

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI Fe DAN Ni TERHADAP
PEMBENTUKAN BAHAN KATODE $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$
BERBASIS SILIKA SEKAM PADI**

(Skripsi)

Oleh

Monica Calista



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

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI Fe DAN Ni TERHADAP PEMBENTUKAN BAHAN KATODE $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ BERBASIS SILIKA SEKAM PADI

Oleh

MONICA CALISTA

Bahan katode yang terbuat dari silika sekam padi, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dengan biaya relatif murah, keamanan tingkat tinggi dan ketersediaan sumber daya natrium, nikel yang melimpah. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni terhadap kolerasi antar gugus fungsi, morfologi, unsur penyusun dan konduktivitas listrik pada pembentukan bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ berbasis silika sekam padi. Pembuatan silika sekam padi dari ekstrak sekam padi KOH 5 % untuk membentuk sol silika, ditambahkan HNO_3 10 % untuk membentuk silika gel, dioven 110 °C untuk membentuk silika padatan, digerus untuk mendapatkan serbuk silika. Pembuatan katode menggunakan metode sol-gel, NaOH, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dan SiO_2 dari sekam padi digabungkan kemudian disintering 500 °C dengan variasi komposisi Fe : 0,98; 0,97; 0,96; 0,95 mol dan Ni: 0,02; 0,03; 0,04; 0,05 mol. Gugus fungsi terdiri dari susunan ikatan antar atom pembentuk yaitu Na-O, Fe-O, Ni-O dan Si-O. Morfologi berupa gumpalan tak seragam dengan butirannya cenderung berbentuk balok dan berdiameter kecil. Unsur penyusun yang terkandung pada bahan katode yaitu O, Na, Si, Fe dan Ni. Konduktivitas listrik sampel bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ nilainya berkisar pada orde 10^{-4} hingga 10^{-3} S/m, menunjukkan bahwa bahan katode ini bersifat semikonduktor.

Kata kunci : Bahan katode, *Doping* Ni, konduktivitas listrik, silika sekam padi.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF VARIATIONS IN THE COMPOSITION OF Fe AND Ni ON THE FORMATION OF CATHODE $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ BASED ON RICE HUSK SILICA

By

MONICA CALISTA

The cathode material is made from rice husk silica, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, and $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ with relatively low cost, high safety, and abundant availability of sodium and nickel resources. This research aims to investigate the influence of Fe and Ni composition variations on the correlation between functional groups, morphology, constituent elements, and electrical conductivity in the formation of $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ cathode material based on rice husk silica. The process involves creating rice husk silica through a 5 % KOH extract to form silica sol, adding 10% HNO₃ to create silica gel, heating at 110 °C to form solid silica, and grinding to obtain silica powder. The cathode is produced using the sol-gel method, combining NaOH, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$, and SiO_2 from rice husks, followed by sintering at 500 °C with varying Fe and Ni compositions. Identified functional groups include Na-O, Fe-O, Ni-O, and Si-O bonding arrangements. The morphology exhibits irregular clusters with granules tending to be rectangular and small in diameter. The constituent elements contained in the cathode material are O, Na, Si, Fe and Ni. The electrical conductivity of the cathode material samples $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ values are on the order of 10^{-4} to 10^{-3} S/m, indicating that this cathode material is semiconducting.

Keywords: Cathode material, Ni doping, electrical conductivity, rice husk silica.

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI Fe DAN Ni TERHADAP
PEMBENTUKAN BAHAN KATODE $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ BERBASIS SILIKA
SEKAM PADI**

Oleh

Monica Calista

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar

Sarjana Sains

Pada

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**PROGRAM STUDI SARJANA FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

Judul Proposal : Pengaruh Variasi Komposisi Fe dan Ni Terhadap Pembentukan Bahan Katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ Berbasis Silika Sekam Padi

Nama Mahasiswa : *Monica Calista*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1957041004

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. Syafriadi, M.Si.
NIP. 196108211992031002

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

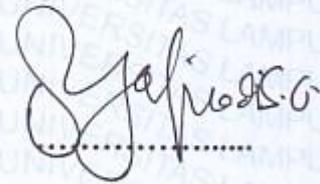
2. Ketua Jurusan Fisika

Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 19801010 2005011002

MENGENSAHKA

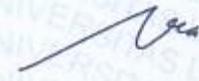
1. Tim Penguji

Ketua : Drs.Syafriadi, M.Si.



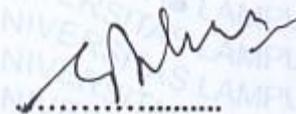
Sekretaris

: Agus Riyanto S.Si.M.Sc.



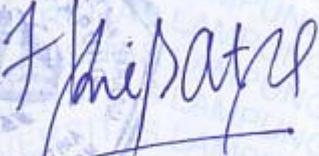
Penguji
Bukan pembimbing

: Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : Rabu, 17 Januari 2024

PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 17 Januari 2024
Penulis,



Monica Calista
Monica Calista
NPM. 1957041004

RIWAYAT HIDUP



Monica Calista lahir di Kota Metro, Lampung pada 20 November 2000. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara dari pasangan bapak Heriyanto dan ibu Betty. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Xaverius Metro pada tahun 2005, SD Xaverius Metro pada tahun 2011, SMP Xaverius Metro pada tahun 2014, dan SMA Kristen Metro pada tahun 2017. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Mandiri pada tahun 2019.

Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pdam Way Rilau Kota Bandar Lampung, dengan judul **“Analisis Kadar Sulfat pada Kualitas Air Bersih di Pdam Way Rilau Kota Bandar Lampung”**. Penulis juga melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung Periode II tahun 2022 di Desa Adirejo, Kecamatan Jabung, Lampung Timur. Penulis melaksanakan penelitian untuk menyusun skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Komposisi Fe dan Ni Terhadap Pembentukan Bahan Katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ Berbasis Silika Sekam Padi”** dibawah bimbingan Bapak Drs.Syafriadi, M.Si. dan Bapak Agus Riyanto S.Si.M.Sc. Selain itu penulis aktif dalam berbagai kegiatan

organisasi sebagai anggota UKMU-Buddha Universitas Lampung tahun 2020, anggota divisi rohani dan jasmani tahun 2021, ketua divisi komunikasi dan informasi tahun 2022, anggota divisi komunikasi dan informasi tahun 2023, anggota divisi seni rupa UKM Bidang Seni Universitas Lampung tahun 2020, Komunitas Pelukis Indonesia tahun 2020, Perupa lampung tahun 2018, Jaringan Pelukis Indonesia dan Komite Seni Rupa tahun 2021.

MOTTO

“Banyak dari kegagalan hidup adalah orang-orang yang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan kesuksesan ketika mereka menyerah”

-Thomas A. Edison-

“Hal hebat tidak dilakukan tiba-tiba, tetapi dilakukan dengan serangkaian hal-hal kecil”

-Vincent Van Gogh-

“Diri sendiri sesungguhnya adalah pelindung bagi diri sendiri. Karena siapa pula yang dapat menjadi pelindung bagi dirinya? Setelah dapat mengendalikan dirinya sendiri dengan baik, ia akan memperoleh perlindungan yang sungguh amat sukar dicari”

- Dhammapada : 160 | XII. Atta Vagga : 4 -

“Keteguhan dan keuletan bagaikan tetesan air yang menembus batu, kesulitan dan rintangan sebesar apa pun akan dapat dilalui”

-Monica Calista

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Sanghyang Adi Buddha Tuhan Yang Maha Esa, Sang Tri Ratna, serta Boddhisatva-Mahasatva, ku persembahkan skripsi ini untuk

Orang Tuaku
Heriyanto dan Betty

Mereka yang selalu memberikan doa, dukungan dalam setiap proses keberhasilan saya, selalu bekerja keras, memberikan yang terbaik untuk saya dan selalu memberi semangat dalam menyelesaikan pendidikan.

KATA PENGANTAR

Terpujilah Sanghyang Adi Buddha Tuhan Yang Maha Esa, Sang Tri Ratna, serta Bodddhisatva-Mahasatva sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi Fe dan Ni Terhadap Pembentukan Bahan Katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ Berbasis Silika Sekam Padi”** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tapi juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 17 Januari 2024

Penulis,

Monica Calista

SANWACANA

Terpujilah Sanghyang Adi Buddha Tuhan Yang Maha Esa, Sang Tri Ratna, serta Boddhisatva-Mahasatva karena berkat pancaran cinta kasih yang tanpa batas serta dukungan karma baik sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul “**Pengaruh Variasi Komposisi Fe dan Ni Terhadap Pembentukan Bahan Katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ Berbasis Silika Sekam Padi**”. Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. sebagai pembimbing I yang telah memberi arahan, masukan, mengajari, membimbing, dan memberi pengarahan terhadap penulis;
2. Bapak Agus Riyanto, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, pengalaman baru, bantuan dan motivasi selama perkuliahan dan penyelesaian skripsi;
3. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. sebagai Dosen Penguji yang telah berkenan memberikan saran dan kritikan yang membangun kepada penulis;

4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung yang telah memfasilitasi penulis dalam melakukan penelitian di lingkungan kampus;
5. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku pembimbing akademik dan Ketua Jurusan Fisika FMIPA Unila;
6. Seluruh dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung atas segala ilmu yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswi di Universitas Lampung;
7. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu memenuhi kebutuhan administrasi penulis;
8. Saudara kandung Max Sugiarto yang selalu memberikan semangat, dukungan, cinta kasih, pengorbanan dan doa untuk penulis;
9. Sahabat- sahabatku atas segala bantuan dalam penyelesaian tugas akhir dan selalu ada disaat senang maupun sedih;
10. Teman-teman jurusan fisika angkatan 2019.

