

**PENENTUAN KONDISI OPTIMUM PEMBENTUKAN NATRIUM
SILIKAT (Na_2SiO_3) MENGGUNAKAN MATERIAL DASAR SILIKA
ALAM DAN NATRIUM HIDROKSIDA (NaOH)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains



Oleh

ILLA RAMADHANI

17036078/2017

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

2021

PERSETUJUAN SKRIPSI

PENENTUAN KONDISI OPTIMUM PEMBENTUKAN NATRIUM SILIKAT (Na_2SiO_3) MENGGUNAKAN MATERIAL DASAR SILIKA ALAM DAN NATRIUM HIDROKSIDA (NaOH)

Nama : Illa Ramadhani
NIM : 17036078
Program Studi : Kimia (NK)
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Mei 2021

Mengetahui :

Ketua Jurusan



Fitri Amelia, S.Si., M.Si., Ph.D

NIP : 19800819 200912 2 002

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing



Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D

NIP : 19721024 199803 1 001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Illa Ramadhani
NIM : 17036078
Program Studi : Kimia (NK)
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

PENENTUAN KONDISI OPTIMUM PEMBENTUKAN NATRIUM SILIKAT (Na_2SiO_3) MENGGUNAKAN MATERIAL DASAR SILIKA ALAM DAN NATRIUM HIDROKSIDA (NaOH)

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Kimia Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

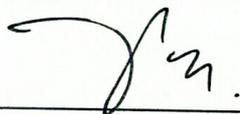
Padang, Mei 2021

Tim Penguji

Nama

Tanda Tangan

Ketua : Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D



Anggota : Ananda Putra, S.Si., M.Si., Ph.D



Anggota : Hary Sanjaya, S.Si., M.Si



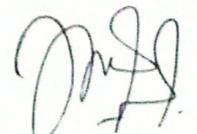
SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Illa Ramadhani
NIM : 17036078
Tempat/tanggal lahir : Padang Panjang/07 Januari 1999
Program Studi : Kimia (NK)
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Penentuan Kondisi Optimum Pembentukan Natrium Silikat (Na_2SiO_3) menggunakan Material Dasar Silika Alam dan Natrium Hidroksida (NaOH)”** adalah benar merupakan hasil karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim. Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum negara yang berlaku, baik di Universitas Negeri Padang maupun masyarakat dan negara. Demikianlah Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, Mei 2021
Yang Menyatakan,



Illia Ramadhani
NIM. 17036078

Penentuan Kondisi Optimum Pembentukan Natrium Silikat (Na_2SiO_3) menggunakan Material Dasar Silika Alam dan Natrium Hidroksida (NaOH)

Illa Ramadhani

ABSTRAK

Silika alam merupakan hasil tambang terbesar di Indonesia dan dapat dimanfaatkan sebagai adsorben. Silika berbentuk padatan pendukung yang normal dalam keadaan asam. Silika memiliki kelemahan sebagai adsorben, hal ini dapat diperbaiki dengan berbagai upaya, salah satunya yaitu modifikasi. Silika biasanya dimodifikasi dengan gugus organik tertentu untuk meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Namun sebelum itu, dilakukan pembentukan ulang silika dari silika alam dan mengetahui kondisi optimumnya sehingga dapat dioptimalkan penyerapannya.

Pembentukan ulang silika melalui tahap pembentukan natrium silikat. Pembentukan natrium silikat yang efektif sangat mempengaruhi perolehan kembali silika yang diinginkan sehingga penyerapan oleh silika dapat maksimal. Senyawa natrium silikat dapat dibuat dengan mereaksikan silika dengan natrium hidroksida pada suhu tinggi. Analisa XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi penyusun natrium silikat. Hasil sintesis dilakukan pengujian kelarutannya dalam air. Kelarutan natrium silikat paling tinggi dari semua variasi dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk analisa gugus fungsi natrium silikat. Kemudian analisa XRD dilakukan untuk mengetahui struktur dari natrium silikat yang terbentuk. Serta, analisa SEM juga dilakukan untuk mengetahui morfologi dari natrium silikat.

Dari hasil analisa XRF, natrium silikat yang terbentuk memiliki komposisi paling banyak pada silika. Untuk uji kelarutan, pada optimasi konsentrasi NaOH didapatkan kelarutan paling baik pada konsentrasi 4 M yaitu 96.88%. Untuk optimasi waktu, didapatkan kelarutan paling baik pada waktu peleburan 30 menit yaitu 96.88%. Pada optimasi suhu, didapatkan kelarutan paling baik pada suhu peleburan 400°C yaitu 96.99%. Kelarutan paling tinggi dari semua natrium silikat, dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR. Pola serapan yang muncul yaitu gugus silanol ($\equiv\text{Si-OH}$) dan siloksan ($\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$). Spektrum yang terbentuk mirip dengan spektrum natrium silikat standar. Dari analisa XRD, natrium silikat yang terbentuk memiliki struktur hexagonal. Jika dibandingkan dengan pola difraksi XRD standar, pola difraksinya mirip. Kemudian pada hasil analisa SEM terdapat morfologi natrium silikat seperti butiran halus yang hampir homogen. Jika dibandingkan dengan analisa SEM natrium silikat standar, bentuk butiran mirip dengan natrium silikat yang disintesis.

