

**PENGARUH PENAMBAHAN *GRAPHITE* TERHADAP
KARAKTERISTIK GUGUS FUNGSI, FASA, DAN SIFAT LISTRIK PADA
BAHAN KATODE $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$**

(Skripsi)

Oleh

Nindya Aisah Indriyani



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

ABSTRAK

**PENGARUH PENAMBAHAN *GRAPHITE* TERHADAP
KARAKTERISTIK GUGUS FUNGSI, FASA DAN SIFAT LISTRIK PADA
BAHAN KATODE $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$**

Oleh

NINDYA AISAH INDRIYANI

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan grafit terhadap gugus fungsi $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dan menganalisis pengaruh variasi komposisi polianion $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ terhadap gugus fungsi, fasa kristal, dan sifat listrik katode baterai. Sampel dibuat dari NaOH , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, SiO_2 dari sekam padi dan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ menggunakan metode sol gel. Sampel disintering pada suhu $800\text{ }^\circ\text{C}$ dengan kenaikan suhu $3\text{ }^\circ\text{C}$ tiap menit dan waktu tahan 10 jam. Gugus fungsi dari masing-masing sampel diidentifikasi menggunakan *Spektroskopi Fourier Transform Infra Red* (FTIR), dan fasanya diidentifikasi menggunakan difraksi sinar-X (XRD) ditambah dengan analisis kualitatif dan kuantitatif. Sedangkan *band gap* dan konduktivitas listrik dikarakterisasi dengan Uv-Vis dan LCR meter. Spektrum FTIR mengidentifikasi gugus fungsi Na-O, Fe-O, dan Si-O dari struktur NaO_4 , FeO_4 , dan SiO_4 tetrahedral. Analisis XRD didominasi oleh fasa $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dan diikuti oleh fasa lain yaitu FeSiO_3 , SiO_2 , dan C. Nilai energi *band gap* menurun seiring meningkatnya nilai konduktivitas listrik yang dihasilkan, hal ini dipengaruhi oleh adanya penambahan bahan grafit. Grafit bersifat konduktor yang nilai *bandgap*-nya dibawah $0,5\text{ eV}$ dan memiliki konduktivitas listrik $\sim 10^4\text{ S/m}$, hal tersebut yang membuat energi *band gap*-nya menurun dan konduktivitasnya meningkat.

Kata kunci: Energi *band gap*, gugus fungsi, konduktivitas listrik, fasa kristal, Grafit, $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$, silika sekam padi

ABSTRACT

**THE EFFECT OF ADDITION OF GRAPHITE ON THE
CHARACTERISTICS OF FUNCTIONAL GROUP, PHASE AND
ELECTRICAL PROPERTIES IN CATHODE MATERIALS $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$**

By

NINDYA AISAH INDRIYANI

This study aims to analyze the effect of adding graphite to the $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ functional group and to analyze the effect of variations in the composition of the $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ /C polyanion on functional groups, crystal phase, and the electrical properties of the battery cathode. Samples were prepared from NaOH, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, SiO_2 from rice husks, and $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ using the sol-gel method. Samples were sintered at $800\text{ }^\circ\text{C}$ with a temperature increase of $3\text{ }^\circ\text{C}$ every minute and a holding time of 10 hours. The functional groups of each sample were identified using Fourier Transform Infra-Red (FTIR) Spectroscopy, and the phases were identified using X-Ray Diffraction (XRD) coupled with qualitative and quantitative analysis. Meanwhile, band gap and electrical conductivity were characterized by Uv-Vis and LCR meters. The FTIR spectrum identified the Na-O, Fe-O, and Si-O functional groups from the NaO_4 , FeO_4 , and SiO_4 tetrahedral structures. The XRD analysis was dominated by the $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ phase followed by other phases, namely FeSiO_3 , SiO_2 , and C. The value of the band gap energy decreased as the resulting electrical conductivity value increased, this was influenced by the addition of graphite. Graphite is a conductor whose band gap value is below 0.5 eV and has an electrical conductivity of $\sim 10^4\text{ S/m}$, this causes the band gap energy to decrease and the conductivity to increase.

Keywords: Band gap energy, functional groups, electrical conductivity, crystalline phase, Graphite, $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$, rice husk silica.

**PENGARUH PENAMBAHAN *GRAPHITE* TERHADAP
KARAKTERISTIK GUGUS FUNGSI, FASA, DAN SIFAT LISTRIK PADA
BAHAN KATODE $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$**

Oleh

NINDYA AISAH INDRIYANI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

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



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

Judul Penelitian : **PENGARUH PENAMBAHAN GRAPHITE TERHADAP KARAKTERISTIK GUGUS FUNGSI, FASA, DAN SIFAT LISTRIK PADA BAHAN KATODE $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$**

Nama Mahasiswa : **Nindya Aisah Indriyani**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1817041040**

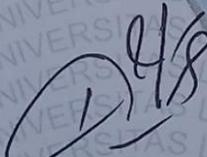
Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



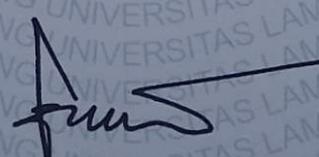
Pembimbing I

Pembimbing II


Dra. Dwi Asmi, M.Si. Ph.D.
NIP. 196312281986102001


Agus Riyanto, S.Si. M.Sc.
NIP. 198608222015041002

2. Ketua Jurusan Fisika

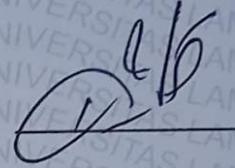

Gurum Ahmad Pauzi, S.Si. M.T.
NIP. 198010102005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

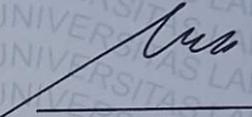
Ketua

: **Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.**



Sekretaris

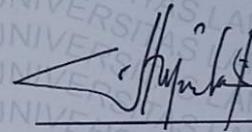
: **Agus Riyanto, S.Si., M.Sc.**



Penguji

Bukan Pembimbing

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

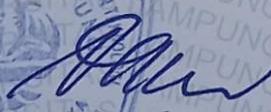


2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Satripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.

NIP. 197407052000031001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **04 Januari 2023**

PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, Januari 2023



Nindya Aisah Indriyani
NPM. 1817041040

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Nindya Aisah Indriyani dilahirkan di Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung pada 25 Mei 2000 sebagai anak dari pasangan Bapak Dono dan Ibu Umi Salamah. Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-Kanak Diniyyah Putri Lampung pada tahun 2006, kemudian melanjutkan pendidikan di MI Diniyyah Putri Lampung dan lulus pada tahun 2012. Penulis kemudian menempuh pendidikan sekolah menengah di MTsN 1 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2015. Setelah itu, melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di MAN 2 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2018. Selama menempuh pendidikan menengah atas, penulis aktif dalam kegiatan Pasukan Pengibar Bendera (Paskibra) MAN 2 Bandar Lampung.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2018. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) dibidang Komunikasi dan Informasi (Kominfo) pada tahun 2018 – 2020. Penulis menempuh kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Pusat Teknologi Mineral Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (BPTM LIPI) Lampung Selatan pada tahun 2021. Dalam bidang kepenulisan, penulis memiliki

pengalaman menulis laporan PKL dengan judul “Studi Pelindian Ilmenit Menggunakan HCl”. Penulis pernah mengikuti kegiatan Karya Wisata Ilmiah (KWI) yang diadakan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) di Desa Way Bungur, Lampung Timur. Penulis pernah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Wiyono, Kecamatan Gedong Tataan, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.

MOTTO

"Ketetapan Allah pasti datang, maka janganlah kamu meminta agar dipercepat (datang)nya"

QS. An-Nahl:1

"Berpikirlah positif, tidak peduli seberapa keras kehidupanmu"

~Ali bin Abi Thalib~

"Kesabaran itu ada dua macam: sabar atas sesuatu yang tidak kau ingin dan sabar menahan diri dari sesuatu yang kau ingin"

~Ali bin Abi Thalib~

PERSEMBAHAN

*Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT. penulis mempersembahkan karya
ini kepada:*

Bapak Dono dan Ibu Umi Salamah

*Atas do'a yang tidak pernah ada hentinya serta segala upaya yang telah
dilakukan untuk memberikan yang terbaik,*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warhmatullahi Wabarokatuh.

Puji syukur penulis haturkan atas karunia Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul **“Pengaruh Penambahan *Graphite* terhadap Gugus Fungsi, Fasa, dan Sifat Listrik pada Bahan Katode $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ ”**.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi literatur serta rujukan bagi penelitian-penelitian selanjutnya.

Wassalamualaikum warahmatullahi Wabarokatuh.

Bandar Lampung, Januari 2023

Nindya Aisah Indriyani

SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan atas karunia Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul **“Pengaruh Penambahan *Graphite* terhadap Gugus Fungsi, Fasa, dan Sifat Listrik pada Bahan Katode $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ ”** sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung. Selama menyelesaikan skripsi ini, penulis telah menerima banyak bantuan secara langsung maupun tidak langsung sehingga membuat hasil karya ini menjadi lebih baik. Dengan segala kerendahan hati, penulis menghaturkan terimakasih kepada:

1. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan selama proses penelitian dan penulisan skripsi;
2. Bapak Agus Riyanto, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan selama proses penelitian dan penulisan skripsi;
3. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran untuk penulisan skripsi ini agar lebih baik lagi;
4. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung;
5. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung;

6. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik;
7. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Fisika atas ilmu yang telah diberikan selama penulis menempuh pendidikan;
8. Kedua orang tua yang tidak henti-hentinya memberikan do'a dan dukungannya, serta seluruh keluarga;
9. Rekan seperjuangan Silvi Indah Kusuma Wardani dan Wulan Warohma atas kerjasamanya selama melakukan penelitian ini dan yang selalu sabar;
10. Sahabat yang selalu memberikan semangat dan segala bantuannya, Nanda Briliana Yuda, Desy Setianingsih, Juana Santika, Ria Charoline, dan Riftaul Kurniawati;
11. Teman-teman yang selalu memberikan semangat dan motivasinya, Monica Karnailia, Grace Prisciliya, Ahmad Saiful Munir, dan Odih.

