

**PENGARUH SUHU KALSINASI (150, 250, DAN 350 C) PADA  
ELEKTRODE SUPERKAPASITOR BERBAHAN ZEOLIT BERBASIS  
SILIKA SEKAM PADI TERHADAP REVERSIBILITAS REAKSI  
ELEKTROKIMIA**

(Skripsi)

Oleh

**SITI IMAS MASITOAH**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2016**

## **ABSTRAK**

**PENGARUH SUHU KALSINASI (150, 250, DAN 350 C) PADA ELEKTRODE  
SUPERKAPASITOR BERBAHAN ZEOLIT BERBASIS SILIKA SEKAM  
PADI TERHADAP REVERSIBILITAS REAKSI ELEKTROKIMIA**

**Oleh**

**SITI IMAS MASITOAH**

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu kalsinasi terhadap pembentukan fase zeolit, nilai konstanta standar kecepatan elektron ( $k_0$ ), dan keterkaitan hubungan antara fase zeolit dengan nilai konstanta standar kecepatan elektron ( $k_0$ ). Zeolit sintesis diperoleh dari pencampuran melalui reaksi kimia menggunakan metode *sol gel* antara silika yang bersumber dari sekam padi dan natrium alumina. Zeolit kemudian dikalsinasi pada suhu 150, 250, dan 350 C serta dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dan CV (*Cyclic Voltammetry*). Hasil analisis XRD pada suhu kalsinasi 150 C telah terbentuk fase *Gibbsite*. Pada suhu kalsinasi 250 C telah terbentuk fase *Gibbsite*, *Bohmite*, dan *Quartz*. Serta pada suhu kalsinasi 350 C terbentuk fase *Bohmite* dan *Quartz*. Hasil analisis CV menunjukkan nilai  $k_0$  yang bervariasi, dan mekanisme reaksi yang terjadi bersifat *irreversible*. Fase *Gibbsite* pada suhu kalsinasi 150 C diperoleh nilai  $k_0$  tertinggi sebesar  $3,75 \times 10^{-7}$ . Fase *Gibbsite*, *Bohmite* dan *Quartz* pada suhu kalsinasi 250 C diperoleh nilai  $k_0$  tertinggi sebesar  $1,52 \times 10^{-7}$ . Fase *Bohmite* dan *Quartz* pada suhu kalsinasi 350 C diperoleh nilai  $k_0$  tertinggi sebesar  $2,16 \times 10^{-7}$ .

Kata kunci: Elektrode, Zeolit, Elektrokimia, Reversibilitas, Superkapasitor.

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF TEMPERATURE CALCINATION (150, 250, AND 350 C) ON ELECTRODE SUPERCAPACITOR ZEOLITE BASED SILICA RICE HUSK TO REVERSIBILITY REACTION OF ELECTROCHEMISTRY**

**By**

**SITI IMAS MASITOH**

This study was conducted to determine the effect of calcination on the zeolite phase, the constant value standard velocity of the electron ( $k_0$ ), and the inter-relationship between the phase zeolite with constant value standard velocity electron ( $k_0$ ). Synthetic zeolite obtained from mixing through a chemical reaction using the silica sol gel derived from rice husk and sodium alumina. Zeolite then calcined at a temperatures of 150, 250, and 350 C and characterized using XRD (X-Ray Diffraction) and CV (Cyclic voltammetry). The results of XRD analysis on the calcination 150 C Gibbsite phase has been formed, in the calcination 250 C been formed Gibbsite, Boehmite, and Quartz. As well as the calcination 350 C formed Boehmite phase and Quartz. CV analysis results showed the  $k_0$  value varies, and the mechanism reaction is irreversible. Gibbsite phase at a calcination 150 C  $k_0$  highest values obtained by  $3,75 \times 10^{-7}$ , Gibbsite phase, Boehmite and Quartz on the calcination 250 C  $k_0$  highest values obtained by  $1,52 \times 10^{-7}$ , as well as the phase Boehmite and Quartz on the calcination values obtained 350 C  $k_0$  highest of  $2,16 \times 10^{-7}$ .

**Keywords:** Electrodes, Zeolite, Electrochemistry, Reversibility, Supercapacitor.

**PENGARUH SUHU KALSINASI (150, 250, DAN 350° C) PADA  
ELEKTRODE SUPERKAPASITOR BERBAHAN ZEOLIT BERBASIS  
SILIKA SEKAM PADI TERHADAP REVERSIBILITAS REAKSI  
ELEKTROKIMIA**

**Oleh**

**SITI IMAS MASITOAH**

**Skripsi**

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

**Pada**

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



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2016**

**Judul Skripsi : PENGARUH SUHU KALSINASI (150, 250, DAN 350°C) PADA ELEKTRODE SUPERKAPASITOR BERBAHAN ZEOLIT BERBASIS SILIKA SEKAM PADI TERHADAP REVERSIBILITAS REAKSI ELEKTROKIMIA**

**Nama Mahasiswa : Siti Imas Masitoh**

**Nomor Pokok Mahasiswa : 1217041045**

**Program Studi : Fisika**

**Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

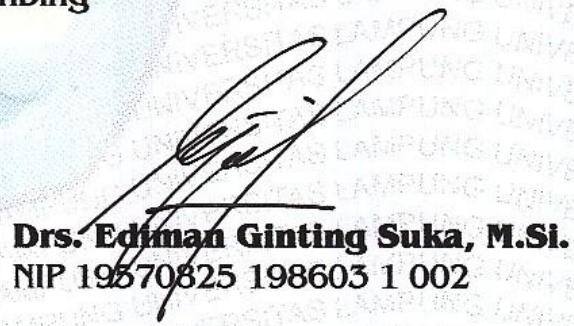
**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**



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

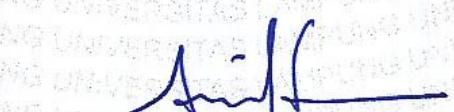
**NIP 19730414 199702 2 001**



**Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si.**

**NIP 19570825 198603 1 002**

**2. Ketua Jurusan Fisika**



**Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**

**NIP 19710909 200012 1 001**

## **MENGESAHKAN**

### **1. Tim Penguji**

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

**Sekretaris : Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si.**

**Pengaji  
Bukan Pembimbing : Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.**

### **2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Prof. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D.**

**NIP 19710212 199512 1 001**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 08 November 2016**

## **PERNYATAAN**

Bismillahirrahmaanirrohiim.

Dengan ini saya menyatakan, skripsi ini telah dibuat oleh saya sendiri dengan sebenar-benarnya. Berdasarkan penelitian dan hasil analisis data yang dikaitkan terhadap literatur tertentu. Serta di dalam skripsi ini tidak terkandung karya yang pernah dipublikasikan orang lain, terkecuali secara tertulis tercantum dalam daftar pustaka.

Jika pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan norma dan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, November 2016



Siti Imas Masitoh  
NPM. 1217041045

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis bernama lengkap Siti Imas Masitoh dilahirkan di kota Serang pada 12 Agustus 1994. Penulis merupakan putri pertama dari tiga bersaudara yang lahir dari pasangan Bapak Saefuddin dan Ibu Khafusah. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat Sekolah Dasar di SDN Eretan pada tahun 2000-2006, Sekolah Menengah Pertama di MTs Ash-Shabul Maimanah Sidayu pada tahun 2006-2009, serta Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Pontang pada tahun 2009-2012. Pada tahun 2012, penulis mendaftar sebagai calon Mahasiswa S1 di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung (Unila), dan diterima melalui ujian tertulis jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menempuh jenjang pendidikan S1 di Fisika FMIPA Unila, penulis mengambil konsentrasi keilmuan bidang Fisika Material dan pernah menjadi asisten Sains Dasar, Fisika Dasar I, Fisika Dasar II, dan Fisika Inti. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam berbagai organisasi kampus dan menjabat sebagai Anggota Biro Keputrian ROIS FMIPA Unila periode 2012-2013, Anggota Bidang Kaderisasi LPM Natural FMIPA Unila periode 2012-2013, Anggota Dana dan Usaha HIMAFI FMIPA Unila periode 2012-2014, Sekretaris Biro Kesekretariatan LPM Natural FMIPA Unila periode 2013-2014, Kepala Biro

Kesekretariatan LPM Natural FMIPA Unila periode 2013-2014, dan Wakil Ketua HIMSAC periode 2014-2016.

Pada tahun 2015, penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk site Panjang, dan mengikuti program KKN Kebangsaan di Provinsi Riau. Di tahun 2016 penulis melakukan penelitian terkait tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Suhu Kalsinasi (150, 250, dan 350 C) pada Elektrode Superkapasitor Berbahan Zeolit Berbasis Silika Sekam Padi terhadap Reversibilitas Reaksi Elektrokimia” yang bertempat di Laboratorium Fisika Dasar FMIPA Unila, Laboratorium Fisika Material FMIPA Unila, Laboratorium Analitik dan Instrumentasi Kimia FMIPA Unila, Laboratorium Material Teknik Mesin Unila, dan Pusat Laboratorium Terpadu UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.

Dengan mengharap Ridha' Allah SWT, beserta segala kerendahan hati, saya persembahkan skripsi ini kepada:

**Uhibbukuma fillah: Saefuddin dan Khafusah atas segala do'anya, cinta kasihnya, semangatnya, serta dukungan segenap raga dan jiwanya baik moral maupun materil yang selalu menjadi penguat langkah dalam segala tingkah.**

*My beloved : Ade Tifa Laily Syafitri dan Siti Rachmi Ramadhoni (jadilah partner terbaik dalam mewujudkan cita-cita keluarga).*

**Dan Almamaterku tercinta seluruh civitas akademika FMIPA Unila**

## **MOTTO**

**“Jika seseorang mencari ilmu dengan maksud untuk sekedar hebat-hebatan, mencari pujian, atau untuk mengumpulkan harta benda, maka dia telah berjalan untuk menghancurkan agamanya, merusak dirinya sendiri, dan telah menjual akhirat dengan dunia (Fa-anta  
saa’in ilaa hadmi diinika wa ihlaaki nafsika, wa bay’i aakhiratika bi  
dunyaaka).”**

(**Imam Al-Ghazali**, kitab Bidayatul Hidayah)

**“Bersungguh-sungguhlah dan janganlah malas, dan segala apapun  
yang Allah SWT takdirkan itu baik (Ijtihad wala taksal wa maa  
qadarullah khair).”**

(**Siti Imas Masitoh**)

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji kehadirat Allah SWT yang telah memberikan segala kekuatan dan pertolongan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi S1 di jurusan Fisika FMIPA Unila ini. Serta dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Suhu Kalsinasi (150, 250, dan 350 C) pada Elektrode Superkapasitor Berbahan Zeolit Berbasis Silika Sekam Padi terhadap Reversibilitas Reaksi Elektrokimia”**.

