosongan pada kulit yang lebih dalam. Perpindahan elektron ini menghasilkan pelepasan energi dalam bentuk sinar-X fluoresensi atau sinar-X karakteristik (Geist & Santi, 2024).

Dalam penelitian material konstruksi, khususnya beton dan material pengganti sebagian semen seperti abu tempurung kelapa, pengujian XRF dapat digunakan untuk mengetahui komposisi kimia material. Hasil pengujian biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase oksida, seperti SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , dan Na_2O . Data tersebut penting untuk mengetahui karakteristik kimia bahan serta potensi material sebagai bahan pengganti atau bahan tambahan dalam campuran beton. Namun, XRF pada dasarnya memberikan informasi mengenai komposisi unsur atau oksida, bukan secara langsung menentukan bentuk atau susunan fase kristalin suatu material. Oleh karena itu, hasil XRF dapat dikombinasikan dengan pengujian X-Ray Diffraction (XRD), yang digunakan untuk mengidentifikasi fase mineral serta karakteristik kristalin dan amorf dari material (Marguá dkk., 2022)

Data yang dihasilkan dari pengujian XRF dapat digunakan untuk melakukan analisis kualitatif berdasarkan energi sinar-X karakteristik dan analisis kuantitatif berdasarkan intensitas sinyal yang terdeteksi. Namun, dalam proses analisis perlu diperhatikan beberapa faktor, seperti kondisi sampel, pengaruh matriks, atenuasi radiasi, geometri pengukuran, serta proses kalibrasi agar hasil yang diperoleh memiliki tingkat ketelitian yang baik. Dalam penelitian material konstruksi, XRF dapat dimanfaatkan untuk mengetahui komposisi kimia bahan, seperti kandungan SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , dan Na_2O pada semen, abu, maupun material pengganti sebagian semen. Informasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk memahami karakteristik kimia dan potensi penggunaan suatu material dalam campuran beton. Sementara itu, untuk mengetahui fase mineral serta karakteristik kristalin dan amorf, pengujian XRF dapat dikombinasikan dengan X-Ray Diffraction (XRD). Dengan demikian, penggunaan XRF dan XRD secara bersama-

sama dapat memberikan informasi yang lebih lengkap mengenai karakteristik kimia dan struktur material yang diteliti.

2.12 Amorf dan Kristalinitas

Berbagai macam perangkat lunak saat ini telah tersedia untuk menunjang efisiensi pengolahan dan interpretasi data hasil pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD). Salah satu aplikasi yang sering digunakan adalah Origin (OriginLab Corporation), Pengolahan data ini menggunakan aplikasi origin (Huang dkk., 2026).

Pengolahan data merupakan tahap penting dalam penelitian eksperimental karena menentukan validitas dan keakuratan interpretasi hasil uji. Dalam bidang teknik sipil, khususnya penelitian mortar dan beton, pengolahan data tidak hanya mencakup perhitungan statistik dasar, tetapi juga analisis grafik, visualisasi pola, serta pemodelan hubungan antar variabel. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan dalam analisis ilmiah adalah OriginLab (Origin), yang dirancang khusus untuk scientific data analysis dan graphing (Xiao dkk., 2023).

Origin menyediakan berbagai fitur seperti pemrosesan data eksperimental dari instrumen seperti XRD, FTIR, dan SEM-EDS. Kemampuan ini menjadikannya relevan dalam penelitian material konstruksi, di mana data biasanya bersifat kompleks dan memerlukan pendekatan kuantitatif serta visualisasi yang presisi. Dalam konteks penelitian mortar dengan penambahan bahan pozzolanik seperti wood ash, Origin dapat digunakan untuk analisis kuantitatif XRD yaitu untuk menentukan proporsi fase amorf dan kristalin melalui metode Rietveld refinement atau dekonvolusi puncak difraksi (Xiao dkk., 2023).

Beberapa penelitian terdahulu (Zhang dkk., 2023) menegaskan bahwa penggunaan perangkat lunak seperti Origin meningkatkan kualitas interpretasi data dan mempercepat proses analisis ilmiah. Dengan demikian, integrasi Origin dalam penelitian mortar tidak hanya meningkatkan presisi hasil, tetapi juga mendukung standar pelaporan ilmiah yang diakui secara internasional.

Setelah hasil XRD didapatkan selanjutnya olah data melalui aplikasi origin dengan melakukan perhitungan persentase kristalinitas dan amorfnya. Fase amorf adalah keadaan material di mana susunan atom atau molekulnya tidak teratur dan

tidak membentuk pola kristal yang periodik seperti pada fase kristalin. Pada fase ini, partikel penyusun tidak memiliki bidang kristal yang terdefinisi dengan baik, sehingga struktur internalnya bersifat acak dan tidak berulang (Xiao dkk., 2023).

Dalam pengujian X-Ray Diffraction (XRD), fase amorf tidak menghasilkan puncak difraksi yang tajam, melainkan ditunjukkan oleh pola difraksi melebar (amorphous hump) pada rentang sudut tertentu. Pola ini menandakan tidak adanya keteraturan jangka panjang dalam struktur material (Zhang dkk., 2023).

Dalam konteks material konstruksi, khususnya beton dan bahan pozzolan seperti abu tempurung kelapa, fase amorf memiliki peran penting karena bersifat lebih reaktif dibandingkan fase kristalin. Fase amorf mampu berinteraksi lebih efektif dengan matriks pengikat, mengisi pori-pori mikro, serta berkontribusi terhadap pembentukan struktur mikro yang lebih padat dan homogen. Oleh karena itu, dominasi fase amorf sering dikaitkan dengan peningkatan kinerja mekanik dan durabilitas material (Zhang dkk., 2023).

Sedangkan Fase kristalin adalah keadaan material di mana atom, ion, atau molekulnya tersusun secara teratur, periodik, dan berulang dalam suatu kisi kristal. Susunan yang teratur ini membentuk bidang-bidang kristal tertentu dengan jarak antarbidang yang tetap, sehingga menghasilkan sifat fisik dan mekanik yang khas (Zhang dkk., 2023).

Dalam pengujian X-Ray Diffraction (XRD), fase kristalin ditandai oleh puncak-puncak difraksi yang tajam dan jelas pada sudut 2θ tertentu. Setiap puncak mewakili bidang kristal spesifik dari suatu senyawa mineral, sehingga fase kristalin dapat diidentifikasi secara kualitatif dan kuantitatif berdasarkan posisi dan intensitas puncak tersebut (Xiao dkk., 2023).

Dalam konteks material konstruksi, fase kristalin umumnya bersifat lebih stabil namun kurang reaktif dibandingkan fase amorf. Pada mortar atau beton, mineral kristalin seperti kuarsa atau kalsit berperan sebagai pengisi struktural (filler) yang memberikan kekakuan dan stabilitas dimensi. Namun, dominasi fase kristalin yang berlebihan dapat mengurangi kemampuan material dalam membentuk ikatan mikro yang optimal, sehingga keseimbangan antara fase

kristalin dan fase amorf menjadi faktor penting dalam menentukan kinerja material. Indeks kristalinitas didapatkan melalui perbandingan luas area kristalin dengan luas area total difraksi.(Cullity & Stock, 2023).

Rumus kristalinitas dan amorf :

$$\text{Kristalin (\%)} = \frac{\text{luas area titik puncak}}{\text{luas area total}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Amorf (\%)} = 100\% - \text{Kristalin (\%)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Luas area titik puncak dan luas area total pada analisis data XRD diperoleh melalui pengolahan data menggunakan perangkat lunak Origin. Tahapan awal dilakukan dengan mengimpor data hasil uji XRD dalam format Excel, yang berisi nilai sudut 2θ pada sumbu X dan intensitas difraksi pada sumbu Y. Setelah data berhasil dimasukkan, dilakukan visualisasi pola difraksi untuk mempermudah proses identifikasi puncak utama pada grafik (Zhang dkk., 2023).

Selanjutnya, analisis puncak (peak analysis) dilakukan menggunakan fitur Peak Analyzer pada aplikasi Origin. Pada tahap ini, perangkat lunak secara otomatis mendeteksi posisi puncak berdasarkan parameter tertentu seperti threshold, slope, dan baseline correction, yang dapat disesuaikan untuk memastikan akurasi deteksi puncak. Setelah puncak-puncak utama teridentifikasi, luas area masing-masing puncak dihitung melalui metode integrasi kurva sehingga menghasilkan estimasi area puncak yang lebih presisi (Zhang dkk., 2023).

Selain itu, Origin juga memungkinkan perhitungan luas area total melalui proses integrasi terhadap keseluruhan spektrum XRD. Nilai luas area total ini menjadi parameter penting dalam menentukan derajat kristalinitas, komposisi mineral, serta persentase fase pada material yang dianalisis. Dengan demikian, pengolahan data XRD menggunakan Origin menghasilkan informasi yang lebih terstruktur, akurat, dan representatif dalam menginterpretasikan karakteristik kristal dan amorf dari suatu material berdasarkan pola difraksi sinar-X.

Pemanfaatan perangkat lunak Origin, khususnya fitur Peak Analyzer, memegang peranan krusial dalam menyederhanakan interpretasi data X-Ray Diffraction (XRD) guna membedakan fase kristalin dan amorf pada mortar yang menggunakan aditif pozzolanik seperti abu tempurung kelapa. Melalui pengolahan

kurva hubungan sudut difraksi 2θ dan intensitas yang mencakup koreksi garis dasar serta kalkulasi luas area puncak metode ini mampu mengestimasi derajat kristalinitas serta proporsi fase amorf material secara presisi. Pemahaman mendalam mengenai rasio kedua fase tersebut sangat esensial karena berkorelasi langsung dengan tingkat reaktivitas bahan, kematangan struktur mikro, serta kekuatan mekanik dan durabilitas beton, sehingga menghasilkan analisis evaluasi material yang lebih sistematis, terukur, dan akurat.

2.11 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu

Peneliti	(Oktamuliani, 2016)	(Hakim et al., 2019)	(Fatimah & Utami, 2017)
Judul	Identifikasi mineral pada batuan granit di geopark merangin provinsi jambi menggunakan x-ray diffraction (xrd) dan scanning electron microscopy	Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Difraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya	Sintesis dan Analisis Spektra IR, Difraktogram XRD, SEM pada Material Katalis Berbahan Ni/zeolit Alam Teraktivasi dengan Metode Impregnasi
Material	Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel batuan granit yang diambil dari tiga lokasi berbeda di Geopark Merangin, Provinsi Jambi, yaitu Jeram Ladeh, Teluk Gadang Desa Air Batu, dan Dusun Baru Desa Air Batu. Sampel batuan dipreparasi menjadi serbuk halus menggunakan Jaw Crusher, Pulverizer, dan Sieving Shaker agar diperoleh ukuran partikel yang sesuai	Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah bongkahan pasir galian golongan C yang berasal dari dua lokasi penambangan di Kota Palangka Raya, yaitu Jalan Tjilik Riwut Km.18 dan Kelampangan. Sampel pasir dibedakan berdasarkan variasi warna, yaitu coklat, hitam, dan hitam pekat. Sebelum pengujian,	Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam teraktivasi sebagai bahan pendukung dan larutan nikel nitrat ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) sebagai sumber logam nikel untuk pembuatan katalis Ni/zeolit. Zeolit alam berasal dari daerah Klaten yang terlebih dahulu dicuci, dikeringkan, dihaluskan, dikalsinasi, dan

	untuk pengujian karakterisasi mineral. Material kemudian dianalisis menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) yang dilengkapi EDS untuk mengetahui unsur kimia penyusun batuan serta X-Ray Diffraction (XRD) untuk mengidentifikasi jenis dan struktur mineral berdasarkan pola difraksi sinar-X.	sampel dikeringkan pada suhu lingkungan selama kurang lebih dua minggu untuk mengurangi kadar air, kemudian digerus menggunakan mortar hingga halus dan diayak dengan ukuran 60–100 mesh agar diperoleh ukuran partikel yang seragam dan sesuai untuk pengujian XRD	diaktivasi menggunakan larutan HCl untuk membersihkan pori-pori serta meningkatkan keaktifan permukaan zeolit. Variasi kadar nikel yang digunakan dalam proses impregnasi adalah 0%, 5%, dan 10%, sehingga diperoleh beberapa sampel katalis dengan komposisi yang berbeda.
Metode	Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian lapangan dan penelitian laboratorium. Penelitian lapangan dilakukan melalui survei kondisi geologi dan pengambilan sampel batuan di tiga titik koordinat yang berbeda dengan bantuan GPS. Selanjutnya, penelitian laboratorium meliputi proses preparasi sampel, pengujian SEM–EDS untuk analisis	Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen laboratorium dengan karakterisasi struktur material menggunakan X-Ray Diffraction (XRD). Pengujian dilakukan menggunakan alat Rigaku Miniflex 600 Benchtop XRD dengan tegangan 40 kV dan arus 15 mA, serta rentang sudut pengukuran 2θ antara 10° hingga 80°. Analisis data	Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratoris dengan teknik impregnasi untuk mensintesis katalis Ni/zeolit. Proses impregnasi dilakukan dengan mencampurkan larutan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ke dalam suspensi zeolit teraktivasi pada suhu $70\text{--}80^\circ\text{C}$ sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer hingga terbentuk

	unsur kimia, serta pengujian XRD untuk menentukan fase mineral. Data hasil XRD dianalisis menggunakan metode Rietveld dengan bantuan perangkat lunak <i>HighScore Plus</i> dan database COD untuk memperoleh kecocokan pola difraksi dan parameter mineral.	difraksi dilakukan menggunakan perangkat lunak HighScore Plus versi 3.0e untuk mengidentifikasi fase mineral dan menentukan struktur kristal berdasarkan puncak-puncak difraksi yang terbentuk. Metode ini digunakan untuk mengetahui komposisi mineral dan sudut kristal yang menjadi karakteristik setiap material.	pasta, kemudian dikeringkan dan dikalsinasi. Karakterisasi material dilakukan menggunakan FT-IR untuk mengidentifikasi gugus fungsi, X-Ray Diffraction (XRD) untuk menentukan tingkat kristalinitas dan fase mineral, serta Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mengamati morfologi permukaan katalis.
Hasil	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel batuan dari lokasi Jeram Ladeh mengandung mineral Oligoclase, Bytownite (Plagioclase), dan Hornblende (Amfibol) sehingga diklasifikasikan sebagai batuan granidiorit. Sampel dari Teluk Gadang mengandung mineral Kuarsa, Anorthoclase (K-Feldspar), dan Muskovit, sedangkan sampel dari Dusun	Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposisi mineral bongkahan pasir berbeda berdasarkan lokasi dan warna sampel. Sampel dari Jalan Tjilik Riwut Km.18 berwarna coklat didominasi oleh Quartz Low (50,6%) dan Boron Nitride (49,3%), sampel berwarna hitam didominasi	Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses impregnasi berhasil memasukkan logam Ni ke dalam struktur zeolit, yang ditandai dengan munculnya puncak khas Ni pada difraktogram XRD serta perubahan intensitas spektrum pada analisis FT-IR. Citra SEM memperlihatkan bahwa permukaan katalis memiliki

	Baru mengandung mineral Kuarsa, Anorthoclase, Microcline, dan Sanidine (K-Feldspar), sehingga kedua lokasi tersebut termasuk dalam kategori batuan granit. Analisis SEM–EDS menunjukkan unsur dominan berupa silikon, oksigen, aluminium, natrium, kalium, kalsium, dan magnesium. Nilai Goodness of Fit (GoF) yang diperoleh menunjukkan tingkat kecocokan yang baik antara hasil pengukuran dan hasil pemodelan, sehingga dapat disimpulkan bahwa dari tiga lokasi penelitian terdapat dua jenis batuan granit dan satu granidiorit.	oleh Chalcocite (76,0%), sedangkan sampel hitam pekat didominasi oleh Boron Nitride (84,6%). Sementara itu, sampel dari lokasi Kelampangan berwarna coklat didominasi oleh Zirconium Oxide tetragonal (81,2%), sampel hitam mengandung Zirconium Oxide tetragonal (57,2%) dan Boron Nitride (32,5%), serta sampel hitam pekat didominasi oleh Boron Nitride (87,4%). Puncak difraksi tertinggi pada seluruh sampel umumnya muncul pada sudut sekitar 27° (2θ), yang menunjukkan karakteristik struktur kristal material pasir tersebut.	morfologi yang tidak merata akibat distribusi logam Ni pada pori-pori zeolit. Variasi kadar Ni memengaruhi karakteristik material, di mana penambahan Ni sebesar 5% menunjukkan distribusi yang lebih merata dan kristalinitas yang baik dibandingkan dengan variasi 0% dan 10%. Hal ini menandakan bahwa jumlah Ni yang terlalu besar dapat menyebabkan penggumpalan, sedangkan jumlah yang terlalu kecil belum optimal dalam meningkatkan sifat katalitik material.
Kesimpulan	Berdasarkan penelitian terdahulu, metode SEM–EDS dan X-Ray Diffraction (XRD) terbukti mampu	Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa metode X-Ray Diffraction (XRD) efektif	Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa katalis Ni/zeolit berhasil disintesis menggunakan

	mengidentifikasi unsur kimia dan fase mineral material secara akurat. Preparasi sampel yang baik menghasilkan data difraksi yang representatif sehingga analisis mineral memberikan tingkat kecocokan yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batuan granit didominasi oleh kuarsa dan K-feldspar, sedangkan granidiorit didominasi oleh plagioklas. Oleh karena itu, metode XRD dinilai efektif untuk analisis mineralogi dan dapat dijadikan acuan dalam penelitian material, termasuk pada bidang konstruksi dan beton	digunakan untuk mengidentifikasi kandungan mineral dan struktur kristal pada material pasir galian golongan C. Variasi warna dan lokasi penambangan memengaruhi komposisi mineral yang terkandung dalam sampel. Informasi struktur material yang diperoleh dari hasil analisis XRD dapat dimanfaatkan sebagai data awal dalam pengembangan dan pemanfaatan material pasir untuk bidang kajian lanjutan, khususnya pada bidang konstruksi dan material..	metode impregnasi dengan variasi kadar Ni 0%, 5%, dan 10%. Karakterisasi menggunakan FT-IR, XRD, dan SEM mampu memberikan informasi yang komprehensif mengenai struktur kimia, kristalinitas, dan morfologi material. Variasi kadar Ni sebesar 5% merupakan komposisi optimum karena menghasilkan struktur kristal yang baik, distribusi logam yang lebih merata, serta morfologi permukaan yang mendukung aktivitas katalitik. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode impregnasi dan analisis XRD efektif digunakan untuk mengembangkan dan mengevaluasi material berbasis mineral
--	--	--	---

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Universitas Sriwijaya dan Lab.Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang yang bertepatan di Jalan Jend.Ahmad Yani, 13 Ulu, Kec.Sebrang Ulu 2, Kota Palembang, Sumatera Selatan 30263. Untuk menunjang kelancaran pelaksanaan penelitian di laboratorium, dilakukan persiapan terhadap seluruh peralatan dan material yang digunakan. Selain itu, bahan-bahan penelitian terlebih dahulu diuji kualitasnya guna memastikan bahwa material yang digunakan telah memenuhi standar dan spesifikasi yang ditetapkan.