Bandar lampung, 17 Januari 2024
Penulis,

Monica Calista

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xix

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai.....	5
2.2 Katode.....	6
2.3 Silika Sekam Padi	7
2.4 Sodium Besi Silikat ($\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$).....	8
2.5 <i>Doping</i> Nikel pada $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$	10
2.6 Sintesis Katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$	11
2.7 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	13
2.8 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM-EDS)	16
2.9 Uji Konduktivitas Listrik.....	17

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan.....	19
3.3 Prosedur Penelitian.....	21
3.3.1 Preparasi sekam padi.....	21
3.3.2 Ekstraksi silika dari sekam padi	21
3.3.3 Sampel $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$	22
3.3.4 Sintering dan Pelletisasi	24
3.3.5 Karakterisasi	24
3.3.5.1 Gugus Fungsi	24
3.3.5.2 Pembahasan morfologi unsur penyusun	24
3.3.6 Uji konduktivitas listrik.....	25
3.4 Diagram Alir	25

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Variasi Komposisi Fe dan Ni Terhadap Gugus Fungsi, Morfologi, Unsur Penyusun dan Konduktivitas Listrik pada Pembentukan Bahan Katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$	28
4.1.1 Pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni terhadap gugus fungsi pada pembentukan bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$	28
4.1.2 Pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni terhadap morfologi dan unsur penyusun pembentukan bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$	32
4.1.3 Pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni terhadap unsur penyusun pada pembentukan bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$	36
4.1.4 Pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni terhadap konduktivitas listrik pada pembentukan bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$	41
4.2 Korelasi Antar Gugus Fungsi, Morfologi, Unsur Penyusun dan Konduktivitas Listrik sebagai Pengaruh Variasi Komposisi Fe dan Ni pada Pembentukan Bahan Katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ Berbasis Silika Sekam Padi	43
4.2.1 Korelasi antar gugus fungsi dengan morfologi sebagai pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni.....	43
4.2.2 Korelasi antar gugus fungsi dengan unsur penyusun sebagai pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni	43
4.2.3 Korelasi antar gugus fungsi dengan konduktivitas listrik sebagai pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni	44
4.2.4 Korelasi antar morfologi dengan unsur penyusun sebagai pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni	44
4.2.5 Korelasi antar morfologi dengan konduktivitas listrik sebagai pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni	44
4.2.6 Korelasi antar unsur penyusun dengan konduktivitas listrik sebagai pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni.....	45

V . KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	47

DAFTAR PUSTAKA	48
-----------------------------	----

LAMPIRAN	58
-----------------------	----

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Diagram Alir Ekstraksi Silika dari Sekam Padi	26
Gambar 3.2 Diagram Alir Sintesis $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$	27
Gambar 4.1 Grafik FTIR Bahan Katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ (a) Sampel A (b) Sampel B (c) Sampel C (d) Sampel D	29
Gambar 4.2 Morfologi Bahan Katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ Sampel A, B, C, D Menggunakan SEM dengan Perbesaran 3000x.....	33
Gambar 4.3 Diameter Butir Sampel A, B, C, D Menggunakan ImageJ dengan Skala Bar 5 μm	35
Gambar 4.4 Unsur Penyusun Sampel A.....	37
Gambar 4.5 Unsur Penyusun Sampel B	38
Gambar 4.6 Unsur Penyusun Sampel C	39
Gambar 4.7 Unsur Penyusun Sampel D	40
Gambar 4.8 Uji Konduktivitas Listrik Sampel A, B, C dan D dengan Frekuensi 1000-1300 Hz	42

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Bahan-bahan penelitian.....	19
Tabel 3.2 Alat-alat penelitian.	20
Tabel 3.3 Alat-alat uji dan karakterisasi.....	20
Tabel 4.1 Gugus fungsi karakterisasi sampel A, B, C dan D dikomparasi dengan penelitian terkait.....	30
Tabel 4.2 Massa unsur penyusun pada sampel A	38
Tabel 4.3 Massa unsur penyusun pada sampel B	39
Tabel 4.4 Massa unsur penyusun pada sampel C	40
Tabel 4.5 Massa unsur penyusun pada sampel D	41
Tabel 4.6 Nilai konduktivitas listrik bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$	43

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alat penyimpanan energi listrik yang banyak dikembangkan oleh peneliti sekarang ini adalah baterai. Jenis baterai yang banyak digunakan adalah litium ion yang tersusun dari anode, katode, kolektor arus, elektrolit dan separator. Penelitian baterai tentang katode yang biasa digunakan dan bahannya murah, aman serta ramah lingkungan seperti $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$, LiNiMnCoO_2 , $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$. Penggunaan bahan baku silika organik memiliki struktur kristal berbentuk amorf, butiran halus, lebih reaktif, dapat diperoleh dengan cara mudah dengan biaya yang relatif murah, serta didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah dan dapat diperbaharui. Bahan katode $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ berbasis silika sekam padi dengan tingkat kemurnian yang tinggi telah berhasil dibentuk oleh Riyanto (2020) dan Amalia (2019).

Terdapat hubungan yang kuat antara suhu sintering dengan struktur ikatan kimia, struktur kristal, kemurnian dan sifat listrik sampel $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$. Kemurnian 80,67 %wt diperoleh pada sampel yang disinter pada suhu 500 °C dan kemurniannya meningkat seiring dengan kenaikan suhu sintering serta penurunan nilai konduktivitas listriknya. Faktor penyebab meningkatnya kemurnian yaitu peningkatan nilai band gap dan menurunnya volume unit sel dari fasa $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$

seiring dengan kenaikan suhu sintering (Riyanto *et al.*, 2021).

Hasil penelitian Amalia menunjukkan bahwa perlakuan termal (*sintering*) dapat memengaruhi struktur kristal, sifat listrik dan kemurnian fasa $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$. $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ sudah memiliki fasa kristalin mulai dari suhu sintering $500\text{ }^\circ\text{C}$ dengan energi *band gap* 2,21 eV dan konduktivitas listrik $5,95 \times 10^{-5} - 5,96 \times 10^{-5}$ S/m. Nilai konduktivitas listrik berkurang seiring dengan meningkatnya suhu *sintering* dan energi *band gap*nya (Sawicki *et al.*, 2016).

Salah satu penelitian pembentukan bahan katode $\text{NaMn}_{2-x}\text{Co}_x\text{O}_4$ yaitu pengaruh *doping* Co yang ditambahkan dalam bentuk kobalt asetat terhadap konduktivitas padatan memberikan pola yang linier, besarnya konsentrasi *doping* kobalt membuat mobilitas ion Na^+ sebagai motor penggerak semakin lebih leluasa bergerak sehingga lebih banyak menghasilkan arus listrik dan memberikan hasil yang lebih baik yaitu konduktivitas cenderung semakin meningkat (Ardila *et al.*, 2015).

Penelitian ini dilakukan dengan cara pembentukan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ yang *didoping* dengan logam Ni sebagai pelapisan karbon untuk meningkatkan sifat elektrokimia, memperkecil nilai *band gap* sehingga nilai konduktivitas listrik semakin besar, menghasilkan arus listrik yang lebih tinggi. *Doping* Ni dengan variasi komposisi $x = 0,02; 0,03; 0,04; 0,05$ mol digunakan untuk mengurangi peran Fe dan mengetahui pengaruh *doping* Ni pada katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$. Setelah itu dilakukan *sintering* dimulai pada suhu ruang $27\text{ }^\circ\text{C}$ secara bertahap dinaikkan $3\text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$ sampai $500\text{ }^\circ\text{C}$ ditahan selama 10 jam lalu dikarakterisasi gugus fungsi, morfologi, unsur penyusun dan diuji konduktivitas listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni terhadap gugus fungsi, morfologi, unsur penyusun dan konduktivitas listrik pada pembentukan bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ berbasis silika sekam padi?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni terhadap korelasi antar gugus fungsi, morfologi, unsur penyusun, konduktivitas listrik pada pembentukan bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ berbasis silika sekam padi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni terhadap gugus fungsi, morfologi, unsur penyusun dan konduktivitas listrik pada pembentukan bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ berbasis silika sekam padi.
2. Mengetahui pengaruh variasi komposisi Fe dan Ni terhadap korelasi antar gugus fungsi, morfologi, unsur penyusun dan konduktivitas listrik pada pembentukan bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ berbasis silika sekam padi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. *Sintering* menggunakan alat *muffle furnace thermolyne* 2,1 ltr *thermo scientific* FB1410M dimulai pada suhu ruang 27 °C secara bertahap dinaikkan 3 °C/menit sampai 500 °C ditahan selama 10 jam.
2. Silika berbasis sekam padi.

3. $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 99 %, teknis sebagai sumber Fe.
4. $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 99%, teknis sebagai sumber Ni.
5. Variasi komposisi Fe dan Ni yaitu 0,98: 0,02, 0,97: 0,03, 0,96: 0,04, 0,95: 0,05 mol.
6. Karakterisasi sampel menggunakan FTIR dan SEM-EDS.
7. Uji sampel menggunakan LCR meter.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang hendak dicapai pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Memperoleh informasi mengenai pengaruh perlakuan termal terhadap dan konduktivitas listrik, gugus fungsi dan morfologi unsur penyusun pembentukan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$.
2. Dapat memanfaatkan sumber daya alam berupa logam terbesar yang terdapat di Indonesia yaitu nikel.
3. Memanfaatkan sekam padi sebagai bahan ramah lingkungan dalam pembuatan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$.
4. Menjadi referensi bagi penelitian katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ selanjutnya.
5. Mendapatkan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ dengan penghantar listrik dan panas yang cukup baik.
6. Dengan *pendopingan* Ni dapat meningkatkan sifat elektrokimia katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ sebagai pelapisan karbon, menghambat sifat korosi, nilai konduktivitas listrik semakin besar dan menghasilkan energi spesifik yang lebih tinggi

II . TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai

Baterai adalah serangkaian sel galvanik gabungan yang dapat digunakan sebagai sumber arus listrik searah dengan tegangan konstan. Baterai memiliki keuntungan karena sepenuhnya mandiri dan tidak memerlukan komponen tambahan seperti jembatan garam (Overby, 2019). Baterai menurut sifatnya ada 2 yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai memiliki sifat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Baterai primer adalah baterai yang bersifat disposable/sekali pakai. Baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang (Rechargeable Battery) misal baterai telepon genggam (Noer, 2021). Baterai primer tersusun atas tiga komponen penting, yaitu unsur zinc, karbon, campuran MnO_2 (Mangan Dioksida), serbuk karbon dan NH_4Cl (Ammonium Klorida). Baterai memiliki sel elektrokimia yang dapat dibagi menjadi dua, yaitu: sel galvanis dan sel elektrolisa. Sel galvanis, yang juga disebut sel volta, merubah energi kimia menjadi kerja listrik sedangkan sel elektrolisa merubah kerjalistrik untuk menggerakkan reaksi kimia tak spontan. Dalam baterai biasa, komponen kimia terkandung dalam alat itu sendiri. Jika reaktan dipasok dari sumber luar ketika dikonsumsi, alat ini disebut sel bahan bakar (fuel cell). Komponen utama sebuah baterai terdiri dari dua bahan konduktor tak sejenis (elektroda) yang dicelupkan dalam larutan yang mampu

menghantarkan listrik (elektrolit). Salah satu elektroda akan bermuatan listrik positif dan yang lain negatif. Ujung elektroda yang menonjol diatas elektrolit dikenal sebagai terminal positif dan terminal negatif. Ketika kedua terminal dihubungkan dengan kawat konduktor (misal : tembaga), arus listrik akan mengalir melalui kawat dari terminal negatif ke positif. Beda potensial atau tekanan listrik antar terminal tergantung pada bahan elektroda dan elektrolit dan diukur dalam volt (Anon, 2013). Dalam komponen penting baterai memiliki unsur kimia yang dapat membahayakan dan mencemari lingkungan dan termasuk dalam kategori limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Bahan kimia yang terkandung didalamnya seperti merkuri, timbal, nikel, lithium dan kadmium sering ditemukan dalam baterai primer (Nasution, 2021).