Penelitian ini merupakan studi awal terkait pembuatan zeolit sintesis berbahan dasar silika sekam padi yang kelak akan digunakan sebagai bahan elektrode superkapasitor.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi penyempurnaan serta perbaikan dari skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat menjadi salah satu rujukan untuk penelitian tentang zeolit berikutnya, serta dapat memperkaya ide-ide penelitian yang lain.

Bandar Lampung, November 2016

Siti Imas Masitoh

## **SANWACANA**

Bismillahirrohmaanirrohiim.

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, tuhan semesta alam atas segala kenikmatan dan anugerah-Nya kepada seluruh makhluk ciptaan-Nya. Terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing I atas segala nasehat, motivasi, bimbingan, saran, dan kritiknya dalam penulisan skripsi ini.
2. Bapak Drs. Ediman Ginting Suka M.Si., selaku Dosen Pembimbing II atas segala saran, kritik, dan bimbingannya dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si., dan Bapak Dr. Eng. Bambang Joko Suroto, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembahas atas segala kritik dan sarannya dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Lapangan atas segala masukan, saran, dan kritiknya dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Agus Riyanto, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Lapangan atas segala nasehat, bimbingan, dan motivasinya dalam penyelesaian skripsi ini.

6. Bapak Prof. Warsito, DEA., Ph. D., selaku Pembimbing Akademik, atas segala nasehat dan bimbingannya.
7. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung (Unila).
8. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA Unila.
9. Seluruh staff dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA Unila atas segala bantuannya.
10. Kedua orang tuaku tersayang yang selalu mendo'akan disetiap sujudnya.
11. Adik-adikku tercinta Ade Laila Syafitri dan Siti Rachmi Ramadhani yang selalu menjadi semangat dalam segala aktivitas.
12. Teman seperjuanganku Fatia, Alfi, Siti, Mona, Rosa, dan Jennifer atas kebersamaan, kerjasama, masukan, serta bantuan selama proses penyelesaian skripsi ini.
13. Saudara seperantauan Mila, Aida, Nico, Pupu, serta seluruh adik, akang, tete, yang tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Banten 2016 atas segala ruh kekeluargaannya yang selalu menjadi motivasi.
14. Teman-teman sejawat Fisika FMIPA Unila angkatan 2012 atas dukungan dan semangatnya yang tak kunjung padam.
15. Kakak tingkat Fisika angkatan 2010, 2011, dan adik-adik Fisika angkatan 2013, 2014, 2015, dan 2016 atas segala do'anya.
16. Seluruh rekan-rekan yang tak bisa disebutkan satu persatu, atas segala *support*-nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

## **DAFTAR ISI**

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	i
<b>ABSTRACT .....</b>	ii
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	iii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	iv
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	v
<b>PERNYATAAN .....</b>	vi
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	vii
<b>PERSEMBAHAN .....</b>	ix
<b>MOTTO .....</b>	x
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	xi
<b>SANWACANA .....</b>	xii
<b>DAFTAR ISI .....</b>	xvi
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	xvi
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	xvii

### **I. PENDAHULUAN**

A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	5
C. Batasan Masalah .....	5
D. Tujuan Penelitian .....	6
E. Manfaat Penelitian .....	6

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

A. Silika Sekam Padi .....	8
B. Zeolit .....	10
C. Superkapasitor.....	13
D. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	15
E. <i>Cyclic Voltammetry</i> .....	17

## **III. METODE PENELITIAN**

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	25
B. Bahan dan Alat Penelitian .....	25
C. Prosedur Kerja .....	26
D. Diagram Alir.....	31

## **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Hasil Analisis Fase Struktur Kristal Zeolit.....	32
B. Hasil Analisis CV ( <i>Cyclic Voltammetry</i> ).....	37
C. Hubungan Fase Struktur Kristal Zeolit terhadap Nilai $k_0$ .....	41

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan .....	44
B. Saran .....	45

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## **DAFTAR TABEL**

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
2.1. Komposisi kimia sekam padi .....	8
2.2. Komposisi kimia abu sekam padi .....	9
2.3. Sifat-sifat fisis silika gel dari sekam padi .....	9
2.4. Rumus oksida dari beberapa tipe zeolit sintesis.....	13
2.6. Parameter perbandingan antara baterai, kapasitor, dan superkapasitor .....	14
2.7. Perbedaan mekanisme <i>reversible</i> , <i>irreversible</i> , dan <i>quasi-reversibel</i> berdasarkan nilai $k_0$ dan .....	21
4.1 Puncak utama fase yang terbentuk dari hasil analisis XRD.....	35
4.2 Hasil pengukuran arus puncak dan potensial puncak voltametri siklik .....	39
4.3 Hasil perhitungan Nilai $k_0$ elektrode kerja zeolit .....	40

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
2.1 Struktur tetrahedral $\text{SiO}_4$ dan $\text{AlO}_4$ pembentuk struktur zeolit .....	11
2.2 Skematis superkapasitor.....	14
2.3 Skema sel voltametri .....	18
2.4 Tipe <i>cyclic voltammogram</i> posisi puncak $E_p$ dan arus puncak $I_p$ (a) dan (b) <i>cyclic voltammogram reversible</i> (a), <i>quasi-reversibel</i> (b), dan <i>irreversible</i> (c) dari transfer elektron .....	19
2.5 Ilustrasi sistem reversibel .....	22
2.6 Siklik voltamogram sistem irreversibel .....	24
2.7 Siklik voltamogram sistem quasi-reversibel .....	24
3.1 Skema alat pengukuran voltametri siklik.....	30
3.2 Diagram alir penelitian.....	31
4.1 Pola difraktogram XRD zeolit serbuk (G= <i>Gibbsite</i> ), (B= <i>Bohmite</i> ), dan (Q= <i>Quartz</i> ). (a). Suhu kalsinasi 150 °C, (b). Suhu kalsinasi 250 °C, dan (c). Suhu kalsinasi 350 °C.....	33
4.2 Pola difraktogram gabungan XRD zeolit serbuk .....	34
4.3 Potensiostat dan pengukuran arus. (P) potensiostat, (F) aliran arus, (A) penguat arus, dan (W, R, C) elektrode kerja ( <i>working</i> ), elektrode pembanding ( <i>reference</i> ), dan elektrode pembantu ( <i>counter</i> ) .....	37
4.4 Voltamogram elektrode kerja zeolit suhu kalsinasi 150°C .....	38
4.5 Voltamogram elektrode kerja zeolit suhu kalsinasi 250°C .....	38
4.6 Voltamogram elektrode kerja zeolit suhu kalsinasi 350°C .....	38

4.7 Kerangka aluminosilikat terhidrat .....	41
4.8 Hubungan suhu kalsinasi terhadap nilai $k_0$ .....	41

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Kebutuhan manusia akan alat-alat elektronik semakin meningkat seiring dengan kemajuan teknologi yang begitu pesat. Sehingga konsumsi listrik dunia semakin bertambah diikuti dengan bertambahnya kebutuhan manusia terhadap alat-alat elektronik (Adhytiawan dkk, 2013). Oleh sebab itu, para peneliti terus berupaya mengembangkan sebuah piranti elektronik penyimpan energi listrik. Superkapasitor merupakan terobosan baru di dunia piranti penyimpan energi listrik karena memiliki siklus hidup lebih lama dari baterai (Conway, 1999), kapasitas penyimpanan energi lebih besar, rapat daya lebih tinggi dari baterai (Kotz *and* Bartschi, 2002), serta rapat energi yang lebih tinggi dari kapasitor konvensional (Jayalakshmi *and* Balasubramanian, 2008).

Sebagai alat penyimpan energi listrik, superkapasitor telah digunakan secara luas pada bidang elektronik dan transportasi, seperti sistem telekomunikasi digital, komputer, mobil listrik hibrid (*hybrid electrical vehicles*), dan lain sebagainya (Wang, 2004). Proses penyimpanan energi listrik pada superkapasitor mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan kapasitor konvensional, diantaranya adalah waktu pengisian (*charge*) pendek, prinsip kerja dan modelnya sederhana, serta aman dalam penggunaannya (Kotz *and* Carlen, 2000).

Dilihat dari sisi teknis, superkapasitor memiliki jumlah siklus yang relatif banyak ( $>10^4$ ) siklus (An *et al*, 2001), nilai kapasitansi mencapai 10-20  $\mu\text{F}$ , kesesuaian medan listrik yang sangat tinggi sampai  $10^6 \text{ V/cm}$  (Kotz *and* Carlen, 2000), serta dapat beroperasi dengan performa yang stabil pada siklus pengisian dan pengosongan (*charge-discharge*) mencapai  $10^6$  siklus, sedangkan baterai elektrokimia hanya sekitar  $10^3$  siklus (Conway, 1999).

Komponen penyusun utama superkapasitor adalah elektrode yang berfungsi sebagai akumulator muatan listrik pada saat pengisian muatan berlangsung. Penyimpanan energi listrik pada superkapasitor berdasarkan mekanisme reaksi redoks (Staiti *and* Lufrano, 2007), serta prinsip elektrostatik dari pembawa muatan dimana pemberian medan listrik akan mengakibatkan polarisasi muatan karena terbentuknya pasangan ion dalam elektrolit dan elektrode suatu bahan (Rosi dkk, 2012 ; Pinero *et al*, 2006).

Superkapasitor yang ideal memiliki elektrode dengan penyerapan muatan listrik tinggi untuk menghasilkan kapasitansi spesifik yang besar (Arif dkk, 2015). Kemampuan penyimpanan energi pada superkapasitor dipengaruhi oleh struktur pori yang berhubungan dengan proses difusi ion ke dalam pori elektrode dimana proses ini merupakan faktor penting yang mempengaruhi pengisian dan pengosongan energi listrik (Choi *et al*, 2012). Superkapasitor membutuhkan elektrode dari bahan dengan luas permukaan spesifik yang besar dan struktur berpori sehingga aksesibilitas ion akan lebih cepat meningkatkan efisiensi elektrode superkapasitor. Dengan demikian, struktur dan luas permukaan spesifik suatu bahan menjadi faktor utama yang menentukan kapasitansi elektrode

superkapasitor. Semakin besar luas permukaan spesifik maka kapasitansnya akan semakin bertambah (Ariyanto dkk, 2012).

Material dasar yang umum digunakan untuk pembuatan elektrode superkapasitor adalah karbon aerogel (Stoller *et al*, 2008), *single-walled carbon nanotube* (An *et al*, 2001), komposit mineral karbon (Izadi *et al*, 2011), dan *ruthenium oxide* (Patake *et al*, 2009). Selain material-material tersebut, terdapat suatu material yang belum termanfaatkan sebagai elektrode, sementara potensinya sangat besar untuk digunakan sebagai pengganti *carbon* maupun *ruthenium oxide*. Material tersebut merupakan aluminosilikat atau zeolit.