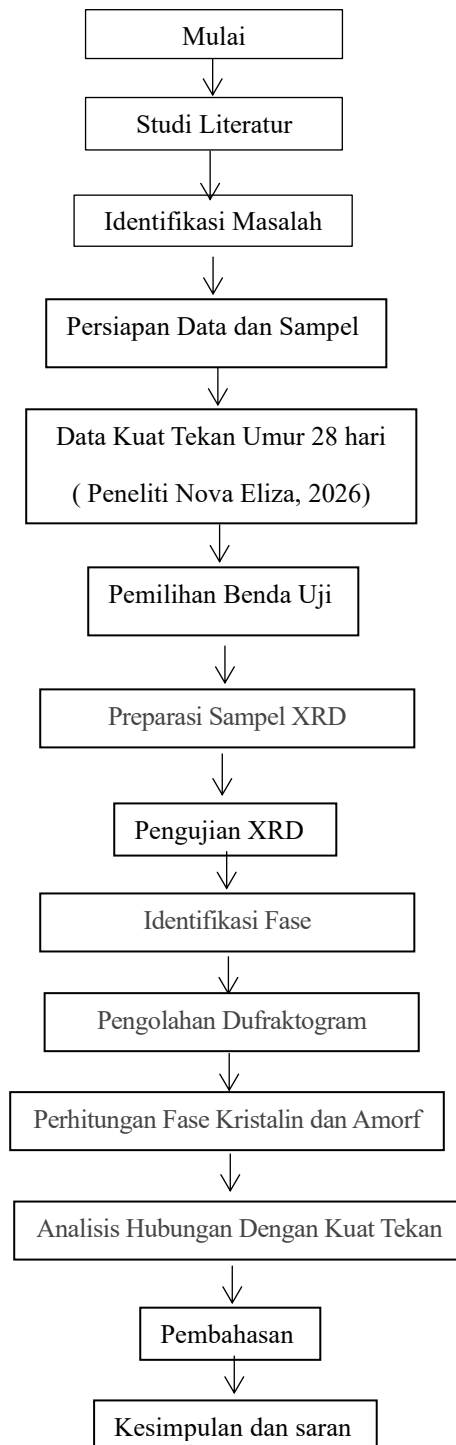
Untuk pengujian mekanik (pengujian mikrostruktur XRD) dilakukan di Laboratorium Kimia Analisa Dan Instrumentasi Pengujian Fmipa Universitas Sriwijaya Jalan Raya Palembang Prabumulih Km 32 Indralaya.

3.2 Penelitian Eksperimen Laboratorium Dengan Analisis Karakterisasi

XRD

Tahap awal dalam penelitian untuk memperoleh, landasan teoritis, pemahaman konseptual, serta peta perkembangan penelitian terkait topik yang diteliti. Melalui kegiatan ini, peneliti menelaah sumber-sumber ilmiah berupa standar teknis (misalnya SNI, ASTM), artikel jurnal, dan laporan penelitian sebelumnya yang relevan dengan pemanfaatan abu tempurung kelapa sebagai bahan tambahan pada campuran beton. Data primer yang dianalisis meliputi pola difraksi untuk setiap variasi campuran beton, nilai sudut **2 θ** , intensitas puncak difraksi, serta hasil identifikasi fase-fase kristal yang terbentuk, seperti kuarsa (SiO_2), portlandit (Ca(OH)_2), kalsit (CaCO_3), dan senyawa lainnya. Selain itu, keberadaan daerah amorf juga menjadi perhatian karena dapat menunjukkan kandungan silika amorf pada abu tempurung kelapa yang berpotensi berperan dalam reaksi pozzolanik. Data sekunder yang digunakan meliputi informasi mengenai karakteristik bahan penyusun beton, komposisi kimia abu tempurung kelapa, teori hidrasi semen, reaksi pozzolanik, prinsip kerja pengujian XRD, serta data mengenai fase-fase kristal yang umum dijumpai pada material semen dan beton.

3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Bagan alir penelitian

Bagan alir representasi grafis yang menggambarkan tahapan-tahapan penelitian secara berurutan dan sistematis, mulai dari identifikasi masalah, penyusunan metode, pelaksanaan penelitian, pengumpulan serta analisis data, hingga penarikan kesimpulan. Bagan alir digunakan sebagai pedoman pelaksanaan penelitian sekaligus memudahkan pembaca memahami keseluruhan proses penelitian. Pada penelitian ini terdapat 10 tahap pada bagan alir. Berikut ini beberapa tahapannya, yaitu :

1. TAHAP KE-SATU

Tinjauan pustaka merupakan fase krusial dalam riset yang melibatkan pengumpulan serta analisis kritis terhadap berbagai dokumen ilmiah relevan, seperti jurnal, buku, dan regulasi teknis. Tahapan ini memungkinkan peneliti memetakan teori serta metodologi terdahulu guna memperkuat landasan studi yang sedang dilakukan.

2. TAHAP KE-DUA

Identifikasi masalah pada pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan tahap awal untuk mengenali dan merumuskan permasalahan yang berkaitan dengan karakteristik struktur, komposisi, serta fase material yang akan dianalisis. Tahap ini dilakukan dengan menentukan informasi apa yang belum diketahui dari material penelitian, misalnya keberadaan fase kristalin dan amorf, jenis mineral yang terbentuk, perubahan struktur akibat penambahan material tertentu, maupun perbedaan karakteristik antara beberapa variasi sampel.

Dalam penelitian material konstruksi, identifikasi masalah melalui pengujian XRD dapat dilakukan dengan mengamati pola difraksi yang dihasilkan oleh setiap sampel. Permasalahan yang muncul dapat berupa belum diketahuinya fase penyusun material, perubahan intensitas dan posisi puncak difraksi, tingkat kristalinitas, serta proporsi relatif antara fase kristalin dan amorf. Hasil pengujian tersebut kemudian menjadi dasar untuk melakukan analisis lebih lanjut mengenai perubahan struktur mikro dan karakteristik material akibat penggunaan bahan tambahan atau variasi komposisi campuran.

Dengan demikian, identifikasi masalah pada pengujian XRD dapat dipahami sebagai proses penentuan aspek-aspek material yang perlu dianalisis berdasarkan data pola difraksi sinar-X. Proses ini membantu peneliti menetapkan fokus pengujian, menentukan metode pengolahan data yang sesuai, serta menghubungkan hasil karakterisasi struktur material dengan sifat atau kinerja material yang diteliti.

3. TAHAP KE-TIGA

Tahap persiapan merupakan langkah awal dalam pelaksanaan penelitian yang dilakukan sebelum proses pengumpulan data atau pengujian dimulai. Pada tahap ini, peneliti mempersiapkan seluruh kebutuhan penelitian agar pelaksanaan penelitian dapat berjalan secara sistematis, efektif, dan sesuai dengan metode yang telah direncanakan. Persiapan yang dilakukan meliputi penyediaan alat dan bahan penelitian, penyusunan jadwal kegiatan, pemeriksaan kondisi peralatan, serta penentuan prosedur kerja yang akan digunakan selama penelitian.

Dalam penelitian eksperimen, tahap persiapan juga mencakup pemeriksaan kualitas bahan yang akan digunakan, kalibrasi alat apabila diperlukan, serta penyiapan benda uji sesuai dengan standar atau prosedur yang berlaku. Persiapan yang dilakukan secara baik akan membantu meminimalkan kesalahan selama proses penelitian sehingga data yang diperoleh menjadi lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

Penelitian ini mengintegrasikan berbagai instrumen laboratorium untuk menjamin akurasi mulai dari tahap penyiapan material hingga analisis struktur mikro. Bahan utama—seperti semen Portland Tipe I, agregat dari Palembang dan Tanjung Raja, serta substitusi abu tempurung kelapa—diproses menggunakan timbangan digital, oven, dan mesin ayakan untuk mencapai spesifikasi gradasi yang tepat. Setelah parameter fisik ditentukan dengan piknometer, campuran diaduk secara homogen dan dicetak dalam silinder standar 15x30 cm. Performa beton kemudian dievaluasi melalui uji kuat tekan, sementara karakteristik mikronya diidentifikasi menggunakan teknologi XRD Rigaku Miniflex 600 untuk menganalisis fase kristalin dan amorf yang terbentuk Pengujian Material

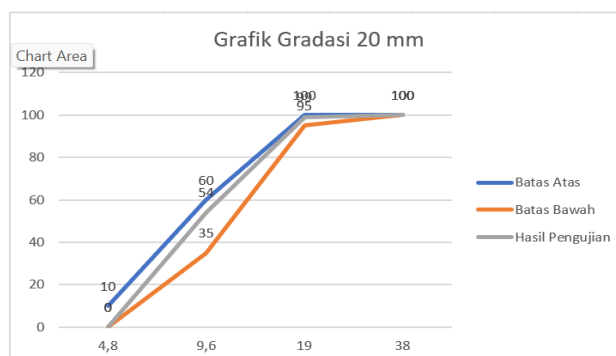
Sebelum pembuatan benda uji, seluruh material wajib melalui serangkaian pengujian fisik dan mekanik guna menjamin standar kualitas serta menentukan proporsi campuran, termasuk untuk menganalisis dampak penggunaan abu tempurung kelapa. Agregat halus menjalani analisis saringan untuk menentukan gradasi, serta pengujian berat jenis SSD dan daya serap air melalui proses perendaman guna mengatur kebutuhan air secara presisi. Selain itu, kadar lumpur dipantau melalui pencucian untuk menjaga kualitas ikatan semen, sementara kadar air diuji melalui pengeringan oven untuk penyesuaian campuran. Terakhir, agregat kasar juga melalui analisis saringan menggunakan *sieve shaker* guna memetakan distribusi butirannya secara akurat, yang dilengkapi kontrol suhu otomatis untuk pengeringan pada rentang $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Setelah tahap gradasi, agregat kasar diuji berat jenisnya (bulk, SSD, dan *apparent*) serta daya serap airnya melalui proses perendaman 15 jam untuk menentukan proporsi campuran yang akurat. Ketahanan mekanis material terhadap gesekan dan benturan juga dievaluasi menggunakan mesin Los Angeles untuk menjamin kualitas beton dalam menahan beban. Terakhir, kadar air diukur melalui pengeringan oven guna menyesuaikan jumlah air pencampur secara aktual. Seluruh rangkaian ini menjadi fondasi vital untuk memastikan validitas penelitian terkait pengaruh substitusi abu tempurung kelapa terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur beton.

Analisis saringan terhadap 1.000 gram sampel agregat halus menunjukkan bahwa distribusi butiran didominasi oleh ukuran sedang hingga agak halus. Hal ini terbukti dari massa tertahan terbesar yang terkonsentrasi pada saringan No. 30 sebesar 400 gram dan saringan No. 50 sebesar 345 gram. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai Modulus Halus Butir (MHB) sebesar 2,63. Dengan nilai tersebut, agregat ini dikategorikan ke dalam Zona II (gradasi sedang) sesuai standar SNI ASTM C136:2012, sehingga dinyatakan memenuhi syarat teknis untuk digunakan dalam campuran beton.

Tabel 3. 1 Hasil pengujian analisa saringan halus

Saringan		Massa Tertahan	Jumlah Tertahan	Persentase Kumulatif (%)	
mm	inci	gram	gram	Tertahan	Lolos
19,1	3/4	0	0	0,00	100,00
9,52	3/8	0	0	0,00	100,00
4,75	No. 4	4	4	0,40	99,60
2,36	No. 8	37	41	4,10	95,90
1,18	No. 16	115	156	15,60	84,40
0,6	No. 30	400	556	55,60	44,40
0,3	No. 50	345	901	90,10	9,90
0,15	No.100	73	974	97,40	2,60
0,075	No.200	24	998	99,80	0,20
PAN		2	1000	100,00	0,00
Jumlah		1000			
Modulus Halus Butir :				2,632	

**Gambar 3. 2** Grafik gradasi 20 mm

Pengujian kadar air dilakukan untuk menentukan persentase kandungan air dalam agregat halus dibandingkan dengan berat keringnya melalui metode pengeringan oven. Dari sampel awal seberat 500 gram, diperoleh berat kering sebesar 480 gram, yang menunjukkan adanya penguapan air sebanyak 20 gram.

Hasil perhitungan menghasilkan nilai kadar air sebesar 4,17%. Karena angka tersebut masih berada dalam batas standar 0–10%, agregat halus ini dinyatakan memenuhi syarat teknis dan layak digunakan sebagai bahan penyusun campuran beton dalam penelitian ini.

Tabel 3. 2 Hasil pengujian kadar air agregat halus

No	Keterangan	Unit	Hasil
1	Berat Agregat Basah	gr	500
2	Berat Agregat Kering	gr	480
3	Berat Air	gr	20
4	Kadar Air	%	4,17

Pengujian kadar lumpur dilakukan untuk memastikan kebersihan agregat halus guna menjamin kekuatan ikatan antara agregat dan pasta semen. Berdasarkan hasil uji laboratorium terhadap sampel 500 gram, ditemukan bahwa kandungan partikel halus yang lolos saringan No. 200 berada jauh di bawah ambang batas maksimum 5%. Dengan hasil perhitungan yang menunjukkan nilai rendah (baik 1,63% maupun 4,17% merujuk pada data Anda), material ini dikategorikan sangat bersih. Oleh karena itu, agregat halus ini memenuhi standar teknis dan dinyatakan layak untuk digunakan dalam campuran beton guna mencapai mutu yang optimal.

Tabel 3. 3 Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus

Pemeriksaan	Hasil Uji	Satuan
Berat Benda Uji Sebelum Dicuci (A)	500	Gram
Berat Benda Uji Setelah Dicuci (B)	480	Gram
Kadar Lumpur (Tertahan Saringan No.200) (A-B)	20	Gram
Kadar Lumpur (%) $(\frac{A-B}{A}) \times 100$	4	%

Analisis terhadap berat jenis dan daya serap air dilakukan untuk mengevaluasi kepadatan serta porositas agregat halus. Hasil pengujian

menunjukkan nilai berat jenis curah kering sebesar 2,85, berat jenis SSD 2,94, dan berat jenis semu mencapai 3,13, yang mengindikasikan bahwa material memiliki kerapatan yang baik. Sementara itu, tingkat penyerapan air tercatat sebesar 3,09%, yang menunjukkan porositas agregat cenderung rendah. Dengan data tersebut, agregat halus ini dinyatakan memenuhi standar teknis dan sangat layak digunakan sebagai komponen utama dalam perancangan campuran beton yang berkualitas.

Tabel 3. 4 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus

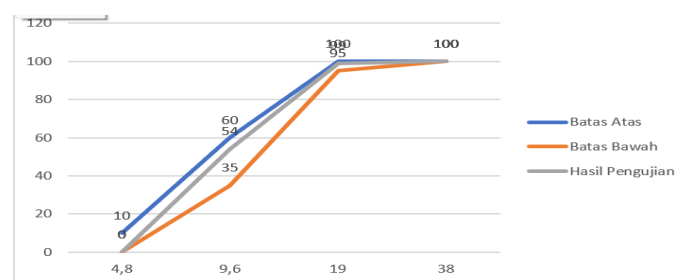
Pengujian	Notasi	I	Satuan
Berat Benda Uji SSD	A	1000	gram
Berat Benda Uji Kering Oven	B	995	gram
Berat Benda Uji dalam Air	C	635	gram
Perhitungan	Notasi	I	Rata-rata
Berat jenis curah kering	Sd	2,78	2,78
Berat jenis curah jenuh kering permukaan	Ss	2,76	2,76
Berat jenis semu	Sa	2,74	2,74
Penyerapan air	Sw	0,50	0,50

Analisis saringan terhadap 1.500 gram agregat kasar menunjukkan distribusi butiran yang didominasi oleh ukuran sedang hingga besar, dengan akumulasi massa terbesar tertahan pada saringan 12,7 mm (695 gram). Berdasarkan pengujian tersebut, diperoleh nilai Modulus Halus Butir (MHB) sebesar 7,59. Hasil ini menegaskan bahwa agregat kasar memiliki gradasi yang baik dan memenuhi standar SNI ASTM C136:2012, sehingga dinyatakan sangat layak untuk digunakan dalam penelitian campuran beton ini.

Tabel 3. 5 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar

Saringan		Massa Tertahan	Jumlah Tertahan	Persentase Kumulatif (%)	
		I			
mm	inci	gram	gram	Tertahan	Lolos
76,2	3	0	0	0,00	100,00
50,8	2	0	0	0,00	100,00
36,1	1 1/2	0	0	0,00	100,00

25,4	1	0	0	0,00	100,00
19,1	3/4	200	200	13,33	86,67
12,7	1/2	695	895	59,67	40,33
9,52	3/8	400	1295	86,33	13,67
4,75	No. 4	200	1495	99,67	0,33
2,36	No. 8	5	1500	100,00	0,00
1,18	No. 16	0	1500	100,00	0,00
0,6	No. 30	0	1500	100,00	0,00
0,3	No. 50	0	1500	100,00	0,00
0,15	No. 100	0	1500	100,00	0,00
0,075	No.200	0	1500	100,00	0,00
PAN		0	1500	100,00	0,00
Modulus Halus Butir :				7,59	



Gambar 3. 3 Grafik gradasi 20 mm

Evaluasi terhadap berat jenis dan daya serap air agregat kasar dilakukan untuk menentukan tingkat kepadatan material serta kebutuhan air dalam perancangan campuran beton. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai berat jenis curah kering sebesar 2,78, SSD 2,76, dan semu 2,74, yang mencerminkan kualitas kepadatan agregat yang baik. Selain itu, tingkat penyerapan air yang sangat rendah, yaitu 0,50%, menunjukkan bahwa material ini memiliki porositas yang minimal. Secara keseluruhan, agregat kasar ini memenuhi kriteria standar teknis dan dinyatakan layak digunakan sebagai bahan utama dalam campuran beton penelitian ini.