2.2 Katode

Katode merupakan elektroda yang fungsinya mengumpulkan ion serta material aktif. Karakteristik yang harus dipenuhi pada material yang digunakan sebagai katoda terdiri dari ion yang mudah melakukan reaksi reduksi dan oksidasi, memiliki konduktivitas yang tinggi seperti logam, memiliki kerapatan energi yang tinggi, memiliki kapasitas energi yang tinggi, memiliki kestabilan yang tinggi (tidak mudah berubah strukturnya atau terdegradasi baik saat pemakaian maupun pengisian ulang), harganya murah dan ramah lingkungan. Pada tahun 1980 material LiCoO_2 menjadi kandidat material pertama yang digunakan sebagai katode pada Lithium-Ion Battery. Kerapatan energi yang dimiliki LiCoO_2 sebesar 140 A.h/kg. Material tersebut memiliki kestabilan yang rendah dan harganya relative mahal.

Performa katoda mengalami peningkatan, beberapa penelitian yang dilakukan antara lain membuat katoda dari LiMO_2 ($M = \text{Co}$ (Cobalt); Ni (Nikel) ; Mn (Mangan); dan lainnya). LiMO_2 tersebut dibentuk dalam bentuk layer-layer (seperti pada gambar 1). Material yang digunakan sebagai katode dibentuk dalam bentuk spinel LiM_2O_4 ($M : \text{Mn}$ (Mangan)); serta olivine LiMPO_4F ($M : \text{Fe}$) (Bo Xu, 2012). Beberapa jenis material yang dapat digunakan untuk katoda dengan besar kapasitas energinya yang dapat disimpan (Fadli Rohman, 2012:92).

2.3 Silika Sekam Padi

Silika sekam padi dapat dibentuk menjadi silika gel. Silika gel adalah polimer asam silikat dengan berat molekul yang besar dan banyak menyerap air sehingga berbentuk padat kenyal. Silika amorf ini terdiri atas globula-globula SiO_4 tetrahedral yang tidak teratur dan butiran material membentuk kerangka tiga dimensi (Oscik, J, 1982). Silika yang dihasilkan dari sekam padi memiliki beberapa kelebihan, silika sekam padi memiliki struktur amorf, dan lebih reaktif (Soepardi *et al.*, 1982). Silika sekam padi dapat diperoleh dalam bentuk amorf dengan menggunakan larutan KOH 5% pada pH netral dan diendapkan dalam larutan HCl 10% dengan kemurnian relatif tinggi. Selain KOH dan HCl silika dapat diperoleh dengan larutan alkalis seperti, natrium hidoksil (NH_4OH), natrium hidroksida (NaOH) dan pengendapan silika terlarut menggunakan asam sulfat (H_2SO_4), asam sitrat dan asam oksalat (Daifullah *et al.*, 2003; 2004; Della *et al.*, 2002). Silika dari sekam padi memiliki kestabilan termal yang baik dengan karakteristik yang dapat dimodifikasi melalui perlakuan termal. Berdasarkan penelitian, kemurnian silika

dari sekam padi mampu mencapai 95-100 % (Suka *et al.*, 2008; Saceda *et al.*, 2011; Bakar *et al.*, 2016).

Silika dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar penguat keramik diantaranya borosilikat (Riyanto *et al.*, 2009), aluminosilikat (Riyanto *et al.*, 2017) karbosil (Simanjuntak *et al.*, 2012) dan dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan baterai (Shen, 2017). Untuk melakukan ekstraksi silika dari sekam padi dibutuhkan proses yang tepat agar kemurnian silika yang dihasilkan lebih baik dengan metode sol-gel (Meliyana *et al.*, 2019). Metode sol-gel adalah metode sederhana yang hemat energi tidak memakan waktu lama dan juga dapat menjadi alternatif dalam pembuatan silika sekam padi (Dewanto *et al.*, 2014). Proses ini merubah larutan sodium silikat menjadi gel menggunakan asam kuat (Muslim *et al.*, 2017).

2.4 Sodium Besi Silikat ($\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$)

Sodium besi silikat saat ini sedang dikembangkan sebagai pengganti lithium (Duncan *et al.*, 2011). $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ sebagai material polianion yang tersusun atas unit-unit anion NaO_4 , FeO_4 , dan SiO_4 tetrahedra. Struktur $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ berupa jaringan terdistorsi hexagonal close packing (HCP) dari ionion oksigen yang separuh dari sisi tetrahedranya ditempati oleh Na, Fe, dan Si (Yu *et al.*, 2018). Natrium sebagai salah satu alternatif lain pengganti lithium karena dapat digunakan sebagai komponen ion baterai yang memiliki kemampuan penyimpanan tinggi dengan biaya murah dan keberadaannya sangat melimpah dibandingkan dengan lithium (Treacher *et al.*, 2016).

Secara teori $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ memiliki kapasitas lebih rendah dibandingkan dengan $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$. $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ memiliki konduktivitas ionik lebih baik dari $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$, memiliki bentuk polimorf yang cenderung membentuk struktur dengan kerangka tiga dimensi (3D) FeO_4 dan SiO_4 tetrahedral, memiliki karakteristik perubahan volume yang lebih kecil, mobilitas ionik 3D, sifat mekanik lebih baik yang dapat menghasilkan kinerja elektrokimia lebih tinggi (Bianchini *et al.*, 2017; Zhu *et al.*, 2018).

$\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dimanfaatkan menjadi katode didasarkan pada berbagai sifat unggul yang dimilikinya. $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ juga memiliki stabilitas kimiawi dan struktur yang sangat baik. $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ dapat disintesis menggunakan beberapa jenis metode, yaitu metode solvotermal, metode padatan (*solid state*) dan metode sol gel. $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ berhasil disintesis menggunakan metode sol gel dengan NaOH , SiO_2 , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ sebagai prekursor dengan variasi suhu sintering 500 °C, 600 °C, 700 °C dan 800 °C dengan nilai energi band gap cukup rendah yaitu 2,21 eV – 2,58 eV, nilai konduktivitas listrik menurun seiring dengan bertambahnya suhu yaitu $5,95 \times 10^{-5}$ – $5,45 \times 10^{-5}$ S/m ditinjau dari konduktivitas listriknya $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ termasuk dalam material semikonduktor (Riyanto *et al.*, 2020).

2.5 Doping Nikel pada $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$

Modifikasi bahan katode dengan *doping* berbagai logam terbukti dapat menghambat turunnya kapasitas dan meningkatkan kinerja elektrokimianya. *Doping* memberikan efek kinerja elektrokimia menjadi lebih baik karena dapat melemahkan efek distorsi Jahn-Teller, meningkatkan stabilitas struktur dan dapat

meningkatkan kinerja baterai (Dong *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2013). *Doping* nikel dapat menurunkan parameter kisi, konduktivitas listrik dan dapat meningkatkan kapasitas baterai (Dong, 2009; Dou, 2010; Gu, 2012).

$\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ selalu membatasi reaktivitas elektrokimianya karena konduktivitas elektronik yang buruk, sampai saat ini belum ada solusi efektif yang ditemukan. Pada penelitian Yansong Bai, nanosfer $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4\text{C}$ tersubstitusi Ni (50–100 nm) yang dikemas dengan kerangka berpori hierarkis 3D (dinamakan sebagai konfigurasi seperti alveolasi) yang dibangun menggunakan karbon disintesis melalui metode sol-gel yang mudah. Efek substitusi Ni dikombinasikan dengan desain jaringan karbon yang unik pada sifat penyimpanan Na dinilai secara sistematis, berfokus pada mengurangi cacat yang melekat pada bahan katode $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$. Karakterisasi yang digunakan difraksi sinar-X, mikroskop elektron transmisi, spektroskopi fotoelektron sinar-X digabungkan dengan pengukuran elektrokimia. Perhitungan prinsip pertama, digunakan untuk mengeksplorasi struktur, morfologi, dan perilaku elektrokimia sebagai bahan yang telah disiapkan. Hasilnya menunjukkan bahwa sinergi antara substitusi Ni dan konfigurasi seperti alveolasi khusus memungkinkan mobilitas ion Na^+ yang cepat (dari 10^{-14} menjadi $10^{-12}\text{cm}^2\text{s}^{-1}$), mengurangi energi celah pita (dari 2,82 menjadi 1,79 eV) dan menurunkan Na^+ penghalang difusi ion, akhirnya membalas kinetika elektrokimia yang kuat dari elektroda. Metodologi efektif yang digunakan dalam penelitian ini membuka jalur potensial untuk sintesis bahan katode silikat dengan sifat elektrokimia yang sangat baik (Bai *et al.*, 2020).

2.6 Sintesis Katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$

Sintesis $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ dilakukan menggunakan metode sol gel mengacu pada metode yang telah dilakukan oleh Meenakshi *et al.*, (2016) dan Zhou *et al.*, (2013). Sampel dibuat dari NaOH 99% (Rp Chemical Product), $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 99 % (Merck), SiO_2 dari sekam padi, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 100 % (Merck) dan Nikel asetat $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dengan perbandingan mol 2 : 1-x : x : 1:1. Proses ekstraksi silika dari sekam padi bertujuan memperoleh serbuk silika yang digunakan sebagai salah satu bahan sintesis $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$. Proses ekstraksi silika dimulai dengan menambahkan larutan NaOH kedalam sekam padi. Hal ini dilakukan karena silika larut dalam suasana basa dan mudah mengendap ketika ditambahkan asam. Sekam padi ditambahkan dengan larutan NaOH yang disertai dengan pengadukan dalam kondisi panas untuk mempermudah proses pelarutan SiO_2 . Reaksi antara silika dan larutan NaOH akan menghasilkan larutan Na_2SiO_3 (Ghosh and Bhattacharjee, 2013) dilihat pada Persamaan 2.1

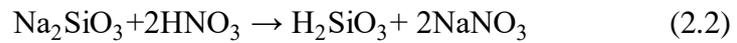


$$\Delta G = -1427 \text{ kJ/mol}$$

(Ghosh and Bhattacharjee, 2013)

Silika dari sekam padi dalam larutan NaOH menghasilkan larutan natrium silikat yang dipisah dengan cara penyaringan. Filtrat yang diperoleh direaksikan dengan larutan HNO_3 yang berfungsi mengikat SiO_2 dan menghasilkan SiO_2 berbentuk gel yang berwarna putih. Penambahan larutan asam untuk mengikat silika dan dapat

menghilangkan pengotor-pengotor anorganik yang terkandung di dalam sekam padi. Reaksi yang terbentuk dilihat pada Persamaan 2.2.



$$\Delta G = -128,32 \text{ kJ/mol}$$

(Ghosh dan Bhattacharjee, 2013)

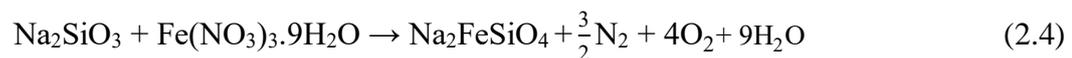
Penambahan larutan HNO_3 untuk mengendapkan silika. Larutan asam lain seperti asam klorida dan asam nitrat dapat digunakan sebagai agen pengendap. Pengendapan ditandai dengan terbentuknya endapan gel pada larutan. Silika dapat membentuk gel pada pH netral. Endapan silika yang diperoleh dicuci menggunakan akuades panas secara berulang sehingga didapatkan silika serbuk berwarna putih (Setiadji *et al.*, 2017) dilihat pada Persamaan 2.3.