Serta semua pihak yang tidak dapat dicantumkan satu persatu oleh penulis. Semoga Allah SWT. memberikan imbalan berlipat dan memudahkan langkah semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, Januari 2023

Nindya Aisah Indriyani

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	7

1.5	Manfaat Penelitian.....	7
II. TINJAUAN PUSTAKA		
2.1	Silika Dari Sekam Padi.....	8
2.2	Material Polianion $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$	9
2.3	<i>X-Rays Diffraction (XRD)</i>	12
2.4	<i>Ultraviolet Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)</i> ...	16
2.5	<i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	17
2.6	Konduktivitas Listrik.....	19
III. METODE PENELITIAN		
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2	Alat dan Bahan	20
3.3	Prosedur Penelitian.....	22
3.3.1	Preparasi Sekam Padi.....	22
3.3.2	Ekstraksi Silika Sekam Padi	22
3.3.3	Sintesis $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$	23
3.3.4	<i>Sintering</i>	24
3.3.5	Pembuatan Bahan Komposit Katode dan Kompaksi	24
3.3.6	Analisis Gugus Fungsi	24
3.3.7	Analisis Struktur Kristal	25
3.3.8	Analisis Energi <i>Band Gap</i>	25
3.3.9	Analisis Konduktivitas Listrik	25
3.4	Diagram Alir.....	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Analisis Gugus Fungsi	29
4.2	Hasil Analisis Struktur Kristal.....	33
4.3	Hasil Analisis Energi <i>Band Gap</i> dan Konduktivitas Listrik	40
V. KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	45

5.2 Saran..... 45

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Polimorf struktur kristal $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ (a) Pn (2 f.u), (b) Pn (4f.u), (c) Pbn21, (d) Pna21, (e) P21/c, dan (f) C2221	10
Gambar 2.2. Diagram mekanisme XRD	13
Gambar 2.3. Tampilan umum Qual-X.....	14
Gambar 2.4. Tampilan data POW_COD.....	15
Gambar 3.1. Diagram alir ekstraksi silika dari sekam padi.....	26
Gambar 3.2. Diagram alir sintesis $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$	27
Gambar 3.3. Diagram alir pembuatan komposit katode $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$	28
Gambar 4.1a. Spektrum FTIR $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dengan penambahan grafit (a) sampel A, (b) sampel B	30
Gambar 4.1b. Spektrum FTIR $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dengan penambahan grafit (c) sampel C dan (d) sampel D	31
Gambar 4.2. Difaktogram XRD $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ (a) sampel A (b) sampel B (c) sampel C (d) sampel D.....	34
Gambar 4.3a. Hasil <i>refinement</i> data XRD $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ (a) sampel A (b) sampel B	35
Gambar 4.3b. Hasil <i>refinement</i> data XRD $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ (c) sampel C (d) sampel D	36

Gambar 4.4a. Plot <i>Tauc</i> analisis energi <i>band gap</i> (a) sampel A (b) sampel B	41
Gambar 4.4b. Plot <i>Tauc</i> analisis energi <i>band gap</i> (c) sampel C (d) sampel D	42
Gambar 4.5 Data pengujian konduktivitas listrik katode dengan rentang frekuensi 1-100000 Hz (A) sampel A (B) sampel B (C) sampel C (D) sampel D.....	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Bahan-bahan penelitian	21
Tabel 3.2. Alat-alat penelitian	21
Tabel 3.3. Alat-alat karakterisasi.....	21
Tabel 3.4. Komposisi pembuatan bahan komposit kotode dengan persentase berat.....	24
Tabel 4.1. Hasil identifikasi gugus fungsi	33
Tabel 4.2. Persentase parameter kesesuaian <i>refinement</i> $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$	37
Tabel 4.3. Persentase fasa dalam persen berat (% wt)	37
Tabel 4.4. Parameter sel $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ pada berbagai komposisi	38
Tabel 4.5. Parameter sel FeSiO_3 pada berbagai komposisi	38
Tabel 4.6. Parameter sel SiO_2 pada berbagai komposisi	38
Tabel 4.7. Parameter sel grafit pada berbagai komposisi	39
Tabel 4.8. Volume unit sel masing-masing fasa	39
Tabel 4.9. Nilai energi <i>band gap</i> $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ pada berbagai komposisi	40
Tabel 4.10. Nilai konduktivitas listrik pada rentang frekuensi 1-100000 Hz	44

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baterai merupakan salah satu bentuk dari teknologi penyimpanan energi yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi kimia ataupun sebaliknya. Pada saat pengisian (*charge*) energi listrik diubah menjadi energi kimia dan pada saat pengosongan (*discharge*) energi kimia diubah menjadi energi listrik. Transfer elektron terjadi dari elektrode negatif (anode) ke elektrode positif (katode) sehingga menghasilkan arus listrik. Secara umum sistem baterai dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Sistem baterai primer yaitu baterai yang tidak dapat diisi ulang setelah habis pemakaiannya, sedangkan baterai sekunder dapat diisi ulang. Untuk sistem baterai sekunder, bahan katode dan anode harus bersifat *recyclable*, yaitu dapat terbentuk kembali bila diberi tegangan listrik dari luar melalui reaksi kimia yang bersifat reversibel (Leonardo *et al.*, 2015).

Baterai memiliki empat komponen utama yaitu katode, anode, elektrolit dan separator. Anode merupakan elektrode negatif yang berfungsi sebagai pengumpul ion dan material aktif. Sama halnya dengan anode, katode juga berfungsi sebagai pengumpul ion dan material aktif, akan tetapi katode merupakan elektrode positif. Elektrolit berfungsi sebagai penghantar ion dari anode ke katode ataupun sebaliknya. Separator berfungsi untuk mencegah hubungan singkat atau kontak

antara anode dan katode. Dari keempat komponen tersebut, katode merupakan komponen terpenting dalam baterai. Hal ini dikarenakan katode lebih dominan dalam memberikan kontribusi pada performa baterai (Park *et al.*, 2014).

Bahan yang berbasis polianion sebagai elektrode positif (katode) pada baterai sedang banyak dikembangkan oleh para peneliti. Hal ini karena polianion dapat mempercepat konduksi ionik logam alkali dan dapat menstabilkan potensial redoks logam-logam transisi sehingga mampu menghasilkan kapasitas energi yang tinggi (Ni *et al.*, 2017). Alasan pengembangan material polianion adalah karena material ini memiliki konduktivitas ionik yang tinggi (Yang *et al.*, 2014).

Saat ini bahan polianion telah dimanfaatkan pada baterai litium. Baterai litium – ion merupakan salah satu jenis baterai sekunder (*rechargeable battery*) yang dapat diisi ulang dan merupakan baterai yang ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan yang berbahaya (Perdana, 2021). Baterai litium memiliki daya serap yang tinggi, ringan, kepadatan energi yang tinggi dan bisa dipakai secara terus menerus karena baterai litium ini dapat diisi ulang (Jian and Zhou, 2013). Baterai litium ini banyak dikembangkan dibidang industri karena kapasitas penyimpanannya yang baik dan tidak memiliki sifat *memory effect*. Selain itu baterai litium juga memiliki kekurangan yaitu tidak tahan panas, saat didistribusikan dalam jumlah besar membutuhkan prosedur khusus, isi ulang baterai yang berlebihan akan memperpendek usia baterai dan rentan meledak, sehingga diperlukan bahan alternatif yang mampu menggantikannya salah satunya yaitu katode baterai yang berbasis sodium ion. Katode baterai yang berbasis sodium ion sebagai pengganti litium memiliki prinsip kerja dan konstruksi sel yang hampir serupa dengan jenis baterai lainnya, hanya saja senyawa sodium digunakan sebagai

pengganti senyawa litium. Alasan pengembangan baterai sodium sebagai pengganti litium karena keberadaan ion-Na sangat melimpah di bumi ini serta akan membuat baterai ion-Na jauh lebih ekonomis dibandingkan menggunakan litium (Palomares *et al.*, 2012). Dengan demikian, litium pada $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ dapat digantikan dengan sodium sehingga menjadi senyawa $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$. Karena kemiripan tersebut, maka secara teoritis $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dapat menghasilkan kapasitas sekitar 278 mAhg^{-1} (Guo *et al.*, 2017 ; Ye *et al.*, 2016). Nilai kapasitas ini lebih rendah dari bahan polianion $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$, namun bahan polianion $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ memiliki konduktivitas listrik dan ionik lebih tinggi dibandingkan $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ (Zhu *et al.*, 2018).

Bahan katode $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ memiliki keunggulan tersendiri yaitu memiliki kapasitas tinggi, keamanan yang baik serta biaya yang relatif murah. Kebanyakan penelitian tersebut menggunakan sumber silika yang berasal dari tetraetil ortosilikat (TEOS). Akan tetapi bahan ini memiliki kekurangan yaitu biayanya yang mahal (Agung *et al.*, 2013). Oleh karena itu, diperlukan bahan silika yang biayanya relatif rendah sebagai prekursor dari katode $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$. Salah satu silika organik yang berasal dari limbah-limbah hasil pertanian yaitu sekam padi. Selain mudah ditemukan, sekam padi mampu menghasilkan silika dengan kemurnian mencapai 99% (Bakar *et al.*, 2016), ekstraksinya pun mudah dilakukan dan dengan biaya yang relatif murah.

Amalia (2019), telah berhasil melakukan sintesis $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dengan memanfaatkan sekam padi sebagai sumber silika. Sampel ini disintesis dengan menggunakan metode sol-gel dari prekursor NaOH, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, silika yang berasal dari sekam padi, dan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dengan perbandingan mol 2:1:1:1.

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Amalia (2019) yaitu pengaruh suhu *sintering* terhadap fasa dan sifat listrik bahan polianion $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$, sampel *disintering* pada suhu $500\text{ }^\circ\text{C} - 800\text{ }^\circ\text{C}$. Kemurnian $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ tertinggi terletak pada suhu $800\text{ }^\circ\text{C}$ berada pada kisaran 80% hingga 88% (% *wt*). Dengan demikian semakin tinggi suhu *sintering* maka semakin tinggi pula fasa kemurnian $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ yang dihasilkan. Konduktivitas listrik yang diperoleh dari $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ yaitu konstan dengan orde 10^{-5} S/m terletak pada suhu $500\text{ }^\circ\text{C}$ dan energi *band gap* yang diperoleh dengan nilai tertinggi terletak pada suhu $800\text{ }^\circ\text{C}$ sebesar 2,58 eV. Hal ini berkaitan dengan nilai energi *band gap* dan penelitian sebelumnya bahwa nilai konduktivitas listrik suatu material akan semakin kecil jika energi *band gap*nya semakin besar (Sawicki *et al.*, 2016). Nilai konduktivitas dengan orde yang konstan 10^{-5} S/m ini sudah cukup bagus akan tetapi perlu ditingkatkan lagi. Untuk meningkatkan nilai konduktivitas listrik dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu menambahkan *dopant* saat sintesis material katode, mencampur material katode dengan serbuk logam atau melapisi material katode dengan karbon yang konduktif (Yuniarti *et al.*, 2013).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Yuniarti *et al.*, (2013) pembuatan katode baterai LiFePO_4 dengan penambahan grafit sebagai bahan aditif dan PVdF sebagai matriks dengan perbandingan massa 80:15:5. Hasil yang diperoleh yaitu katode baterai LiFePO_4/C dengan nilai konduktivitasnya yaitu $1,88 \times 10^{-7}\text{ S/m}$ yang *disinter* pada suhu $600\text{ }^\circ\text{C}$ merupakan nilai terendah dari variasi suhu. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Padhi, *et al.*, (1997) LiFePO_4 yang tidak diberi tambahan karbon memiliki nilai konduktivitas listrik yaitu berada pada orde 10^{-11} S/m . Hal ini menunjukkan bahwa nilai konduktivitas listrik mengalami kenaikan

ketika ditambahkan grafit atau karbon. Selain itu, suhu *sintering* juga sangat memengaruhi nilai konduktivitas pada material katode yang ditambahkan grafit sebagai bahan aditif, semakin rendah suhu *sintering* maka semakin tinggi konduktivitas yang diperoleh.