Tabel 3. 6 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pengujian	Notasi	I	Satuan
Berat Benda Uji SSD	A	1000	gram
Berat Benda Uji Kering Oven	B	995	gram
Berat Benda Uji dalam Air	C	635	gram
Perhitungan	Notasi	I	Rata-rata
Berat jenis curah kering	Sd	2,78	2,78
Berat jenis curah jenuh kering permukaan	Ss	2,76	2,76
Berat jenis semu	Sa	2,74	2,74
Penyerapan air	Sw	0,50	0,50

4. TAHAP KE-EMPAT

Uji tekan beton dilakukan untuk mengukur daya tahan material terhadap beban aksial hingga titik kehancuran. Eksperimen ini krusial guna memverifikasi apakah kekuatan beton pada usia tertentu sudah selaras dengan spesifikasi desain. Secara teknis, angka kuat tekan dihitung dengan membagi beban puncak terhadap luas area permukaan sampel. Dalam praktiknya, parameter ini menjadi standar utama bagi insinyur sipil untuk menilai integritas dan mutu struktural beton. karena nilai tersebut mencerminkan kemampuan beton dalam mendukung beban struktural serta menjadi dasar untuk menilai keamanan, keandalan, dan kinerja konstruksi secara keseluruhan.

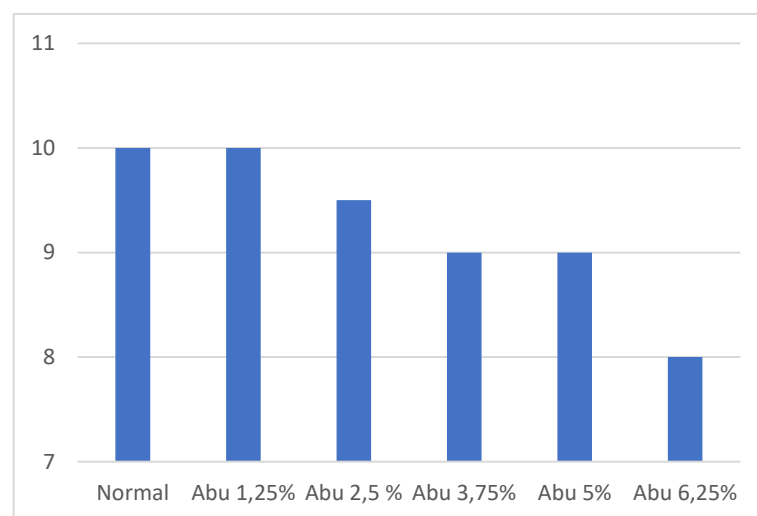
Dalam penelitian ini, uji kuat tekan beton dilakukan di laboratorium untuk menentukan nilai kuat tekan beton pada semua sampel setelah 28 hari. Proses pengujian dilakukan dengan menempatkan benda uji di tengah mesin uji tekan, kemudian mengunci hidroliknya. Setelah itu, mesin penguji dinyalakan, dan pergerakan jarum penunjuk tekanan diamati untuk mencatat nilai kuat tekan. Jarum akan terus bergerak hingga benda uji mengalami retakan. Begitu terdengar suara retakan, mesin segera dimatikan, dan hasil pengujian dicatat.

Sebelum proses pencetakan, tingkat kelecakan (*workability*) beton segar dievaluasi menggunakan uji *slump* dengan kerucut Abrams untuk memastikan kesesuaiannya dengan target rencana 10–12 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi abu tempurung kelapa memengaruhi konsistensi campuran secara

bertahap. Beton normal dan variasi campuran 1,25% mempertahankan nilai *slump* di angka 10 cm, namun nilai tersebut mulai menurun seiring bertambahnya kadar abu hingga mencapai 8 cm pada konsentrasi 6,25%. Tren ini menunjukkan bahwa penambahan abu tempurung kelapa cenderung meningkatkan viskositas atau kekentalan beton segar, yang berakibat pada penurunan tingkat kemudahan pengerjaan.

Tabel 3. 7 Nilai slump pada setiap variasi

No.	Kondisi	Nilai Slump (cm)
1	Normal	10
2	Normal + Abu Tempurung Kelapa 1,25%	10
3	Normal + Abu Tempurung Kelapa 2,5 %	9,5
4	Normal + Abu Tempurung Kelapa 3,75%	9
5	Normal + Abu Tempurung Kelapa 5%	9
6	Normal + Abu Tempurung Kelapa 6,25%	8



Gambar 3. 4 Grafik nilai slump beton

Densitas beton, yang dinyatakan dalam rasio massa terhadap volume (kg/m^3), menjadi indikator utama untuk menilai tingkat kepadatan material. Beton dengan densitas yang lebih tinggi umumnya menunjukkan porositas yang minim dan ikatan antar-partikel yang lebih solid, yang secara langsung berkontribusi pada

peningkatan kekuatan mekanisnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak penggunaan abu tempurung kelapa sebagai substitusi dengan kadar bervariasi antara 0% hingga 6,25% terhadap kepadatan beton. Selain itu, evaluasi dilakukan untuk melihat korelasi antara densitas tersebut dengan capaian nilai kuat tekan,

Evaluasi kuat tekan pada umur 28 hari diawali dengan penimbangan sampel silinder guna menjamin validitas data sebelum pengujian beban. Hasil menunjukkan bahwa beton normal berhasil melampaui target spesifikasi f_c' 25 MPa dengan capaian rata-rata 25,99 MPa dengan beban maksimum mencapai 476,66. Peningkatan kekuatan mulai terlihat pada substitusi 1,25% abu tempurung kelapa yang mencapai 26,39 MPa dengan beban maksimum mencapai 471,30, dipicu oleh reaksi silika yang memperapat struktur internal. Performa puncak ditemukan pada kadar 2,5% dengan kuat tekan 26,80 MPa dengan beban maksimum mencapai 476,11, atau meningkat 3,12% dari beton kontrol. Pada konsentrasi ideal ini, pori-pori internal tertutup secara maksimal sehingga menghasilkan struktur yang paling solid dan kokoh.

Tabel 3. 8 Hasil kuat tekan rata-rata

Kondisi Sampel	Kuat Tekan (Mpa)
	28 hari
Beton Normal	25,99
Beton Normal + Abu Tempurung Kelapa 1,25%	26,39
Beton Normal + Abu Tempurung Kelapa 2,5%	26,80
Beton Normal + Abu Tempurung Kelapa 3,75%	23,06
Beton Normal + Abu Tempurung Kelapa 5%	20,42
Beton Normal + Abu Tempurung Kelapa 6,25%	19,40

Berbeda dengan hasil sebelumnya, peningkatan kadar abu tempurung kelapa pada tahap ini justru menurunkan kekuatan beton. Pada substitusi 3,75%, kuat tekan rata-rata turun menjadi 23,06 MPa dengan beban maksimum mencapai 441,44 (berkurang 11,28%) karena kadar tersebut melampaui titik optimum,

sehingga meningkatkan porositas dan gagal memenuhi target 25 MPa. Penurunan lebih tajam terjadi pada kadar 5%, di mana kuat tekan merosot ke 20,42 MPa dengan beban maksimum mencapai 398,79 (turun 21,43%). Hal ini terjadi karena berkurangnya semen sebagai pengikat utama melemahkan ikatan antara pasta dan agregat, sehingga proses hidrasi tidak berlangsung sempurna.

Hasil pengujian pada kadar substitusi 6,25% mencatat nilai kuat tekan terendah sebesar 19,40 MPa dengan beban maksimum mencapai 378,86, atau merosot hingga 25,36% dibandingkan beton normal. Penurunan drastis ini menunjukkan bahwa penggunaan abu tempurung kelapa dalam dosis berlebih tidak lagi efektif, karena berkurangnya semen sebagai pengikat utama memicu peningkatan porositas dan menghambat proses hidrasi. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa kadar 2,5% adalah titik paling optimal yang mampu meningkatkan kekuatan beton hingga 26,80 MPa. Di atas ambang tersebut, kualitas beton cenderung menurun secara bertahap seiring bertambahnya kadar substitusi.

5. TAHAP KE-LIMA

Pemilihan sampel merupakan proses penentuan sebagian objek atau anggota dari suatu populasi yang dianggap mampu mewakili karakteristik keseluruhan populasi dalam suatu penelitian. Tahap ini dilakukan agar data yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi sebenarnya serta menghasilkan analisis yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Dalam penelitian eksperimen, pemilihan sampel dilakukan berdasarkan kriteria tertentu yang disesuaikan dengan tujuan penelitian, sehingga setiap sampel memiliki karakteristik yang seragam dan dapat memberikan hasil pengujian yang valid. Oleh karena itu, proses pemilihan sampel menjadi salah satu tahapan penting karena berpengaruh terhadap kualitas data, tingkat ketelitian analisis, serta keabsahan hasil penelitian yang diperoleh.

6. TAHAP KE-ENAM

Pemotongan sampel merupakan tahapan persiapan benda uji yang dilakukan untuk memperoleh ukuran dan bentuk sampel sesuai dengan kebutuhan pengujian yang akan dilaksanakan. Proses ini bertujuan agar setiap sampel memiliki dimensi

yang seragam, permukaan yang baik, serta tetap mempertahankan karakteristik material tanpa menimbulkan kerusakan yang dapat memengaruhi hasil pengujian. Dalam penelitian material, khususnya pada beton, mortar, maupun bahan konstruksi lainnya, pemotongan sampel dilakukan menggunakan peralatan yang sesuai agar menghasilkan potongan yang presisi dan memenuhi standar pengujian. Dengan demikian, tahapan pemotongan sampel menjadi bagian penting dalam proses preparasi karena berpengaruh terhadap keakuratan, konsistensi, dan validitas hasil analisis yang diperoleh.

7. TAHAP KE-TUJUH

Tahap persiapan benda uji XRD diawali dengan pemilihan sampel beton mengandung abu tempurung kelapa yang memiliki nilai kuat tekan optimal setelah masa perawatan 28 hari. Untuk meminimalisir pengaruh kelembapan terhadap hasil analisis, sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam hingga mencapai berat konstan. Selanjutnya, sampel dipotong untuk mengumpulkan serbuk halus, yang kemudian disimpan dalam plastik klip dan wadah tertutup di lingkungan kering guna menghindari kontaminasi. Pada tahap akhir, seluruh parameter alat XRD diatur secara presisi dengan mode analisis yang tepat untuk memastikan perolehan data yang akurat.

8. TAHAP KE-DELAPAN

Identifikasi fase pada pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan proses untuk mengetahui jenis-jenis fase atau senyawa yang terdapat dalam suatu material berdasarkan pola difraksi sinar-X yang dihasilkan. Setiap material kristalin memiliki susunan atom dan jarak antarbidang kristal yang khas, sehingga menghasilkan pola difraksi tertentu berupa posisi dan intensitas puncak pada sudut 2θ . Pola tersebut selanjutnya dapat dibandingkan dengan data referensi untuk menentukan fase-fase penyusun material.

Dalam proses identifikasi, data hasil pengujian XRD umumnya dianalisis dengan memperhatikan posisi puncak, intensitas relatif, serta bentuk pola difraksi. Puncak-puncak yang muncul dapat menunjukkan keberadaan fase kristalin tertentu,

sedangkan pola yang melebar atau membentuk *amorphous hump* dapat mengindikasikan adanya bagian material yang bersifat amorf. Dengan cara tersebut, XRD dapat digunakan untuk mengetahui apakah suatu sampel tersusun oleh satu fase atau beberapa fase yang berbeda.

Pada penelitian material konstruksi, identifikasi fase melalui XRD penting untuk mengamati perubahan komposisi dan struktur material akibat variasi bahan atau perlakuan tertentu. Sebagai contoh, pada mortar atau beton yang menggunakan bahan tambahan pozzolanik, analisis fase dapat digunakan untuk mengetahui mineral yang masih terdapat dalam bahan, fase hasil reaksi, serta perubahan tingkat kristalinitas dan kandungan amorf setelah proses pencampuran atau reaksi berlangsung.

Dengan demikian, identifikasi fase pada pengujian XRD dapat diartikan sebagai tahapan karakterisasi material yang bertujuan untuk mengenali dan menentukan komponen kristalin maupun kecenderungan keberadaan fase amorf berdasarkan karakteristik pola difraksinya. Hasil identifikasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk memahami struktur material serta menghubungkan perubahan fase yang terjadi dengan sifat fisik, mekanik, dan reaktivitas material yang diteliti.

9. TAHAP KE-SEMBILAN

Pengolahan difraktogram pada pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan serangkaian proses analisis terhadap data hasil difraksi sinar-X yang bertujuan memperoleh informasi mengenai struktur dan fase penyusun suatu material. Data hasil pengujian umumnya ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan antara sudut difraksi (2θ) sebagai sumbu horizontal dan intensitas sebagai sumbu vertikal. Grafik tersebut disebut difraktogram dan menjadi dasar untuk melakukan interpretasi karakteristik material yang diuji.

Tahap pengolahan difraktogram dapat meliputi pengaturan data, pengurangan gangguan atau *noise*, koreksi *background*, identifikasi posisi puncak, serta analisis

bentuk dan luas puncak difraksi. Puncak-puncak yang terdeteksi kemudian dapat digunakan untuk mengenali fase kristalin dengan membandingkan karakteristiknya terhadap data referensi. Selain itu, pola difraksi yang melebar dapat dianalisis untuk memperoleh informasi mengenai keberadaan komponen amorf dalam material.

Dalam penelitian material, pengolahan difraktogram juga dapat dilakukan secara kuantitatif melalui perhitungan intensitas atau luas area pada puncak-puncak difraksi. Hasil analisis tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat kristalinitas, proporsi relatif fase kristalin dan amorf, serta perubahan karakteristik struktur material akibat variasi komposisi atau perlakuan tertentu. Ketelitian dalam pengolahan data diperlukan agar hasil interpretasi tidak dipengaruhi oleh *background*, puncak yang saling bertumpang tindih, maupun kesalahan dalam proses identifikasi.

Dengan demikian, pengolahan difraktogram pada pengujian XRD dapat dipahami sebagai proses mengubah data mentah hasil pengujian menjadi informasi yang lebih terstruktur dan mudah diinterpretasikan. Melalui tahapan tersebut, pola difraksi dapat digunakan untuk mengidentifikasi fase material, mengevaluasi karakteristik kristalin dan amorf, serta mendukung analisis hubungan antara struktur material dengan sifat dan kinerja bahan yang diteliti.

Analisis data mencakup rangkaian kegiatan mengolah, mengorganisir, serta memaknai temuan riset untuk menghasilkan informasi yang relevan. Tahapan ini sangat krusial guna memberikan jawaban yang tepat atas rumusan masalah sekaligus memastikan target penelitian tercapai. Tahapan ini dilakukan dengan mengelompokkan, membandingkan, serta mengevaluasi hasil pengujian menggunakan metode atau teknik analisis yang sesuai agar diperoleh kesimpulan yang objektif dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Dalam penelitian eksperimen, khususnya di bidang teknik sipil, analisis data mencakup pengolahan hasil pengujian laboratorium, penyajian data dalam bentuk tabel maupun grafik, serta pembahasan hubungan antara variabel penelitian dengan mengacu pada teori dan hasil penelitian terdahulu.

Dalam penelitian ini penulis menggunakan aplikasi berupa perangkat lunak (software) yaitu aplikasi Origin, untuk membantu merangkum hasil pengujian dalam bentuk data excel.

1. Aplikasi Origin

Origin merupakan perangkat lunak yang umum digunakan untuk analisis data dan visualisasi grafik, khususnya pembuatan histogram yang menampilkan distribusi data berdasarkan rentang nilai. Software ini mampu memperbarui hasil analisis secara otomatis sesuai perubahan data dan parameter. Dalam penelitian ini digunakan Origin versi 2018 64-bit.

10. TAHAP KE-SEPULUH

Perhitungan fase kristalin dan amorf pada pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan proses analisis yang dilakukan untuk memperkirakan proporsi bagian material yang memiliki struktur kristal teratur dan bagian yang tidak memiliki keteraturan struktur jangka panjang. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan pola difraksi sinar-X yang diperoleh dari hasil pengujian, yang umumnya berupa hubungan antara sudut difraksi (2θ) dan intensitas sinar yang terdeteksi.

Fase kristalin pada difraktogram ditunjukkan oleh puncak-puncak difraksi yang relatif tajam karena material memiliki susunan atom yang teratur dan periodik. Sementara itu, fase amorf umumnya ditunjukkan oleh pola yang lebih lebar atau membentuk daerah lengkung pada grafik, yang sering disebut sebagai *amorphous hump*. Oleh sebab itu, perhitungan proporsi kedua fase dapat dilakukan dengan memisahkan kontribusi area puncak kristalin dan area yang berkaitan dengan komponen amorf pada pola difraksi.

Secara umum, persentase kristalinitas dapat diperkirakan dengan membandingkan luas area yang berasal dari puncak-puncak kristalin terhadap luas total pola difraksi setelah dilakukan pengolahan data yang sesuai. Selanjutnya, proporsi fase amorf dapat dihitung sebagai bagian dari area total yang tidak

termasuk kontribusi fase kristalin. Sebelum perhitungan dilakukan, data biasanya memerlukan tahapan seperti koreksi *background*, pemisahan puncak yang saling bertumpang tindih, dan integrasi luas area agar hasil yang diperoleh lebih representatif.