$$\Delta G = -856,674 \text{ kJ/mol}$$

(Ghosh dan Bhattacharjee, 2013)

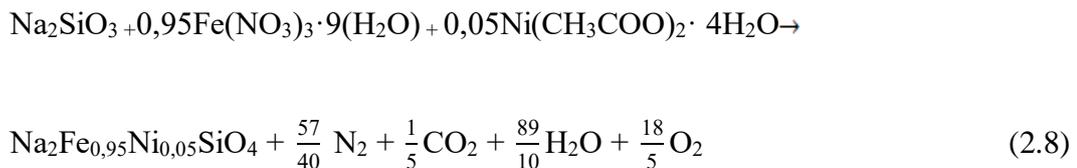
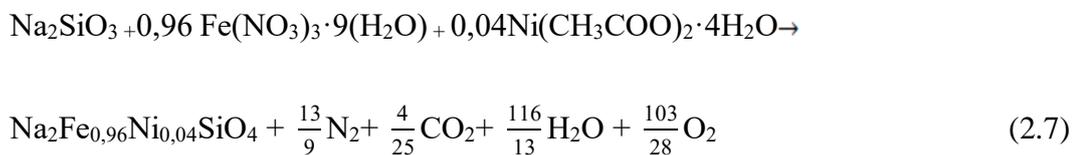
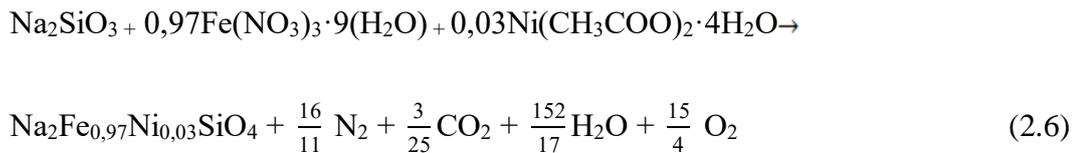
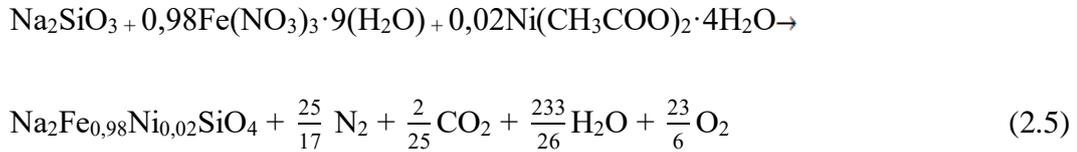
Proses sintesis $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ memenuhi persamaan reaksi kimia yang dilihat pada Persamaan 2.4.



$$\Delta G = +1765,364 \text{ kJ}$$

(Suhesti, 2021).

Proses sintesis $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ dengan nilai x : 0,02; 0,03; 0,04; 0,05 memenuhi persamaan reaksi kimia yang dilihat pada Persamaan 2.5, 2.6, 2.7 dan 2.8.



2.7 Fourier Transform Infrared (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis suatu material secara kualitatif maupun kuantitatif dengan memanfaatkan spektra inframerah. Hasil analisis FTIR berupa spektrum energi yang diserap dimana frekuensi cahaya inframerah tersebut berupa gelombang monokromatis. Radiasi gelombang elektromagnetik adalah energi yang dipancarkan dapat menembus ruang dalam gelombang-gelombang atau paket-paket energi dimana tipe radiasi gelombang elektromagnetik dicirikan oleh panjang

gelombang (λ) atau frekuensi (ν) dari gelombang tersebut. Panjang gelombang diukur dalam meter, $1/\lambda$ melambangkan jumlah gelombang rangkaian gelombang yang ditemukan dalam panjang satu meter. Secara matematis, bilangan gelombang untuk menyatakan jumlah radian dalam satuan jarak, dilihat pada Persamaan 2.9.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.9)$$

Spektroskopi inframerah merupakan suatu metode yang dapat mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75-1.000 μm atau pada bilangan gelombang 13.000-10 cm^{-1} . Metode ini merupakan suatu metode yang melibatkan proses penyerapan (*absorption*), emisi (*emission*) dan fluoresensi (*fluorescence*). Penyerapan pada gelombang elektromagnetik dapat menyebabkan terjadinya eksitasi tingkat energi dalam molekul, vibrasi, atau rotasi pada suatu material (Sembiring *and* Simanjuntak, 2015). Secara matematis, besarnya energi vibrasi (J) dilihat pada Persamaan 2.10.

$$E = h\nu \quad (2.10)$$

E adalah energi (J), h adalah konstanta Planck ($6,62 \times 10^{-34} \text{ Js}^{-1}$), dan ν adalah frekuensi vibrasi (Hz) (Coates, 2006). Dengan mengandaikan bahwa atom-atom yang saling berikatan dalam molekul merupakan titik massa yang dihubungkan dengan sebuah pegas, besarnya frekuensi vibrasi (cm^{-1}), dapat dilihat dalam Persamaan 2.11.

$$\nu = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{k(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}} \quad (2.11)$$

u adalah frekuensi vibrasi (cm^{-1}), c adalah kecepatan cahaya ($3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$), m_1 adalah massa atom 1 g, m_2 adalah massa atom 2 g, dan k adalah konstanta gaya ikat antaratom (g/s^2). Besarnya frekuensi vibrasi ini bergantung pada kuat ikatan antaratomnya (Berthomieu *and* Hienerwadel, 2009).

Prinsip kerja FTIR adalah ketika radiasi gelombang elektromagnetik mengenai suatu bahan atau material dengan cara merefleksikan sinar inframerah yang melalui tempat kristal sehingga terjadi kontak dengan permukaan maka akan terjadi penyerapan energi oleh atom-atom atau molekul-molekul dari bahan tersebut. Penyerapan sinar tersebut mengakibatkan tereksitasinya elektron dari tingkat energi. FTIR memiliki resolusi sensitivitas 80-200 kali lebih tinggi dari instrumentasi dispersi standar (Kroschwitz, 1990). Pada FTIR digunakan suatu interferometer yang terdiri dari beam splitter dan cermin datar. Beam splitter digunakan untuk memecah dan menyatukan kembali berkas sinar karena sifatnya dapat meneruskan (transmisi) dan memantulkan (refleksi) sinar yang mengenainya. Interferometer ini akan memberikan sinyal ke detektor sesuai dengan intensitas frekuensi vibrasi molekul. Informasi yang keluar dari detektor diubah secara digital dalam komputer.

Analisis gugus fungsi FTIR telah banyak digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi pada suatu material tertentu Riyanto (2020) telah melakukan penelitian $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ sebagai bahan katode sodium silikat. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut menunjukkan adanya kemunculan puncak serapan yang terkait dengan gugus fungsi dalam senyawa $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$. Puncak serapan pada gelombang $972,12 \text{ cm}^{-1}$ dan $872,54 \text{ cm}^{-1}$ masing-masing karena getaran ulur SiO_4 yang disebabkan oleh

getaran ulur apikal oleh Si-O tetrahedra. Getaran ikatan Fe-O muncul pada puncak bilangan gelombang $640,37 \text{ cm}^{-1}$ dan $509,21 \text{ cm}^{-1}$ yang disebabkan oleh FeO_4 tetrahedra. Puncak serapan juga muncul pada $432,05 \text{ cm}^{-1}$ yang disebabkan oleh getaran tekuk Na-O dari NaO_4 tetrahedra.

2.8 Scanning Electron Microscope (SEM - EDS)

Metode analisis umumnya menampilkan hasil berupa grafik seperti difraktogram pada XRD. Akan tetapi, pengembangan metode karakterisasi telah menghasilkan instrumen yang mampu menampilkan morfologi dan ukuran sampel dengan perbesaran yang dapat disesuaikan. Instrumen tersebut berupa mikroskop elektron yang mulai dikembangkan sejak diketahui bahwa elektron dapat dibelokkan oleh medan magnet pada tahun 1890. Salah satu jenis mikroskop elektron tersebut berupa *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Prinsip kerja SEM dengan penggunaan cahaya resolusi 2000 \AA untuk memperbesar sudut visual melalui lensa optik. Penembak elektron diadaptasi dari tabung sinar katode sehingga berkas elektron yang dihasilkan ditarik oleh anoda dan diteruskan melalui lensa magnetik menuju detektor elektron hamburan balik (pantul). Pada bagian ini citra sampel sudah mulai terbentuk tetapi hasil yang diperoleh belum cukup jelas. Penggunaan detektor elektron sekunder akan meningkatkan kualitas citra sampel sehingga pengamat dapat mengetahui struktur morfologi secara spesifik. SEM berfungsi untuk menganalisis morfologi mikrostruktur dan karakterisasi komposisi kimia (Zhou *et al.*, 2006).

SEM harus dioperasikan dengan pengaturan parameter elektron seperti *high voltage*, *spot size*, *bias* dan *beam current* juga parameter optik seperti kontras, fokus dan *astigmatismus* yang tepat sehingga diperoleh hasil gambar yang optimal secara ilmiah dan tidak memberikan interpretasi ganda. Proses pengambilan gambar dan analisis kimia dengan SEM sangatlah dipengaruhi oleh jenis sampel berikut cara penanganannya serta teknik preparasinya disamping kemampuan operasional dari operator nya (Sujatno *et al.*, 2015). *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS) digunakan untuk menganalisis struktur mikro guna mengetahui *formability* hasil penyambungan dengan metode *Torch Brazing* pada aluminium seri 6061 dengan fillera lusol dan filler lokal menggunakan variasi jarak (gap) 0,1 mm dan 0,2 mm (Nugroho, 2020). Contoh hasil pengamatan morfologi menggunakan SEM pada sampel NaFePO_4 dengan variasi suhu kalsinasi sebesar 550 °C, 600 °C, dan 650 °C. Sampel memiliki distribusi partikel yang berbeda dan tidak seragam. Sampel yang dikalsinasi pada suhu 550 °C terlihat seperti jarum yang saling beraglomerasi, sedangkan sampel yang dikalsinasi pada suhu 600 °C terlihat bentuk seperti bunga karang yang beraglomerasi hanya saja distribusi partikelnya sedikit merata. Sampel yang dikalsinasi pada suhu 650 °C terlihat bentuk seperti bunga karang dan hanya sedikit partikel yang beraglomerasi serta distribusi partikelnya terlihat lebih merata apabila dibandingkan dengan kedua sampel sebelumnya (Zhao *et al.*, 2017).