Penelitian lain telah dilakukan oleh Guan *et al.*, (2017) yaitu pembuatan katode baterai $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dan $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dengan ditambahkan bahan karbon (*super-p*) sebagai material aditif dan *carboxy methyl cellulose* (CMC) sebagai *binder* yang dilarutkan dalam *N-methyl-2-pyrrolidone* (NMP) dengan perbandingan rasio berat 70:20:10 (%wt). Hasil yang diperoleh yaitu katode $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dengan energi spesifiknya 106 mAhg^{-1} , nilai tersebut masih relatif rendah sebagai kapasitas penyimpanan. Fasa murni yang dihasilkan $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ memiliki energi spesifik $181,0 \text{ mAhg}^{-1}$ dan kapasitas penyimpanannya 88% setelah 100 siklus. Selain itu, elektrode tersebut menunjukkan stabilitas yang sangat baik dengan tegangan 4,5 V atau dipanaskan hingga $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan bahan karbon atau grafit berpengaruh terhadap peningkatan energi spesifik yang dihasilkan dari material katode baterai $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$.

Berdasarkan penelitian Amalia (2019) serta beberapa penelitian sebelumnya yang mendukung bahwa penambahan karbon meningkatkan nilai konduktivitas listrik, maka dilakukan penelitian ini yaitu pembuatan katode baterai dengan senyawa komposit $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ yang *disintering* pada suhu $800 \text{ }^\circ\text{C}$ dan penambahan bahan karbon *graphite* sehingga terbentuk komposit $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$. Penambahan karbon *graphite* berfungsi untuk meningkatkan nilai konduktivitas listrik dari $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dan *Carboxyl Metil Celulose* (CMC) sebagai polimer pengikat (Guan *et al.*, 2017). Kemudian sampel tersebut dikarakterisasi gugus fungsinya yang diidentifikasi

dengan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), fasa kristal diidentifikasi dengan *X-Rays* serta dilengkapi analisis kualitatif dengan program QualX dan analisis kuantitatif dengan program rietica, energi *band gap* diidentifikasi menggunakan analisis UV-Vis DRS dan kemudian diestimasi nilainya dengan Persaman Kubelka-Munk, dan konduktivitas listrik diidentifikasi menggunakan LCR meter.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan bahan *graphite*, terhadap gugus fungsi, fasa kristal, dan konduktivitas pada bahan $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi bahan $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ terhadap gugus fungsi dan fasa kristal?
3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi bahan $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ terhadap konduktivitas listrik katode baterai?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh penambahan bahan *graphite* terhadap gugus fungsi $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$;
2. Menganalisis pengaruh variasi komposisi polianion $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ terhadap gugus fungsi dan fasa kristal; dan
3. Menganalisis pengaruh variasi komposisi $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ terhadap konduktivitas listrik katode baterai.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Sampel $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ disintering pada suhu 800°C ;
2. Sampel $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ ditambah bahan *graphite* dengan variasi bahan sebanyak 25%, 30%, 35% dan 40%;
3. Sampel $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ yang dicampur dengan *graphite* sebanyak 65%, 60%, 55% dan 50%; dan
4. Bahan CMC yang digunakan sebanyak 10%.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Informasi mengenai gugus fungsi, fasa kristal, dan sifat listrik dari komposit $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$;
2. Informasi yang diperoleh dari penelitian ini dapat dijadikan rujukan untuk mengembangkan baterai sodium ion;
3. Komposit $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ sebagai katode dapat digunakan untuk pembuatan prototipe baterai sodium ion; dan
5. Memanfaatkan bahan limbah sekam padi sebagai sumber silika dengan biaya yang relatif murah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Silika Dari Sekam Padi

Sekam padi merupakan produk samping yang melimpah dari hasil penggilingan padi, dan selama ini hanya digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran batu merah atau dibuang begitu saja. Abu sekam padi dengan pembakaran yang terkontrol pada suhu tinggi (500-600 °C) akan menghasilkan abu yang mengandung silika yang dapat dimanfaatkan untuk proses kimia (Putro and Prasetyoko, 2007). Selain itu, silika dari sekam padi memiliki kestabilan termal yang baik dengan karakteristik yang dapat dimodifikasi melalui perlakuan termal. Houston (1972) mengatakan bahwa abu sekam padi mengandung silika sebanyak 86% - 97% berat kering. Silika yang dihasilkan dari sekam padi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika mineral. Hal ini dikarenakan silika sekam padi memiliki butiran halus, lebih reaktif, dapat diperoleh dengan mudah dan dengan biaya yang relatif murah, serta ketersediaannya cukup melimpah di industri pertanian. Dengan kelebihan tersebut sekam padi berpotensi cukup besar digunakan sebagai sumber penghasil silika.

Sekam padi dapat diperoleh dengan mudah dan sederhana yaitu dengan cara pengabuan dan menggunakan metode alkalis. Kalapathy *et al.*, (2000) menjelaskan bahwa kelarutan dari silika abu sekam padi sangat rendah pada pH<10, meningkat

secara tajam pada $\text{pH} > 10$. Berdasarkan informasi tersebut, ekstraksi silika dari abu sekam padi banyak dilakukan dengan menggunakan pelarut alkali. Jika ingin mendapatkan silika setelah proses ekstraksi, maka dilanjutkan dengan proses pengendapan pada pH rendah menggunakan larutan asam. Suka *et al.*, (2008) telah melakukan penelitian mengenai ekstraksi silika dari sekam padi menggunakan metode alkalis dengan variasi konsentrasi pelarut KOH dan konsentrasi HCl 1 M. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, hasil silika tertinggi diperoleh pada konsentrasi KOH 5%, waktu ekstraksi 1 jam, pH pembentukan gel 7, dan menghasilkan rendemen sebesar 40,8%.

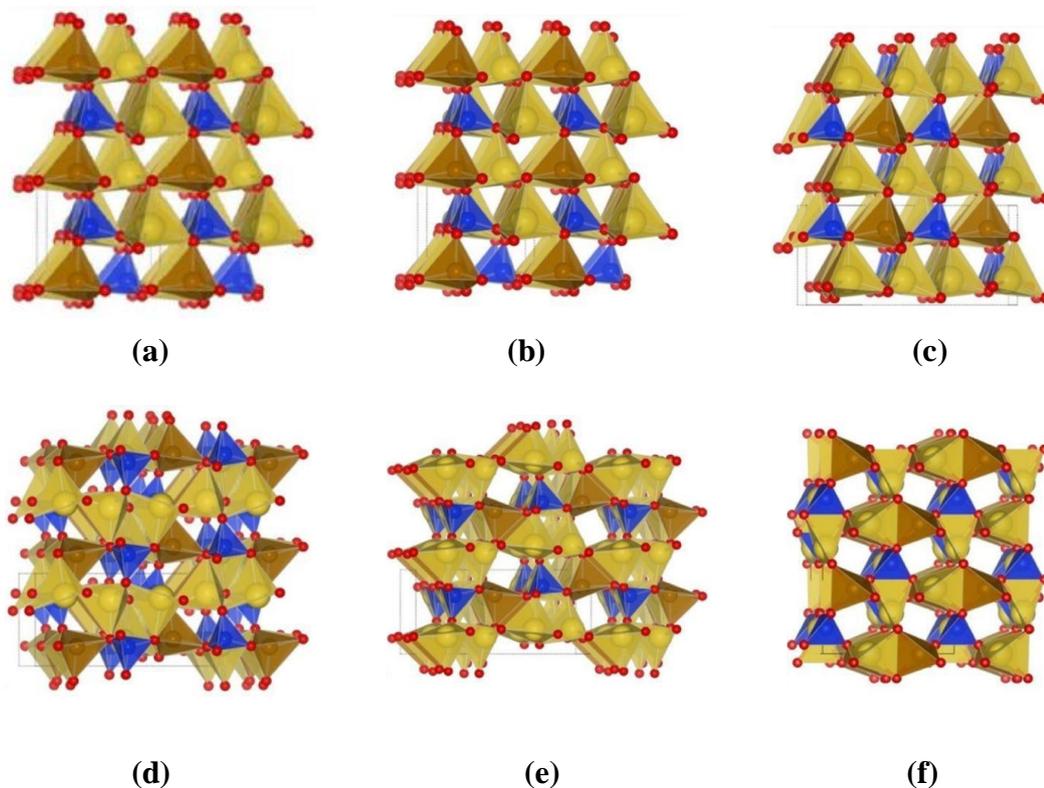
Sembiring and Karo Karo (2007) melakukan ekstraksi menggunakan pelarut KOH 5% dengan perbandingan pelarut dan sekam padi sebesar 1:10. Larutan asam yang digunakan adalah HCl dengan konsentrasi 10%. Silika hasil ekstraksi kemudian *disintering* dengan suhu yang bervariasi. Beberapa peneliti menyimpulkan bahwa sekam padi merupakan sumber dari silika amorf yang berkualitas tinggi (James and Subba, 1986), dengan kemurnian tinggi yaitu 95,35%; 87% - 97% dan 95% - 100% (Suka *et al.*, 2008). Selain itu, silika yang berasal dari sekam padi memiliki kestabilan termal baik dengan karakteristik yang dapat dimodifikasi melalui perlakuan termal.