Dalam penelitian material konstruksi, perhitungan fase kristalin dan amorf dapat digunakan untuk mengevaluasi perubahan struktur material akibat variasi bahan atau perlakuan tertentu. Pada material pozzolanik, misalnya, kandungan fase amorf menjadi salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengkaji potensi reaktivitas material. Oleh karena itu, hasil perhitungan fase kristalin dan amorf dapat membantu menjelaskan hubungan antara karakteristik struktur material dengan sifat fisik, reaktivitas, perkembangan mikrostruktur, serta kinerja material yang dihasilkan.

Dengan demikian, perhitungan fase kristalin dan amorf melalui analisis XRD merupakan metode untuk mengolah pola difraksi menjadi informasi kuantitatif atau semi-kuantitatif mengenai struktur material. Ketepatan hasilnya dipengaruhi oleh metode pengolahan difraktogram, terutama dalam penentuan *background*, pemisahan puncak, dan metode integrasi area yang digunakan.

11. TAHAP KE-SEBELAS

Analisis hubungan antara hasil pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dan kuat tekan beton merupakan suatu pendekatan untuk memahami keterkaitan antara karakteristik fase serta struktur material dengan kemampuan beton dalam menahan beban tekan. Pengujian XRD memberikan informasi mengenai fase-fase yang terdapat dalam material, baik berupa senyawa kristalin maupun komponen yang bersifat amorf. Informasi tersebut kemudian dapat digunakan untuk membantu menjelaskan perubahan struktur mikro yang kemungkinan berpengaruh terhadap perkembangan kekuatan beton.

Pada material berbasis semen, proses hidrasi menghasilkan berbagai produk reaksi yang berperan dalam pembentukan struktur pengikat. Perubahan jenis dan

proporsi fase yang teridentifikasi melalui pola difraksi dapat menunjukkan terjadinya reaksi atau perubahan komposisi material. Sebagai contoh, berkurangnya intensitas fase tertentu atau munculnya fase baru dapat mengindikasikan adanya proses reaksi selama hidrasi maupun reaksi pozzolanik. Perubahan tersebut selanjutnya dapat dikaitkan dengan hasil pengujian kuat tekan untuk melihat kecenderungan hubungan antara perkembangan struktur material dan peningkatan kekuatan.

Analisis hubungan ini dilakukan dengan membandingkan data hasil XRD dengan nilai kuat tekan dari masing-masing variasi campuran atau umur pengujian. Apabila suatu campuran menunjukkan perubahan fase yang mengarah pada terbentuknya struktur pengikat yang lebih padat, kondisi tersebut dapat berkaitan dengan peningkatan kuat tekan. Sebaliknya, keberadaan fase yang kurang bereaksi, tingginya porositas, atau terbentuknya struktur mikro yang kurang kompak dapat menjadi salah satu faktor yang berhubungan dengan nilai kuat tekan yang lebih rendah.

Dalam penelitian beton dengan bahan tambahan mineral atau pozzolan, hasil XRD juga dapat digunakan untuk mengamati perubahan fase akibat reaksi antara bahan tambahan dan produk hidrasi semen. Kandungan material yang bersifat reaktif dapat berkontribusi terhadap pembentukan produk reaksi tambahan yang membantu memperbaiki kerapatan struktur mikro. Namun, hubungan antara hasil XRD dan kuat tekan tidak selalu bersifat langsung karena kuat tekan beton juga dipengaruhi oleh berbagai faktor lain, seperti faktor air-semen, komposisi campuran, kualitas agregat, proses pemadatan, kondisi perawatan, dan umur beton.

12. TAHAP KE-DUABELAS

Kesimpulan pada pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan bagian akhir dari proses penelitian yang berisi rangkuman hasil utama berdasarkan data dan analisis yang telah dilakukan. Kesimpulan disusun untuk menjawab tujuan serta

permasalahan penelitian melalui interpretasi pola difraksi yang diperoleh dari material yang diuji.

Dalam pengujian XRD, kesimpulan dapat mencakup informasi mengenai fase-fase yang teridentifikasi, keberadaan komponen kristalin dan amorf, serta perubahan karakteristik material akibat variasi komposisi, penambahan bahan, atau perlakuan tertentu. Kesimpulan juga dapat menjelaskan kecenderungan perubahan yang terlihat pada pola difraksi, seperti munculnya fase baru, berkurangnya intensitas puncak tertentu, atau perubahan proporsi relatif antara fase kristalin dan amorf.

Apabila hasil XRD dikaitkan dengan pengujian lain, seperti kuat tekan atau pengamatan mikrostruktur, kesimpulan dapat digunakan untuk menjelaskan hubungan antara karakteristik fase material dengan sifat yang dihasilkan. Dengan demikian, kesimpulan tidak hanya menyampaikan hasil identifikasi fase, tetapi juga memberikan gambaran mengenai makna hasil tersebut terhadap karakteristik dan kinerja material yang diteliti.

Saran pada pengujian XRD merupakan bagian yang berisi rekomendasi untuk pengembangan penelitian berikutnya berdasarkan hasil dan keterbatasan penelitian yang telah dilakukan. Saran dapat disusun dengan mempertimbangkan kendala selama pengujian, pengolahan data, maupun interpretasi hasil difraktogram.

Dalam penelitian XRD, saran dapat berupa peningkatan ketelitian dalam proses preparasi sampel, penggunaan metode analisis yang lebih rinci, atau penambahan variasi umur dan komposisi material. Selain itu, penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode analisis kuantitatif yang lebih mendalam untuk memperoleh informasi yang lebih akurat mengenai proporsi fase kristalin dan amorf.

Pengujian XRD juga dapat dikombinasikan dengan metode karakterisasi lain, seperti *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), atau pengujian sifat mekanis. Kombinasi beberapa metode

tersebut dapat menghasilkan interpretasi yang lebih lengkap mengenai hubungan antara struktur, komposisi, mikrostruktur, dan kinerja material.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian XRF

Pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) adalah metode analisis yang digunakan untuk mengetahui kandungan unsur kimia dalam suatu material tanpa merusaknya. Dalam penelitian ini XRF digunakan untuk mengetahui unsur kimia dari abu tempurung kelapa yang akan digunakan untuk bahan substitusi beton sebagai pengganti sebagian semen. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF), diperoleh komposisi kimia abu tempurung kelapa sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Hasil pengujian XRF

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa
1	SiO ₂	%	41,086
2	Al ₂ O ₃	%	25,966
3	Fe ₂ O ₃	%	6,400
4	MgO	%	3,540
5	SO ₃	%	2,414

Berdasarkan hasil pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) menunjukkan bahwa abu tempurung kelapa memiliki kandungan oksida utama berupa SiO₂ sebesar 41,086%, Al₂O₃ sebesar 25,966%, dan Fe₂O₃ sebesar 6,400%. Jika ketiga oksida tersebut dijumlahkan, diperoleh nilai 73,452%. Selain itu, kandungan oksida lainnya meliputi CaO sebesar 10,236%, MgO sebesar 3,540%, K₂O sebesar 2,860%, SO₃ sebesar 2,414%, Na₂O sebesar 1,400%, TiO₂ sebesar 0,087%, P₂O₅ sebesar 0,060%, dan Mn₃O₄ sebesar 0,005%. Data ini menunjukkan bahwa senyawa silika, alumina, dan besi merupakan komponen dominan yang berperan dalam membentuk sifat pozzolanik abu tempurung kelapa.

Berdasarkan SNI 2460:2014 tentang *Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozolan Alam Mentah atau yang Telah Dikalsinasi untuk Digunakan dalam Beton*,

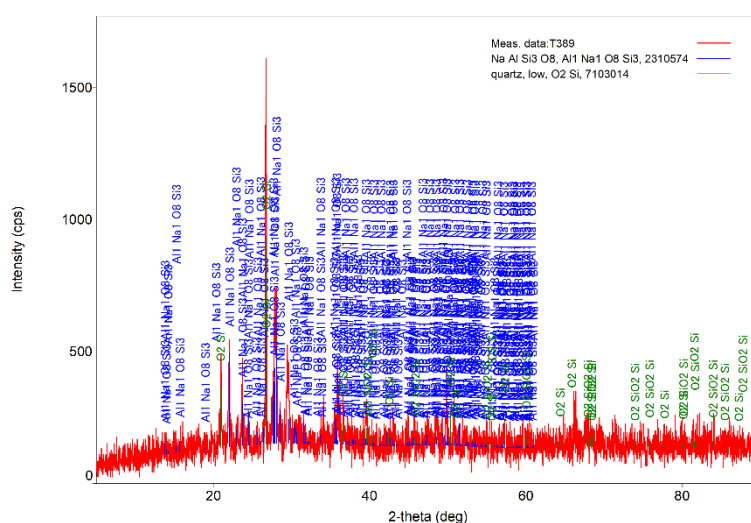
material pozzolan Kelas N disyaratkan memiliki jumlah kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ minimum 70%, kadar SO_3 maksimum 4%, serta memenuhi persyaratan kimia lainnya. Di samping itu, standar tersebut menjelaskan bahwa Kelas N diperuntukkan bagi pozzolan alam mentah maupun yang telah mengalami proses kalsinasi, sedangkan Kelas F dan Kelas C hanya berlaku untuk abu terbang hasil pembakaran batubara.

Apabila hasil pengujian XRF dibandingkan dengan persyaratan tersebut, jumlah kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ sebesar 73,452% telah melampaui batas minimum 70%, sedangkan kadar SO_3 sebesar 2,414% juga masih berada di bawah batas maksimum 4% yang dipersyaratkan untuk Kelas N. Oleh karena itu, berdasarkan parameter kimia yang diperoleh dari pengujian XRF, abu tempurung kelapa menunjukkan karakteristik yang sesuai sebagai pozzolan alam terkalsinasi (Kelas N) menurut SNI 2460:2014. Namun demikian, penetapan klasifikasi secara menyeluruh tidak hanya didasarkan pada komposisi kimia, tetapi juga harus memenuhi persyaratan fisik, seperti kehalusan, indeks aktivitas kekuatan, kebutuhan air, dan kekekalan bentuk sebagaimana tercantum dalam standar tersebut.

Dengan demikian, hasil analisis XRF menunjukkan bahwa abu tempurung kelapa memiliki kandungan senyawa pozzolanik yang tinggi sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Dominasi kandungan silika, alumina, dan besi mengindikasikan bahwa material ini mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil proses hidrasi semen untuk membentuk senyawa Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan dan kerapatan mikrostruktur beton. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa dari sisi komposisi kimia, abu tempurung kelapa memenuhi kriteria pozzolan Kelas N sesuai SNI 2460:2014, sedangkan kesesuaiannya secara penuh tetap memerlukan verifikasi melalui pengujian sifat fisik sesuai ketentuan standar.

4.2 Hasil Pengujian Mikrostruktur

Analisis difraksi sinar-X (XRD) diterapkan untuk membedah komposisi mineralogi serta mengidentifikasi fase kristalin pada beton dengan berbagai proporsi abu tempurung kelapa. Data dari difraktogram menunjukkan sejumlah puncak intensitas utama yang merepresentasikan senyawa penyusun beton. Hasil eksperimen ini menyajikan pola sebaran senyawa untuk sampel kontrol (0%) hingga variasi campuran abu tempurung kelapa sebesar 1,25%, 2,5%, 3,75%, 5% dan 6,25%.

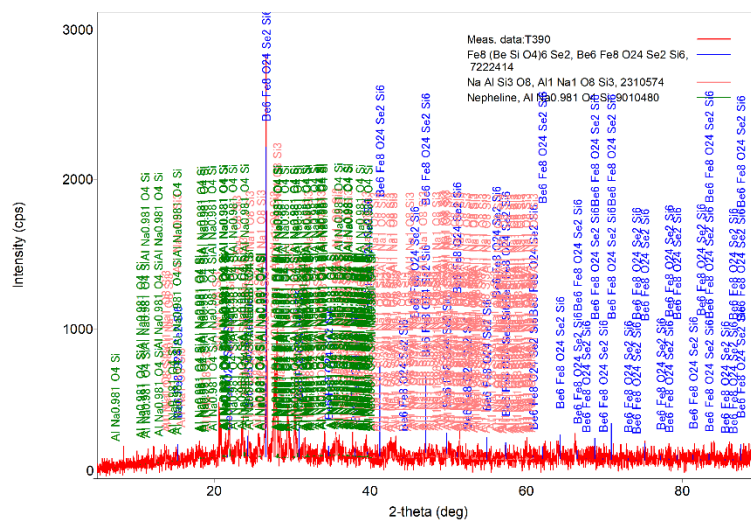


Gambar 4. 1 Keberadaan senyawa sampel BN + ATK 0%

Pada gambar 4.1 menunjukan bahwa hasil pengujian X-Ray Diffraction pada beton, sampel menunjukkan beberapa puncak difraksi yang menandakan adanya senyawa kristal di dalam material. Hasil pencocokan data menggunakan database PDF mengidentifikasi bahwa fase yang paling banyak ditemukan adalah natrium aluminium silikat ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ /Albite), sedangkan kuarsa (SiO_2) terdeteksi sebagai fase pendukung. Puncak dengan intensitas paling tinggi berada pada sudut 2θ sekitar $26\text{--}28^\circ$ dengan nilai intensitas kurang lebih 1.600 cps, sehingga dapat diketahui bahwa fase Albite merupakan mineral yang paling dominan dalam sampel.

Selain puncak utama tersebut, masih terdapat beberapa puncak lain pada rentang 30° hingga 90° dengan intensitas yang lebih kecil. Puncak-puncak tersebut menunjukkan adanya mineral lain dalam jumlah yang lebih sedikit, salah satunya adalah kuarsa. Kehadiran kuarsa menunjukkan bahwa material mengandung silika kristalin, sedangkan dominasi Albite mengindikasikan bahwa unsur natrium, aluminium, dan silika menjadi penyusun utama struktur kristal pada sampel yang diuji.

Secara keseluruhan, pola difraksi memperlihatkan puncak-puncak yang cukup tajam, sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi. Jika material yang dianalisis merupakan abu tempurung kelapa, maka hasil ini mengindikasikan bahwa selama proses pembakaran telah terbentuk fase kristalin dalam jumlah yang cukup besar. Kondisi tersebut dapat menyebabkan kandungan silika amorf yang berperan dalam reaksi pozzolan menjadi lebih sedikit. Oleh karena itu, hasil analisis XRD perlu dibandingkan dengan hasil pengujian kuat tekan beton agar dapat diketahui hubungan antara komposisi mineral dengan performa beton yang dihasilkan.



Gambar 4. 2 Keberadaan senyawa sampel BN + ATK 1,25%

Data dari uji XRD memberikan pola difraksi menunjukkan bahwa sampel didominasi oleh keberadaan senyawa Nepheline ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) yang ditandai dengan

banyaknya puncak difraksi pada rentang sudut 2θ sekitar 15° – 40° . Nepheline merupakan mineral aluminosilikat yang tersusun atas unsur natrium (Na), aluminium (Al), silikon (Si), dan oksigen (O). Dalam bidang teknik sipil, keberadaan senyawa aluminosilikat menunjukkan bahwa material memiliki kandungan silika dan alumina yang cukup tinggi. Kedua unsur tersebut berpotensi berperan dalam reaksi pozzolanik apabila tersedia kalsium hidroksida hasil hidrasi semen, sehingga dapat mendukung pembentukan produk hidrasi tambahan yang mampu meningkatkan kualitas mikrostruktur beton.

Selain fase nepheline, hasil analisis juga mengidentifikasi keberadaan senyawa yang mengandung unsur besi (Fe), silikon (Si), selenium (Se), dan oksigen (O). Puncak-puncak difraksi yang mewakili fase tersebut tersebar pada rentang sudut 2θ sekitar 40° – 90° . Keberadaan unsur besi dalam material umumnya berasal dari mineral penyusun agregat atau abu hasil pembakaran. Walaupun kandungannya relatif kecil dibandingkan fase utama, mineral yang mengandung besi tetap berkontribusi terhadap karakteristik mineralogi material dan dapat memengaruhi sifat fisik maupun stabilitas struktur kristal penyusun beton.

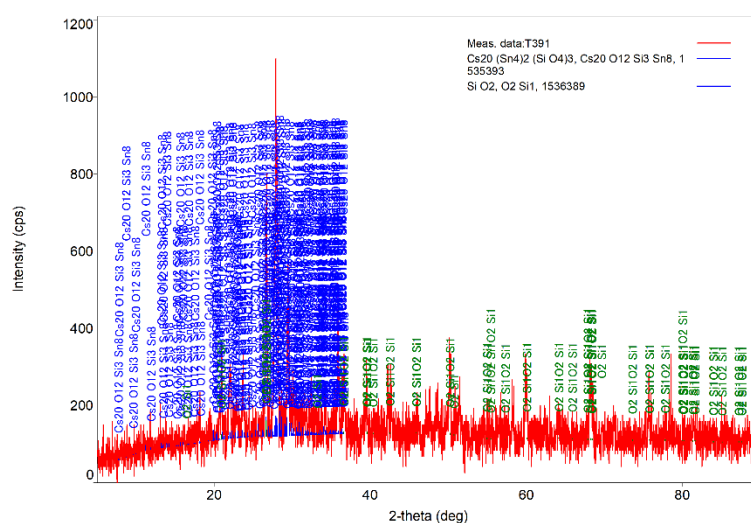
Pola difraksi juga memperlihatkan adanya puncak dengan intensitas tertinggi pada kisaran sudut 2θ sekitar 26° , yang menunjukkan bahwa fase kristal pada sudut tersebut merupakan fase yang paling dominan dalam sampel. Tingginya intensitas puncak menandakan bahwa struktur kristal pada fase tersebut tersusun dengan baik dan memiliki tingkat kristalinitas yang relatif tinggi. Sebaliknya, beberapa puncak lain memiliki intensitas yang lebih rendah sehingga menunjukkan bahwa fase-fase tersebut hanya terdapat dalam jumlah yang lebih sedikit.

Apabila dikaitkan dengan penelitian beton yang menggunakan substitusi abu tempurung kelapa, keberadaan senyawa aluminosilikat menjadi salah satu indikator penting karena material yang kaya akan unsur SiO_2 dan Al_2O_3 berpotensi menunjukkan aktivitas pozzolanik. Pada proses hidrasi semen, silika dan alumina reaktif dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang dihasilkan selama hidrasi semen dan membentuk gel Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) maupun Calcium Aluminosilicate Hydrate (C-A-S-H). Kedua produk hidrasi tersebut berfungsi mengisi rongga-rongga mikro pada pasta semen sehingga

menghasilkan struktur beton yang lebih padat, meningkatkan kuat tekan, serta memperbaiki ketahanan beton terhadap penetrasi air maupun serangan bahan kimia.