Zeolit termasuk kelompok aluminosilikat terhidrasi dari logam alkali atau logam alkali tanah, yang merupakan bahan anorganik berpori dengan struktur pori sangat teratur (Shumba *et al*, 2011). Zeolit diketahui mempunyai sifat unik yang mampu menukar ion, densitas rendah, dan struktur berpori (Bogdanov *et al*, 2009). Zeolit juga sangat berguna untuk mengatasi mobilitas unsur-unsur beracun dalam sejumlah aplikasi lingkungan, memiliki sifat nonkorosif (Wu *et al*, 2008), dan tidak mudah rusak bila terkena pelarut organik atau bahan kimia lain (Saputra dan Rosjidi, 2004). Sehingga zeolit berpotensi untuk dijadikan elektrode superkapasitor yang dapat bekerja melalui mekanisme transfer faraday muatan reaksi redoks yang ramah lingkungan. Muresan (2011), berhasil memodifikasi zeolit (*Zeolite-Modified Electrodes*) atau dikenal sebagai ZMEs untuk bahan dasar elektrode superkapasitor. ZMEs merupakan suatu bagian dari modifikasi elektrode secara kimiawi dengan mengkombinasikan sifat intrinsik ZMEs melalui sebuah reaksi elektrokima.

Zeolit dapat disintesis dari campuran silika dan natrium alumina yang direaksikan secara kimiawi dengan berbagai metode seperti hidrotermal, *hydro gel*, dan *sol gel*. Silika dalam pembuatan zeolit sintesis dapat diperoleh dari limbah sekam padi. Sebab, di dalam abu sekam padi terdapat silika sebanyak 96,6% (Houston, 1972). Menurut Fahmi dan Ronaldi (2013), tingkat kemurnian tertinggi silika sekam padi diperoleh sebesar 98,12%. Disamping itu, silika sekam padi memiliki struktur amorf (Suka dkk, 2008) sehingga lebih reaktif dalam reaksi kimia dibanding dengan silika mineral. Dengan demikian, sekam padi mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber silika, sehingga nilai ekonomis dari limbah sekam padi dapat ditingkatkan.

Penelitian terkait zeolit sintesis telah banyak diteliti, seperti yang dilakukan oleh Putro dan Prasetyoko (2007) yang berhasil mensintesis zeolit ZSM-5 menggunakan metode hidrotermal dengan sumber silika dari abu sekam padi pada suhu 195<sup>0</sup>C selama 24 jam dengan perbandingan mol silika dan alumina sebanyak 50. Sementara itu, Palcic dkk (2015) mensintesis zeolit tipe A menggunakan metode *hydro gel* dengan kadar silika 99,8 wt% dan natrium alumina 41%. Namun, pembuatan zeolit sintesis dengan metode hidrotermal maupun *hydro gel* memiliki sisi kelemahan, yaitu memerlukan suhu cukup tinggi dan waktu reaksi yang cukup lama. Dari sisi kelemahan kedua metode tersebut, dipilihlah metode *sol gel*. Metode *sol gel* dipilih karena berbiaya rendah (*low-cost*), tidak memerlukan suhu tinggi, dan menghasilkan tingkat kehomogenan yang tinggi (Sembiring, 2011).

Berdasarkan uraian di atas, dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan zeolit sintesis dengan sumber silika yang berasal dari sekam padi dan campuran natrium alumina menggunakan metode *sol gel*. Zeolit sintesis yang telah terbentuk dikalsinasi (150, 250, dan 350<sup>0</sup>C), kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui fase struktur kristal, serta diuji menggunakan teknik CV (*cyclic voltammetry*) guna mengetahui reversibilitas reaksi yang dihasilkan. CV merupakan suatu teknik yang mampu memberikan informasi mengenai proses termodinamika reaksi redoks dan kinetika transfer elektron yang terjadi di permukaan elektrode (Wang, 2000).

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang diteliti adalah:

1. Bagaimana pengaruh suhu kalsinasi terhadap pembentukan fase zeolit.
2. Bagaimana pengaruh suhu kalsinasi terhadap nilai konstanta standar kecepatan elektron.
3. Bagaimana hubungan antara fase zeolit terhadap nilai konstanta standar kecepatan elektron yang dihasilkan akibat perubahan suhu kalsinasi.

## **C. Batasan Masalah**

Permasalahan yang dibatasi pada penelitian ini adalah:

1. Sintesis zeolit dibuat dari komposisi silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan natrium alumina ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ ) dengan perbandingan 5:1 menggunakan metode *sol gel*.
2. Variasi suhu kalsinasi yang dilakukan adalah 150, 250, dan 350 C.

3. Hasil sintesis zeolit dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui fase zeolit dan CV (*Cyclic Voltammetry*) untuk mengetahui reversibilitas reaksi dari grafik voltammogram yang dihasilkan.
4. Pada pengujian CV, zeolit diposisikan sebagai elektrode kerja, elektrode pembantu yang digunakan adalah platina (Pt), elektrode pembanding yang digunakan adalah perak/perak klorida (Ag/AgCl), larutan elektrolit yang digunakan berupa natrium hidroksida (NaOH 0,1 M), dan analit berupa kalium hidroksida ftalat (KHP 0,1 M).

#### **D. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh suhu kalsinasi terhadap pembentukan fase zeolit.
2. Untuk mengetahui pengaruh suhu kalsinasi terhadap nilai konstanta standar kecepatan elektron.
3. Untuk mengetahui keterkaitan hubungan antara fase zeolit terhadap nilai konstanta standar kecepatan elektron yang dihasilkan akibat perubahan suhu kalsinasi.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Meningkatkan nilai tambah sekam padi sebagai sumber silika, sehingga menjadi limbah yang memiliki nilai jual tinggi.

2. Menambah pengetahuan terkait proses pembuatan zeolit yang disintesis dari silika sekam padi dan natrium alumina dengan metode *sol gel* serta karakteristik fase struktur kristalnya.
3. Memperoleh informasi ilmiah mengenai potensi zeolit sebagai elektrode superkapasitor.
4. Mendapatkan informasi secara kualitatif berupa reversibilitas reaksi yang dihasilkan dari zeolit sintesis dengan pengukuran CV.
5. Menambah informasi secara kuantitatif terkait besarnya nilai konstanta standar kecepatan elektron yang dihasilkan terhadap reversibilitas reaksi dan hubungannya dengan fase zeolit akibat variasi suhu kalsinasi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Silika Sekam Padi

Sekam padi merupakan limbah dari penggilingan padi dengan kadar persentase yang cukup tinggi dan memiliki nilai ekonomi rendah. Berdasarkan penelitian Sharma *et al* (1984), kandungan komposisi senyawa kimia yang ada di dalam sekam padi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi kimia sekam padi (Sharma *et al*, 1984).

Unsur Pokok	Kandungan (wt %)
Senyawa-senyawa organik dan pengotor	73,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,28
CaO	1,24
MgO	0,21
SiO <sub>2</sub>	22,12
MnO <sub>2</sub>	0,074

Silika sekam padi bersifat amorf, sehingga lebih reaktif jika digunakan dalam berbagai campuran reaksi kimia dibandingkan dengan silika yang bersumber dari bahan baku lain. Para peneliti telah mencoba berbagai cara untuk memperoleh silika sekam padi tersebut, salah satunya dengan metode pengabuan dan ekstraksi. Mohamed *et al* (2015) berhasil memperoleh silika dari sekam padi dengan metode pengabuan pada temperatur 500-800°C selama 5-6 jam. Komposisi kimia abu sekam padi dari penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Komposisi kimia abu sekam padi (Mohamed *et al*, 2015)

Komposisi kimia abu sekam padi	wt %
SiO <sub>2</sub>	89,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,28
K <sub>2</sub> O	1,22
CaO	1,00
C	18,24

Perolehan silika dengan metode pengabuan umumnya masih mengandung impuritas dan tingkat kehomogenan yang relatif rendah. Oleh sebab itu, biasanya digunakan metode ekstraksi untuk menghasilkan silika dengan tingkat kemurnian dan homogenitas yang tinggi, serta dalam prosesnya tidak memerlukan suhu tinggi sehingga sifat reaktif silika amorf dapat dipertahankan (Sembiring, 2011). Sifat fisis silika sekam padi dalam bentuk gel yang telah diekstrak dari sekam padi dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Sifat-sifat fisis silika gel dari sekam padi (Prasad *and* Monika, 2012; Pijarn *et al*, 2010 ; Kamath *and* Proctor, 1998)

Sifat	Nilai	Keterangan
Konduktivitas termal	~0,01 W/m.K	Ditentukan dengan uji konduktivitas yang diisolasi pada ruang vakum
<i>Bulk density</i>	0,45 g/ml	Ditentukan menggunakan Helium <i>pincometry</i>
Porositas	80%	Ditentukan menggunakan metode BET
Luas permukaan spesifik	142-375 m <sup>2</sup> /g	Ditentukan dengan nitrogen adsorption/desorption
Diameter pori rata-rata	~13 nm	Ditentukan dengan nitrogen adsorption/desorption
Diameter partikel primer	5-50 nm	Ditentukan dengan <i>electron microscopy</i>
Indeks bias	1,46	Sangat rendah untuk sebuah bahan padat
Konstanta dielektrik	~1-2	Sangat rendah untuk sebuah bahan padat

Pemanfaatan silika yang bersumber dari sekam padi telah digunakan dalam berbagai bentuk material, seperti halnya keramik borosilikat (Rachmaini, 2010), komposit (Dahliana dkk, 2013), sintesis zeolit NaY (Mohamed *et al*, 2015), dan sintesis zeolit ZSM-5 tanpa menggunakan templat organik (Putro dan Prasetyoko, 2007).

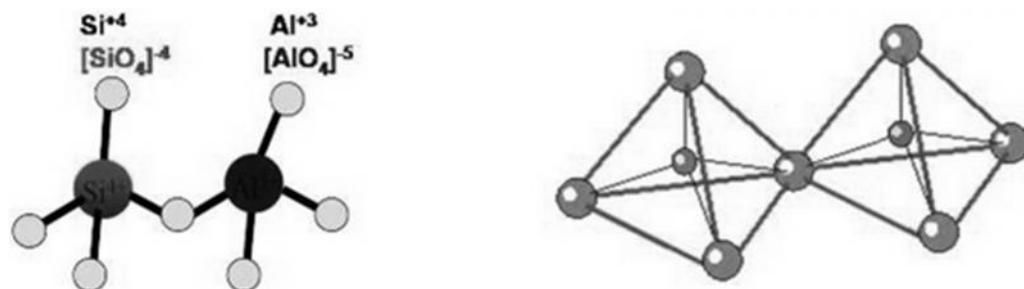
## B. Zeolit

Zeolit merupakan material aluminosilikat (*powders*) yang memiliki struktur *microporous* (Bogdanov *et al*, 2009). Ukuran dan bentuk zeolit berupa kristal berongga (pori-pori terbuka) tergantung pada jenis zeolit. Ukuran kristal zeolit bervariasi mulai dari nanokristal (30-50 nm) sampai berupa butir yang cukup besar (lebih dari 100  $\mu\text{m}$ ), serta morfologi kristal yang dimiliki zeolit sangat teratur (Palcic *et al*, 2015).