2.9 Uji Konduktivitas Listrik Katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$

Konduktivitas listrik merupakan kemampuan bahan dalam menghantarkan arus listrik. Faktor-faktor yang mempengaruhi konduktivitas listrik yaitu konduktivitas serbuk, fraksi volume dan karakteristik serbuk seperti ukuran, bentuk, luas

permukaan, distribusi dan orientasi serbuk pengisi. Konduktivitas listrik ditentukan berdasarkan kontak antar serbuk di dalam matriks polimer. Metode fabrikasi dan kondisi pembuatan komposit memainkan peranan penting dalam konduktivitas karena mempengaruhi penyebaran, orientasi dan jarak antar serbuk di dalam matriks polimer (Kalaitzidou *et al.*, 2010). Konduktivitas listrik memiliki efek yang besar pada resistivitas suatu material. Resistivitas suatu bahan berbanding terbalik dengan konduktivitasnya. Material yang memiliki nilai resistivitas besar akan sulit menghantarkan arus listrik, sedangkan material yang memiliki resistivitas rendah, maka memiliki konduktivitas yang tinggi. 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 suatu bahan dapat diketahui menggunakan LCR meter. LCR meter adalah sebuah perangkat elektronika yang digunakan untuk mengukur induktansi (L), kapasitansi (C), dan resistansi (R) dari suatu komponen. Prinsip kerja dari alat adalah dimana nilai yang sebenarnya dari beberapa jenis pengukuran tidak diukur, melainkan yang diukur adalah impedansi, impedansi diukur secara internal dan dikonversi ke layar penampil pengukuran yang dikonversikan ke kapasitansi atau nilai induktansi yang sesuai. LCR meter terhubung pada sebuah monitor dengan software dan menggunakan frekuensi sebagai sumbernya. Pengukuran menggunakan LCR menampilkan nilai resistansi masing-masing sampel. Berdasarkan nilai resistansi, ketebalan sampel dan luas penampang maka dapat dihitung besar nilai konduktivitas listrik yang ditunjukkan pada Persamaan 2.12

$$\sigma = G \frac{l}{A} \quad (2.12)$$

dengan σ adalah konduktivitas listrik (S/m), L adalah ketebalan sampel (m), G adalah konduktansi (Siemens), dan A adalah cross section permukaan sampel (m²). Pengujian sampel Na₂FeSiO₄ dilakukan dengan menggunakan LCR meter pada rentang frekuensi 1 Hz – 1x10⁵ Hz

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 Mei hingga Juli 2023. Melewati proses preparasi sampel, lalu *sintering* dilakukan di Laboratorium Fisika Material, jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Sampel-sampel dikarakterisasi menggunakan alat Fourier Transform Infrared (FTIR), Scanning Electron Microscope (SEM) dan diuji konduktivitas listrik di Laboratorium Institut Teknologi Bandung.

3.2 Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini dilihat pada **Tabel 3.1** sedangkan alat-alat yang digunakan terdapat 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	Pelarut prekursor
3	KOH 90% (teknis)	Pelarut silika pada sekam padi
4	HNO ₃ 68% (teknis)	Pelarut <i>sol</i> silika menjadi silika <i>gel</i>
5	NaOH 90% (teknis)	Pelarut serbuk silika

6	Fe(NO ₃).9H ₂ O 99% (teknis)	Sumber Fe
7	Asam Sitrat Monohidrat 100% (analisis)	Perekat prekursor
8	Ni(CH ₃ COO) ₂ ·4H ₂ O 99% (teknis)	Sumber Ni

Tabel 3.2 Alat-alat Preparasi

No	Nama Alat	Fungsi
1	<i>Beaker glass</i>	Penampung larutan
2	Spatula	Pengaduk larutan
3	Gelas ukur	Pengukur volume larutan
4	Labu ukur	Pengencer larutan
5	Labu refluks	Tempat larutan prekursor yang akan di refluks
6	Labu erlenmeyer	Penampung <i>sol</i> silika
7	Kondensor refluks	Tempat air mengalir sebagai pendingin gas yang menguap
8	Kompur listrik	Pemanas larutan
9	Termometer	Pengukur suhu larutan
10	<i>Hotplate magnetic stirrer</i>	Pengaduk larutan agar homogen dan Pemanas larutan
11	<i>Oven</i>	Pengering <i>gel</i>
12	<i>Neraca analitic</i>	Penimbang massa bahan
13	Ayakan 200 <i>mesh</i>	Penyaring serbuk silika
14	<i>Mortar dan Pastle</i>	Penghaluskan serbuk
15	Plastik <i>wrap</i>	Penutup sampel
16	<i>Aluminium foil</i>	Tempat <i>gel</i> yang akan di keringkan di <i>oven</i>
17	Kertas saring	Penyaring <i>sol</i> silika dan <i>gel</i> silika
18	Kertas pH	Pengukur pH larutan
19	Corong	Alat bantu untuk pemindah larutan
20	<i>Muffle furnace thermolyne</i> 2,1 ltr <i>thermoscientific</i>	<i>Sintering</i> sampel
21	Plastik <i>zipper</i>	Penyimpan serbuk

Tabel 3.3 Alat-alat Karakterisasi dan Uji

No	Nama Alat	Fungsi
1	IR Prestige-21 <i>Fourier Transform Infrared</i>	Analisis gugus fungsi
2	<i>Spectrophomete</i> (SHIMADZU) JEOL-JSM 6510 <i>Scanning Electron Microscop</i>	Analisis morfologi dan unsur penyusun
3	Intek LCR-800 (LCR-821) LCR Meter	Analisis konduktivitas listrik

3.3 Posedur Penelitian

3.3.1 Preparat sekam padi

Sekam padi dipilih yang terbaik dan dibersihkan dari kotoran. Sekam padi yang sudah dibersihkan dari kotoran, dicuci hingga bersih dan direndam selama 1 jam. Sekam padi yang mengapung dibuang dan diambil yang tenggelam saja. Sekam padi yang tenggelam tersebut kemudian direndam kembali menggunakan air panas selama 6 jam, ditiriskan dan dijemur hingga kering.

3.3.2 Ekstrak silika dari sekam padi

Serbuk silika diekstrak dari sekam padi dengan metode alkalis yang telah dilakukan oleh Sembiring dan Karo Karo (2007) dan Suka *et al.*, (2008). Sekam padi sebanyak 50 g ditambahkan ke dalam 500 ml larutan KOH 5% dan dipanaskan selama 30 menit hingga terbentuk sol silika berwarna coklat pekat. Sol ini didiamkan selama 24 jam, disaring menggunakan kertas saring. Larutan HNO₃ 10% ditambahkan secara perlahan-lahan kedalam sol tersebut hingga pH larutan bernilai 7 dan terbentuk silika gel. Silika gel didiamkan selama 24 jam sebelum dicuci menggunakan akuades. Silika gel yang telah dicuci hingga bersih, dikeringkan menggunakan *oven* pada suhu 110 °C hingga terbentuk silika padatan. Silika padatan digerus sehingga menjadi serbuk silika menggunakan *mortar* dan *pestle*. Serbuk silika yang telah dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 200 *mesh*.

3.3.3 Sampel $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$

Sintesis $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ dilakukan menggunakan metode sol-gel yang telah dilakukan oleh Meenakshi *et al.* (2016) dan Zhou *et al.* (2013). Sampel dibuat dari NaOH 90%, $\text{Fe}_3(\text{NO}_3)_9 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 99%, $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 99%, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 100% dan SiO_2 dari sekam padi sesuai dengan tinjauan pustaka 2.5 menggunakan perbandingan mol 2 : 1-x : x : 1:1 sesuai dengan reaksi kimia pada persamaan 2.1 dan 2.5 sampai 2.8. Untuk variabel $x = 0,02$ mol dengan penamaan sampel A digunakan 1,6 g NaOH, 9,898 g $\text{Fe}_3(\text{NO}_3)_9 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 0,1 g $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ dan 2 g $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ masing-masing dilarutkan dalam 10 ml, 25 ml, 20 ml dan 20 ml akuades. Sebanyak 1,2 g SiO_2 kemudian ditambahkan ke dalam larutan NaOH, dan diaduk sambil dipanaskan pada suhu 60°C selama 30 menit hingga SiO_2 larut. Larutan $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ditambahkan ke dalam larutan tersebut secara perlahan. Setelah itu ditambahkan larutan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ hingga pH larutan bernilai 1.

Variabel $x = 0,03$ mol dengan penamaan sampel B digunakan 1,6 g NaOH, 9,797 g $\text{Fe}_3(\text{NO}_3)_9 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 0,149 g $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan 2 g $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ masing-masing dilarutkan dalam 10 ml, 25 ml, 20 ml dan 20 ml akuades. Sebanyak 1,2 g SiO_2 kemudian ditambahkan ke dalam larutan NaOH, dan diaduk sambil dipanaskan pada suhu 60°C selama 30 menit hingga SiO_2 larut. Larutan $\text{Fe}_3(\text{NO}_3)_9 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ditambahkan ke dalam larutan tersebut secara perlahan. Setelah itu ditambahkan larutan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ hingga pH larutan bernilai 1.

Kemudian Untuk $\text{Fe}_3(\text{NO}_3)_9\text{H}_2\text{O}$ variabel $x = 0,04$ mol dengan penamaan sampel C digunakan 1,6 g NaOH, 9,696 g $\text{Fe}_3(\text{NO}_3)_9\text{H}_2\text{O}$, 0,199 g $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan 2 g $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ masing-masing dilarutkan dalam 10 ml, 25 ml, 20 ml dan 20 ml akuades. Sebanyak 1,2 g SiO_2 kemudian ditambahkan ke dalam larutan NaOH, dan diaduk sambil dipanaskan pada suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$ selama 30 menit hingga SiO_2 larut. Larutan dan $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ditambahkan ke dalam larutan tersebut secara perlahan. Setelah itu ditambahkan larutan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ hingga pH larutan bernilai 1.

Pada variabel $x = 0,05$ mol dengan penamaan sampel D digunakan 1,6 g NaOH, 9,595 g $\text{Fe}_3(\text{NO}_3)_9\text{H}_2\text{O}$, 0,249 g $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan 2 g $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ masing-masing dilarutkan dalam 10 ml, 25 ml, 20 ml dan 20 ml akuades. Sebanyak 1,2 g SiO_2 kemudian ditambahkan ke dalam larutan NaOH, dan diaduk sambil dipanaskan pada suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$ selama 30 menit hingga SiO_2 larut. Larutan $\text{Fe}_3(\text{NO}_3)_9\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ditambahkan ke dalam larutan tersebut secara perlahan. Setelah itu ditambahkan larutan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ hingga pH larutan bernilai 1.

Sampel A, B, C dan D masing-masing secara bergantian dimasukkan dalam sistem refluks pada suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam dengan terus diaduk menggunakan *hotplate magnetic stirrer* sambil dipanaskan hingga terbentuk larutan berwarna kekuning-kuningan. Larutan tersebut kemudian dikeluarkan dari sistem refluks dan dipindahkan ke gelas beker untuk terus diaduk sambil dipanaskan dengan *hotplate magnetic stirrer* pada suhu $75\text{ }^\circ\text{C}$ agar seluruh pelarut menguap sehingga membentuk gel. Gel ini kemudian dikeringkan dalam *oven* dengan suhu $130\text{ }^\circ\text{C}$

hingga kering. Selanjutnya, gel yang sudah kering digerus menggunakan *mortar* dan *pestle* hingga berbentuk serbuk untuk kemudian di *sintering*.