2.2 Material Polianion $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$

Polianion $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ termasuk bahan polianion jenis Na_2MSiO_4 ($\text{M} = \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Co}, \text{Ni}$) yaitu memiliki dua elektron dalam reaksi elektrokimia yang berpotensi tinggi sebagai polianion katode (Guan *et al.*, 2017). Selain itu, $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ memiliki kelebihan yang lain yaitu kapasitas teoritisnya 276 mAh, komponen unsurnya

melimpah, serta biayanya relatif murah. Sejauh ini, belum terdapat penelitian yang menunjukkan secara pasti struktur kristal $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$.

Berdasarkan hasil penelitian Yu *et al.*, (2018) $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ memiliki 6 polimorf 3 dimensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dengan Na berwarna kuning, Fe berwarna coklat, Si berwarna biru, dan O berwarna merah. Polimorf-polimorf tersebut berupa Pn (2 f.u), Pn (4 f.u), $Pbn2_1$, $Pna2_1$, $P2_1/c$, dan $C222_1$ dengan Pn (2 f.u), $Pna2_1$, $P2_1/c$ merupakan struktur yang paling stabil. Selain memiliki struktur yang stabil, Bianchini *et al.*, (2017) memperkirakan bahwa $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ termasuk semikonduktor karena memiliki energi *band gap* cukup rendah yang dipengaruhi oleh polimorf grup kekisinya.



Gambar 2.1. Polimorf struktur kristal $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ (a) Pn (2 f.u) (b) Pn (4 f.u) (c) $Pbn2_1$ (d) $Pna2_1$ (e) $P2_1/c$ (f) $C222_1$ (Yu *et al.*, 2018).

$\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dapat disintesis menggunakan berbagai metode seperti padatan, sol-gel, dan solvotermal. Umumnya sintesis $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ membutuhkan prekursor yang berfungsi sebagai agen pengkelat (*chelating agent*) seperti asam sitrat, asam *adipic*, dan asam askorbat. Sintesis $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ pertama kali dilakukan oleh Kee *et al.*, (2016) menggunakan metode solvotermal, dengan metode sintesis yang dilakukan pada bejana induksi tertutup meliputi dekomposisi atau reaksi kimia antar prekursor dalam pelarut pada suhu di atas titik didihnya (Demazeau, 2010). Prekursor yang digunakan yaitu $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4$, $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dan asam askorbat. Pelarut yang digunakan yaitu etilen glikol dan etanol. Larutan prekursor kemudian ditempatkan dalam *autoclave* pada suhu 230 °C. Hasilnya diperoleh $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dengan Na_2SiO_3 dan Fe_3O_4 sebagai impuritas. Metode solvotermal mampu menghasilkan material dengan kristal tunggal dan struktur serta ukuran partikel yang dapat dikontrol namun membutuhkan proses dalam waktu lama.

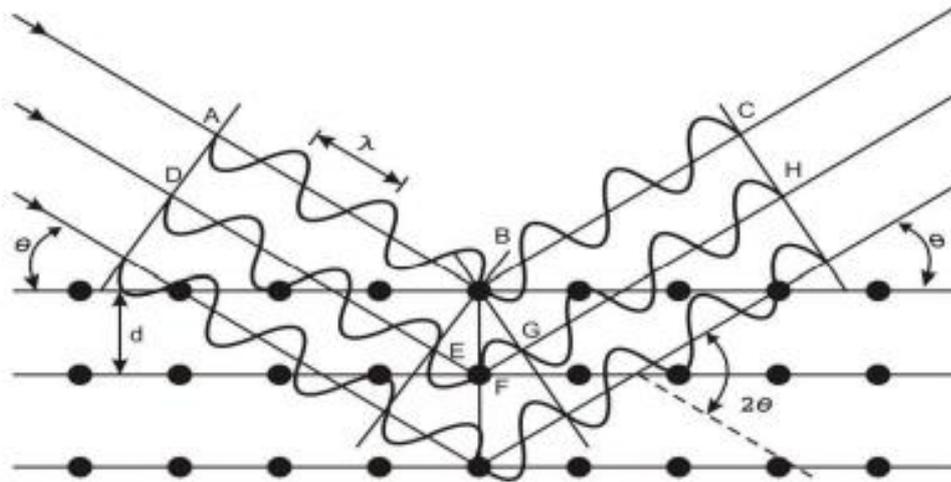
Metode padatan berbasis pada reaksi prekursor padatan setelah pencampuran dengan penggerusan atau *ball-milling*. Metode ini memerlukan suhu tinggi agar reaksi dapat terjadi dalam waktu yang singkat dan biasanya menghasilkan material dengan homogenitas rendah (Cornilsen, 2003). Sintesis $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dengan metode padatan telah dilakukan oleh (Kaliyappan and Chen, 2018) dengan $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, SiO_2 , FeC_2O_4 , dan asam *adipic* sebagai prekursor. Sejumlah stoikiometri prekursor tersebut dicampur menggunakan mortar dan pastel selama 30 menit. Campuran kemudian disinter pada suhu 700 °C selama 2 jam. (Kaliyappan and Chen, 2018) memperoleh fasa $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ diikuti dengan impuritas Na_2SiO_3 dan Fe_3O_4 .

Selain dari kedua metode yang sudah dijelaskan, sintesis $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dapat dilakukan dengan metode sol-gel. Metode sol-gel sangat fleksibel, murah dan mudah dilakukan (Sajjadi, 2005), menggunakan suhu rendah (Schubert, 2003), ukuran serta homogenitas partikel produknya dapat terkontrol (Rondinini *et al.*, 2009). Amalia (2019) melakukan sintesis $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ menggunakan metode sol-gel mengacu pada metode penelitian sebelumnya, dengan NaOH 99%, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ % (*Merck*), SiO_2 dari sekam padi dan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 100% dengan perbandingan molnya 2:1:1:1 sebagai prekursor. Selain itu, digunakan aquades sebagai pelarut. Gel $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ yang sudah kering kemudian *disintering* pada suhu 500 °C, 600 °C, 700 °C, dan 800 °C dengan kenaikan 3 °C tiap menit dan waktu tahan selama 10 jam. Amalia (2019) memperoleh fasa $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ diikuti impuritas Na_2SiO_3 . Karena jumlah peneliti Na_2MSiO_4 khususnya masih terbatas, beberapa metode sintesis mengacu pada metode sintesis Li_2MSiO_4 dengan material yang berbeda.

2.3 *X-Rays Diffraction (XRD)*

Struktur kristal dianalisis dengan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk mengetahui ciri utama struktur kristal. Identifikasi struktur dan fasa kristal suatu sampel dapat dilakukan dengan metode difraksi sinar-X. Sinar-X dikarakterisasi sebagai radiasi gelombang yang berinteraksi dengan elektron-elektron pada suatu bahan, dengan panjang gelombangnya $\pm 1 \text{ \AA}$. Ketika berkas tersebut terhambur dari suatu bahan dengan struktur atom pada skala tersebut, akan terjadi interferensi yang menghasilkan pola dengan intensitas berbeda. Secara kualitatif serupa dengan pola warna-warni yang dihasilkan oleh gelembung sabun dengan warna yang berbeda ketika dilihat dari arah yang berbeda. Hamburan terdifraksi ini yang akan dideteksi

oleh XRD. Berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilang karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas yang saling menguatkan tersebut disebut dengan berkas difraksi.



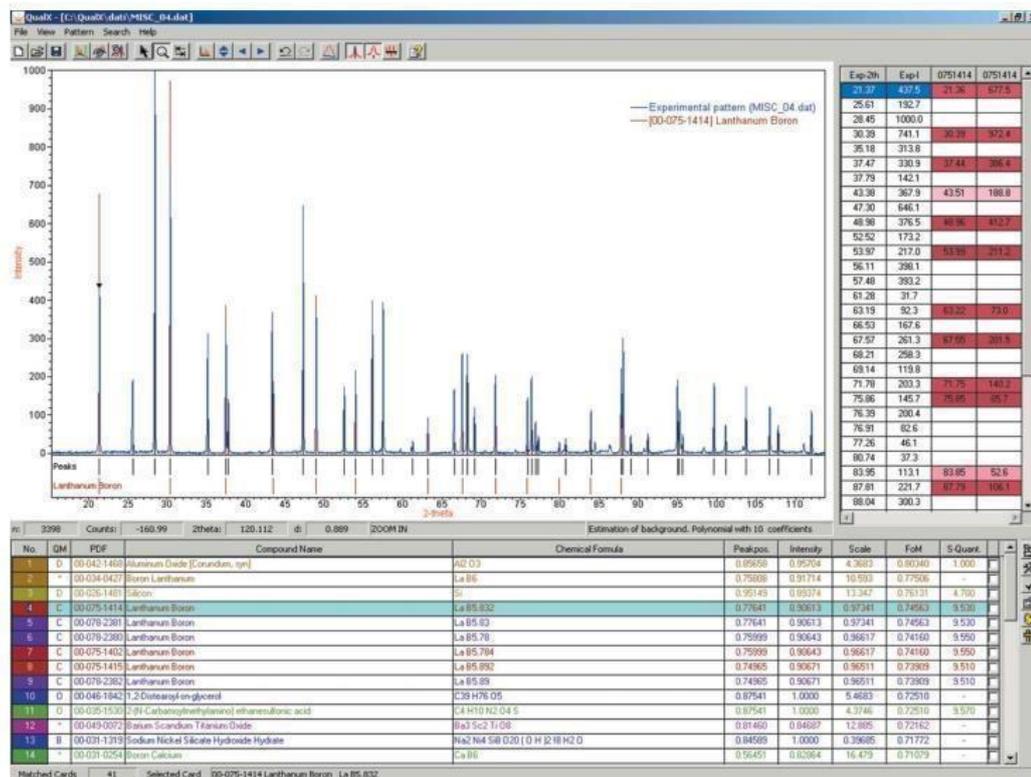
Gambar 2.2. Diagram mekanisme XRD.

Pada Gambar 2.2 menunjukkan sinar datang yang menumbuk pada titik bidang pertama dan dihamburkan oleh atom D. Sinar datang yang kedua menumbuk bidang berikutnya dan dihamburkan oleh atom B, sinar ini menempuh jarak $AB + BC$ bila dua sinar tersebut paralel dan satu fasa (saling menguatkan). Dalam hal ini, fasa suatu bahan berupa fasa murni dan fasa kristal dapat ditentukan setelah diamati dengan menggunakan difraktometer serbuk. Semakin banyak bidang kristal yang terdapat pada sampel, maka semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkan. Puncak-puncak intensitas ditentukan oleh sebaran atom dalam struktur kristalnya. Panjang gelombang sinar-X berkisar antara 0,5 – 2,5 dalam satuan angstrom (\AA) (10^{-10}) (Cullity, 1978). Basis analisis struktur kristal menggunakan difraksi sinar-X adalah Hukum Bragg yang dituliskan secara matematis pada Persamaan (2.1)

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.1)$$

dengan λ adalah panjang gelombang radiasi (m), d adalah jarak antar bidang atomik (m), dan θ adalah sudut hamburan.