Struktur kerangka zeolit berbentuk tiga dimensi tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  yang terhubung oleh atom-atom oksigen, sehingga menjadi suatu bentuk kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga berisi ion-ion logam (Lestari, 2010; Cheetam, 1992). Ion silikon bervalensi 4, sedangkan aluminium bervalensi 3. Inilah yang menyebabkan struktur zeolit kelebihan muatan negatif yang diseimbangkan oleh ion-ion bermuatan positif dari logam alkali atau alkali tanah seperti (natrium, kalium, magnesium, *lithium*, barium, dan kalsium), maupun ion positif lainnya.

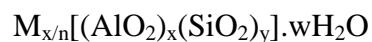
Ion-ion positif tersebut berada di luar tetrahedral, bisa bergerak bebas dalam rongga-rongga zeolit, serta sebagai penukar ion yang dapat dipertukarkan dengan

ion-ion positif lainnya tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara reversibel. Sifat-sifat inilah yang mendasari zeolit sebagai penukar ion positif (Palcic *et al*, 2015). Struktur tetrahedral zeolit dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Struktur tetrahedral  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  pembentuk struktur zeolit (Anonim. 2015).

Secara umum rumus kimia zeolit dapat dituliskan sebagai berikut:



Dimana:

$\text{M}$  = Kation alkali atau kation alkali tanah,

$n$  = Bilangan valensi dari kation,

$w$  = Jumlah molekul air per unit sel,

$x$  dan  $y$  = Jumlah total tetrahedral per unit sel,

Untuk perbandingan  $y/x$  biasanya mempunyai nilai 1 sampai 5, meskipun untuk silika zeolit  $y/x$  dapat mencapai nilai 10 sampai 100 (Georgiev *et al*, 2009).

Berdasarkan proses pembentukannya zeolit terbagi menjadi dua yaitu zeolit alam (berasal dari alam) dan zeolit sintesis (buatan manusia).

### 1. Zeolit Alam

Zeolit alam merupakan mineral yang jumlahnya banyak tetapi distribusinya tidak merata, seperti klinoptilolit, mordenit, phillipsit, chabazit dan laumontit (Lestari, 2010). Pada umumnya zeolit alam seperti mordenite, memiliki diameter pori 3 sampai 6,2 Å, sehingga kemampuan sebagai penyaring/pemisah molekul-molekul yang berukuran besar sangat terbatas. Disamping itu, zeolit alam memiliki kandungan pengotor yang cukup banyak, sifat kristalinitasnya kurang baik, dan karakteristiknya beragam menyesuaikan tempat zeolit tersebut ditemukan, sehingga sulit untuk diidentifikasi.

### 2. Zeolit Sintesis

Zeolit alam tidak bisa ditemukan dalam skala besar di dunia industri, oleh karenanya pembuatan zeolit sintesis menjadi penting untuk dilakukan sebagai pengganti zeolit alam. Jika dibandingkan dengan zeolit alam, zeolit sintesis mempunyai banyak keuntungan seperti tingkat kemurnian yang tinggi, ukuran pori seragam, dan kemampuan penukar ion yang lebih baik (*ion-exchange*) (Bogdanov *et al*, 2009).

Sejauh ini, pemanfaatan zeolit sintesis secara komersial lebih banyak daripada zeolit alam, karena zeolit sintesis menghasilkan struktur kristal dan ukuran partikel yang tersebar secara merata serta bisa dikontrol dengan mudah. Pada tahun 1987 terdapat sekitar 180 tipe zeolit sintesis yang telah diketahui. Beberapa

diantaranya adalah zeolit sintesis tipe A, X, Y, L, ZSM-5, dan omega (Bogdanov *et al*, 2009 ; Meir and Olson, 1987).

Hal demikian menjadi pemicu bagi para peneliti untuk mensintesis zeolit menggunakan bahan baku limbah dan meninggalkan bahan baku sintetik karena memakan biaya yang cukup mahal. Bahan baku limbah tersebut misalnya sekam padi yang dijadikan sebagai sumber silika (Simanjuntak *et al*, 2013).

Rumus oksida dari beberapa zeolit sintesis dapat dilihat pada Tabel 2.4.

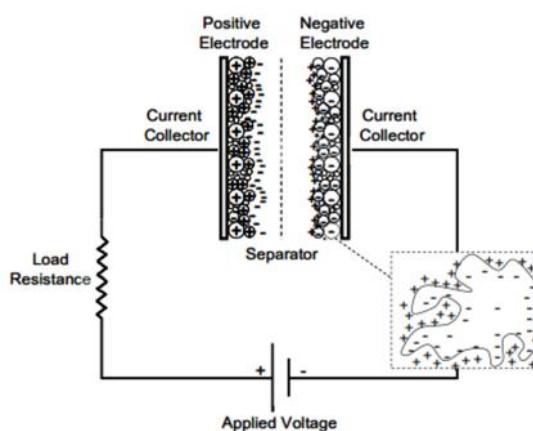
Tabel 2.4. Rumus oksida dari beberapa tipe zeolit sintesis (Georgiev *et al*, 2009).

Zeolit	Rumus Oksida
Zeolit A	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$
Zeolit N-A	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ TMA- $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
Zeolit H	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Zeolit L	$(\text{K}_2\text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Zeolit X	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,5 \text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Zeolit Y	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 8,9\text{H}_2\text{O}$
Zeolit P	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2-5\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Zeolit O	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ TMA- $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
Zeolit	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ TMA- $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
Zeolit ZK-4	$0,85\text{Na}_2\text{O} \cdot 0,15(\text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3,3\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Zeolit ZK-5	$(\text{R}, \text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4-6\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

### C. Superkapasitor

Sebuah teknologi baru yakni superkapasitor kini hadir sebagai bentuk penyimpanan energi yang lebih unggul. Superkapasitor dikenal dengan berbagai nama seperti *double layer capacitors*, *supercapacitors*, *ultracapacitor*, *power capacitor*, *gold capacitors*, atau *power cache*. Superkapasitor menyimpan energi

dalam medan listrik (Kotz *and* Carlen, 2000). Superkapasitor mengikuti prinsip-prinsip dasar yang sama seperti kapasitor konvensional. Namun, pada superkapasitor luas area permukaan elektrode dibuat lebih besar dan ketebalan bahan dielektrik dibuat jauh lebih tipis, sehingga memperkecil jarak antara elektrode, serta dapat meningkatkan kapasitansi dan energi (Conway, 1999). Superkapasitor dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skematis superkapasitor (Halper *and* James, 2006).

Beberapa perbandingan antara baterai, kapasitor konvensional, dan superkapasitor dapat dilihat dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Parameter perbandingan antara baterai, kapasitor, dan superkapasitor (Balakrishnan *and* Subramanian, 2008).

	Baterai	Kapasitor	Superkapasitor
Waktu pengisian	1-5 h	$10^{-3}$ s- $10^{-6}$ s	0,3-30 s
Rapat energi (Wh/kg)	10-100	< 0,1	1-10
Rapat daya (W/kg)	50-200	> 10.000	$\approx$ 1000
Siklus hidup	500-2000	> 500.000	> 100.000

Berdasarkan pada perkembangan riset saat ini, superkapasitor dibagi menjadi tiga kategori yaitu: kapasitor elektrokimia *double-layer*, pseudokapasitor, dan

kapasitor hibrid. Setiap kategori mempunyai mekanisme yang unik dalam menyimpan muatan, yaitu dengan mekanisme *nonfaradaic*, *faradaic*, dan kombinasi dari keduanya (*faradaic* dan *nonfaradaic*). Proses *faradaic* mengikuti mekanisme reaksi oksidasi-reduksi yang melibatkan transfer muatan antara elektrode dan elektrolit. Sebaliknya, mekanisme *nonfaradaic* tidak menggunakan mekanisme redoks, melainkan muatan terdistribusi pada permukaan dengan proses fisis yang tidak melibatkan terbentuk atau terputusnya ikatan kimia (Halper and James, 2006).

Desain superkapasitor hampir sama seperti baterai yang terdiri atas dua lapisan aktif dan sebuah separator yang tercelup ke dalam larutan elektrolit. Resistansi ionik bergantung pada konduktivitas ionik dari elektrolit, porositas elektrode, porositas separator, serta ketebalan elektrode dan ketebalan separator. Resistansi ionik pada superkapasitor juga sangat tergantung pada ukuran ion-ion dari difusi elektrolit yang masuk ke dalam dan ke luar pori-pori partikel elektrode. Biasanya tidak terjadi persoalan ketika menggunakan larutan elektrolit seperti KOH, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Namun sedikit bermasalah apabila elektrolit yang digunakan adalah elektrolit yang terbuat dari bahan organik seperti karbonat propilena atau aseton nitrit (Jacob, 2009).

#### D. *X-Ray Diffraction*

Difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction*), merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit. Sebagai contoh identifikasi struktur kristal dan fase dalam bahan, memanfaatkan radiasi

gelombang elektromagnetik sinar-X dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Sinar-X memiliki rentang energi 10-100 MeV dengan panjang gelombang 10 sampai  $10^{-3}$  nm dan diklasifikasikan sebagai gelombang elektromagnetik yang berbeda dari gelombang radio, cahaya, dan sinar gamma (Waseda *et al*, 2011).

Jika sinar-X ditembakkan pada suatu bahan, maka beberapa sinar akan dipantulkan oleh bidang kristal yang terdapat dalam suatu bahan dengan sudut pantulan yang sama dengan sudut datang. Sedangkan sisanya akan ditransmisikan menembus bidang. Arah difraksi sinar-X hanya akan terdeteksi pada saat kondisi Bragg atau “hukum Bragg” yang memenuhi persamaan:

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

Dimana:

$\lambda$  = Panjang gelombang sinar-X,

$d$  = Jarak antar bidang,

$n$  = Orde difraksi (1, 2, 3, dan seterusnya)

$\theta$  = Sudut datang sinar (Waseda *et al*, 2011).

Fase struktur kristal merupakan susunan dari deretan atom yang letaknya teratur pada suatu bahan, masing-masing atom pada kristal dapat menghamburkan gelombang elektromagnetik yang datang padanya. Peristiwa hamburan sinar-X oleh atom-atom pada kristal disebut difraksi sinar-X. Difraksi sinar-X merupakan suatu model uji karakterisasi bahan yang digunakan untuk mengidentifikasi fase sebuah partikel, misalnya untuk tujuan analisis komposisi fase, penentuan ukuran kristal, dan penentuan regangan kristal.

Pengukuran data difraksi menghasilkan keluaran penting yaitu, sudut 2 dan intensitas pada sudut yang bersesuaian (Pratapa, 2004). Dalam rangka memenuhi kebutuhan tersebut, metode yang paling umum digunakan adalah Rietveld (Young, 1993) dengan *software* Rietica. Kelebihan metode Rietveld adalah memiliki kemampuan dalam menganalisis data keluaran XRD dengan mencocokkan lebih dari satu fase yang ada sekaligus dan mampu mengidentifikasi fase yang saling bertumpukan yang tidak dapat dilakukan menggunakan metode lainnya (Moto *et al*, 2003).