3.3.4 *Sintering* dan Pelletisasi

Sintering dilakukan pada suhu 500 °C dengan laju 3 °C per menit dan waktu tahan selama 10 jam pada tiap-tiap suhu. Setiap sampel-sampel dinamakan sampel A, B, C dan D. Sampel yang telah di *sintering* selanjutnya digerus kembali menggunakan *mortar* dan *pestle*. Sebanyak 1,2 g serbuk $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ hasil *sintering*.

3.3.5 Karakterisasi Sampel

Karakterisasi yang dilakukan meliputi gugus fungsi, morfologi serta komposisi unsur penyusun.

3.3.5.1 Gugus Fungsi

Gugus fungsi $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ menggunakan IR Prestige-21 *Fourier Transform Infrared Spectrophotometer* (SHIMADZU) pada rentang panjang gelombang 4000-400 cm^{-1} . Pada pembahasan ini, sampel dipreparasi dengan menggerus serbuk sampel kemudian mencetaknya hingga berbentuk *pellet*. Pembahasan data dilakukan dengan membandingkan membandingkan hasil tabel bilangan gelombang dan gugus fungsi FT-IR serta hasil penelitian sebelumnya.

3.3.5.2 Morfologi dan Unsur Penyusun

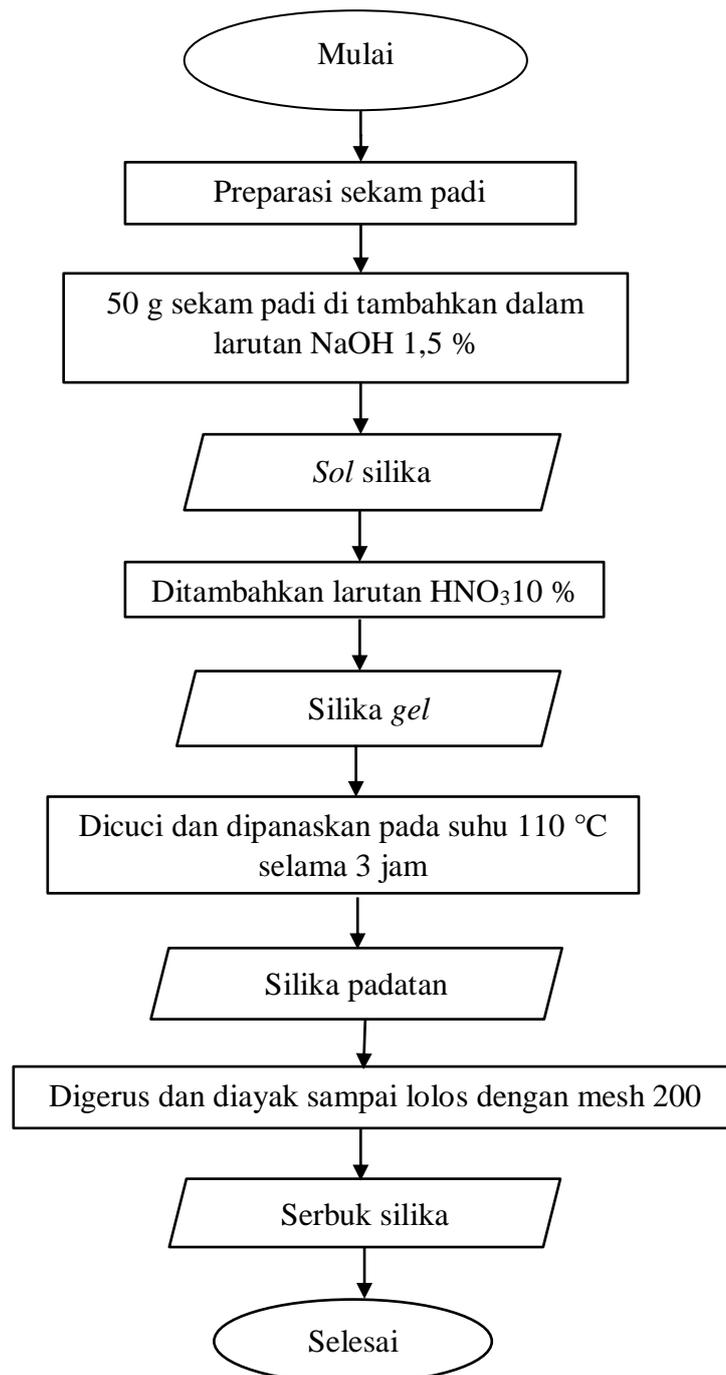
Morfologi serta unsur penyusun katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ dibahas dengan menggunakan JEOL-JSM-6510 *Scanning Electron Microscope*.

3.3.6 Uji Konduktivitas Listrik

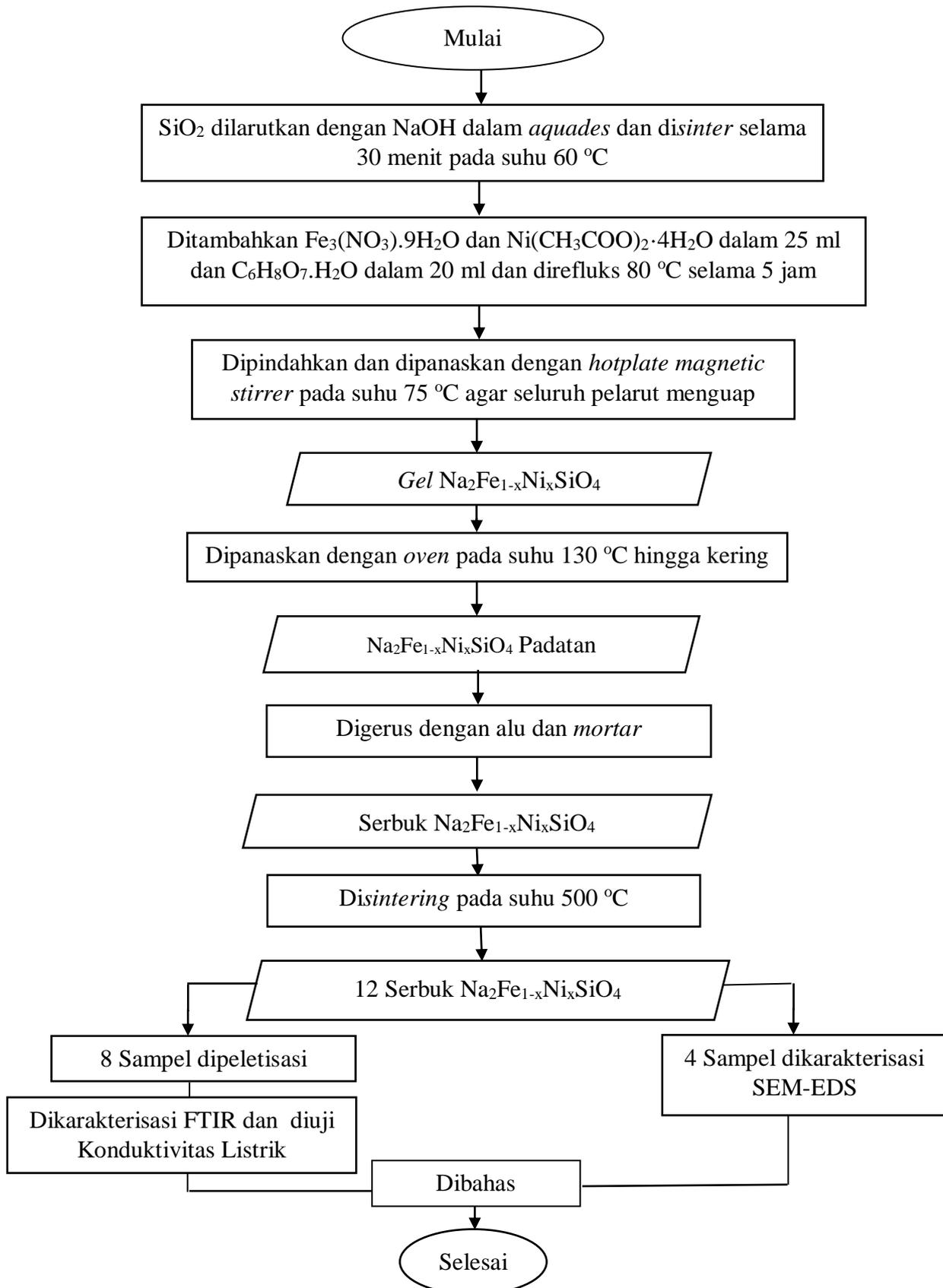
Uji yang dilakukan meliputi uji konduktivitas listrik $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ diukur menggunakan Instek LCR-800 (LCR-821) LCR Meter.

3.4 Diagram Alir

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



Gambar 3.1. Diagram Alir Ekstraksi Silika dari Sekam Padi



Gambar 3.2. Diagram Alir Sintesis $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ berbasis silika sekam padi, diperoleh kesimpulan :

1. Bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$ berbasis silika sekam padi berhasil disintesis menggunakan metode sol gel dengan variasi komposisi Fe dan Ni disinter pada suhu 500 °C. Komposisi Fe dan Ni memengaruhi gugus fungsi, morfologi, unsur penyusun dan konduktivitas listrik pada pembentukan bahan katode ini. Gugus fungsi sampel bahan katode ini terdiri dari susunan ikatan antar atom pembentuk yaitu Na-O, Fe-O, Ni-O dan Si-O. Morfologi sampel bahan katode ini berupa gumpalan tak seragam dengan butirannya cenderung berbentuk balok dan berdiameter kecil. Bahan katode ini terdiri dari berbagai unsur dan persentase massa yang terkandung yaitu O, Na, Si, Fe dan Ni. Konduktivitas listrik sampel bahan katode ini berada dalam kisaran nilai orde 10^{-4} hingga 10^{-3} S/m, menunjukkan bahwa bahan katode ini bersifat semikonduktor.

2. Komposisi Fe dan Ni memengaruhi korelasi anatar gugus fungsi, morfologi, unsur penyusun dan konduktivitas listrik pada pembentukan bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$. Meningkatnya variasi komposisi Fe dan Ni menyebabkan pergeseran bilangan gelombang, nilai trasmitansi semakin besar dan ikatan antar atom pada gugus fungsi penyusun bahan katode ini semakin panjang. Morfologi cenderung tidak beraturan, menggumpal dan berdiameter kecil dalam jumlah banyak dikarenakan *doping* Ni pada bahan katode ini dalam jumlah mol yang relatif banyak dan unsur Ni yang terkandung didapatkan dalam persentase massa Ni dalam jumlah banyak. Konduktivitas listrik semakin menurun seiring dengan penambahan frekuensi dan mengalami ketidak stabilan pada frekuensi yang semakin tinggi dikarenakan *doping* Ni yang semakin banyak dan frekuensi tinggi terjadi proses polarisasi momen dipol listrik sehingga nilai konstanta dielektrik tinggi yang menyebabkan muatan yang ditransmisikan sedikit.