Analisis data kualitatif XRD dapat diidentifikasi menggunakan perangkat lunak QualX. Perangkat lunak QualX mengidentifikasi dengan cara mencocokkan data yang diperoleh dari XRD hasil eksperimen dengan *database* yang telah ada dan dapat diunduh secara gratis pada <http://www.ic.cnr.it> (Altomare *et al.*, 2008). Tampilan umum QualX ditunjukkan pada Gambar 2.3 dan tampilan data POW_COD pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3. Tampilan umum Qual-X (Altomare *et al.*, 2008).

00-900-8877

COD CIF File http://www.crystallography.net/information_card.php?cif=9008877

Name Zincite

Mineral Name Zincite

Formula O Zn

Quality C (calculated pattern)

I/c 7.40

Reference Wyckoff, R. W. G., Crystal Structures, 1 (1963)

Space Group P 63 m c (186)

Crystal system Hexagonal

Cell parameters a=3.2495 Å c=5.2069 Å

Cell volume 47.62 Å³

Wavelength 1.54056 Å

μ(Cu Kα) 276.827 cm⁻¹

Calc. Density 5.675 g cm⁻³

2theta	d[Å]	Int.	hkd	mult
31.7717	2.8141	467.96	1 0 0	6
34.4200	2.6034	286.65	0 0 2	2
36.2554	2.4757	1000.00	1 0 1	12
47.5387	1.9111	163.34	1 0 2	12
56.6023	1.6247	292.59	2 -1 0	6
62.8538	1.4773	297.86	1 0 3	12
66.3809	1.4071	40.88	2 0 0	6
67.9487	1.3784	193.87	2 -1 2	12
69.0895	1.3584	126.57	2 0 1	12
72.5625	1.3017	22.08	0 0 4	2
76.9609	1.2379	31.51	2 0 2	12
81.3777	1.1815	22.70	1 0 4	12
89.6170	1.0930	87.68	2 0 3	12
92.8079	1.0636	26.73	3 -1 0	12
95.3200	1.0421	93.71	3 -1 1	24
98.6158	1.0159	54.27	2 -1 4	12

Remarks

Diffraction pattern calculated by EXPO from COD database CIF file
I/c calculated by EXPO

Gambar 2.4. Tampilan data POW_COD (Altomare *et al.*, 2008).

Untuk menganalisis tingkat kesesuaian data XRD hasil eksperimen dengan *database* dapat menggunakan program rietica. Rietica adalah salah satu program yang digunakan untuk *refinement* struktur menggunakan model *Rietveld*. Metode *Rietveld* menganalisis secara detail mengenai struktur dan komposisi sampel prokristalin secara objektif dengan meminimalkan selisih antara data pengamatan dan perhitungan dengan data intensitas pengamatan melalui pola difraksi (Hunter and Howard, 1997). Dalam program rietica diperlukan dua masukan (*input*) yaitu *file* masukan data intensitas difraksi sinar-X dengan format INP dan sampel dengan format DAT. Untuk memperoleh kesesuaian antara data pengamatan dan perhitungan, parameter yang di *refine* pada program rietica adalah *background*,

parameter sel, faktor skala, grup ruang, dan *preferred oriented* dari masing-masing atom.

Keberhasilan proses penghalusan (*refinement*) dapat dilihat dari nilai indeks kecocokan, yakni *error* seminimal mungkin yang dinyatakan dengan indeks R seperti R_{wp} (indeks kecocokan bobot), R_{exp} (asumsi pembilang membawa nilai yang diharapkan), R_p (indeks kecocokan seluruh hasil *fitting* tidak ikut mempertimbangkan faktor bobot statistik), dan *Goodness-of-Fit* (GoF) = χ^2 (*chi-square goodness fit*) merupakan indeks pencocokan yang menunjukkan sukses atau tidaknya penghalusan. Akurasi hasil *refinement* yang baik diindikasikan dengan nilai *Goodness-of-Fit* (GoF) kurang dari 4%.

2.4 Ultraviolet Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)

Spektrofotometer adalah alat untuk mengukur transmittan atau absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Alat ini merupakan gabungan dari alat optik dan elektrik serta sifat-sifat fisik kimia. Spektrofotometer UV-Vis salah satu teknik analisis spektroskopi yang memakai sumber radiasi elektromagnetik sinar ultraviolet (190 – 380 nm) dan sinar tampak (380 – 780 nm) yang digunakan untuk menganalisa suatu senyawa kimia. Spektrofotometer UV-Vis menggunakan dua buah sumber cahaya yang berbeda, yaitu sumber cahaya UV dan sumber cahaya *visible*. Larutan yang dianalisis diukur serapan sinar ultraviolet atau sinar tampaknya. Konsentrasi larutan yang dianalisis akan sebanding dengan jumlah sinar yang diserap oleh zat yang terdapat dalam larutan tersebut. Spektreflektansi UV-Vis DRS dapat digunakan untuk menghitung energi *band gap*. Energi *band gap* merupakan salah satu karakteristik yang digunakan untuk menentukan apakah suatu

material bersifat semikonduktor atau non semikonduktor. Teknik karakterisasi dengan UV-Vis DRS mendeskripsikan perilaku elektronik dan memberikan informasi transisi orbital elektron dalam struktur suatu bahan. Prinsip kerja dari spektroskopi UV-Vis yaitu gelombang elektromagnetik menyinari suatu material sampel, maka foton tersebut ada yang diserap, dipantulkan dan diteruskan. Foton yang diserap akan menyebabkan elektron tereksitasi dari keadaan energi dasar ke energi yang lebih tinggi. Jika energi foton yang diberikan kurang dari lebar celah pita energi maka elektron tidak akan tereksitasi ke pita valensi. Elektron tetap berada pita konduksi dan tidak menyerap foton. Untuk memperoleh besarnya nilai energi *band gap*, data reflektansi diolah menggunakan teorema Kubelka-Munk pada Persamaan (2.2) dan (2.3).

$$F(R_{\infty}) = \frac{K}{S} = \frac{(1-R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad (2.2)$$

$$[FR_{\infty}hv]^2 = A(hv - E_g) \quad (2.3)$$

dengan $F(R_{\infty})$ adalah fungsi Kubelka-Munk, K adalah koefisien absorpsi (m^2/kg), S adalah koefisien hamburan (m^2/kg), R_{∞} adalah pemantulan difusi, h adalah konstanta *Planck* ($6,6 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$), A adalah konstanta proporsionalitas (Joule), ν adalah frekuensi (Hz), dan E_g adalah energi *band gap* (eV).

2.5 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) pada dasarnya sama dengan spektrofotometer infra merah dispersi, yang membedakannya adalah pengembangan pada sistem optiknya sebelum berkas sinar infra merah melewati sampel. Dasar pemikiran FTIR ini diperoleh dari persamaan gelombang yang dirumuskan oleh Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) seorang ahli

matematika Prancis. Dari deret Fourier tersebut intensitas gelombang dapat digambarkan sebagai daerah waktu dan frekuensi. Perubahan gambaran intensitas gelombang radiasi elektromagnetik dari daerah waktu ke daerah frekuensi atau sebaliknya disebut Transform Fourier.

Spektroskopi inframerah (FTIR) merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berbeda pada bilangan gelombang $13.000 - 10 \text{ cm}^{-1}$. Ketika frekuensi radiasi inframerah sesuai dengan frekuensi vibrasi alami dari molekul dalam sampel, radiasi akan diserap. Besarnya energi vibrasi dipengaruhi oleh kuat ikatan antar atomnya. Semakin lemah ikatan antar atom, semakin kecil energi yang dibutuhkan untuk vibrasi. Secara matematis, besarnya energi vibrasi dinyatakan pada persamaan (2.4)

$$E = h\nu \quad (2.4)$$

dengan E adalah energi (joule), h adalah konstanta *Planck* ($6,62 \times 10^{-34} \text{ Js}^{-1}$), dan ν adalah frekuensi vibrasi (Hz). Dengan mengandaikan bahwa atom – atom yang saling berkaitan dalam molekul merupakan titik massa yang dihubungkan dengan sebuah pegas, besarnya frekuensi vibrasi dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.5)

$$\nu = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{k(m_1+m_2)}{m_1m_2}} \quad (2.5)$$

dengan ν adalah frekuensi vibrasi (cm^{-1}), c adalah kecepatan cahaya ($3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$), m_1 adalah massa atom 1 (gram), m_2 adalah massa atom 2 (gram), dan k adalah konstanta gaya ikatan antar atomnya.

Prinsip kerja FTIR adalah mengenali gugus fungsi suatu senyawa dari absorbansi inframerah yang dilakukan terhadap suatu senyawa. Pola absorbansi yang diserap

oleh tiap-tiap senyawa berbeda-beda, sehingga senyawa dapat dibedakan. Analisis menggunakan spektrometer FTIR memiliki beberapa kelebihan utama dibandingkan dengan metode konvensional yaitu dapat digunakan pada semua frekuensi dari sumber cahaya secara simultan, sensitivitas FTIR adalah 80 - 200 kali lebih tinggi dari instrumentasi dispersi standar karena resolusinya lebih tinggi.

2.6 Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik adalah ukuran kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan arus listrik. Nilai konduktivitas bahan digolongkan menjadi isolator dengan nilai konduktivitas di bawah 10^{-9} S/m, semikonduktor dengan nilai konduktivitas 10^{-9} S/m hingga 10^4 S/m, dan konduktor dengan nilai konduktivitas lebih dari 10^4 S/m (Bloor, 1989). Nilai konduktivitas listrik dapat diukur dengan menggunakan LCR meter. LCR meter adalah sebuah perangkat elektronika yang digunakan untuk mengukur induktansi (L), kapasitansi (C), dan resistansi (R) dari suatu komponen. Nilai konduktivitas dapat diturunkan dari nilai konduktansi hasil pengukuran menggunakan LCR meter dan dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.6)

$$\sigma = G \frac{L}{A} \quad (2.6)$$

dengan σ adalah konduktivitas listrik (S/m), L adalah ketebalan sampel (m), G adalah konduktansi (Siemens), dan A adalah *cross section* permukaan sampel (m^2) (Yunasfi *et al.*, 2011). Berdasarkan penelitian, besarnya nilai konduktivitas listrik erat kaitannya dengan nilai energi *band gap*. Semakin kecil energi *band gap* suatu bahan, maka konduktivitas listriknya akan semakin baik.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Juli-Agustus 2022. Proses *sintering* dilakukan di Unit Pelayanan Terpadu Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LTSIT) Universitas Lampung, Karakterisasi *X-Rays Diffraction* (XRD) di Greenlabs (Glabs) Bandung, FT-IR di Unit Pelayanan Terpadu Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LTSIT) Universitas Lampung, UV-Vis di Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang, dan LCR di Laboratorium Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, BATAN, Serpong.