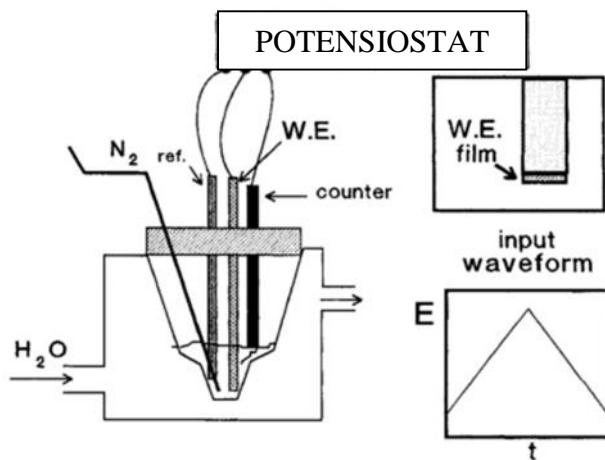
Kristalinitas bahan yang diuji digambarkan oleh suatu pola difraksi yang diperoleh dari difraktometer sinar-X. Dari pola difraksi tersebut dapat diperkirakan ada atau tidaknya fase kristal atau fase amorf. Sedangkan untuk menentukan fase apa saja yang terdapat pada bahan disebut identifikasi fase. Proses identifikasi fase didasarkan pada pencocokan data posisi-posisi puncak difraksi terukur dengan *database*, seperti dalam bentuk kartu PDF (*Powder Diffraction File*). Selain itu, ada juga yang menggunakan *software* berupa *peak search* (menemukan posisi puncak) dan *search match* (pencocokan terhadap *database*). *Search match* dapat dilakukan dengan cara manual maupun cara berbasis komputer (Pratapa, 2004).

#### **E. Cyclic Voltammetry**

Voltametri siklik merupakan suatu metode analisis elektrokimia berlandaskan terhadap pengukuran nilai arus listrik sebagai fungsi aliran potensial yang diberikan secara bolak-balik pada sel elektrokimia (Gosser, 1993). Informasi yang

dapat diperoleh dari teknik ini berupa interpretasi reversibilitas reaksi, studi mekanisme reaksi, dan studi proses adsorpsi (Wang, 2000). Selain itu, teknik ini juga dilakukan untuk analisis kualitatif seperti karakterisasi elektrode, mempelajari terbentuknya ion radikal secara elektrokimia, mempelajari pengaruh ligand pada oksidasi reduksi atom pusat suatu senyawa ion, dan mempelajari reaksi katalisis enzimatik.

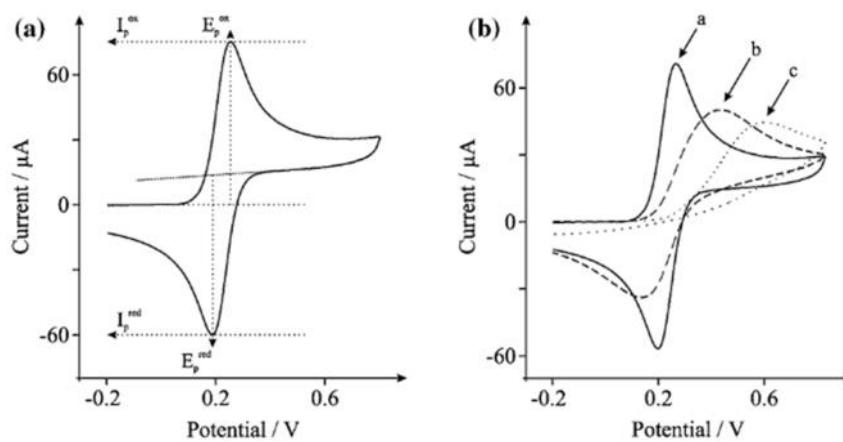
Voltametri siklik memiliki beberapa keunggulan diantaranya kecepatan analisis, instrumentasi sederhana, dan murah. Dalam sistem voltametri terdapat tiga elektrode yang digunakan diantaranya adalah elektrode kerja, elektrode pendukung dan elektrode pembanding (Wachid dkk, 2014). Ketiga elektrode pada sel voltametri tercelup ke dalam larutan elektrolit seperti dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Skema sel voltametri (Rusling and Steven, 1994)

Potensiostat mengatur pemberian potensial antara elektrode kerja dan elektrode pembanding. *Scan rate* dapat dipilih pada rentang 0,001 sampai  $200 \text{ Vs}^{-1}$  atau lebih (Rusling and Steven, 1994). Tahanan (R) ditempatkan antara elektrode kerja

dan elektrode pembantu supaya arus tidak melewati kedua elektrode tersebut. Ketika terjadi reaksi redoks pada elektrode kerja, arus yang dihasilkan dilewatkan ke elektrode pembantu, sehingga reaksi yang terjadi pada elektrode pembantu akan berlawanan dengan reaksi yang terjadi pada elektrode kerja. Hasil dari CV berupa plot arus terhadap tegangan yang dinamakan *cyclic voltammogram*. Grafik voltamogram dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Tipe *cyclic voltammogram* posisi puncak  $E_p$  dan arus puncak  $I_p$  (a), dan (b) *cyclic voltammogram reversible* (a), *quasi-reversible* (b), dan *irreversible* (c) dari transfer elektron (Brownson and Banks, 2014).

Mekanisme reaksi yang terjadi pada voltametri siklik terbagi menjadi tiga jenis yaitu, reversibel, irreversibel, dan quasi-reversibel. Sementara itu, perbedaan antara cepat dan lambatnya elektrode kinetik berhubungan dengan kecepatan massa transport dengan konstanta standar kecepatan elektron ( $k_0$ ). Jika  $k_0 \gg m_T$  maka menandakan reaksi bersifat reversibel, jika  $k_0 \ll m_T$  maka reaksi bersifat irreversibel (Brownson and Banks, 2014).

Penentuan koefisien massa transport ( $m_T$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$m_T = \sqrt{\frac{\pi n F D v}{(RT)}} \quad (2.3)$$

Dimana:

$$\pi = 3.14$$

$n$  = Jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi,

$F$  = Konstanta Faraday (96. 500 mol<sup>-1</sup>),

$D$  = Koefisien difusi (cm<sup>2</sup>/s),

$V$  = Scan rate (V/s),

$R$  = Konstanta Rydberg (8,314 J/Kmol),

$T$  = Temperatur larutan (K).

Menurut Klingier dan Kochi, (1981) nilai  $k_0$  dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$k_0 = 2,18 \left( \frac{D \beta n F v}{RT} \right)^{1/2} \exp \left[ -\frac{\beta^2 n F}{RT} (E_{pa} - E_{pc}) \right] \quad (2.4)$$

dimana,

$$\beta = \left[ \frac{1,857 RT}{n F} \right] \frac{1}{(E_p - E_{p/2})} \quad (2.5)$$

Substitusi persamaan 2.4 ke persamaan 2.5, maka didapatkan nilai  $k_0$ :

$$k_0 = 2,18 \left( \frac{D n F v}{RT} \right)^{1/2} \left( \frac{1,857 RT}{n F} \frac{1}{E_p - E_{p/2}} \right)^{1/2} \exp \left( -\left[ \frac{1,857 RT}{n F} \right] \frac{1}{(E_p - E_{p/2})} \right)^2 \frac{n F}{RT} (E_{pa} - E_{pc}) \quad (2.6)$$

Untuk membedakan jenis mekanisme reaksi yang terjadi ketika pengukuran CV, dapat dilihat dari parameter yang ditunjukkan pada Tabel 2.6 (Aristov and Habekost, 2015).

Tabel 2.6. Perbedaan mekanisme *reversible*, *irreversible*, dan *quasi-reversible* berdasarkan nilai  $k_0$  dan  $\Lambda$  (Aristov and Habekost, 2015).

<i>Reversible</i>	<i>Quasi-reversible</i>	<i>Irreversible</i>
$> 10$	$10 >$	$> 10^{-2}$
$k_0 > 0,35 \text{ v}^{1/2}$	$0,35 \text{ v}^{1/2} > k_0 > 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ v}^{1/2}$	$k_0 < 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ v}^{1/2}$

Untuk penentuan nilai  $\Lambda$  digunakan persamaan 2.7

$$\Lambda = k_0/m_{trans} \quad (2.7)$$

Dimana:

$\Lambda$  = parameter dimensi,

$k_0$  = konstanta standar kecepatan elektron.

a) Voltametri siklik dengan sistem reversibel

Suatu sistem dikatakan reversibel ketika elektrode kinetik lebih cepat daripada kecepatan difusi. Persamaan Nernst untuk kondisi sistem reversibel:

$$\frac{[Ox]_{X=0}}{[Red]_{X=0}} = \exp \left[ \frac{nF}{RT} (E - E^0) \right] \quad (2.8)$$

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Ox]_{X=0}}{[Red]_{X=0}} \quad (2.9)$$

Dimana  $[Ox]_{X=0}$  dan  $[Red]_{X=0}$  merupakan konsentrasi dari jenis larutan pada permukaan elektrode. Voltamogram dibuat secara reversibel dari transfer elektron.

Arus puncak voltametri siklik (pada suhu 298 K) dihitung dengan persamaan Randles-Sevcik:

$$i_p = (2,69 \times 10^5) n^{3/2} A D_0^{1/2} C_0 V^{1/2} \quad (2.10)$$

Dimana:

$A$  = Luas permukaan elektrode dalam satuan  $\text{cm}^2$ ,

$D_0$  = Koefisien difusi dalam satuan  $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ,

$C_0$  = Konsentrasi dalam mol cm<sup>-3</sup>,

$V$  = Scan rate dalam V s<sup>-1</sup>,

$n$  = Jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi,

$i_p$  = Arus puncak dalam satuan Ampere (A).

Potensial puncak ( $E_p$ ) diberikan pada persamaan:

$$E_p = E^0 - 1,109 \frac{RT}{nF} \quad (2.11)$$

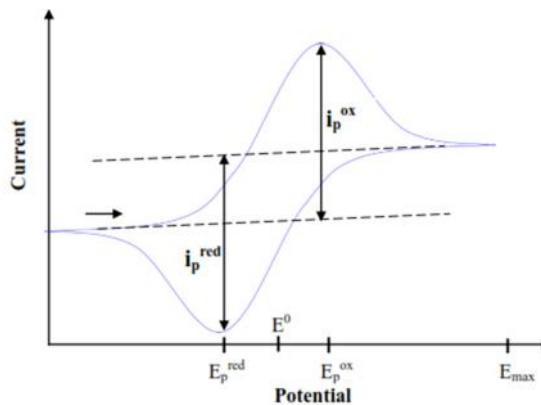
Pada saat puncak melebar, potensial puncak akan sulit untuk dianalisis, oleh karena itu terkadang hal ini lebih mudah untuk dihitung potensialnya pada  $i_{p/2}$  yang dinamakan setengah potensial puncak (*half-peak potential*),  $E_{p/2}$  dalam perhitungan dituliskan:

$$E_{\frac{p}{2}} = E^0 + 1,109 \frac{RT}{nF} \quad (2.12)$$

Oleh karena itu, persamaan ini menjadi:

$$|E_p - E_{p/2}| = 2,20 \frac{RT}{nF} \quad (2.13)$$

Karenanya, potensial puncak ( $E_p$ ) tidak bergantung pada *scan rate* ( $V$ ) dan arus puncak ( $i_p$ ) proporsional terhadap  $V^{1/2}$ , seperti terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Ilustrasi sistem reversibel. Tanda panah menunjukkan arah dari inisial *scan* (Fernandez, 2009).