Di sisi lain, dominasi fase kristalin pada pola difraksi juga menunjukkan bahwa sebagian kandungan silika berada dalam bentuk kristalin yang memiliki tingkat reaktivitas lebih rendah dibandingkan silika amorf. Oleh karena itu, efektivitas abu tempurung kelapa sebagai bahan pozzolan tidak hanya dipengaruhi oleh kandungan silika total, tetapi juga oleh proporsi silika amorf yang terbentuk selama proses pembakaran. Semakin tinggi kandungan silika amorf, semakin besar peluang terjadinya reaksi pozzolanik yang dapat meningkatkan mutu beton.

Secara keseluruhan, hasil pengujian XRD pada gambar menunjukkan bahwa sampel mengandung fase utama berupa Nepheline (NaAlSiO_4) serta beberapa fase mineral yang mengandung unsur Fe–Si–Se–O. Keberadaan senyawa-senyawa tersebut menunjukkan bahwa material memiliki kandungan aluminosilikat yang cukup dominan dan berpotensi memberikan kontribusi terhadap pembentukan produk hidrasi tambahan pada beton.



Gambar 4. 3 Keberadaan senyawa sampel BN + ATK 2,5%

Berdasarkan hasil pengujian XRD pada gambar 4.3, sampel menunjukkan fase yang paling dominan pada sampel adalah silika (SiO_2) yang ditunjukkan oleh banyaknya puncak difraksi pada rentang sudut 2θ sekitar 25° hingga 80° . Selain itu, perangkat lunak XRD juga mengidentifikasi adanya senyawa dengan komposisi $\text{Cs}_2\text{O}(\text{Sn})_{42}(\text{SiO}_4)_3$, yang tersusun atas unsur sesium (Cs), timah (Sn), silikon (Si),

dan oksigen (O). Meskipun fase tersebut teridentifikasi dalam proses pencocokan data, fase yang paling dominan dan relevan terhadap material beton tetap ditunjukkan oleh keberadaan SiO_2 , yang memiliki intensitas puncak paling tinggi pada pola difraksi.

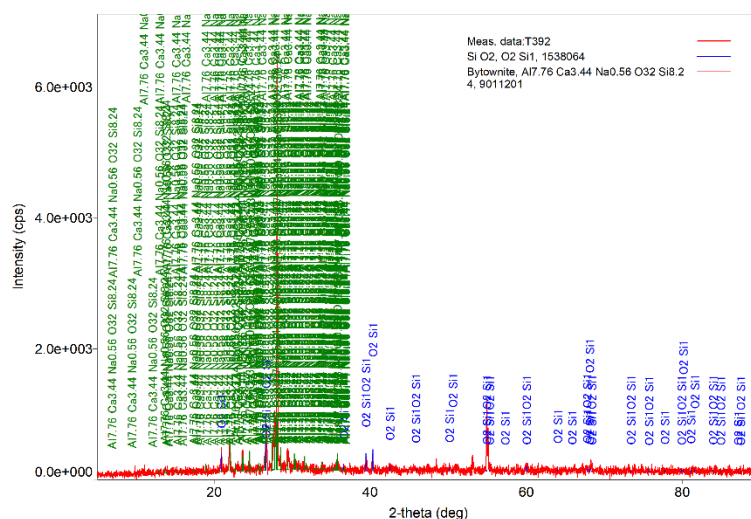
Puncak difraksi dengan intensitas maksimum terlihat pada kisaran sudut 2θ sekitar 26° , yang mengindikasikan bahwa fase silika memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi. Tingginya intensitas puncak menunjukkan bahwa struktur kristal silika tersusun dengan baik sehingga menghasilkan pola difraksi yang tajam. Sementara itu, beberapa puncak lain dengan intensitas lebih rendah menunjukkan adanya fase-fase mineral dalam jumlah yang relatif sedikit sebagai penyusun tambahan material.

Dalam bidang teknik sipil, keberadaan silika (SiO_2) merupakan salah satu parameter penting yang menentukan kualitas material penyusun beton, khususnya apabila material tersebut digunakan sebagai bahan pozzolan atau substitusi sebagian semen. Silika memiliki peranan yang sangat besar dalam proses hidrasi semen karena dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang dihasilkan selama hidrasi semen. Reaksi tersebut menghasilkan senyawa Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) yang merupakan produk hidrasi utama dan berfungsi memberikan kekuatan serta meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton.

Apabila silika yang terkandung dalam material berada dalam bentuk amorf, maka tingkat reaktivitas pozzolaniknya akan lebih tinggi dibandingkan silika kristalin. Namun, pola difraksi pada gambar menunjukkan adanya puncak-puncak yang cukup tajam sehingga mengindikasikan bahwa sebagian besar silika berada dalam bentuk kristalin. Silika kristalin memiliki struktur atom yang lebih teratur sehingga reaktivitasnya terhadap kalsium hidroksida relatif lebih rendah dibandingkan silika amorf. Meskipun demikian, kandungan silika kristalin tetap memberikan kontribusi terhadap stabilitas mineral penyusun beton serta dapat berperan sebagai pengisi (*micro filler*) yang membantu memperbaiki kepadatan struktur beton.

Selain fase silika, keberadaan senyawa yang mengandung unsur Sn (timah) dan Cs (sesium) diperkirakan hanya merupakan fase minor yang teridentifikasi melalui proses pencocokan database. Dalam konteks penelitian beton, kedua unsur

tersebut umumnya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap proses hidrasi semen maupun perkembangan kuat tekan beton. Oleh karena itu, pembahasan lebih difokuskan pada kandungan SiO_2 karena merupakan komponen yang paling berperan dalam meningkatkan kualitas material semen dan beton.



Gambar 4. 4 Keberadaan senyawa sampel BN + ATK 3,75%

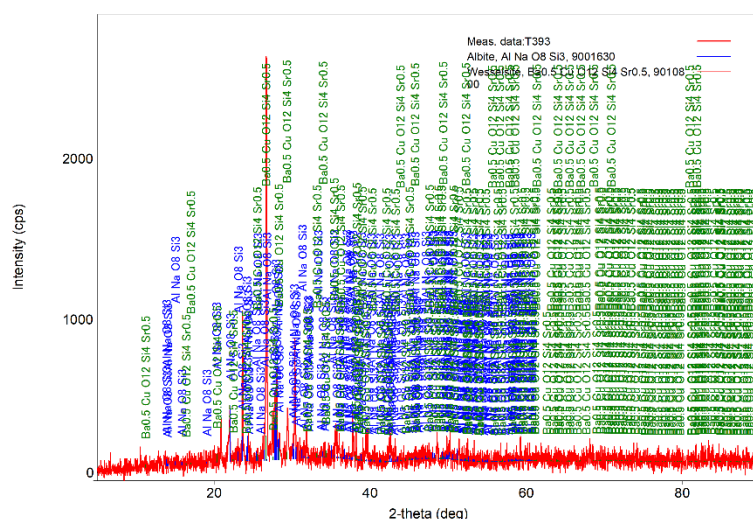
Data dari uji XRD menunjukkan fase kristal yang paling dominan adalah silika (SiO_2) yang ditandai dengan munculnya beberapa puncak difraksi pada rentang sudut 2θ sekitar 26° hingga 82° . Selain itu, perangkat lunak XRD juga mengidentifikasi keberadaan mineral Bytownite, yaitu mineral golongan feldspar yang tersusun atas unsur aluminium (Al), kalsium (Ca), natrium (Na), silikon (Si), dan oksigen (O). Keberadaan mineral ini ditunjukkan oleh banyaknya puncak difraksi pada rentang sudut 2θ sekitar 15° – 35° , yang mengindikasikan bahwa fase tersebut merupakan salah satu komponen kristalin utama dalam sampel.

Puncak difraksi dengan intensitas tertinggi terlihat pada kisaran 2θ sekitar 26° , yang menunjukkan bahwa fase kristalin pada sudut tersebut memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi. Intensitas puncak yang besar menandakan bahwa susunan atom pada mineral tersebut cukup teratur sehingga menghasilkan pola difraksi yang tajam. Di sisi lain, beberapa puncak dengan intensitas yang lebih rendah menunjukkan adanya fase-fase kristal lain yang terdapat dalam jumlah lebih sedikit sebagai penyusun material.

Dalam konteks teknik sipil, keberadaan SiO_2 merupakan indikator penting karena silika merupakan salah satu komponen utama yang memengaruhi sifat fisik dan mekanik beton. Apabila silika tersedia dalam bentuk yang reaktif, terutama silika amorf, senyawa ini dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) hasil hidrasi semen dan membentuk gel Calcium Silicate Hydrate (C-S-H). Gel C-S-H merupakan produk hidrasi utama yang berfungsi meningkatkan kuat tekan, memperbaiki ikatan antarpartikel, serta menghasilkan mikrostruktur beton yang lebih padat dan tahan terhadap penetrasi air maupun zat agresif.

Selain silika, teridentifikasinya mineral Bytownite menunjukkan adanya kandungan aluminosilikat di dalam material. Mineral ini merupakan salah satu anggota kelompok feldspar yang mengandung unsur Al_2O_3 dan SiO_2 , sehingga mencerminkan bahwa sampel memiliki kandungan aluminium dan silikon yang cukup tinggi. Dalam material penyusun beton, keberadaan aluminosilikat dapat memberikan kontribusi terhadap kestabilan mineralogi dan, apabila sebagian berada dalam bentuk yang reaktif, berpotensi mendukung pembentukan produk hidrasi tambahan seperti Calcium Aluminosilicate Hydrate (C-A-S-H). Produk hidrasi tersebut dapat mengisi pori-pori mikro pada pasta semen sehingga meningkatkan kepadatan mikrostruktur dan memperbaiki sifat mekanik beton.

Apabila hasil XRD ini dikaitkan dengan penelitian beton menggunakan substitusi abu tempurung kelapa, dominasi fase SiO_2 menunjukkan bahwa material memiliki kandungan silika yang cukup tinggi. Kandungan silika tersebut berpotensi meningkatkan aktivitas pozzolanik apabila tersedia dalam bentuk amorf dan pada proporsi penggunaan yang optimum. Sementara itu, keberadaan mineral Bytownite mengindikasikan adanya unsur aluminium dan kalsium yang dapat berkontribusi terhadap pembentukan struktur mineral yang stabil selama proses hidrasi semen. Secara keseluruhan, hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa sampel didominasi oleh fase silika (SiO_2) dan mineral Bytownite yang merupakan mineral aluminosilikat mengandung unsur Al, Ca, Na, Si, dan O. Dominasi kedua fase tersebut menunjukkan bahwa material memiliki karakteristik mineralogi yang baik sebagai bahan penyusun beton.



Gambar 4. 5 Keberadaan senyawa sampel BN + ATK 5%

Pada gambar 4.5, sampel menunjukkan didominasi oleh dua fase kristal utama, yaitu Albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) dan Bavenite yang memiliki komposisi kimia mengandung unsur Ba, Cu, O, Si, Sr, dan S. Fase Albite ditunjukkan oleh banyaknya puncak difraksi pada rentang sudut 2θ sekitar 18° – 60° , sedangkan fase Bavenite muncul pada rentang sudut yang lebih luas, yaitu sekitar 25° – 85° . Banyaknya puncak yang teridentifikasi menunjukkan bahwa kedua mineral tersebut merupakan fase kristalin yang cukup dominan pada material yang diuji.

Puncak difraksi dengan intensitas tertinggi terlihat pada kisaran 2θ sekitar 26° – 28° , yang mengindikasikan bahwa fase kristal pada daerah tersebut memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi. Intensitas puncak yang besar menunjukkan bahwa susunan atom pada mineral tersebut relatif teratur sehingga menghasilkan pola difraksi yang tajam. Sementara itu, puncak-puncak lain yang memiliki intensitas lebih rendah menunjukkan keberadaan fase kristal tambahan dengan jumlah yang lebih sedikit.

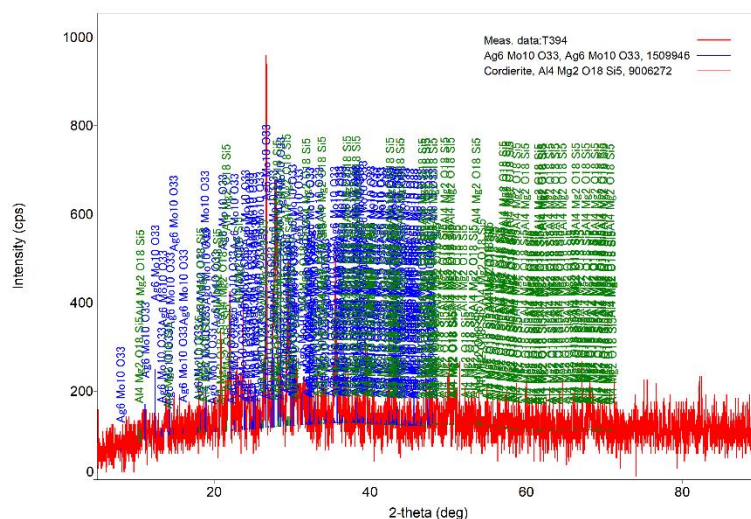
Dalam bidang teknik sipil, keberadaan mineral Albite memiliki arti penting karena termasuk ke dalam kelompok feldspar, yaitu mineral aluminosilikat yang tersusun atas unsur natrium (Na), aluminium (Al), silikon (Si), dan oksigen (O). Kandungan silikon dan aluminium tersebut menunjukkan bahwa material memiliki komponen penyusun berupa silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang merupakan unsur utama dalam material pozzolan. Pada proses hidrasi semen, silika dan

alumina yang bersifat reaktif dapat berinteraksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang dihasilkan selama hidrasi semen sehingga membentuk senyawa Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) dan Calcium Aluminosilicate Hydrate (C-A-S-H). Kedua senyawa tersebut merupakan produk hidrasi yang berperan dalam meningkatkan kekuatan, mengurangi porositas, dan memperbaiki kepadatan mikrostruktur beton.

Selain Albite, hasil identifikasi juga menunjukkan keberadaan fase Bavenite yang mengandung unsur Ba, Cu, Si, Sr, O, dan S. Kehadiran mineral ini menunjukkan bahwa sampel memiliki kandungan mineral kompleks yang terbentuk dari kombinasi beberapa unsur logam dan silikat. Dalam penelitian material konstruksi, fase seperti ini umumnya tidak berperan secara langsung dalam proses hidrasi semen, namun dapat mencerminkan komposisi mineral hasil pembakaran atau asal material yang digunakan. Oleh karena itu, keberadaan Bavenite lebih banyak dimanfaatkan sebagai informasi mengenai karakteristik mineralogi material dibandingkan sebagai fase yang memberikan kontribusi utama terhadap peningkatan kuat tekan beton.

Apabila hasil XRD ini dikaitkan dengan penelitian beton yang menggunakan abu tempurung kelapa sebagai bahan substitusi semen, dominasi fase Albite menunjukkan bahwa material memiliki kandungan aluminosilikat yang cukup tinggi. Kandungan unsur silikon dan aluminium tersebut berpotensi mendukung aktivitas pozzolanik apabila tersedia dalam bentuk yang reaktif. Reaksi pozzolanik akan menghasilkan tambahan gel C-S-H yang mampu mengisi rongga-rongga mikro pada pasta semen, sehingga struktur beton menjadi lebih rapat, ikatan antara pasta semen dan agregat semakin kuat, serta kuat tekan dan durabilitas beton dapat meningkat.

Secara keseluruhan, hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa sampel didominasi oleh fase Albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) dan fase Bavenite yang mengandung unsur Ba, Cu, Si, Sr, O, dan S. Dominasi fase Albite mengindikasikan bahwa material memiliki kandungan aluminosilikat yang cukup tinggi, sehingga berpotensi memberikan kontribusi terhadap pembentukan produk hidrasi tambahan pada beton.



Gambar 4. 6 Kebradaan senyawa sampel BN + ATK 6,25%

Pada gambar 4.6, sampel menunjukkan fase kristal yang terdeteksi didominasi oleh senyawa $\text{Ag}_6\text{Mo}_{10}\text{O}_{33}$, yang tersusun atas unsur perak (Ag), molibdenum (Mo), dan oksigen (O), serta mineral Cordierite ($\text{Al}_4\text{Mg}_2\text{O}_{18}\text{Si}_5$) yang mengandung unsur aluminium (Al), magnesium (Mg), silikon (Si), dan oksigen (O). Puncak-puncak difraksi yang berkaitan dengan kedua fase tersebut banyak muncul pada rentang sudut 2θ sekitar 20° hingga 60° , menunjukkan bahwa senyawa tersebut merupakan fase kristalin utama yang terdapat pada material.

Puncak difraksi dengan intensitas paling tinggi terlihat pada kisaran sudut 2θ sekitar 26° – 28° , yang mengindikasikan bahwa fase kristal pada daerah tersebut memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi. Intensitas puncak yang besar menunjukkan bahwa struktur atom pada mineral tersebut tersusun secara teratur sehingga menghasilkan pola difraksi yang tajam. Di sisi lain, puncak-puncak dengan intensitas lebih rendah mengindikasikan adanya fase mineral lain yang jumlahnya relatif lebih sedikit.

Dalam perspektif teknik sipil, fase yang paling penting dari hasil identifikasi tersebut adalah Cordierite, karena mineral ini termasuk ke dalam kelompok aluminosilikat yang mengandung unsur Si, Al, dan Mg. Kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) pada material merupakan komponen yang sangat berpengaruh terhadap sifat material penyusun beton. Unsur silikon dan aluminium yang bersifat reaktif dapat berpartisipasi dalam reaksi pozzolanik, yaitu reaksi antara silika atau

alumina dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang dihasilkan selama proses hidrasi semen. Reaksi tersebut menghasilkan senyawa Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) dan Calcium Aluminosilicate Hydrate (C-A-S-H) yang berfungsi meningkatkan kekuatan, memperbaiki ikatan antartikel, serta menghasilkan mikrostruktur beton yang lebih rapat.