3.2 Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1 sedangkan alat-alat yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3.1. Bahan-bahan penelitian

No	Nama Bahan	Fungsi
1	Sekam Padi	Sumber silika
2	Akuades	Melarutkan prekursor
3	HNO ₃ 68% (<i>Rp Chemical Product</i>)	Mengubah pH agar sol silika berubah menjadi silika gel
4	NaOH 90% (<i>Rp Chemical Product</i>)	Sumber Na dan pelarut serbuk silika
5	Fe(NO ₃) ₃ ·9 H ₂ O 99% (<i>Merck</i>)	Sumber Fe
6.	Asam Sitrat Monohidrat 100% (<i>Merck</i>)	Agan perekat prekursor

Tabel 3.2. Alat-alat penelitian

No	Nama Alat	Fungsi
1	<i>Beaker Glass</i>	Menampung larutan
2	Spatula	Pengaduk larutan
3	Gelas Ukur	Mengukur volume larutan
4	Labu Ukur	Mengencerkan larutan
5	Labu Refluks	Tempat larutan prekursor yang akan di refluks
6	Labu Erlenmeyer	Menampung sol silika
7	Kondensor Refluks	Tempat air mengalir sebagai pendingin gas yang menguap
8	Kompur Listrik	Memanaskan larutan
9	Termometer	Mengukur suhu larutan
10	<i>Hotplate Magnetic Stirrer</i>	Mengaduk larutan agar homogen dan memanaskan larutan
11	<i>Oven</i>	Mengeringkan gel
12	Timbangan Digital	Menimbang massa bahan
13	Ayakan 200 Mesh	Menyaring serbuk silika
14	Mortar	Menghaluskan serbuk
15	Plastik <i>Wrap</i>	Menutup sampel
16	<i>Aluminium Foil</i>	Tempat gel yang akan di keringkan di oven
17	Kertas Saring	Menyaring sol silika dan gel silika
18	Kertas pH	Mengukur pH larutan
19	Corong	Alat bantu untuk memindahkan larutan
20	Plastik <i>Zipper</i>	Menyimpan serbuk

Tabel 3.3. Alat-alat karakterisasi.

No	Nama Bahan	Fungsi
1	XRD	Analisis struktur kristal
2	iS10 FT-IR <i>Spectrometer</i>	Analisis gugus fungsi
3	LCR	Analisis konduktivitas dan resistansi
4	UV-Vis	Analisis energi <i>band gap</i>

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan pada penelitian ini yaitu preparasi sekam padi, ekstraksi silika dari sekam padi, sintesis $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$, *sintering*, dan karakterisasi.

3.3.1 Preparasi Sekam Padi

Preparasi sekam padi diawali dengan pencucian sekam padi untuk memisahkan dari kotoran-kotoran. setelah dicuci sekam padi direndam selama 1 jam. Selanjutnya, diambil sekam padi yang tenggelam saja dan kembali direndam menggunakan air panas selama 6 jam. Setelah itu, sekam padi dipisahkan dari air rendaman dan kemudian dijemur sampai kering.

3.3.2 Ekstraksi Silika Sekam Padi

Serbuk silika diperoleh dari sekam padi menggunakan metode alkalis mengacu pada metode yang telah dilakukan oleh Amalia (2019). Sebanyak 50 g sekam padi ditambahkan ke dalam 500 ml larutan NaOH 1,5% dan dipanaskan selama 30 menit menggunakan kompor listrik hingga terbentuk sol silika berwarna coklat pekat. Setelah mendapatkan sol silika ini, didiamkan selama 24 jam kemudian disaring menggunakan kertas saring. Selanjutnya menambahkan larutan HNO_3 10% secara perlahan menggunakan pipet tetes hingga pH sol silika 7 atau netral dan membentuk gel. Kemudian silika gel yang telah diperoleh kembali didiamkan selama 24 jam. Selanjutnya, silika gel dicuci menggunakan akuades hingga bersih dan warnanya putih, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ hingga terbentuk silika padatan. Kemudian silika padatan yang telah diperoleh digerus menggunakan mortar dan alu agar menjadi serbuk. Serbuk silika yang telah dihaluskan kemudian diayak menggunakan ayakan 200 *mesh*.

3.3.3 Sintesis Na₂FeSiO₄

Sintesis Na₂FeSiO₄ dilakukan menggunakan metode sol gel mengacu pada metode yang telah dilakukan oleh Amalia (2019). Sampel dibuat dari NaOH 99%, Fe(NO₃)₃.9H₂O 99%, SiO₂ dari sekam padi dan C₆H₈O₇.H₂O 100% dengan perbandingan mol nya 2:1:1:1 sesuai dengan reaksi kimia pada Persamaan (3.1) dan (3.2).



Pertama-tama, sebanyak 0,4 g NaOH, 2,02 g Fe(NO₃)₃.9H₂O, dan 2 g C₆H₈O₇.H₂O masing-masing dilarutkan dalam 10 ml, 25 ml, dan 20 ml akuades. Sebanyak 0,2 g SiO₂ kemudian ditambahkan ke dalam larutan NaOH dan diaduk sambil dipanaskan pada suhu 60 °C selama 30 menit hingga SiO₂ terlarut. Kemudian secara perlahan menambahkan larutan Fe(NO₃)₃.9H₂O kedalam larutan tersebut. Setelah itu, menambahkan larutan C₆H₈O₇.H₂O hingga pH larutan bernilai 1. Campuran larutan kemudian dimasukkan dalam sistem refluks pada suhu 80 °C selama 5 jam dengan terus diaduk menggunakan *hotplate magnetic stirrer* sambil dipanaskan hingga terbentuk larutan berwarna kekuningan. Kemudian larutan tersebut dikeluarkan dari sistem refluks dan dipindahkan kedalam gelas beker untuk terus diaduk sambil dipanaskan dengan *hotplate magnetic stirrer* pada suhu 75 °C agar seluruh pelarut menguap sehingga membentuk gel. Gel ini kemudian dikeringkan dalam *oven* dengan suhu 130°C sampai gel mengering. Selanjutnya gel yang sudah kering digerus menggunakan mortar dan *paste* hingga membentuk serbuk untuk kemudian *disintering*.

3.3.4 Sintering

Sintering dilakukan pada suhu 800 °C dengan kenaikan suhu 3 °C tiap menit dan waktu tahan selama 10 jam. Sampel yang telah *disintering* selanjutnya digerus menggunakan mortar dan *pestle*, untuk selanjutnya diayak menggunakan ayakan 200 *mesh*.

3.3.5 Pembuatan Bahan Komposit Katode dan Kompaksi

Elektrode koin dipreparasi menggunakan bahan material aktif *graphite* dan *carboxymetilcelullose sodium* (CMC) dengan rasio perbandingan persentase seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Komposisi Pembuatan Bahan Komposit Katode dengan Persentase Berat

Sampel	Na ₂ FeSiO ₄ (%)	<i>Graphite</i> (%)	CMC (%)
A	65	25	10
B	60	30	10
C	55	35	10
D	50	40	10

Bahan-bahan yang ditunjukkan pada Tabel 3.4, kemudian dibuat pasta dengan *N-Methyl-2-pyrrolidone* (NMP). Selanjutnya pasta tersebut dikeringkan pada suhu 120 °C di dalam oven selama 10 jam. Sampel yang telah jadi kemudian dikompaksi dengan tekanan 78.400 kPa hingga membentuk pelet.

3.3.6 Analisis Gugus Fungsi

Analisis gugus fungsi Na₂FeSiO₄ menggunakan *iS10 FTIR spectrometer* dengan rentang panjang gelombang 4000-400 cm⁻¹. Pada analisis ini, sampel dipreparasi dengan menggerus serbuk sampel dengan kalium bromida (KBr) kemudian mencetaknya hingga terbentuk pelet. Analisis data dilakukan dengan

membandingkan hasil terhadap tabel bilangan gelombang dan gugus fungsi FTIR serta hasil penelitian-penelitian sebelumnya.

3.3.7 Analisis Struktur Kristal

Struktur $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ yang telah dikarakterisasi menggunakan *X'Pert Powder PW 30/40* dengan radiasi $\text{Cu-K}\alpha$ yang dioperasikan pada 40 kV dan 30 mA. *Step size* yang digunakan adalah $0,02^\circ$ tiap menit pada rentang 2θ mulai dari 10° hingga 100° . Analisis data dilakukan menggunakan metode pencocokan pada perangkat lunak QualX versi 2.24. sampel yang dikarakterisasi berbentuk serbuk.