Elektrode yang mengalami reaksi secara reversibel, arus puncak anodik ( $i_{pa}$ ) dan katodik ( $i_{pc}$ ) bernilai satu, seperti dituliskan pada persamaan:

$$\frac{i_{pa}}{i_{pc}} = 1 \quad (2.14)$$

Sistem reversibel pada elektrode melibatkan terjadinya transfer elektron yang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E_p = E_{pa} - E_{pc} = \frac{0.059}{n} \quad (2.15)$$

Dimana:

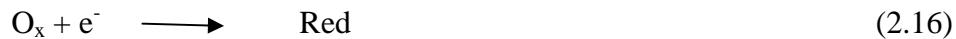
$n$  = Jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi,

$E_{pa}$  = Potensial puncak anodik,

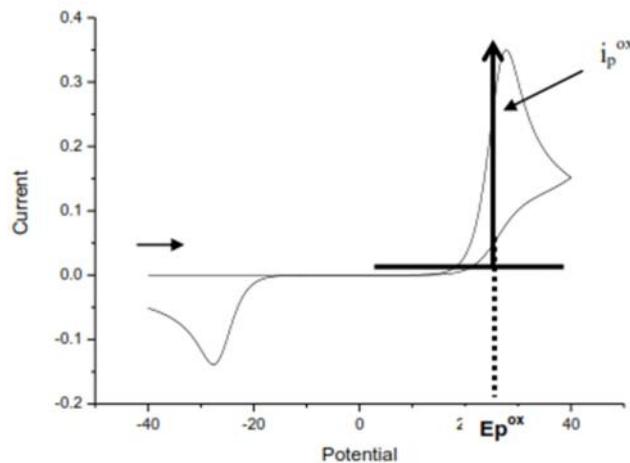
$E_{pc}$  = Potensial puncak katodik (Skoog *et al*, 2013).

### b) Voltametri siklik dengan sistem irreversibel

Suatu sistem dikatakan irreversibel pada saat elektrode kinetik lebih lambat daripada kecepatan difusi. Untuk reaksi irreversibel dari tipe satu elektron (*one-electron*), satu langkah reaksi (*one step reaction*):



Pada saat sistem irreversibel, potensial puncak terlihat pada potensial-potensial yang lebih lebar atau lebih besar dari nilai  $E^0$ , karena jumlahnya sedikit atau tidak ada arus yang mengalir. Oleh karena itu, potensial yang berlebih menjadikan reduksi terjadi lebih mudah. Siklik voltamogram pada sistem irreversibel dapat dilihat pada Gambar 2.6.



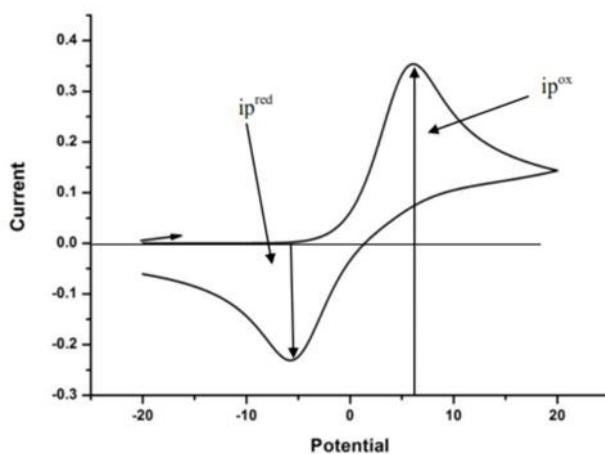
Gambar 2.6. Siklik voltamogram sistem irreversibel (Fernandez, 2009).

c) Voltametri siklik dengan sistem quasi-reversibel

Sistem quasi-reversibel ini merupakan pertengahan antara reversibel dan irreversibel. Untuk setiap satu langkah (*one step*) kasus satu elektron (*one electron*) diberikan pada persamaan:



Grafik quasi-reversibel dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Siklik voltamogram sistem quasi-reversibel (Fernandez, 2009).

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni 2016 sampai Agustus 2016 di Laboratorium Material Fisika FMIPA Unila, Laboratorium Fisika Dasar FMIPA Unila, Laboratorium Instrumentasi dan Analitik Kimia FMIPA Unila, Laboratorium Material Teknik Mesin Unila, dan Pusat Laboratorium Terpadu UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.

#### **B. Bahan dan Alat Penelitian**

##### **1. Bahan Penelitian**

Bahan yang dibutuhkan pada penelitian ini berupa: aquades, sekam padi, aluminium *hydroxide* ( $\text{Al(OH)}_3$ ) Merck KGaA *made in Germany* (1.01091.1000), *sodium hydroxide* ( $\text{NaOH}$ ) Merck KGaA *made in Germany* (1.06498.1000) 99%, asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) 68% RP Chemical Product, dan karbon aktif.

##### **2. Alat Penelitian**

Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa: *beaker glass* Pyrex USA 250 ml, 500 ml; 80 ml, labu ukur Pyrex USA 10 ml/0,2 ml, pH indikator *strips* Merck KGaA *made in Germany* (1.09535.0001), botol filum, pipet tetes, saringan teh,

*plastic press*, spatula, aluminium foil Klinpak 8x30 cm, kertas saring, masker, *magnetic stirrer* Kenko 79-1, *magnetic hot plate stirrer* HMS-79, neraca digital Adventures Ohauss Kern ABT 220-4 4M, *mortar* dan *pastile*, sarung tangan, ayakan 100 µm, penekan hidrolik GRASEBY SPECAC, *furnace* Nabertherm, XRD dan potensiostat.

## C. Prosedur Kerja

### 1. Preparasi Sekam Padi

Prosedur kerja yang dilakukan pada preparasi sekam padi adalah:

1. Mencuci sekam padi dengan air bersih yang mengalir sampai kotoran-kotoran (tanah, debu, batang padi, pasir, dan lain-lain) yang terdapat pada sekam padi terbuang.
2. Merendam sekam padi yang sudah bersih ke dalam air panas selama 6 jam. Dalam proses perendaman ini, terdapat sekam padi yang tenggelam dan mengapung.
3. Mengambil sekam padi yang tenggelam untuk diproses lebih lanjut, sedangkan sekam padi yang terapung tidak dipergunakan lagi.
4. Mengeringkan sekam padi dengan cara dijemur di bawah sinar matahari pada temperatur sekitar  $\pm 35^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 2$  hari sampai kandungan air menguap seluruhnya dan permukaan sekam padi benar-benar telah mengering secara merata.

## 2. Ekstraksi Silika Sekam Padi

Prosedur kerja yang dilakukan pada ekstraksi silika sekam padi adalah:

1. Menimbang NaOH 5% sebanyak 25,25 gr.
2. Melarutkan NaOH ke dalam 500 ml aquades.
3. Memasukkan sebanyak 50 gr sekam padi ke dalam *beaker glass* dan mencampurnya dengan NaOH 5%.
4. Memanaskan campuran sekam padi dan NaOH sampai mendidih ( $\pm$  30 menit) sambil terus diaduk menggunakan spatula.
5. Mendinginkan campuran sekam padi dan NaOH yang telah mendidih sampai uap panasnya menghilang.
6. Menyaring campuran sekam padi dan NaOH supaya memperoleh silika berbentuk *sol*.
7. Membuang hasil saringan (ampas sekam padi).
8. Mengaging *sol* silika selama 24 jam (Sembiring, 2011).

## 3. Sintesis Zeolit

Prosedur kerja yang dilakukan pada sintesis zeolit adalah:

1. Melarutkan 5 gr natrium alumina ke dalam 50 ml larutan NaOH 5%.
2. Mengaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 500 rpm selama 2 jam.
3. Menambahkan sol silika 250 ml secara perlahan sambil terus diaduk pada kecepatan 500 rpm selama 1 jam.
4. Mentetesi sedikit demi sedikit HNO<sub>3</sub> 5% sampai pH menjadi netral, dan mengaduk pada kecepatan 1000 rpm selama 7 jam.

5. Mengaging zeolit selama 24 jam (terbentuk *gel* zeolit).
6. Mengeringkan *gel* zeolit ke dalam oven pada suhu 110°C selama 24 jam.
7. Menggerus zeolit menggunakan *mortar* dan *pastle* sampai halus.
8. Mengayak zeolit menggunakan ayakan berdiameter 100 µm.
9. Memasukkan zeolit ke dalam cetakan berbentuk silinder dan ditekan pada tekanan 10 ton menggunakan pompa hidrolik (pelet zeolit).
10. Mengkalsinasi pelet zeolit pada suhu 150, 250, dan 350°C ke dalam *furnace*.

#### 4. Kalsinasi

Kalsinasi dilakukan menggunakan tungku pembakaran (*furnace*) listrik. Temperatur yang digunakan adalah 150, 250, dan 350°C dengan kenaikan suhu 3° permenit dan waktu penahanan selama 3 jam. Langkah yang dilakukan dalam kalsinasi ini adalah:

1. Menyiapkan sampel yang akan dikalsinasi.
2. Memasukkan sampel ke dalam *furnace*.
3. Menghubungkan aliran listrik dengan *furnace*.
4. Memutar saklar pada posisi *ON* untuk menghidupkan *furnace*.
5. Mengatur suhu yang diinginkan dengan kenaikan 3° permenit dan pada puncaknya ditahan selama 3 jam.
6. Memutar saklar pada posisi *OFF* setelah proses kalsinasi selesai.
7. Menunggu *furnace* sampai pada suhu ruang.
8. Mengeluarkan sampel dari *furnace*.
9. Memutus aliran listrik pada *furnace*.

## 5. Uji Karakterisasi Bahan

### a. X-Ray Diffraction (XRD)

Prosedur kerja yang dilakukan dalam uji XRD adalah:

1. Menyiapkan sampel dan merekatkannya pada kaca, kemudian memasang sampel tersebut di atas *sample holder*.
2. Meletakkan sampel pada *sample stand* di bagian goniometer.
3. Melakukan pengukuran pada *software* melalui komputer pengontrol, meliputi penentuan *scan mode*, rentang sudut, kecepatan *scan* cuplikan, pemberian nama cuplikan, dan memberi nomor urut *file* data.
4. Memberi perintah *Start* pada menu komputer, dimana sinar-X akan meradiasi sampel yang terpancar dari target dengan panjang gelombang tertentu.
5. Melihat hasil difraksi pada komputer dan intensitas difraksi pada sudut  $2\theta$
6. Menganalisis data XRD menggunakan *software rietica*.