5.2 Saran

Penelitian berikutnya disarankan untuk menambah karakterisasi XRD dengan tujuan untuk mengetahui struktur kristal bahan katode $\text{Na}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{SiO}_4$.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, S. M., Delbari, A., Fakoor, Z., and Baedi, J. 2015. Effects of Annealing Temperature on Infrared Spectra of SiO₂ Extracted From Rice Husk. *Journal of Ceramic Science and Technology*. 06(01) : 41-46.
- Afif, M. T., Pratiwi, I. A. P. 2015. Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik – Review. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Universitas Brawijaya. Vol.6. 2.
- Ali, Basit., Ur-Rehman Ata., Ghafoor, Fouzia., Shahzad, Muhammad Imran., Shah, S. K., and Abbas, S. M. 2018. Interconnected mesoporous Na₂Fe SiO₄ nanospheres supported on carbon nanotubes as a highly stable and efficient cathode material for sodium-ion battery. *Journal of Power Sources*. 396 : 467–475.
- Amalia, Ayunis Rizqi. 2019. Pengaruh Perlakuan Termal Terhadap Struktur Kristal Dan Karakteristik Sifat Listrik Pada Bahan Polianion Na₂FeSiO₄ berbasis Silika Sekam Padi. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Anika, F., Djamas, D. and Ramli. 2015. Pengaruh Variasi Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350. *Pillar Of Physics*. (6) : 57–64.
- Bai, Y. Xiaoyan Z., Hongbo S., Zhigao L., Hai H., Qinglan Z., Ying W., and Xianyou W. 2020. Superior Na-Storage Properties of Nickel-Substituted Na₂FeSiO₄C Microspheres Encapsulated with the In-Situ Synthesized Alveolation-Like Carbon Matrix. *American Chemical Society*.

- Bakar, R.A., Yahya, R., and Gan, S.N. 2016. Production of high purity amorphous silica from rice husk. 5th International Conference on Recent Advances in Materials, Minerals and Environment (RAMM) and 2nd International Postgraduate Conference on Materials, Mineral and Polymer (MAMIP). Malaysia : Elsevier. 19 : 189-195.
- Berthomieu, C. dan Hienerwadel, R. 2009. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. 101 : 157–170.
- Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. 2010. Electrospinning: A Fascinating Fiber Fabrication Technique. *Biotechnology Advances*. Vol. 28. No. 3 : 325-347.
- Bianchini, F., Fjellvag, H., and Vajeeston, P. 2017. First-principles study of the structural stability and electrochemical properties of Na_2MSiO_4 (M = Mn, Fe, Co and Ni) polymorphs. *Physical Chemistry*. 19(22) : 14462-14470.
- Bloor, D. 1989. Electrical Conductivity. Dalam A. R. Blythe, T. Blythe, and D. Bloor, *Electrical Properties of Polymers*. Cambridge: *Cambridge University Press*. 687-705.
- C. S. Sun. 2009. Improved high-rate charge/discharge performances of LiFePO_4 C via V doping. *J. Power Sources*. Vol. 193. 2 : 841–845.
- Celino, Amandine., Goncalves, Oliver., Jacquemin, Frederic., and Freour, Sylvain. 2018. Qualitative and Quantitative assessment of water sorption in natural fibres using ATR-FTIR Spectroscopy. *Journal of Carbohydrate Polymers*. 101 : 163-170.
- Coates, J. 2006. Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. 1–23.
- Daifullah, A.A.M; Girgis, B.S dan Gad, H.M.H. 2003. Utilization of Agroresidues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plans. *Materials Letters*, 57 : 1723 –1731.
- Daifullah, A.A.M; Awwad, N.S; El-Reefy .2004. Purification of Phosphoric Acid from Ferric Ion Using Modified Rice Husk. *Chemical Engineering and Processing*, 43 : 193- 201.

- Danielewicz, D., Kmiotek, M., dan Surma-Ślusarska, B. 2019. Study of ionic liquids UV-VIS and FTIR spectra before and after heating and spruce groundwood dissolution. *FIBRES and TEXTILES in Eastern Europe*.1(133) : 118-123.
- Della, V.P; Kuhn, I; Hotza, D. 2002. Rice Husk Ash an Alternate Source for Active Silica Production. *Materials Letters*, 57 : 818 – 821.
- Duncan, Hugues., Kondam reddy, Abhinay., Mercier, Patrick H.J., Page, Y von Le., Abu-Lebdeh, Yeser., Couillard, Martin., Whitfield, Pamela S. dan Davidson, Isobel J. 2011. Novel Pn Polymorph for $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$ and electrochemical activity as a cathode material in Li-On batteries. *Chemistry of Material*. 23(24) : 5446-5456.
- Dewanto, Bharata., Purwasasmita, Bambang Sunendar., Nurridin Ahmad.,Daulay, Abdul Halim., dan Rahardi, Susanto Sigit. 2014. Pengaruh Kitosan Terhadap Kristalinitas Dan Morfologi Partikel Lithium Titanat The Effect Of Chitosan On Crystallinity And Morfology Of Lithium Titanate Particle. *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, 4(2) : 43–46.
- Gao,S., Zhao, J., Zhao, Y., Wu,Y., Zhang, X., Wang, L., Liu, X., Rui, Y., Xu, J. 2015. $\text{Na}_2\text{CoSiO}_4$ as a novel positive electrode material for sodium-ion capacitors. *Materials Letters*. 300-303.
- Ghaffari, A., and Behzad, M. 2018. Facile synthesis of layered sodium disilicates as efficient and recoverable nanocatalysts for biodiesel production from rapeseed oil. *Advanced Powder Technology*. 29(5) : 1265-1271.
- Ghosh, R. and Bhattacharjee, S. 2013. A Review Study on Precipitated Silica and Activated Carbon from Rice Husk. *Journal Chemical Engineering and Process Technology*. 4(4) : 1-7.
- Gilarranz, Miguel A., Rodríguez, Francisco., Oliet, Mercedes., García, Julian dan Alonso, Virginia. 2007. Phenolic Oh Group Estimation By Ftir And Uv Spectroscopy. Application To Organosolv Lignins. *Journal of Wood Chemistry and Technology*. 21(4) : 387-395.

- Gunawan, B. dan Azhari, C. D. 2010. Karakterisasi Spektrofotometri I R Dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Sensor Gas Dari Bahan Polimer Poly Ethelyn Glycol (PEG). 1–17.
- H. El-Shinawi, E. J. Cussen, and S. A. Corr. Morphology-Directed Synthesis of LiFePO_4 and LiCoPO_4 from Nanostructured $\text{Li}_{1+2x}\text{PO}_{3+x}$ *Inorg. Chem.*, Vol. 58.10.
- Hanjitsuwan, S., Chindaprasirt, P., and Pimraksa, K. 2011. Electrical Conductivity and Dielectric Property of Fly Ash Geopolymer Pastes, *International Journal of Minerals. Metallurgy and Materials*. 18(1) : 94-99.
- Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Kotaki, M., & Ramakrishna, S. 2003. A Review on Polymer Nanofibers by Electrospinning and Their Applications in Nanocomposites. *Composites Science and Technology*. Vol. 63. No. 15 : 2223-2253.
- Hussien, B. 2011. The DC and AC Electrical Properties of (PMMA- Al_2O_3) Composites. *European Journal of Scientific Research*. 52(2) : 1450-216.
- Indra and Yulianti, R. 2017. Karakterisasi padatan hasil proses kokristalisasi asam mefenamat menggunakan metode penguapan pelarut. *Jurnal Kesehatan Bakti Tunas Husada*. 17(1). Pp. 21-26.
- Irzaman., Erviansyah, R., Syafutra, H., Maddu, A., and Siswadi. 2010. Studi Konduktivitas Listrik Film Tipis $\text{Ba}_{0.25}\text{Sr}_{0.75}\text{TiO}_3$ Yang Dimana adalah Ferium Oksida (Bfst) Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition. *Berkala Fisika*. 13(1) : .33–38.
- Jain, R., Luthra, V., Aurora, M., & Gokhale, S. 2018. Infrared spectroscopic study of magnetic behavior of dysprosium doped magnetite nanoparticles. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*. 32(2) : 325–20333.
- Jiang, X., Li, S., Xiang, G., Li, Q., Fan, L., He, L., and Keren, G. 2016. Determination of the acid values of edible oils via FTIR spectroscopy based on the OAH stretching band. *Food Chemistry*. 212 : 585-589.
- Johanes, H. 1978. Listrik dan Magnet. Balai Pustaka. Jakarta.

- Kalaitzidou, K., Fukushima, H. and Drzal, L. T. 2010. A route for polymer nano composites with engineered electrical conductivity and percolation threshold. *Materials*. 3(2) : 1089–1103.
- Khairunnisa. 2018. *Rangkaian Listrik*. POLIBAN PRESS. Yogyakarta. Hal. 27.
- Khan, M.S., Sohail, M., Khattak, N.S., and Sayed, M. 2016. Industrial Ceramic Waste in Pakistan, Valuable Material for Possible Applications. *Journal of Cleaner Production*. 139 : 1520-1528.
- Kroschwitz, J. 1990. *Polymer Characterization And Analysis*, John Wiley and Sons, Inc. Canada.
- L. Lu, X. Han, J. Li, J. Hua, and M. Ouyang. 2013. A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *J. Power Sources*. Vol. 226 : 272–288.
- MA Gondal, TA Saleh, QA Drmosh. 2012. Synthesis of nickel oxide nanoparticles using pulsed laser ablation in liquids and their optical characterization. *Berselancar. Sains*. 258 : 6982.
- Mahadevan, T. S., and Du, J. 2018. Evaluating water reactivity at silica surfaces using reactive potentials. *The Journal of Physical Chemistry*. 122(18) : 9875-9885.
- M. Hcl. 2013. Pengaruh Suhu Terhadap Korosi Baja SS 304 dalam Media 1 M HCL dengan Adanya Inhibitor Kinina. *Sains dan seni pomits*. Vol. 2. 2 : 2–4.
- Meenakshi, V., Rajkumar, P., Diwakar, K., Subadevi, R., dan Sivakumar, M. 2016. Structural investigation of heat-treated $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ cathode material preparation. International seminar on Nanoscience and Technology. 3 : 10-12.
- Meliyana, Rahmawati, C. and Handayani, L. 2019. Sintesis Nano Silika Dari Abu Sekam Padi Dengan Metode Sol-Gel. *Prosiding*. 3 : 800–807.
- Mujiyanti, Dwi Rasy., Nisa, Hayatun., Rosyidah, Kholifatu., Ariyani, Dahlena., and Abdullah. 2020. Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Viskositas Dan Densitas

- Tetraetil Ortosilikat Dari Silika Abu Sekam Padi. *Indonesian Journal of Chemical Research*. 8(1) : 72-78.
- Muslim, I., Safrihatini, W. and Aini, W. 2017. Pengaruh Katalis Pada Proses Pembentukan Partikel Nano Silika Sebagai Material Hidrofobik. *Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 2(3) : 152–157.
- Nakamoto, K. 1997. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*. 5th Edition, John Willey & Sons, Inc. Canada.
- Nasution, M. 2021. Karakteristik Baterai sebagai Penyimpan Energi Listrik secara Spesifik. *Journal of Electrical Technology*. Vol.6.No.1 : 35.
- Nugroho, R. E. 2020. Analisis Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energy-Dispersive Xray Spectroscopy (EDX) pada Pengelasan Brazing Aluminium Seri 6061 dengan Filler Alusol dan Lokal. *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. 34-37.
- O.Toprakci, H. A. K. Toprakci, L. Ji, and X. Zhang. 2010. vol. 28, no. 28. 50–73.
- Oscik, J., John Willey & Sons 1982. *Adsorption*, Inc. New York.
- Overby, J dan Raymond C. 2019. Chemistry. New York: Penerbit McGraw Hill LLC. 836.
- Rangasamy, V. S., Thayumanasundaram, S., and Locquet, J.P. 2018. Solvothermal synthesis and electrochemical properties of $\text{Na}_2\text{CoSiO}_4$ and $\text{Na}_2\text{CoSiO}_4$ or carbon nanotube cathode materials for sodium ion batteries. *Electrochimica Acta*. 276 : 102-110.
- Riyanto, A., Ginting, O. M., dan Sembiring, S. 2009. Pengaruh suhu sintering terhadap pembentukan gugus boro silikat (B-O Si) bahan keramik boro silikat berbasis silika sekam padi. *Seminar Nasional Sains MIPA dan Aplikasinya*. Lampung: FMIPA Universitas Lampung. 219-224.
- Riyanto, A., Sembiring, S., Amalia, A.R., Astika, A., Marjunus, R. 2020. Studi pendahuluan tentang fase, pemetaan elemen, dan sifat listrik pada $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ berasal dari silika sekam padi. *Journal Of Physics*. 1–10.