3.3.8 Analisis Energi *Band Gap*

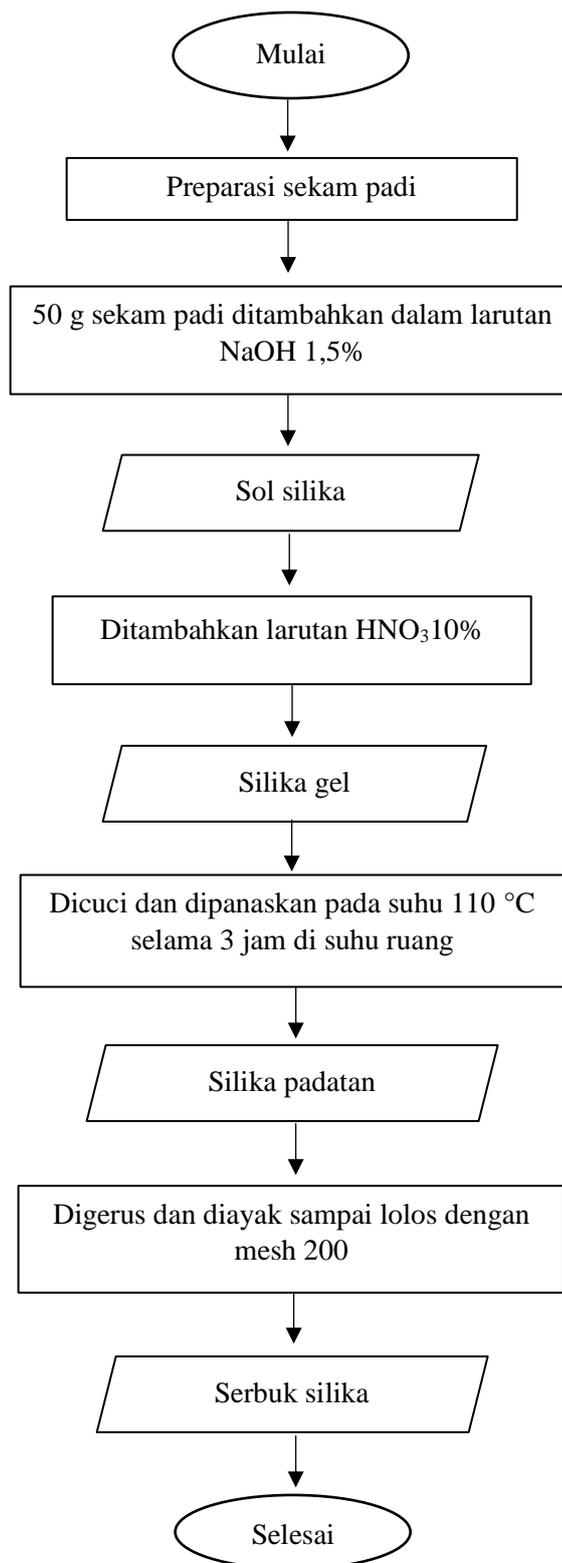
Reflektansi $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dianalisis menggunakan spektrofotometer Uv-Vis dan DRS Shimidzu UV-2450 pada rentang panjang gelombang 200-800 nm. Analisis energi *band gap* kemudian dilakukan dengan mengolah data reflektansi difusi melalui teorema Kubelka-Munk pada Persamaan (2.2) dan (2.3).

3.3.9 Analisis Konduktivitas Listrik

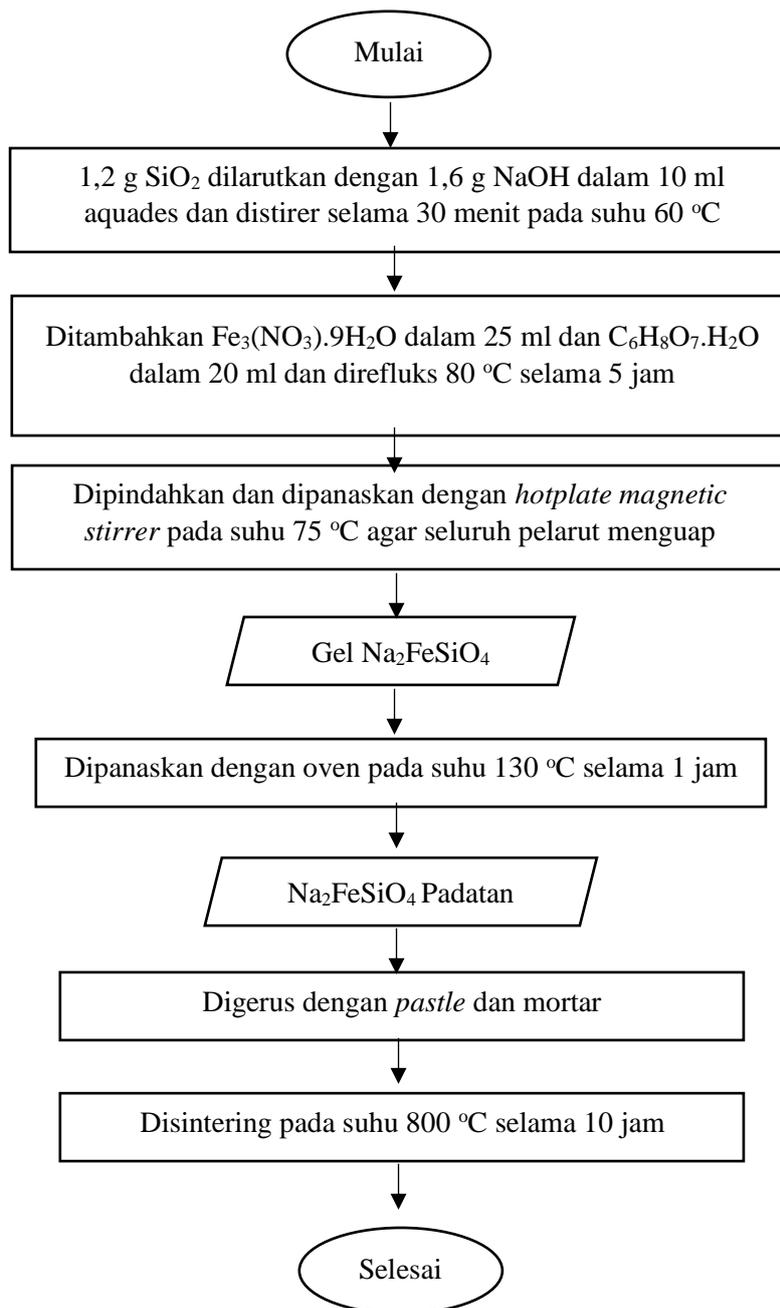
Sebelum dilakukan uji konduktivitas listrik, sebanyak 1,2 g serbuk $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ hasil sintering dikompaksi dengan tekanan 78.000 kPa hingga membentuk pelet. Kemudian, konduktivitas listrik $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ diukur menggunakan LCR meter HIOKI 3520-52 pada rentang frekuensi 0,1 Hz hingga 100 kHz dengan arus AC dan dapat dihitung dengan Persamaan (2.6).

3.4 Diagram Alir

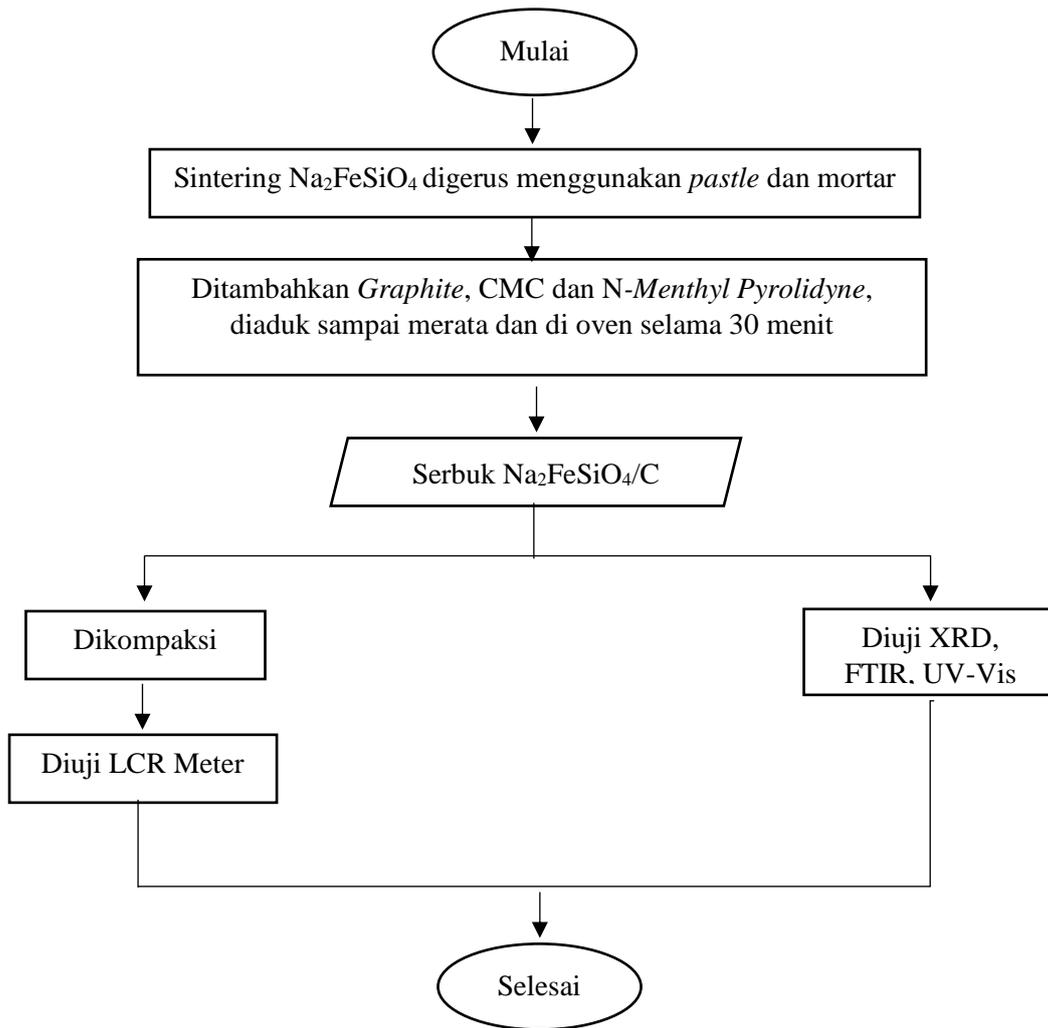
Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1, Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Gambar 3.1. Diagram alir ekstraksi silika dari sekam padi.



Gambar 3.2. Diagram alir sintesis $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$.