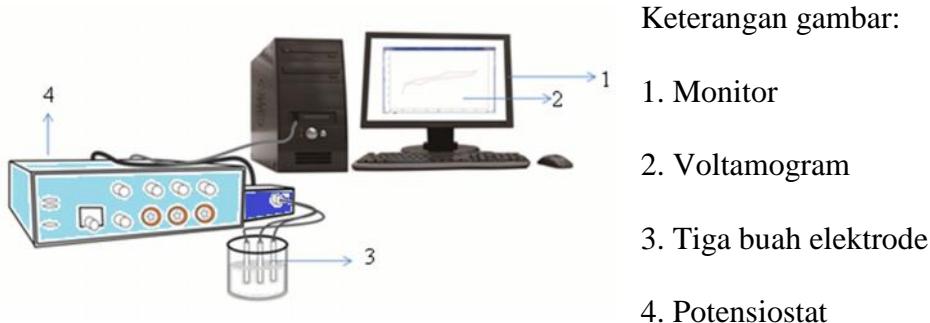
### b. Cyclic Voltammetry (CV)

Prosedur kerja yang dilakukan ketika uji menggunakan CV adalah:

1. Mengecek alat dan memastikan semua parameter bertanda hijau supaya sel siap untuk digunakan.
2. Memasukkan larutan 0,1 M NaOH sebanyak 40 ml ke dalam sel elektrolisis dan menambahkan analit KHP 0,1 M sebanyak 10 ml.
3. Memasang elektrode Ag/AgCl dan elektrode Pt serta elektrode kerja (zeolit) dan menghubungkannya dengan kabel sesuai tulisan yang tertera pada kabel tersebut.
4. Menghubungkan perangkat ke laptop dan mengoperasikan program EChem V2.2.1

5. Memasukkan data-data berupa potensial awal, potensial akhir, jendela potensial, dan *scan rate* pada program.
6. Menganalisis grafik voltamogram yang dihasilkan.

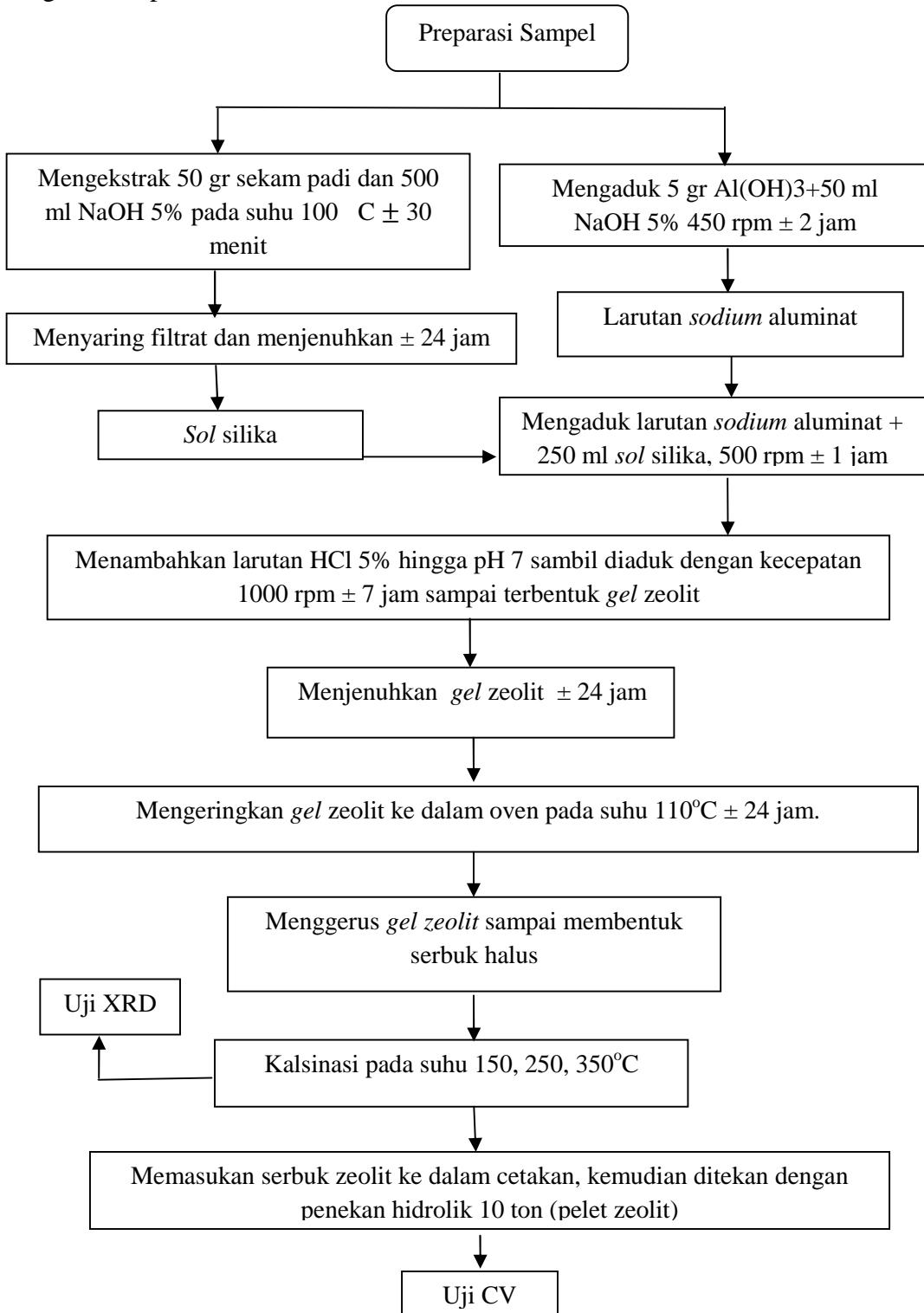
Skema alat yang digunakan pada saat pengukuran CV dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema alat pengukuran voltametri siklik

#### D. Diagram Alir

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



Gambar 3.2. Diagram alir penelitian

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **A. Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan dari penelitian ini adalah:

1. Suhu kalsinasi mempengaruhi pembentukan fase dari kerangka aluminosilikat terhidrat (zeolit). Pada suhu kalsinasi 150 C fase yang terbentuk didominasi oleh *Gibbsite*. Sedangkan pada suhu kalsinasi 250 C fase yang terbentuk adalah *Gibbsite*, *Bohmite*, dan *Quartz*. Pada suhu kalsinasi 350 C fase *Gibbsite* bertransformasi seluruhnya menjadi fase *Bohmite*, dan masih terdapat fase *Quartz*.
2. Suhu kalsinasi mempengaruhi nilai  $k_0$ . Pada suhu kalsinasi 150 C nilai  $k_0$  lebih tinggi jika dibandingkan pada suhu kalsinasi 250 C. Dan mengalami kenaikan kembali pada suhu kalsinasi 350 C.
3. Fase *Gibbsite* pada suhu kalsinasi 150 C diperoleh nilai  $k_0$  tertinggi sebesar  $3,75 \times 10^{-7}$ . Fase *Gibbsite*, *Bohmite* dan *Quartz* pada suhu kalsinasi 250 C diperoleh nilai  $k_0$  tertinggi sebesar  $1,52 \times 10^{-7}$ . Sedangkan untuk fase *Bohmite* dan *Quartz* pada suhu kalsinasi 350 C diperoleh nilai  $k_0$  tertinggi sebesar  $2,16 \times 10^{-7}$ .

## B. Saran

Adanya penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengkaji perubahan fase pembentukan pada zeolit sintesis dan peningkatan nilai  $k_0$  supaya mekanisme reaksi yang berlangsung bersifat reversibel. Hal tersebut kemungkinan besar dapat diwujudkan dengan cara:

1. Penggunaan variasi molaritas pada larutan elektrolit pendukung dan penggunaan variasi elektrolit organik yang lain selain senyawa KHP.
2. Perlu dilakukan uji karakterisasi SEM, dan FTIR untuk memastikan kandungan unsur yang ada dalam zeolit sintesis yang telah dibuat supaya data penelitian lebih lengkap.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhytiawan., Achmad, A., Diah, S. 2013. Pengaruh Variasi Waktu Tahan Hidrotermal terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Material Graphene. *Jurnal Teknik Pomits.* Vol. 2. No. 1. ISSN 2337-3539
- An, Kay Hyeok., Kim, W.S., Park, Y.S., Moon, J.M., Bae, D.J., Lim, S.C., Lee, Y.S., Lee, Y.H. 2001. Electrochemical Properties of High-Power Supercapacitor Using Single-Walled Carbon Nanotube Electrodes. *Advanced Functional Materials.* Vol. 2. No. 5. Hal: 387-392
- Anonim. 2015. Mineral Zeolit. [Http://ardra.biz/sain-teknologi/mineral/mineral-zeolit](http://ardra.biz/sain-teknologi/mineral/mineral-zeolit). Diakses pada tanggal 25 Januari 2015 jam 13.00 WIB
- Arif, E.N., Erman, T., Rakhmawati, F. 2015. Pembuatan dan Karakterisasi Sel Superkapasitor Menggunakan Karbon Aktif Monolit dari Kayu Karet Berdasarkan Variasi Konsentrasi  $\text{HNO}_3$ . *JOM FMIPA.* Vol.2. No. 1. Hal: 49-55
- Aristov, N., and Habekost, A. 2015. Cyclic Voltammetry- A Versatile Electrochemical Method Investigating Electron Transfer Processes. *Journal of Chemical Education.* Vol. 3. No.5. Hal: 115-119
- Ariyanto, T., Imam, P., Rochmadi. 2012. Pengaruh Struktur Pori terhadap Kapasitansi Elektroda Superkapasitor yang Dibuat dari Karbon Nanopori. *Reaktor.* Vol.14. No.1. Hal: 25-32
- Balakrishnan, A., and Subramanian, K.R.V. 2008. *Nanostructured Ceramic for Supercapacitor Applications.* London: CRC Press Taylor and Francis Group. Hal: 65
- Bai, J. 2010. Fabrication and Properties of Porous Mullite Ceramic from Calcines Carbonaceous Kaolin and  $\text{-Al}_2\text{O}_3$ . *Ceramics International.* Vol. 36. Hal: 673-678
- Bogdanov, B., Dimitar, G., Krasmira, A., Yancho, H. 2009. Synthetic Zeolites and Their Industrial and Environmental Applications. *Natural and Mathematical Science.* Vol. 4. Hal: 1-5
- Brownson, D.A.C, and Banks, C.E. 2014. *The Handbook of Graphene Electrochemistry.* London: Springer-Verlag. Hal: 35-42