Selain itu, keberadaan unsur magnesium (Mg) pada mineral Cordierite juga memberikan informasi mengenai komposisi mineral penyusun material. Dalam jumlah yang terbatas, magnesium dapat menjadi bagian dari struktur mineral tanpa memberikan pengaruh negatif terhadap beton. Namun, kandungan magnesium yang terlalu tinggi dalam material semen umumnya perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi kestabilan produk hidrasi. Pada hasil XRD ini, magnesium teridentifikasi sebagai bagian dari mineral Cordierite sehingga lebih mencerminkan karakteristik mineralogi material dibandingkan sebagai penyebab perubahan sifat mekanik beton.

Sementara itu, fase $\text{Ag}_6\text{Mo}_{10}\text{O}_{33}$ yang mengandung unsur perak dan molibdenum merupakan fase minor yang teridentifikasi melalui proses pencocokan database XRD. Dalam penelitian material beton, senyawa tersebut umumnya tidak berperan secara langsung terhadap proses hidrasi semen maupun peningkatan kuat tekan. Oleh karena itu, keberadaannya lebih bersifat sebagai informasi mengenai komposisi mineral yang terdapat pada sampel dan bukan sebagai komponen utama yang memengaruhi performa beton.

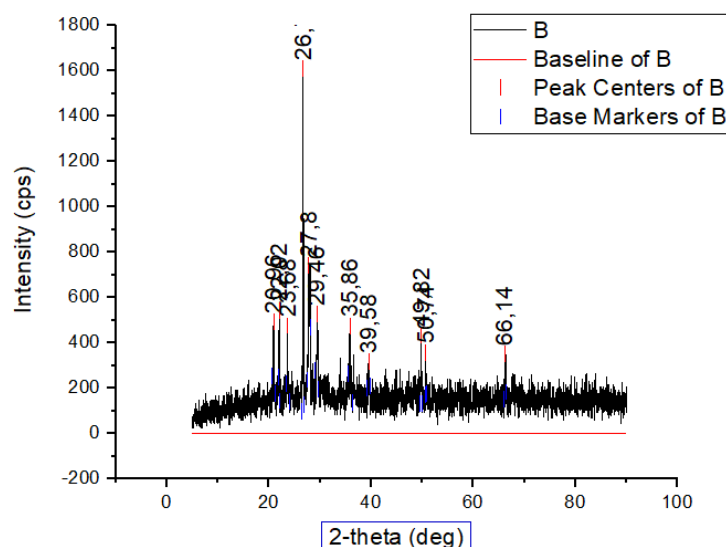
Apabila hasil pengujian ini dikaitkan dengan penelitian beton yang menggunakan abu tempurung kelapa sebagai bahan substitusi sebagian semen, keberadaan mineral Cordierite menunjukkan bahwa material memiliki kandungan aluminosilikat yang cukup baik. Kandungan unsur silikon dan aluminium tersebut menunjukkan potensi material untuk berkontribusi dalam pembentukan produk hidrasi tambahan apabila sebagian silikanya berada dalam bentuk yang reaktif. Pembentukan gel C-S-H dan C-A-S-H akan mengurangi porositas beton, meningkatkan kepadatan mikrostruktur, memperkuat ikatan antara pasta semen dan agregat, serta meningkatkan kuat tekan dan durabilitas beton.

Secara keseluruhan, hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa sampel mengandung fase kristalin utama berupa Cordierite ($\text{Al}_4\text{Mg}_2\text{O}_{18}\text{Si}_5$) serta fase $\text{Ag}_6\text{Mo}_{10}\text{O}_{33}$. Dari sudut pandang teknik sipil, keberadaan Cordierite menjadi indikator penting karena menunjukkan adanya kandungan silika dan alumina yang berpotensi mendukung aktivitas pozzolanik dan pembentukan produk hidrasi semen. Dengan demikian, karakteristik mineralogi yang ditunjukkan oleh hasil XRD ini mengindikasikan bahwa material memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambahan atau substitusi semen, terutama apabila digunakan pada komposisi yang optimum sehingga dapat meningkatkan kualitas mikrostruktur, kuat tekan, dan ketahanan beton terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.3 Hasil Pengolahan Data

Dalam tahap analisis, data mentah dari instrumen XRD dikonversi menggunakan perangkat lunak Origin untuk menghasilkan pola difraksi yang lebih sistematis. Melalui teknik *peak deconvolution*, perangkat ini membedakan fase kristalin dan amorf secara presisi dengan menghitung luas area di bawah kurva secara kuantitatif. Selain menyajikan visualisasi data yang lebih rapi, pengolahan melalui Origin ini menjamin akurasi dalam penentuan komposisi mineral serta perhitungan persentase kristalinitas. Prosedur ini menjadi landasan krusial untuk mengevaluasi korelasi antara karakteristik mikrostruktur dengan performa mekanis material yang diteliti.

Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan dengan perangkat lunak Origin, diperoleh rincian mengenai proporsi fase kristalin dan kandungan amorf pada spesimen. Temuan ini memberikan gambaran kuantitatif mengenai tingkat kristalinitas sampel, yang menjadi parameter kunci dalam mengevaluasi karakteristik mikrostruktur beton yang diteliti. Berikut hasil kristalinitas dan amorf yang di dapatkan sebagai berikut:



Gambar 4. 7 Nilai titik puncak sampel BN + ATK 0%

Berdasarkan hasil uji *X-Ray Diffraction (XRD)* pada gambar 4.7, pola difraksi diperoleh beberapa titik puncak (*peak position*) yang berada pada sudut sekitar $20,96^\circ$, $23,68^\circ$, $25,77^\circ$, $26,00^\circ$, $35,86^\circ$, $39,58^\circ$, $50,42^\circ$, $51,97^\circ$, dan $66,14^\circ$. Puncak dengan intensitas tertinggi terletak pada sudut 2θ sekitar 26° . Munculnya puncak-puncak yang tajam pada pola difraksi memberikan bukti kuat bahwa fasa kristalin sangat dominan pada sampel BN ATK 0%. Berdasarkan analisis kuantitatif terhadap kurva tersebut, total luas area puncak yang berhasil diidentifikasi pada spesimen ini adalah sebesar 260,0833

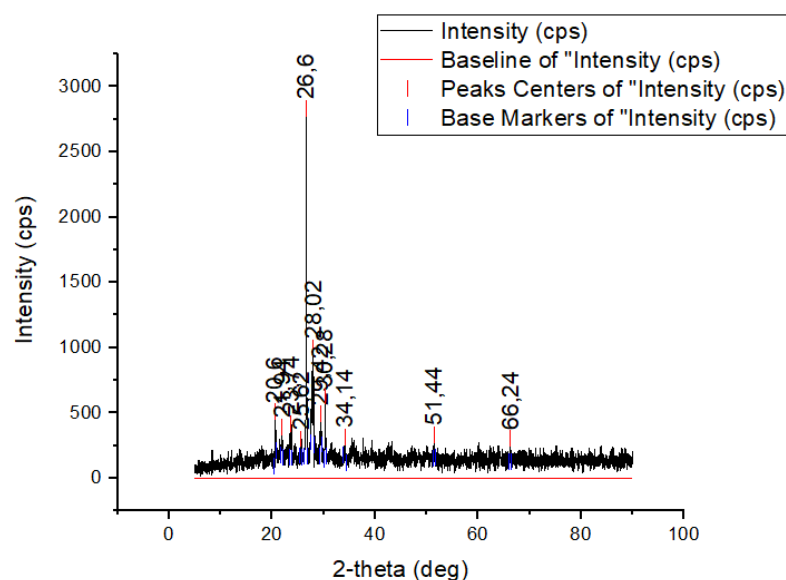
Pada pengamatan pola difraksi secara keseluruhan masih didominasi oleh latar belakang (*background*) yang melebar (*broad hump*) pada rentang sudut sekitar 20° – 40° (2θ). Karakteristik ini menunjukkan bahwa fasa amorf memiliki proporsi yang lebih dominan dibandingkan fasa kristalin. Berdasarkan perhitungan seluruh pola difraksi yang terbentuk, diperoleh akumulasi luas area total sebesar 13232,41666699.

$$\text{Kristalin (\%)} = \frac{260,0833}{13232,41666699} \times 100\% = 1,965501$$

$$\text{Amorf (\%)} = 100\% - 1,965501 = 98,034499$$

Dengan demikian, analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa spesimen ini didominasi oleh fasa amorf yang sangat signifikan, mencapai 98,03% dari total komposisi. Meskipun pola difraksi pada rentang 2θ 20° – 40° menampilkan puncak-puncak kristalin yang tajam, kontribusi kuantitatif fasa teratur tersebut hanya sebesar 1,97% terhadap akumulasi luas area total (13232,42). Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar massa material memiliki struktur atom yang tidak teratur, dengan komponen kristalin sebagai bagian minor namun memiliki intensitas yang jelas.

Dapat disimpulkan analisis pada sampel kontrol (BN–ATK0%) menunjukkan karakteristik amorf yang menonjol, yang dibuktikan dengan kemunculan puncak difraksi yang tajam dan tegas. Fenomena ini mengonfirmasi bahwa tanpa substitusi abu tempurung kelapa, mikrostruktur beton tetap didominasi oleh senyawa dengan susunan atom teratur, seperti kuarsa (SiO_2) dan Natrium Aluminium Silikat ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ /Albite). Kehadiran mineral-mineral tersebut berperan krusial dalam membentuk matriks kristal yang rapat dan kokoh pada struktur internal material.



Gambar 4. 8 Nilai titik puncak sampel BN + ATK 1,25%

Berdasarkan hasil uji *X-Ray Diffraction (XRD)* pada gambar 4.8, pola difraksi tersebut digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik mineralogi

material melalui pembacaan posisi dan intensitas setiap titik puncak (*peak position*). Berdasarkan hasil analisis, beberapa puncak utama teridentifikasi pada sudut difraksi sekitar 20,96°, 23,64°, 25,84°, 26,60°, 28,02°, 34,14°, 51,44°, dan 66,24°. Di antara seluruh puncak tersebut, puncak pada 2θ sebesar 26,60° memiliki intensitas paling tinggi, sehingga menunjukkan bahwa fase kristalin pada sudut tersebut merupakan fase yang paling dominan dalam sampel BN ATK 1,25%. Berdasarkan analisis kuantitatif terhadap kurva tersebut, total luas area puncak yang berhasil diidentifikasi pada spesimen ini adalah sebesar 167,0833.

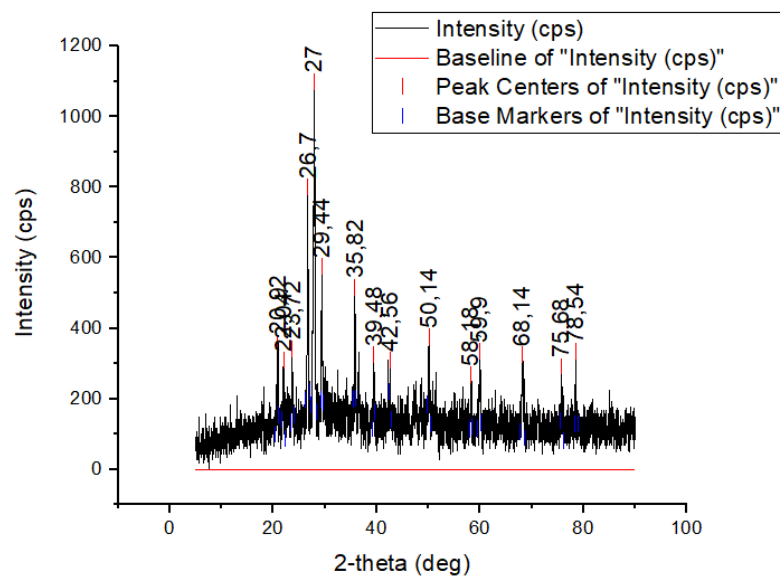
Walaupun terdapat beberapa puncak kristalin yang cukup jelas, pola difraksi secara keseluruhan masih memperlihatkan daerah difraksi yang melebar (*broad hump*) pada rentang sudut sekitar 20°–40° (2θ). Luasan daerah tersebut lebih dominan dibandingkan jumlah puncak kristalin yang muncul. Kondisi ini menunjukkan bahwa material lebih banyak mengandung fase amorf dibandingkan fase kristalin. Dominasi fase amorf ditandai dengan tingginya intensitas latar belakang (*background intensity*) yang membentuk gundukan difraksi, sedangkan fase kristalin hanya ditunjukkan oleh beberapa puncak tajam pada sudut tertentu. Berdasarkan perhitungan seluruh pola difraksi yang terbentuk, diperoleh akumulasi luas area total sebesar 12904,00000028.

$$\text{Kristalin (\%)} = \frac{167,0833}{12904,00000028} \times 100\% = 1,294818$$

$$\text{Amorf (\%)} = 100\% - 1,294818 = 98,705182$$

Berdasarkan analisis XRD pada spesimen BN ATK 1,25%, dapat disimpulkan bahwa material ini memiliki karakteristik mikrostruktur yang didominasi oleh fasa amorf dengan persentase mencapai 98,71%. Meskipun pola difraksi menunjukkan beberapa puncak kristalin yang tajam—terutama pada sudut 2θ 26,60° sebagai fasa paling menonjol—kontribusi kuantitatifnya sangat minim, yakni hanya sebesar 1,29%. Munculnya *broad hump* atau gundukan pada rentang 20°–40° mengonfirmasi bahwa sebagian besar struktur internal material bersifat tidak teratur (amorf), sementara fasa kristalin dengan total luas area 167,08 hanya berperan sebagai komponen minor dalam matriks beton tersebut.

Kesimpulannya, pada kadar substitusi ini, abu tempurung kelapa berperan dalam membentuk matriks yang mayoritas bersifat amorf, dengan fasa kristalin hanya sebagai unsur minor dalam struktur beton tersebut.



Gambar 4. 9 Nilai titik puncak sampel BN + ATK 2,5%

Pada gambar 4.9 menunjukkan pola difraksi hasil pengujian X-Ray Diffraction (XRD) yang menggambarkan hubungan antara intensitas difraksi (Intensity/cps) dengan sudut difraksi (2θ). Berdasarkan hasil analisis pola difraksi, teridentifikasi beberapa titik puncak utama yang berada pada sudut 2θ sekitar $20,92^\circ$, $23,72^\circ$, $26,70^\circ$, $27,00^\circ$, $29,44^\circ$, $35,82^\circ$, $39,48^\circ$, $42,00^\circ$, $50,14^\circ$, $58,18^\circ$, $59,90^\circ$, $68,14^\circ$, $75,84^\circ$, dan $78,54^\circ$. Dari seluruh puncak yang muncul, intensitas tertinggi berada pada 2θ sekitar $27,00^\circ$, diikuti oleh puncak pada $26,70^\circ$. Tingginya intensitas pada kedua sudut tersebut menunjukkan bahwa fase kristalin yang terbentuk pada posisi tersebut merupakan fase yang paling dominan di dalam sampel BN ATK 2,5%. Berdasarkan analisis kuantitatif terhadap kurva tersebut, total luas area puncak yang berhasil diidentifikasi pada spesimen ini adalah sebesar 189.

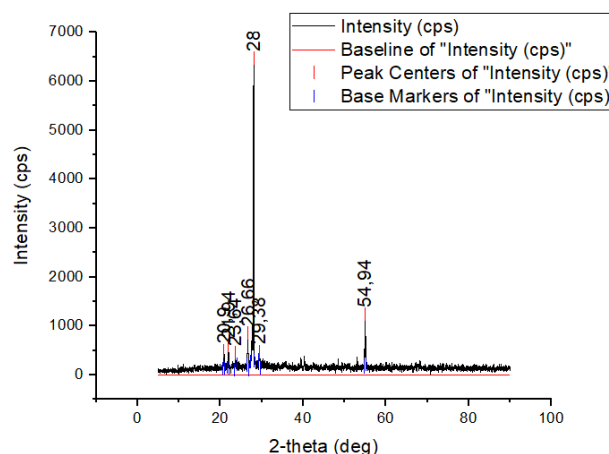
Meskipun demikian, apabila pola difraksi diamati secara menyeluruh, terlihat bahwa grafik masih didominasi oleh daerah difraksi yang melebar (*amorphous hump*), terutama pada rentang sudut 20° hingga 40° (2θ). Daerah ini

memiliki intensitas latar belakang yang relatif tinggi dan membentuk gundukan difraksi yang lebih luas dibandingkan puncak-puncak kristalin yang muncul. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa fase amorf pada material memiliki proporsi yang lebih besar dibandingkan fase kristalin. Dengan kata lain, walaupun terdapat beberapa mineral yang telah membentuk struktur kristal, sebagian besar material masih berada dalam keadaan tidak teratur (*non-crystalline*), sedangkan fase kristalin hanya ditunjukkan oleh beberapa puncak tajam pada sudut tertentu. Berdasarkan perhitungan seluruh pola difraksi yang terbentuk, diperoleh akumulasi luas area total sebesar 11510,66666607.

$$\text{Kristalin (\%)} = \frac{189}{11510,66666607} \times 100\% = 1,641955$$

$$\text{Amorf (\%)} = 100\% - 1,641955 = 98,358045$$

Dapat disimpulkan bahwa dari analisis mikrostruktur pada sampel BN ATK 2,5% menunjukkan dominasi fasa amorf yang sangat signifikan, yakni sebesar 98,36%. Walaupun pola difraksi menampilkan puncak kristalin yang tajam dan menonjol pada sudut 2θ $27,00^\circ$ serta $26,70^\circ$, secara kuantitatif kontribusi fasa teratur ini hanya menyumbang 1,64% dari total luas area (11510,67). Kehadiran *amorphous hump* yang lebar pada rentang 20° – 40° mempertegas bahwa sebagian besar susunan atom dalam material bersifat tidak teratur, sementara komponen kristalin hanya bertindak sebagai bagian minor dalam matriks beton tersebut.