Gambar 3.3. Diagram alir pembuatan komposit katode Na₂FeSiO₄/C.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis gugus fungsi dan fasa pada sampel $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ mengindikasikan keberadaan fasa $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$, FeSiO_3 , SiO_2 , dan C.
2. Peningkatan komposisi grafit di dalam sampel, menyebabkan peningkatan persen berat dari fasa C yang didukung dengan semakin tingginya nilai intensitas di $2\theta = 26,56^\circ$ pada difraktogram hasil XRD. Semakin tinggi nilai intensitas grafit menandakan semakin banyak bidang kristal pada fasa grafit.
3. Peningkatan komposisi grafit di dalam sampel, menyebabkan terjadinya penurunan nilai energi *band gap* serta meningkatnya nilai konduktivitas listrik pada sampel, hal tersebut dikarenakan grafit bersifat konduktor dengan nilai *band gap*nya di bawah 0,5 eV serta memiliki nilai konduktivitas yang tinggi dengan nilainya yang mencapai $\sim 10^4$ S/m.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan kemurnian $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ yang tinggi dan memungkinkan terjadinya perubahan fasa serta sifat listriknya diperlukan penelitian lebih lanjut

dengan suhu *sintering* yang lebih tinggi dan perlu dilakukan penambahan waktu pelarutan silika untuk meminimalisir adanya silika yang tidak larut dan menjadi fasa impuritas. Selain itu, perlu dilakukan uji elektrokimia untuk mengetahui karakteristik dan kualitas dari bahan dari polianion $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$, hal ini dapat dilakukan menggunakan beberapa metode, salah satunya *Cyclic Voltametry (CV)*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung M, G. F., Hanafie Sy, M. R. and Mardina, P. 2013. Ekstraksi Silika dari Abu Sekam Padi dengan Pelarut KOH. *Jurnal Konversi*. 2(1): 28-31.
- Altomare, A., Cuocci, C., Falcicchio, A., Moliterni, A., and Rizzi, R. 2008. QUALX: A Computer Program for Qualitative Analysis using Powder Diffraction Data. *Journal of Applied Crystallography*. 41(4): 815–817.
- Amalia, A. R. 2019. Pengaruh Perlakuan Termal terhadap Struktur Kristal dan Karakteristik Sifat Listrik pada Bahan Polianion $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ Berbasis Silika Sekam Padi. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Aminullah, M. W., Setiawan, H., Huda, A., Samaulah, H., Haryati, S., and Bustan, D.M. 2019. Pengaruh Komposisi Material Semikonduktor dalam Menurunkan Energi Band Gap terhadap Konversi Gelombang Mikro. *Jurnal EECCIS*. 13(2): 65–70.
- Bai, Y., Zhang, X., Wang, X., Luo, Z., and Chen G. 2019. Preparation and Performances of Novel $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ Composite with More Stable Polymorph as Cathode Material of Sodium-Ion Batteries. *Journal of Power Sources*. 430: 120–129.
- Bakar, R. A., Yahya, R. and Gan, S. N. 2016. Production of High Purity Amorphous Silica from Rice Husk. *Procedia Chemistry*. 19: 189–195.
- Bianchini, F., Fjellvag, H. and Vajeeston, P. 2017. First-Principles Study of Structural Stability and Electro-Chemical Properties of Na_2MSiO_4 (M = Mn, Fe, Co and Ni) Polymorphs. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 19(2): 14462–14470.
- Bloor, D., and Blythe, A.R. . 1989. *Electrical Properties of Polymers*. Cambridge University Press.
- Chung, D. L. 2002. Graphite. *Journal of Materials Science*. 37(0022-2461): 475–1489.
- Cullity, B. D. 1978 *Element of X-Ray Diffraction Second Edition*. Addition Wesley Publishing Company. Philippines.
- Demazeau, G. 2010. Solvothermal Processes: Definition, Key Factors Governing the Involved Chemical Reactions and New Trends. *Journal of Chemical Science*. 65(8): 999-1006.

- Ghaffari, A. and Bezhad, M. 2018. Facile Synthesis of Layered Sodium Disilicates as Efficient and Recoverable Nanocatalysts for Biodiesel Production from Rapeseed Oil. *Advanced Powder Technology*. 29:(0921-8831): 1265–1271.
- Guan, W., Pan, B., Zhou, P., Mi, J.X., Zhang, D., Xu, J., and Jiang, Y. 2017. A High Capacity, Good Safety and Low Cost $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ -Based Cathode for Rechargeable Sodium-Ion Battery. *Applied Materials and Interfaces*. 9(27): 22369–22377.
- Guo, S.P., Li, J.C., Xu, Q.T., Ma, Z., and Xue, H.G. 2017. Recent Achievements on Polyanion-Type Compounds for Sodium-Ion Batteries: Syntheses, Crystal Chemistry and Electrochemical Performance. *Journal of Power Sources*. 361: 285–299.
- Houston, D. F. 1972. *Rice : Chemistry and Technology/Edited by D.F Houston*. St. Paul: American Association of Cereal Chemists.
- Hunter, B. A. and Howard, C. 1997. *LHPM Manual, A Computer Program for Rietveld Analysis of X-ray and Neutron Powder Diffraction Patterns*. Australian Nuclear Science and Technology Organization. Australia.
- Jain, R., Luthra, V., Aurora, M., and Gokhale, S. 2018. Infrared Spectroscopic Study of Magnetic Behavior of Dysprosium Doped Magnetite Nanoparticles. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*. 32(1557-1947):325–333.
- Jian, Z. and Zhou, H. 2013. Designing High-Capacity Cathode Materials for Sodium-Ion Batteries. *Electrochemistry Communications*. 34: 215–218.
- Kalapathy, U., Proctor, A. and Shultz, J. 2000. A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*. 73(3): 257–262.
- Kaliyappan, K. and Chen, Z. 2018. Facile Solid-State Synthesis of Eco-Friendly Sodium Iron Silicate with Exceptional Sodium Storage Behaviour. *Electrochimica Acta*. 283: 1384–1389.
- Kee, Y., Dimov, N., Staykov, A., and Okada, S. 2016. Investigation of Metastable $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ as A Cathode Material for Na-Ion Secondary Battery. *Materials Chemistry and Physics*. 1–5.
- Leonardo, C., Mariah, A., Wahyu, R., and Hidyat, S. 2015. Kajian Pengaruh Konsentrasi Elektrolit Terhadap Kinerja Baterai Isi Ulang PANi/ H_2SO_4 / PbO_2 . *Prosiding Seminar Nasional Fisika*. 4:15–20.
- Ma, C., Yin, C., Fan, Y., Yang, X., and Zhou, X. 2019. Highly Efficient Synthesis of N-Doped Carbon Dots With Excellent Stability Through Pyrolysis Method. *Journal of Materials Science*. 54(1573-4803): 9372–9384.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R. and Ragadhita, R. 2019. How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*. 4(2527-8045): 97–118.
- Ni, Q., Wu, F., and Wu, C. 2017. Polyanion-Type Electrode Materials for Sodium-Ion Batteries. *Advanced Science*. 4 (3): 1-24.

- Ojeda, J. J. and Dittrich, M. 2012. Fourier Transform Infrared Spectroscopy for Molecular Analysis of Microbial Cells. *Microbial Systems Biology*. 187–211.
- Padhi, A., Nanjundaswamy, K., and Goodenough, J. 1997. Phospo-Olivines as Positive-Electrode Materials for Rechargeable Lithium Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*. 144(4): 1188–1194.
- Palomares, V., Serras, P., Villaluenga, I., Hueso, K.N., and Gonzales, J. C. 2012. Na-Ion Batteries, Recent Advances and Present Challenges to Become Low Cost Energy Storage Systems. *Energy and Environmental Science*. 5(3): 5884–5901.
- Park, H., Song, T., Tripathi, R., Nazar, L.F., and Paik, U. 2014. $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$ /Carbon Nanofiber Cathodes for Li-ion Batteries. *Ionics*. 20(10): 1351–1359.
- Perdana, F. A. 2021. Baterai Lithium. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*. 9(2): 113.
- Putro, A. L. and Prasetyoko, D. 2007. Abu Sekam Padi sebagai Sumber Silika pada Sintesis Zeolit ZSM-5 tanpa Menggunakan Templat Organik. *Akta Kimia*. 3(1): 33–36.
- Rangsamy, V. S., Thayumanasundaram, S., and Loucquet, J.P. 2018. Solvothermal Synthesis and Electrochemical Properties of $\text{Na}_2\text{CoSiO}_4$ and $\text{Na}_2\text{CoSiO}_4$ /Carbon Nanotube Cathode Materials for Sodium-ion Batteries. *Electrochimica Acta*. 276: 102–110.
- Riyanto, A., Sembiring, S., Amalia, A.R., Astika, A., and Marjunus, R. 2020. A Preliminary Study of Phases, Elemental Mapping, and Electrical Properties on $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ Derived from Rice Husk Silica. *Journal of Physics: Conference Series*. 1572(1): 1–9.
- Sajjadi, S. P. 2005. Sol-gel Process and its Application in Nanotechnology. *Journal of Polymer Engineering and Technology*. 13: 38–41.
- Sawicki, B., Tomaszewicz, E., Piatkowska, M., Gron, T., Duda, H., and Gorny, K. 2016. Correlation Between The Band-Gap Energy and The Electrical Conductivity in $\text{Mpr}_2\text{W}_2\text{O}_{10}$ Tungstates (Where M = Cd, Co, Mn). *Acta Physica Polonica A*. 129(1): A94–A96.
- Schubert, U. 2003. Chemical Modification of Titanium Alkoxides for Sol-gel Processing. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 26(1): 47–55.
- Sembiring, S. and Karo-Karo, P. 2007. Pengaruh Suhu Sintering terhadap Karakteristik Termal dan Mikrostruktur Silika Sekam Padi. *Jurnal Sains MIPA*. 13(3): 233–239.
- Suka, I. G., Simanjuntak, W., Sembiring, S., and Trisnawati, E. 2008. Karakteristik Silika Sekam Padi dari Provinsi Lampung yang diperoleh dengan Metode Ekstraksi. *MIPA*. 47–52.
- Tipler, P. A. 1991. *Physics for scientists and engineers*. New York Ed; Third edition. Worth Publisher. New York.
- Yang, J., Kang, X., Hu, L., Gong, X., and Mu, S. 2014. Nanocrystalline- $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$

- Synthesized by Carbon Frameworks as Advanced Cathode Materials for Li-ion Batteries. *Journal of Materials Chemistry A*. 1–8.
- Yu, S., Hu, J. Q., Hussain, M. B., Wu, S. Q., Yang, Y., and Zhu, Z.Z. 2018. Structural Stabilities and Electrochemistry of $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ Polymorphs: First-Principles Calculations. *Journal of Solid State Electrochemistry*. 22(7): 2237–2245.
- Yunasfi, Y., Purwanto, S. and Madesa, T. 2011. Karakterisasi Sifat Listrik Grafit Setelah Iradiasi dengan Sinar Gamma. *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir*. 14(22): 76–80.
- Yuniarti, E., Triwibowo, J. and Suharyadi, E. 2013. Pengaruh PH, Suhu dan Waktu pada Sintesis LiFePO_4/C dengan Metode Sol-Gel sebagai Material Katoda untuk Baterai Sekunder Lithium. *Bimipa*. 23(3): 218–228.
- Zhu, L., Zeng, Y.R., Wen, J., Li, L., and Cheng, T.M. 2018. Structural and Electrochemical Properties of $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ Polymorphs for Sodium-ion Batteries. *Electrochimica Acta*. 292: 190–198.