- Cheetam, D.A. 1992. *Solid State Compound*. Oxford: University Press. Hal: 2-237
- Choi, W.S., Shim, W.G., Ryu, D.W., Hwang, M.J., Hee, M. 2012. Effect of Ball Milling on Electrochemical Characteristics of Walnut Shell Based Carbon Electrodes for EDLCS. *Microporous and Mesoporous Materials*. Vol 55. Hal: 274-280
- Conway, B.E. 1999. *Electrochemical Supercapacitors Scientific Fundamentals and Technological Applications Edisi ke-1*. New York United State of America: Kluwer Academic/Plenum Publisher
- Dahliana, D., Simon, S., Wasinton, S. 2013. Pengaruh Suhu Sintering terhadap Karakteristik Fisis Komposit Mgo-Sio<sub>2</sub> Berbasis Silika Sekam Padi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 01. No. 01. Hal: 49-52
- Fahmi, H., dan Ronaldi. 2013. Optimasi Variasi Waktu Pengeringan dan Kecepatan Tiupan Udara Pembakaran pada Proses Produksi Silika dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 3. No. 2. Hal: 49-54
- Fernandez, C.L. 2009. *Electro-Catalytic Reactions* (Thesis). England: University of Hull. Hal: 30-34
- Georgiev, D., Bogdan, B., Krasimira, A., Irena, M., Yancho, H. 2009. Synthesis Zeolites-Structure Classification Current Trends In Zeolite Synthesis. *International Science Conference*. Vol 7. Hal: 1-5
- Gosser, D.K. 1993. *Cyclic Voltammetry: Simulation Analysis of Reaction Mechanism*. New York: Willey - VCH Inc. Hal: 1-154
- Halper, M.S and James, C.E. 2006. *Supercapacitors: A Brief Overview*. Virginia USA: MITRE Corporation. Hal: 3-6
- Hemingway, B.S. 1982. Gibbs Free Energies of Formation for Bayerite, Nordstrandite, Al (OH)<sup>2+</sup>, Aluminium Mobility, and The Formation of Bauxites and Laterites. In *Advances in Physical Geochemistry*. Vol. 2. Springer-Verlag. New York. Hal: 285-315
- Houston, D.F. 1972. Rice Hull: Rice Chemistry and Technology. *American Association of Cereal Chemists Inc.* Hal: 301-352
- Izadi, N.A., Yamada, T., Futuba, D.N., Yudasaka, M., Takagi, H., Hatori, H., Iijima, S., Hata, K. 2011. High-Power Supercapacitor Electrodes from Single-Walled Carbon Nanohorn/Nanotube Composite. *ACS Nano*. Vol. 5. No. 2. Hal: 811-819
- Jacob, G.M. 2009. *Nanocomposite Electrodes for Electrochemical Supercapacitors* (Thesis). Ontario: McMaster University. Hal: 24

- Jayalakshmi, M., and Balasubramanian, K. 2008. Simple Capacitors to Supercapacitors-An Overview. *International Journal of Electrochemical Science*. Vol 3. Hal: 1196-1217
- Kamath, S, R., and Proctor, A. 1998. Silica Gel from Rice Hull Ash: Preparation and Characterization. *Cereal Chemistry*. Vol. 75. No. 4. Hal: 484-487
- Klingier, R.J., and Kochi, J.K. 1981. Electron-Transfer Kinetics from Cyclic Voltammetry Quantitative Description of Electrochemical Reversibility. *The Journal of Physical Chemistry*. Vol. 85. No. 12. Hal: 1731-1741
- Kotz, R., and Bartschi, M. 2002. *Hy Power-A Fuel Cell Car Boostad With Supercapacitors The 12 th International Seminar on Double Layer Capacitors and Similar Energy Storage Devices*. USA: San Francisco
- Kotz, R., and Carlen, M. 2000. Principles and Applications of Electrochemical Capacitors. *Electrochimica Acta*. Vol. 45 (15-16). Hal: 2483-2498
- Lestari, D.Y. 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*. Yogyakarta: UNY
- Lutz, Wolfgang. 2014. Zeolite Y Synthesis, Modification, and Properties a Case Revisited. *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 2014. Hal: 1-18
- Marques, J.P., Gener, I., and Ayrault, P. 2005. Dealumination of HBEA Zeolite by Steaming and Acid Leaching: Distribution of the Various Aluminic Species and Identification of the Hydroxyl Groups. *Applied Clay Science*. Vol. 49. Hal: 239-246
- Meir, W.M., and Olson, D.H. 1987. *Atlas of Zeolites Structure Types 2<sup>nd</sup>*. Revised Edn. Butterworth
- Mohamed, R.M., Mkhald, I.A., Barakat, M.A. 2015. Rice Husk Ash as a Renewable for the Production of Zeolite NaY and its Characterization. *Arabian Journal of Chemistry*. Vol. 8. Hal: 48-53
- Moto, K., Lia, S., Zufar, A. 2003. Analisis Komposisi Fasa dengan Metode Rietvield dan Pengaruhnya terhadap Kekerasan Nanokomposit Ti-Si-N. *Makara Teknologi*. Vol. 7. No. 1. Hal: 1-5
- Muresan, L.M. 2011. Zeolite Modified Electrodes With Analytical Applications. *Pure Applications Chemistry*. Vol. 83. No. 2. Hal: 325-343
- Palcic, A., Sanja, B., Damir, B., Jasmina, K., Josip, B. 2015. Relation of The Aged Gels Microstructure on The Zeolite a Particulate Properties. *Acta Chim SLN*. Vol. 62. Hal: 130-135

- Patake, V.D., C.D, Lokhande., Oh Shim, J. 2009. Electrodeposited Ruthenium Oxide Thin Film for Supercapacitor: Effect of Surface Treatments. *Applied Surface Science*. Vol. 255. Hal: 4192-4196
- Pijarn, N., Jaroenworaluck, A., Sunsaneeyametha, W., Stevens, R. 2010. Powder Tech. Vol. 203. Hal: 462-468
- Pinero, E.R., Kierzek, K., Machnikowski, J., Beguin, F. 2006. Carbon 44. Hal: 2498-2507
- Pratapa, S. 2004. *Bahan Kuliah Difraksi Sinar-X*. Surabaya: ITS
- Prasad, R., and Monika, P. 2012. Rice Husk Ash as a Renewable Source for the Production of Value Added Silica Gel and its Application: An Overview. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*. Vol. 7. No. 1. Hal: 1-25
- Putro, A.L dan Prasetyoko, D. 2007. Abu Sekam Padi Sebagai Sumber Silika Pada Sintetis Zeolit ZSM-5 Tanpa Menggunakan Templat Organik. *Akta Kimindo*. Vol. 3. No. 1. Hal: 33 – 36.
- Rachmaini, R.A. 2010. *Pengaruh Suhu Sintering terhadap Karakteristik Struktur dan Mikrostruktur Keramik Borosilikat Berbasis Silika Sekam Padi* (Skripsi). Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Rosi, M., Ferry I., M. Abdullah., Khairurrijal. 2012. Sintesis Nanopori Karbon dengan Variasi Jumlah NaOH dan Aplikasinya sebagai Superkapasitor. *Prosiding Seminar Nasional Material ITB*. Hal: 74-77
- Rusling, J.F. and Steven, L.S. 1994. Characterizing Materials with Cyclic Voltammetry. *Advanced Materials*. Vol. 6. No. 2. Hal: 922-930
- Saputra, H., dan Rosjidi, M. 2004. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Zeolit. *Jurnal Zeolit Indonesia*. Vol. 3. No. 2. Hal: 62-67
- Sembiring, S. 2011. Synthesis and Characterization of Rice Husk Silica Based Borosilicate ( $B_2SiO_4$ ) Ceramics by Sol-Gel Routes. *Indonesian Journal Chemistry*. Vol 11. Hal: 85-89
- Sharma, N.K., Williams, W.S., Zangvil, A. 1984. Formation and Structure of Silicon Carbide Whiskers from Rice Hulls. *Journal Am. Ceramic Soc.* Vol. 67. Hal: 715-720
- Shumba, M., Chigondo, M., Guyo, U., Chigondo, F., Moyo, M., Nhiringo, T., Sebata, E. 2011. Synthesis of Zeolites and Their Applications in Heavy Metals Removal. *IRACST-Engineering Science and Technology An International journal*. Vol. 30. No. 30. Hal: 1-7

- Simanjuntak, W., Simon, S., Posman, M., Rudy, S., Low, I.M. 2013. Characteristics of Aluminosilicates Prepared from Rice Husk Silica and Aluminium Metal. *Ceramics International*. Vol. 04. No. 112. Hal: 1-7
- Skoog, D.A., Donald, M.W., F James, H., Stanley, R.C.R. 2013. *Fundamentals of Analytical Chemistry 9E*. Cengage Learning. Hal: 638
- Staiti, P., and Lufrano, F. 2007. A Study of The Electrochemical Behavior of Electrodes in Operating Solid-State Supercapacitor. *Electrochemical Acta*. Hal: 710-719
- Stoller, M.D., Park, S., Zhu, Y., An, J., Ruoff, R.S. 2008. Graphene-Based Ultracapacitors. *Nano Letters*. Vol. 8. No. 10. Hal: 3498-3502
- Suka, I.G., Wasinton, S., Simon, S., Evi, T. 2008. Karakteristik Silika Sekam Padi dari Provinsi Lampung yang Diperoleh dengan Metode Ekstraksi. *Jurnal MIPA*. Vol. 37. No. 1. Hal: 47-52
- Violante, A and Huang, P.M. 1984. Nature and Properties of Pseudoboehmites Formed in The Presence of Organic and Inorganic Ligands. *Soil Sci Soc Amer J.* Vol. 48. Hal: 1193-1201
- Wachid, M.R dan Pirim, S. 2014. Pembuatan Elektroda Pasta Karbon Termodifikasi Bentonit Untuk Analisis Ion Logam Tembaga (II) Secara Cyclic Voltammetry Stripping. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*. UIN Surabaya. Hal: 978
- Wang, Gui-Xin. 2004. Manganese Oxide/MWNTs Composite Electrodes for Supercapacitor. *Solid State Ionic*. Vol. 176. Hal: 1169-1174
- Wang, J., 1994. *Analytical Electrochemistry*, 2nd Ed. New York: Willey-VCH. Hal: 44-54
- Wang, J. 2000. *Analitical Chemistry*. New York: Willey-VCH. Hal: 67-74
- Wu, D., Zhang, B.C.Li., Zhang, Z., Kong, H. 2008. Simultaneous Removal of Ammonium and Phosphate by Zeolite Synthesized from Fly Ash As Influenced by Salt Treatment. *Journal Colloid Inter Science*
- Waseda, Y., Eiichiro, M., Kozo, S. 2011. *X-Ray Diffraction Crystallography Introduction, Examples and Solved Problem*. London New York: Springer Heidelberg Dordrecht. Hal: 1-4
- Young, R.A. 1993. *Introduction to The Rietveld Method*. Oxford: Oxford University Pres. Hal: 1-38