- Riyanto, A. 2021. Sintesis Bahan $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ Berbasis Silika Sekam Padi untuk Aplikasi Katode Generasi Baru pada Baterai Rechargeable Na-Ion. *LPPM Universitas Lampung*. 21-24.
- R. Liu. 2018. Preparation of $\text{LiFePO}_4/\text{O}_4/\text{C}$ cathode materials via a green synthesis route for lithium-ion battery applications. *Materials (Basel)*., Vol. 11, 11 : 1–13.
- Rohman, Fadli. 2012. Aplikasi Graphene Untuk Lithium Ion Battery. Bandung: *Institut Teknologi Bandung*.
- Saceda, J.-J.F., deLeon, R.L., Rintramee, K., Prayoonpokarach, S., and Wittayakun, J. 2011. Properties of silica from rice husk and rice husk ash and their utilization for zeolite γ synthesis. *Quimica Para Um Mundo Melhor*. 34(8) : 1394-1397.
- Satriady, A. W. Alamsyah, A. H. I. Saad, and S. Hidayat. 2006. “Pengaruh Luas Elektroda Terhadap Karakteristik Baterai LiFePO_4 ,” *J. Mater. dan Energi Indonesia*, vol. 06, no. 02 : 43–48.
- Sawicki, B., Tomaszewicz, E., Piątkowska, M., Grońa, T., Duda, H., dan Górný, K. 2016. Correlation between the Band-Gap Energy and the Electrical Conductivity in $\text{MPr}_2\text{W}_2\text{O}_{10}$ Tungstates (Where $\text{M} = \text{Cd}, \text{Co}, \text{Mn}$). *Acta Physica Polonica A*. 129(1) : 94–96.
- Setiadji, Soni., Wahyuni, Ani Sri., Suhendar, Dede., Sundari, Citra Deiana Dewi, dan Ivansyah, Athhar Luqman. 2017. Pemanfaatan Rumput Gajah Sebagai Sumber Silika Untuk Sintesis Zeolit T. *Al-Kimaya*. 4(2) : 51-60.
- Sembiring, S. and Simanjuntak, W. 2015. Silika Sekam Padi Potensinya Sebagai Bahan Baku Keramik Industri. Bandar Lampung: *Plantaxia*.
- Serway, R. A. 1998. *Principles of Physics (2nd ed.)*. Fort Worth, Texas; London: Saunders College Pub. p. 602. ISBN 978-0-03-020457-9.
- Shen, Y. 2017. Ricehusk silica derived nanomaterials for sustainable applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 80 : 453-466.

- Sheykhan, M., Yahyazadeh, A., & Ramezani, L. 2017. A novel cooperative Lewis acid/Bronsted base catalyst $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2\text{-Fe}(\text{OH})_2$: An efficient catalyst for the Biginelli reaction. *Molecular Catalysis*. 435: 166–173.
- Shu, H.; Wang, X.; Wu, Q.; Hu, B.; Yang, X.; Wei, Q.; Liang, Q.; Bai, Y.; Zhou, M.; Wu, C.; Chen, M.; Wang, A.; Jiang, L. 2013. Improved Electrochemical Performance of LiFePO_4/C Cathode via Ni and Mn Co-Doping for Lithium-Ion Batteries. *J. Power Sources*. 237: 149–155.
- Silverstain, R., Bassler, G. C. dan Morrill, T. C. 1986. Penyidikan Spektrofotometrik Senyawa Organik. 4 penyunt. Jakarta: *Erlangga*.
- Sinaga, Rinaldi Febrianto., Ginting, Gita Minawarisa., Ginting, M. Hendra S and Hasibuan, Rosdanelli. 2014. Pengaruh Penambahan Gliserol Terhadap Sifat Kekuatan Tarik Dan Pemanjangan Saat Putus Bioplastik Dari Pati Umbi Talas. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 3(2) : 19-24.
- Simanjuntak, W., Sembiring, S., dan Sebayang, K. 2012. Effect of pyroly sistem peratures on composition and electrical conductivity of carbosil prepared from rice husk. *Indonesian Journal of Chemistry*. 12(1) : 119–125.
- Soepardi, G., Chaniago, I.A., and Sudarsono. 1982. Pemanfaatan sekam terak dan pasir kuarsa sebagai sumber silikat bagi pertumbuhan tanaman padi. *Laporan Hasil Akhir Penelitian*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Suhesti, Erasri Yuni. 2021. Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Listrik dan Struktur Kristal Bahan Polianion $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ berbasis Silika Sekam Padi. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Suka, I.G., Simanjuntak, W., Sembiring, S., dan Trisnawati, E. 2008. Karakteristik silika sekam padi dari provinsi lampung yang diperoleh dengan metode ekstraksi. *MIPA*. 37(1) : 47-52.
- Sujatno, Agus. 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*. Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju. PSTBM-BATAN.

- S. R. Ardila, R. Nuryanto, and T. Taslimah. 2015. Pengaruh Variasi Konsentrasi Doping Kobal terhadap Karakteristik Elektrolit Padat $\text{NaMn}_2\text{-XCoxO}_4$ Menggunakan Metode Sol-Gel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Vol. 18.3: 101-103.
- S. Y. Chung, J. T. Bloking, dan Y. M. Chiang. 2022. Electronically conductive phospho-olivine as lithium storage electrodes. *Nat. Mater.* Vol.1. 2 : 123–128.
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., Hidayat, S., dan Firtilawati. 2015. Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar. *Jurnal Fisika Indonesia*.
- Tan, Xiaoli., Fang, Ming., Chen, Changlun., Yu, Shaoming., and Wang, Xiangke. 2008. Counterion effects of nickel and sodium dodecylbenzene sulfonate adsorption to multiwalled carbon nanotubes in aqueous solution. *Carbon* 46 : 1741–1750.
- Tipler, P. A. 1991. Physics for scientists and engineers. New York Ed; Third edition. *Worth Publisher*. New York.
- Treacher, Joshua C., Wood, Stephen M., Islam M. Saiful and Kendrick, Emma. 2016. $\text{Na}_2\text{COSiO}_4$ as a cathode material for sodium-ion batteries: structure, electrochemistry and diffusion pathways. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 18(32) : 32744–32752.
- Trivana, L., Sugiarti, S. and Rohaeti, E. 2015. Sintesis Dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na_2SiO_3) dari Sekam Padi. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 7(2) : 66–75.
- Tripathi, M., Sahu, J. N., Ganesan, P., Monash, P., dan Dey, T.K. 2015. Effect of Microwave Frequency on Dielectric Properties Of Oil Palm Shell (OPS) and OPS Char Synthesized by Microwave Pyrolysis of OPS. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 112 : 306-312.
- Xu, Bo, et. al. 2012 . Recent Progress in cathode materials research for advanced lithium ion batteries. *Journal of Materials Science and Engineering R*, Vol. 73, Issues 5–6: 51-65.

- Y.Lin, M. X. Gao, D. Zhu, Y. F. Liu, dan H. G. Pan. 2008. Effects of carbon coating and iron phosphides on the electrochemical properties of LiFePO_4/C . *J. Power Sources*. Vol.184. 2 : 444–448.
- Yang, Jinlong., Kang, Xiaochun., Hu, lin., Gong, Xue., dan Mu, Shichun. 2014. Nanocrystalline $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ Synthesized by Carbon Frameworks as an advanced Cathode Material For Li-Ion Batteries. *Journal Of Materials Chemistry A*. 2 : 6870–6878.
- Ye, Zhuo., Zhao, Xin., Li, Shouding., Wu, Shunqing., Wu, Ping., Nguyen, ManhCuong., Guo, Jianghuai., Mi, Jinxiao., Gong, Zhengliang., Zhu, Zi-Zhong., Yang, Yong., Wang, Cai-Zhuang., and Ho, Kai Ming. 2016. Robust diamond-like Fe-Si network in the zero-strain $\text{Na}_x\text{FeSiO}_4$ Cathode. *Electrochimica Acta*. 934–940.
- Yu, S. 2018. Structural stabilities and electrochemistry of $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ polymorphs : first principles calculations. *Journal of Solid State Electrochemistry*. 22(7).
- Yunasfi, Purwanto, S. and Madesa, T. 2011. Karakteristik Sifat Listrik Grafit Setelah Radiasi Dengan Sinar - γ . *Jurnal Iptek Nuklir Ganendra*. 14(2) : 76–80.
- Zhao, Ling, Dengmei Zhou, Wanxia Huang, Xueya Kang, Qiwu Shi, Zhilin Deng, Xianwei Yan, and Yongbo Yu. 2017. Electrochemical Performances of Maricite NaFePO_4/C as Cathode Material for Sodium-Ion and Lithium-Ion Batteries. *International Journal of Electrochemical Science* 12 (4) : 315–365.
- Zhou, W., Apkarian, R. P., Wang, Z. L. dan Joy, D. 2006. *Fundamentals of Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Springer. New York. 1-2.
- Zhou, H., Einarsrud, M.-A., dan Vullum-Breur, F. 2013. High capacity nanostructured $\text{Li}_2\text{Fe}_x\text{SiO}_4/\text{C}$ with Fe hyperstoichiometry for Li-ion batteries. *Journal of Power Source*. 235: 234-242.
- Zhu, Lin., Zeng, Ya-Ru., Wen, Jing., Li, Lin., Cheng, Tai-Min. 2018. Structural and Electrochemical Properties of $\text{Na}_2\text{FeSiO}_4$ Polymorphs for Sodium-Ion Batteries. *Electrochimica Acta*.