Gambar 4. 10 Nilai titik puncak sampel BN + ATK 3,75%

Gambar 4.10 di atas menunjukkan pola difraksi hasil pengujian X-Ray Diffraction (XRD) yang menggambarkan hubungan antara intensitas difraksi (Intensity/cps) terhadap sudut difraksi (2θ). Berdasarkan hasil analisis pola difraksi, teridentifikasi beberapa titik puncak utama pada sudut 2θ sekitar $20,94^\circ$, $22,96^\circ$, $23,66^\circ$, $25,36^\circ$, $28,00^\circ$, dan $54,94^\circ$. Di antara seluruh puncak tersebut, puncak pada sudut 2θ sebesar $28,00^\circ$ memiliki intensitas paling tinggi, yaitu mencapai sekitar 6.000 cps, sedangkan puncak-puncak lainnya memiliki intensitas yang relatif lebih rendah. Perbedaan intensitas ini menunjukkan bahwa fase kristalin pada sudut $28,00^\circ$ merupakan fase yang paling dominan di dalam sampel BN ATK 3,75%. Berdasarkan analisis kuantitatif terhadap kurva tersebut, total luas area puncak yang berhasil diidentifikasi pada spesimen ini adalah sebesar 289,1667.

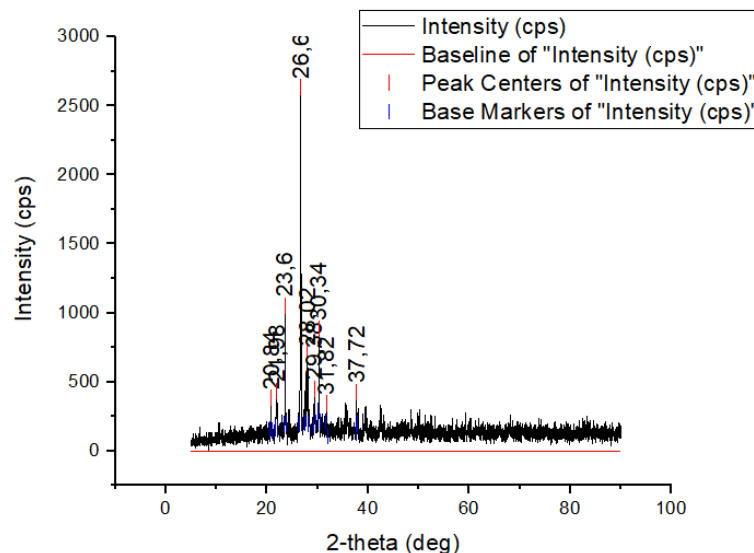
Meskipun terdapat satu puncak kristalin yang sangat tajam pada sudut $28,00^\circ$, pola difraksi secara keseluruhan masih menunjukkan latar belakang (*background*) yang cukup lebar dan menyebar pada rentang sudut 20° hingga 40° (2θ). Luasnya daerah difraksi tersebut mengindikasikan bahwa material masih didominasi oleh fase amorf, sedangkan fase kristalin hanya ditunjukkan oleh beberapa puncak dengan intensitas yang lebih tinggi pada posisi tertentu. Dengan demikian, secara keseluruhan proporsi fase amorf dalam sampel lebih besar dibandingkan fase kristalin. Berdasarkan perhitungan seluruh pola difraksi yang terbentuk, diperoleh akumulasi luas area total sebesar 13601,41666678.

$$\text{Kristalin (\%)} = \frac{289,1667}{13601,41666678} \times 100\% = 2,126004$$

$$\text{Amorf (\%)} = 100\% - 2,126004 = 97,873996$$

Kesimpulan dari hasil analisis mineralogi untuk variasi BN ATK 3,75% menunjukkan bahwa fasa amorf masih menjadi komponen penyusun yang paling dominan dengan proporsi mencapai 97,87%. Meski pola difraksi menampilkan puncak kristalin yang sangat kuat dan tajam pada sudut 2θ $28,00^\circ$, kontribusi fasa teratur tersebut secara keseluruhan hanya sebesar 2,13%. Profil grafik yang melandai secara luas pada area 20° – 40° memberikan bukti kuat bahwa struktur internal material mayoritas bersifat non-kristalin. Dengan demikian, pada kadar

substitusi ini, material tetap memiliki karakteristik matriks yang didominasi oleh fasa tidak teratur.



Gambar 4. 11 Nilai titik puncak sampel BN + ATK 5%

Gambar 4.11 di atas menunjukkan pola difraksi hasil pengujian X-Ray Diffraction (XRD) yang memperlihatkan hubungan antara intensitas difraksi (Intensity/cps) dengan sudut difraksi (2θ). Pola difraksi tersebut digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik mineralogi material berdasarkan posisi dan intensitas titik puncak (*peak position*). Berdasarkan hasil analisis, beberapa puncak difraksi teridentifikasi pada sudut 2θ sekitar $20,98^\circ$, $21,84^\circ$, $23,60^\circ$, $26,60^\circ$, $28,34^\circ$, $29,28^\circ$, $31,82^\circ$, dan $37,72^\circ$. Di antara seluruh puncak tersebut, puncak pada 2θ sebesar $26,60^\circ$ memiliki intensitas tertinggi, yaitu mencapai sekitar 2.700 cps, sehingga menunjukkan bahwa fase kristalin pada posisi tersebut merupakan fase yang paling dominan di dalam sampel BN ATK 5%. Berdasarkan analisis kuantitatif terhadap kurva tersebut, total luas area puncak yang berhasil diidentifikasi pada spesimen ini adalah sebesar 151,0833.

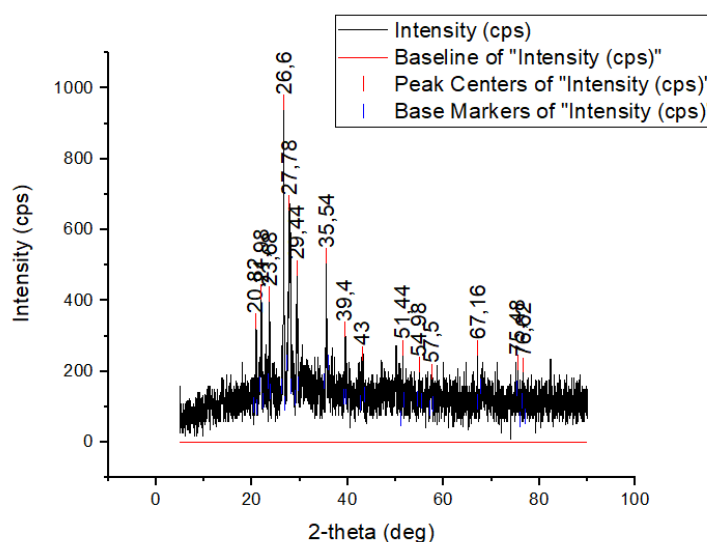
Meskipun terdapat puncak kristalin yang cukup tinggi pada sudut $26,60^\circ$, pola difraksi secara keseluruhan masih memperlihatkan daerah difraksi yang melebar (*amorphous hump*) pada rentang 20° – 40° (2θ). Luas daerah ini lebih besar dibandingkan jumlah puncak kristalin yang muncul, sehingga menunjukkan bahwa

fase amorf masih lebih dominan daripada fase kristalin. Dominasi fase amorf terlihat dari tingginya intensitas latar belakang (*background*) yang membentuk pola difraksi melebar, sedangkan fase kristalin hanya ditunjukkan oleh beberapa puncak tajam pada posisi tertentu. Berdasarkan perhitungan seluruh pola difraksi yang terbentuk, diperoleh akumulasi luas area total sebesar 12124,41666646.

$$\text{Kristalin (\%)} = \frac{151,0833}{12124,41666646} \times 100\% = 1,246108$$

$$\text{Amorf (\%)} = 100\% - 1,246108 = 98,753892$$

Dapat disimpulkan bahwa dari analisis mikrostruktur pada spesimen BN ATK 5% menunjukkan bahwa fasa amorf tetap menjadi komponen penyusun yang paling dominan, yakni sebesar 98,75%. Walaupun terdapat puncak kristalin yang cukup intens pada sudut 2θ $26,60^\circ$, fasa teratur ini secara kuantitatif hanya menyumbang 1,25% dari total luas area difraksi. Dominasi area yang melebar (*broad hump*) pada rentang 20° – 40° membuktikan bahwa mayoritas susunan atom dalam material ini bersifat tidak teratur (non-kristalin). Dengan demikian, pada tingkat substitusi 5%, fasa kristalin hanya berperan sebagai komponen minor dalam keseluruhan matriks beton.



Gambar 4. 12 Nilai titik puncak sampel BN + ATK 6,25%

Gambar 4.12 di atas memperlihatkan pola difraksi hasil pengujian X-Ray Diffraction (XRD) yang menunjukkan hubungan antara intensitas difraksi (Intensity/cps) dengan sudut difraksi (2θ). Pola difraksi ini digunakan untuk mengevaluasi karakteristik mineralogi material melalui identifikasi posisi dan intensitas setiap titik puncak (*peak position*). Berdasarkan hasil analisis, beberapa puncak difraksi utama teridentifikasi pada sudut 2θ sekitar $20,82^\circ$, $23,68^\circ$, $24,74^\circ$, $26,60^\circ$, $27,78^\circ$, $35,54^\circ$, $39,40^\circ$, $43,00^\circ$, $51,44^\circ$, $54,98^\circ$, $60,02^\circ$, $67,16^\circ$, $75,48^\circ$, dan $76,20^\circ$. Dari seluruh puncak tersebut, puncak pada 2θ sebesar $26,60^\circ$ memiliki intensitas tertinggi, sehingga menunjukkan bahwa fase kristalin pada sudut tersebut merupakan fase yang paling dominan di dalam sampel BN ATK 6,25%. Berdasarkan analisis kuantitatif terhadap kurva tersebut, total luas area puncak yang berhasil diidentifikasi pada spesimen ini adalah sebesar 113,5.

Walaupun terdapat beberapa puncak kristalin yang cukup tajam, pola difraksi secara keseluruhan masih memperlihatkan gundukan difraksi (*amorphous hump*) yang membentang pada rentang 20° – 40° (2θ). Daerah ini memiliki intensitas latar belakang yang relatif tinggi dan lebih luas dibandingkan puncak-puncak kristalin yang teridentifikasi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa fase amorf memiliki proporsi yang lebih besar dibandingkan fase kristalin, sehingga sebagian besar struktur material masih berada dalam kondisi tidak teratur (*non-crystalline*). Berdasarkan perhitungan seluruh pola difraksi yang terbentuk, diperoleh akumulasi luas area total sebesar 11281,75000004.

$$\begin{aligned}\text{Kristalin (\%)} &= \frac{113,5}{11281,75000004} \times 100\% = 1,00605 \\ \text{Amorf (\%)} &= 100\% - 1,00605 = 98,99395\end{aligned}$$

Berdasarkan analisis mineralogi pada sampel BN ATK 6,25%, dapat disimpulkan bahwa mikrostruktur material ini didominasi secara ekstrem oleh fasa amorf dengan persentase mencapai 98,99%. Meskipun terdapat puncak kristalin yang paling menonjol pada sudut 2θ $26,60^\circ$, fasa teratur ini hanya berkontribusi sebesar 1,01% terhadap keseluruhan struktur. Adanya gundukan difraksi (*amorphous hump*) yang luas pada rentang 20° – 40° mengonfirmasi bahwa sebagian besar susunan atom dalam matriks beton ini berada dalam kondisi tidak teratur,

sedangkan komponen kristalin hanya hadir sebagai unsur minor dengan proporsi terkecil dibandingkan variasi lainnya.

4.4 Hubungan Berat Jenis dan X-Ray Diffraction

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari, terlihat bahwa penambahan abu tempurung kelapa memberikan pengaruh terhadap kemampuan beton dalam menahan beban tekan. Beton normal memiliki kuat tekan sebesar 25,99 MPa, kemudian meningkat menjadi 26,39 MPa pada substitusi abu tempurung kelapa 1,25%, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 26,80 MPa pada variasi 2,5%. Setelah melewati kadar tersebut, kuat tekan mengalami penurunan secara bertahap menjadi 23,06 MPa pada variasi 3,75%, 20,42 MPa pada variasi 5%, dan 19,40 MPa pada variasi 6,25%. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan abu tempurung kelapa dalam jumlah kecil masih mampu meningkatkan kualitas beton, sedangkan penggunaan dalam jumlah yang lebih besar menyebabkan penurunan kekuatan mekanis.

Hasil tersebut memiliki keterkaitan yang erat dengan analisis mikrostruktur menggunakan X-Ray Diffraction (XRD). Berdasarkan hasil pengolahan data XRD, seluruh variasi beton menunjukkan dominasi fase amorf dengan persentase berkisar antara 97,87% hingga 98,99%, sedangkan fase kristalin hanya berada pada kisaran 1,01% hingga 2,13%. Dominasi fase amorf mengindikasikan bahwa selama proses hidrasi berlangsung terbentuk produk hidrasi berupa gel Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) yang bersifat non-kristalin. Gel C-S-H merupakan komponen utama yang berfungsi mengikat pasta semen dengan agregat sehingga menghasilkan struktur beton yang lebih rapat dan meningkatkan kekuatan tekan.

Pada variasi substitusi 1,25% dan 2,5%, peningkatan kuat tekan diduga dipengaruhi oleh reaksi pozzolanik antara kandungan silika amorf pada abu tempurung kelapa dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) hasil hidrasi semen. Reaksi tersebut menghasilkan pembentukan gel C-S-H tambahan yang mampu mengisi rongga-rongga mikro di dalam pasta semen sehingga mikrostruktur beton menjadi lebih padat. Kondisi ini sejalan dengan hasil analisis XRD yang menunjukkan dominasi fase amorf pada kedua variasi tersebut, sehingga terbentuk

matriks beton yang lebih homogen dan memiliki kemampuan lebih baik dalam menahan beban tekan.

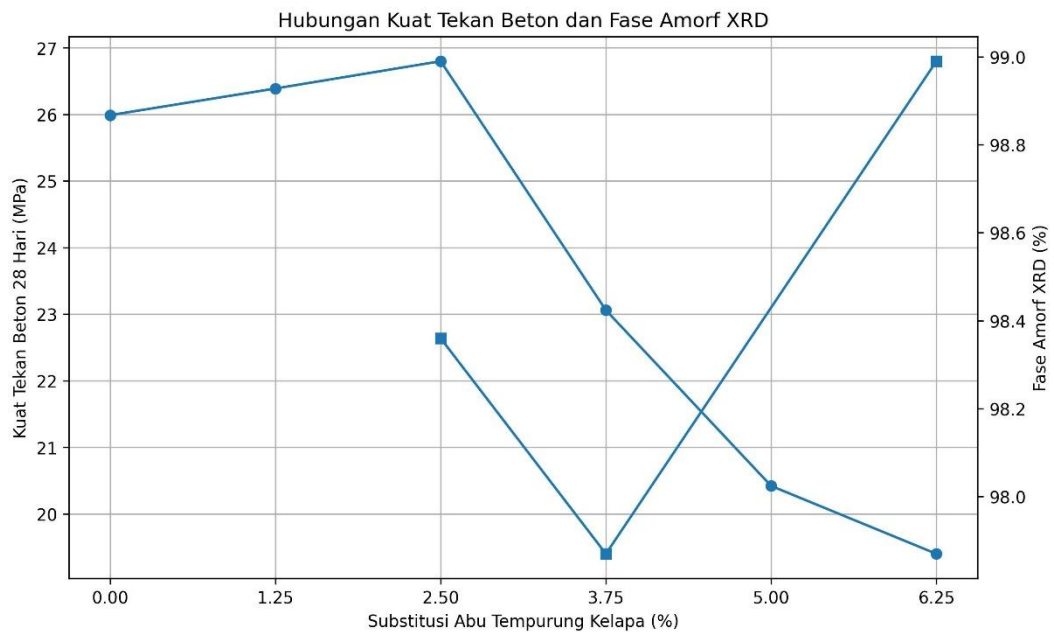
Namun demikian, pada variasi 3,75%, 5%, dan 6,25%, meskipun hasil XRD masih menunjukkan persentase fase amorf yang sangat tinggi, nilai kuat tekan justru mengalami penurunan. Fenomena ini menunjukkan bahwa tingginya persentase fase amorf tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan kuat tekan beton. Pada kadar substitusi yang lebih besar, sebagian semen telah tergantikan oleh abu tempurung kelapa sehingga jumlah senyawa semen aktif, khususnya C_3S (Tricalcium Silicate) dan C_2S (Dicalcium Silicate), menjadi berkurang. Akibatnya, jumlah $Ca(OH)_2$ yang tersedia untuk bereaksi dengan silika amorf juga menurun, sehingga pembentukan gel C-S-H tidak lagi berlangsung secara optimal.

Selain itu, meningkatnya proporsi abu tempurung kelapa dapat menyebabkan sebagian partikel abu tidak seluruhnya bereaksi (unreacted particles). Partikel yang tidak bereaksi tersebut dapat bertindak sebagai pengisi pasif (*inert filler*) sehingga tidak memberikan kontribusi terhadap pembentukan produk hidrasi. Kondisi ini menyebabkan ikatan antarpartikel di dalam matriks beton menjadi kurang efektif, meningkatkan jumlah pori dan mikroretak, serta menurunkan kemampuan beton dalam menahan beban tekan.

Apabila dibandingkan dengan hasil XRD, variasi 3,75% memiliki persentase fase kristalin tertinggi (2,13%) dan fase amorf terendah (97,87%) dibandingkan variasi lainnya. Sementara itu, variasi 6,25% memiliki persentase fase amorf tertinggi (98,99%) tetapi menghasilkan kuat tekan paling rendah (19,40 MPa). Kondisi ini memperlihatkan bahwa persentase fase amorf bukan satu-satunya parameter yang menentukan kekuatan beton. Nilai kuat tekan juga dipengaruhi oleh efektivitas reaksi pozzolanik, jumlah semen yang masih aktif bereaksi, tingkat hidrasi, kualitas Interfacial Transition Zone (ITZ) antara agregat dan pasta semen, serta tingkat porositas beton yang terbentuk.

Secara keseluruhan, hasil pengujian kuat tekan dan analisis XRD menunjukkan adanya hubungan yang saling melengkapi dalam menjelaskan karakteristik beton. Analisis XRD memberikan informasi mengenai perubahan mikrostruktur melalui identifikasi fase amorf dan kristalin, sedangkan pengujian

kuat tekan menggambarkan respons mekanis akibat perubahan mikrostruktur tersebut. Pada penelitian ini, kadar substitusi abu tempurung kelapa sebesar 2,5% merupakan variasi yang memberikan kinerja paling optimum karena menghasilkan kuat tekan tertinggi (26,80 MPa) dengan dominasi fase amorf sebesar 98,36%, yang menunjukkan bahwa proses hidrasi dan reaksi pozzolanik berlangsung secara efektif sehingga mampu menghasilkan mikrostruktur beton yang padat, homogen, dan memiliki daya dukung mekanis yang lebih baik dibandingkan variasi lainnya.



Gambar 4. 13 Grafik hubungan kuat tekan beton dengan fase amorf XRD

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian X-Ray Diffraction (XRD), pada seluruh sampel, yang pada BN + 2,5% menunjukkan beberapa mineral yang didominasi oleh senyawa silika dan aluminosilikat, seperti SiO_2 , Albite, Nepheline, Bytownite, dan Cordierite. Keberadaan mineral-mineral tersebut menunjukkan bahwa abu tempurung kelapa memiliki kandungan silika dan alumina pada beton yang memiliki nilai amorf pada sampel BN + 2,5% sebesar 98,36%

5.2 Saran

Penelitian mendatang perlu mengoptimalkan kadar substitusi abu tempurung kelapa skala nano untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan beton tanpa mengganggu proses hidrasi. Sangat disarankan menggunakan metode pembuatan yang terkontrol serta teknik karakterisasi canggih (seperti TEM, dan TGA) untuk analisis mikrostruktur yang lebih akurat. Selain itu, pengujian jangka panjang pada kondisi lingkungan nyata sangat penting untuk memvalidasi kinerja beton. Secara keseluruhan, pengembangan ini berpotensi besar menciptakan teknologi beton yang lebih ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah pertanian sebagai pengganti semen portland.

DAFTAR PUSTAKA

1704-Article Text-7180-1-10-20250510.pdf. (n.d.).

Abdien, putri siti. (2020). *ANALISA KUAT TEKAN BETON K-175 DENGAN BAHAN TAMBAH SKRIPSI* Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan Program Studi Strata I (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Medan Area Disusun Oleh : FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN.

Ajien, A., Idris, J., Md Sofwan, N., Husen, R., & Seli, H. (2023). Coconut shell and husk biochar: A review of production and activation technology, economic, financial aspect and application. *Waste Management & Research*, 41(1), 37–51. <https://doi.org/10.1177/0734242X221127167>

Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1974-1990 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.

Beton, L. B., Hulu, R., K-, A. C. B., Menggunakan, D., Kasar, A., Butir, U., Bp, M., Dan, M. M., Maks, B. P., Rumusan, R. M., K-, A. C. B., Agregat, M., Ukuran, K., & Maks, B. (2000). *Analisis Campuran Beton K-250 (fc'24,5 MPa) Dengan Menggunakan Agregat Kasar Ukuran Butir Maks BP 20 MM dan BP 10 MM*. 2(4), 1–29.

Cheah, C. B., Khalaf, M. A., Ramli, M., Ahmed, N. M., Ahmad, M. S., Ali, A. M. A., Dawood, E. T., & Ameri, F. (2021). Modern heavyweight concrete shielding: Principles, industrial applications and future challenges; Review. *Journal of Building Engineering*, 44, 102290. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102290>

Cullity, B. D., & Stock, S. R. (2023). *Elements of X-Ray Diffraction* (4th ed.). Pearson.

Demissew, A. (2022). Comparative analysis of selected concrete mix design methods based on cost-effectiveness. *Advances in Civil Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4240774>

Didik, I., Mabui, S. S., & Raidyarto, A. (n.d.). *BETON*.

Fatimah, N., & Utami, B. (2017). Sintesis dan Analisis Spektra IR, Difraktogram XRD, SEM pada Material Katalis Berbahan Ni/zeolit Alam Teraktivasi dengan Metode Impregnasi. *JC-T (Journal Cis-Trans): Jurnal Kimia Dan Terapannya*, 1(1), 35–39. <https://doi.org/10.17977/um026v1i12017p035>

Geist, W. H., & Santi, P. A. (n.d.). *Nondestructive Assay of Nuclear Materials for Safeguards and Security*.

Hakim, L., Dirgantara, M., & Nawir, M. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 1(1), 44–51. <http://e-journal.upr.ac.id/index.php/JMS>

Huang, F., Peng, D., Zhao, Y., Zhao, G., & Fu, S. (2026). *Effects of Coconut Shell*

Ash and Coir Fiber on the Mechanical Properties and Microstructure of Concrete. 1–19.

Ii, B. A. B., & Pustaka, T. (2020). *No Title.* 5–21.

International, A. (2021). *ASTM C39/C39M-21: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.* ASTM International. https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-21

John, E. (2023). Cement hydration mechanisms through time – a review. *Journal of Materials Science*, 58(24), 9805–9833. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-08651-9>

Kurniawan, S. (2016). Analisa Perawatan Beton Cetak Menggunakan Uap. *Tapak*, 5(166), 98–107.

Li, Z., Zhou, X., Ma, H., & Hou, D. (2022). Materials for Making Concrete. In *Advanced Concrete Technology*. <https://doi.org/10.1002/9781119806219.ch2>

Margu , E., Queralt, I., & Almeida, E. De. (2022). Chemosphere X-ray fluorescence spectrometry for environmental analysis : Basic principles , instrumentation , applications and recent trends. *Chemosphere*, 303(P1), 135006. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135006>

Nasional, S. (n.d.). *Spesifikasi abu terbang batubara dan pozolan.*

Oktamuliani, S. (2016). Identifikasi Mineral Pada Batuan Granit Di Geopark Merangin Provinsi Jambi Menggunakan X-Ray Diffraction (Xrd) Dan. *JoP*, 1(November 2015), 12–17.

Onaizi, A. M., Amran, M., Tang, W., Betoush, N., Alhassan, M., Rashid, R. S. M., Yasin, M. F., Bayagoob, K. H., & Onaizi, S. A. (2024). Radiation-shielding concrete: A review of materials, performance, and the impact of radiation on concrete properties. *Journal of Building Engineering*, 97, 110800. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110800>

Reddy, V. (2024). Structural and transport properties of newly synthesized ZSM-5 sourcing silica from coconut shell ash. *Results in Engineering*.

Rochman, A. (2021). *Teknologi Beton.* MUP Publisher.

Setiawan, A., & Yuniarto, E. (2025). *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi Analisis Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan dan Tanpa Zat Tambah.* 3(3), 245–251. <https://doi.org/10.56326/jptsk.v3i3.3203>

Siddika, A., Al Mamun, M. A., Alyousef, R., Mohammadhosseini, H., Aslani, F., & Alabduljabbar, H. (2022). The present state of the use of waste wood ash as an eco-efficient construction material: A review. *Materials*, 15(15), 5349. <https://doi.org/10.3390/ma15155349>

Trial, M., & Vi, K. (2022). *Teknologi Beton Teknologi Beton.*

Xiao, J., Lv, Z., Duan, Z., & Zhang, C. (2023). Pore Structure Characteristics, Modulation and Its Effect on Concrete Properties: A Review. *Construction and Building Materials*, 397, 132430.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132430>

LAMPIRAN I



Pengujian Kuatb Tekan Beton Berumur 28 hari



Pemilihan Sampel Beton Yang Akan di Potong



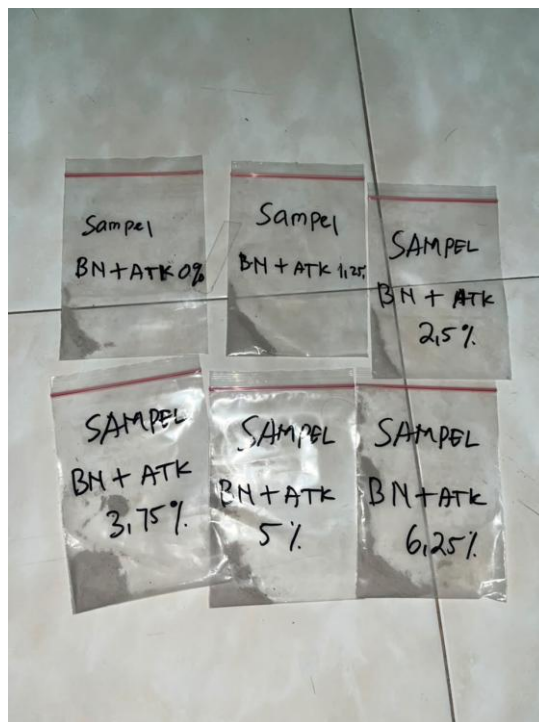
Beton Yang Siap Untuk di Potong



Pemotongan Beton Yang Berumur 28 Hari



Debu Setelah Pemotongan Sampel Beton



Debu Dari Seluruh Variasi Pada Sampel Beton Yang Siap Dikirim Untuk Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

LAMPIRAN II



**LABORATORIUM KIMIA ANALISA DAN
INSTRUMENTASI PENGUJIAN FMIPA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

Jalan Raya Palembang Prabumulih KM 32 Inderalaya
Telp. 0711-580269, Fax. 0711-580269

Edisi / Revisi : I/0

Tanggal Terbit : 1 Agustus 2022

Halaman : 1 dari 1

Form No. : FR-7.8.2-LKAIP-FMIPA

LAPORAN HASIL PENGUJIAN YANG DISEDERHANAKAN

No. 197-LHU-2026-LKAIP-FMIPA

Sampel berasal dari : Farizy Dwitama
Alamat : Universitas Muhammadiyah Palembang
Diambil/dipreparasi oleh : Farizy Dwitama
Diterima tanggal : 06 Juli 2026
Tanggal Selesai : 15 Juli 2026
Kondisi lingkungan pengujian : Suhu : 24.8°C, Kelembaban : 58 %
Jenis sampel : Beton / Padat

No	Kode Sampel	Kode Lab.	Kondisi sampel	Satuan	Parameter Uji	Hasil Analisa	Metode Uji
1	Normal	T389.LKAIP.060726	Padat	-	Analisa kualitatif	Terlampir di Email	XRD
2	1,25 %	T390.LKAIP.060726	Padat	-	Analisa kualitatif	Terlampir di Email	XRD
3	2,5 %	T391.LKAIP.060726	Padat	-	Analisa kualitatif	Terlampir di Email	XRD
4	3,75 %	T392.LKAIP.060726	Padat	-	Analisa kualitatif	Terlampir di Email	XRD
5	5 %	T393.LKAIP.060726	Padat	-	Analisa kualitatif	Terlampir di Email	XRD
6	6,25 %	T394.LKAIP.060726	Padat	-	Analisa kualitatif	Terlampir di Email	XRD

Keterangan : - Hasil yang ditampilkan hanya berhubungan dengan barang yang di uji
- Laporan pengujian tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan dari Laboratorium Kimia Analisa dan Instrumentasi Pengujian FMIPA Universitas Sriwijaya
- Komplain terhadap hasil uji hanya berlaku selama 2 minggu sejak laporan hasil uji diterbitkan



Inderalaya, 15 Juli 2026

Koordinator Teknis

Yunias M.Sc.

NIP 197306161998022001



**LABORATORIUM KIMIA ANALISA DAN
INSTRUMENTASI PENGUJIAN FMIPA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

Jalan Raya Palembang Prabumulih KM 32 Inderalaya
Telp. 0711-580269, Fax. 0711-580269

LAPORAN HASIL UJI

Edisi / Revisi : 1 / 0

Tanggal Terbit : 22 Desember 2022

Halaman : 1 dari 1

Form No. : FR-7.8.1-LKAIP-FMIPA

No. 111-LHU-2026-LKAIP-FMIPA

Sampel berasal dari : Nova Eliza
Alamat : Universitas Muhammadiyah Palembang
Diambil oleh : Nova Eliza
Diterima Tanggal : 08 Juni 2026
Tanggal Selesai : 1 Juli 2026
Nama sampel/Jenis Sampel : Abu Tempurung Kelapa / Padat
Kondisi lingkungan pengujian : Suhu : 25°C, Kelembaban : 68 %
Kode Lab : T308.LKAIP.060526

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode
1	SiO ₂	%	41,086 ± 0,200%	IK-41-LKAIP-FMIPA
2	Al ₂ O ₃	%	25,966 ± 0,411%	IK-41-LKAIP-FMIPA
3	CaO	%	10,236 ± 0,084%	IK-41-LKAIP-FMIPA
4	Fe ₂ O ₃	%	6,400 ± 0,101%	IK-41-LKAIP-FMIPA
5	MgO	%	3,540 ± 0,045%	IK-41-LKAIP-FMIPA
6	K ₂ O	%	2,860 ± 0,111%	IK-41-LKAIP-FMIPA
7	SO ₃	%	2,414 ± 0,025%	IK-41-LKAIP-FMIPA
8	Na ₂ O	%	1,400 ± 0,120%	IK-41-LKAIP-FMIPA
9	TiO ₂	%	0,087 ± 0,013%	IK-41-LKAIP-FMIPA
10	P ₂ O ₅	%	0,060 ± 0,001%	IK-41-LKAIP-FMIPA
11	Mn ₃ O ₄	%	0,005 ± 0,000%	IK-41-LKAIP-FMIPA

Keterangan : - Hasil yang ditampilkan hanya berhubungan dengan barang yang di uji
- Laporan pengujian tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan dari Laboratorium Kimia Analisa dan Instrumentasi Pengujian FMIPA Universitas Sriwijaya
- Komplain terhadap hasil uji hanya berlaku selama 2 minggu sejak laporan hasil uji diterbitkan



Inderalaya, 1 Juli 2026 Koordinator

Yuniar M.S

197306161998022001

LAMPIRAN III



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

Status : Terakreditasi Baik Sekali Berdasarkan Keputusan Lembaga Akreditasi Mandiri Program Studi Keteknikan

LAM TEKNIK No. 0288/SK/LAMTEKNIK/AS/VIII/2024 Tanggal : 21 Agustus 2024

Jl. KH. Balqi Talang Banten Gedung KH. Mas Mansyur Palembang Phone : (0711)510820; Email : ft@um-palembang.ac.id

Bismillahirrahmanirrahim

Nomor : 517/G-17/FT-S/I/2026
Lampiran : -
Perihal : Bimbingan Tugas Akhir

Palembang, 05 Januari 2026

Kepada Yth.
Bapak/Ibu : Ir. Revisdah, M.T
Pembimbing I (satu) Tugas Akhir
Fakultas Teknik UM Palembang
di -
Palembang

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,

Ba'da salam, semoga kita senantiasa mendapatkan taufik dan hidayahNya dalam menjalankan aktivitas sehari-hari, Amin.

Sehubungan dengan penyusunan Tugas Akhir (skripsi) mahasiswa Prodi Teknik Sipil Tahun Akademik 2025 / 2026 untuk mahasiswa :

NAMA	NRP
FARIZY DWITAMA	11 2022 053

Maka kami mohon bantuan Bapak / Ibu, kiranya mahasiswa tersebut diatas dapat diberikan bimbingan dalam rangka penyusunan Tugas Akhir Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang, dan bersama ini disampaikan SK Pembimbing.

Untuk kelancaran pelaksanaan Bimbingan Tugas Akhir, kami menunjuk sebagai Pembimbing II (dua) adalah :

Bapak/Ibu : Dr. Verinazul Septriansyah, S.T.,M.T

Demikianlah atas perhatian serta bantuannya diucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Ketua Prodi,

Mira Setiawati, ST., MT
NPM/NTDN : 1015073/0006078101

Tembusan :

1. Yth. Dekan (sebagai laporan)
2. Yth. Pembimbing II (dua) Tugas Akhir

Visi: " Menjadl Program Studi Berstandar Nasional, Mampu Menghasilkan Lulusan Profesional Dibidang Infrastruktur Serta Berkarya Ditingkat Internasional Berbasis Ke-Islaman 2032"



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
University of Muhammadiyah Palembang

FAKULTAS TEKNIK

Faculty of Engineering

TERAKREDITASI

Accredited

Program Studi : Teknik Sipil, Teknik Kimia, Teknik Elektro, Teknik Arsitektur, Teknik Industri, Teknik Informasi
Study Program : Civil Engineering, Chemical Engineering, Electrical Engineering, Architecture Engineering, Industrial Engineering, Information Technology
Jl. KH. Balaqih Talang Banten Gedung KH. Mas Mansyur Palembang Phone : (0711) 510820; Fax (0711) 519408
Email : ft@um-palembang.ac.id

Bismillahirrahmanirrahim

Nomor : 366 /H-5/FT-UMP/VI/2026
Hal : Surat Pengantar Data Riset

Palembang, 14 Muharram 1448 H
29 Juni 2026 M

Yth. Bapak/Ibu Kepala
Laboratorium Kimia Analisa & Instrumentasi Pengujian FMIPA
Universitas Sriwijaya
Di tempat

Assalamu'alaikum wr.wb,

Ba'da salam, semoga kita senantiasa mendapat taufik dan hidayah dari Allah SWT. dalam menjalankan aktivitas sehari-hari. Aamiin.

Sehubungan dengan kegiatan mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang yang akan melaksanakan Pengambilan Data Riset untuk keperluan penyelesaian Tugas Akhir, kami mohon kiranya Bapak/Ibu berkenan memberikan keterangan atau data atas nama mahasiswa tersebut dibawah ini:

Nama : Farzy Dwitama
NIM : 11 2022 053
Program Studi : Teknik Sipil
Tujuan : Laboratorium Kimia Analisa & Instrumentasi Pengujian FMIPA Universitas Sriwijaya
Judul Tugas Akhir : Analisa Campuran Beton Dengan Substitusi Abu Tempurung Kelapa Dengan Study X-Ray Diffraction (XRD)

Adapun data diperlukan yaitu :

1. Data Pengujian XRF dan XRD.

Demikianlah surat ini dibuat, atas perhatian dan perkenan Bapak, kami ucapkan terima kasih.

Atas perhatian dan perkenan Bapak, kami ucapkan terima kasih.

Nasrunminallah Wafathun Qorib

Wassalam wr.wb,
Dekan

Ir. A. Junaldi, M.T.
NBM/NIDN : 763050/0202026502