Kata Kunci : Silika Alam, Natrium Hidroksida, Natrium Silikat

Determination of the Optimum Conditions for the Formation of Sodium Silicate (Na_2SiO_3) using the Basic Material of Natural Silica and Sodium Hydroxide (NaOH)

Illa Ramadhani

ABSTRACT

Natural silica is the largest mining product in Indonesia and can be used as an adsorbent. Silica is a supporting solid which is normally acidic. Silica has a weakness as an adsorbent, this can be corrected with various efforts, one of which is modification. Silica is usually modified with certain organic groups to increase its adsorption ability. But before that, the silica was reformed from natural silica and knew its optimum conditions so that the absorption could be optimized.

Reshaping of silica goes through the sodium silicate formation step. The effective formation of sodium silicate greatly affects the desired silica recovery so that absorption by silica can be maximized. Sodium silicate compounds can be made by reacting silica with sodium hydroxide at high temperatures. XRF analysis was carried out to determine the composition of the sodium silicate constituent. The results of the synthesis were tested for their solubility in water. The highest solubility of sodium silicate of all variations was characterized using FTIR for analysis of sodium silicate functional groups. Then the XRD analysis to determine the structure of the formed sodium silicate. Also, SEM analysis was carried out to determine the morphology of sodium silicate.

From the XRF analysis, the sodium silicate formed has the most composition in silica. For the solubility test, the optimization of NaOH concentration found the best solubility at a concentration of 4 M, namely 96.88%. For time optimization, the best solubility was obtained at the fusion time of 30 minutes, namely 96.88%. In temperature optimization, the best solubility was obtained at a melting temperature of 400°C, namely 96.99%. The highest solubility of all sodium silicate was characterized using FTIR. The absorption patterns that appear are silanol ($\equiv\text{Si-OH}$) and siloxane ($\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$) groups. The spectrum formed is similar to that of standard sodium silicate. From the XRD analysis, the sodium silicate formed has a hexagonal structure. When compared to the standard XRD diffraction, the diffraction pattern is similar. Then the SEM analysis results show the morphology of sodium silicate such as fine grains which are almost homogeneous. When compared with a standard SEM analysis of sodium silicate, the granular shape is similar to that of synthesized sodium silicate.

Keywords : Natural Silica, Sodium Hydroxide, Sodium Silicate

KATA PENGANTAR



Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, kurnia dan hidayah-Nya yang telah memberi kekuatan dan kesabaran kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi yang berjudul **“PENENTUAN KONDISI OPTIMUM PEMBENTUKAN NATRIUM SILIKAT (Na_2SiO_3) MENGGUNAKAN MATERIAL DASAR SILIKA ALAM DAN NATRIUM HIDROKSIDA (NaOH)”**. Skripsi ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan kelulusan dalam rangka memperoleh gelar sarjana (S-1) pada Program Studi Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan dan masukan yang berharga dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

1. Bapak Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D selaku pembimbing, penasehat akademik sekaligus Ketua Program Studi Kimia Universitas Negeri Padang yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan hingga selesainya penelitian dan skripsi ini.
2. Ibuk Fitri Amelia, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
3. Bapak Ananda Putra, M.Si., Ph.D selaku dosen pembahas.
4. Bapak Hary Sanjaya, S.Si., M.Si selaku dosen pembahas.

5. Seluruh Staf Pengajar dan Tenaga Administrasi di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
6. Laboran Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
7. Teman-teman kimia tahun 2017 yang telah memberikan masukan dan dorongan kepada penulis dalam penelitian dan pembuatan skripsi ini.
8. Semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis dalam menyusun skripsi ini.

Untuk kesempurnaan penelitian dan penulisan skripsi ini, maka dengan kerendahan hati penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari semua pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis ucapkan terima kasih.

Padang, April 2021

Penulis

Illa Ramadhani
NIM/BP : 17036078/2017

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| ABSTRAK | i |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR TABEL..... | viii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | ix |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Identifikasi Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.5 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.6 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| KERANGKA TEORITIS | 5 |
| 2.1 Silika dari Silika Alam | 5 |
| 2.2 Aktivasi Silika | 9 |
| 2.3 Pembentukan Natrium Silikat | 11 |
| 2.4 Instrumen yang digunakan | 14 |
| 2.4.1 FTIR (<i>Fourier Transform Infra Red</i>)..... | 14 |
| 2.4.2 SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) | 16 |
| 2.4.3 XRF (<i>X-Ray Fluoresensi</i>) | 18 |
| 2.4.4 XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)..... | 19 |
| METODE PENELITIAN..... | 21 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 21 |
| 3.2 Objek Penelitian | 21 |
| 3.3 Variabel Penelitian | 21 |
| 3.4 Peralatan dan Bahan | 22 |
| 3.5 Prosedur Kerja..... | 22 |

| | |
|--|----|
| PEMBAHASAN | 26 |
| 4.1 Aktivasi Pasir Kwarsa Halus PT. Brataco | 26 |
| 4.2 Sintesis Natrium Silikat dari Pasir Kwarsa yang telah diaktivasi | 31 |
| 4.3 Studi Optimasi | 34 |
| 4.4 Karakterisasi | 40 |
| KESIMPULAN DAN SARAN | 45 |
| 5.1 Kesimpulan | 45 |
| 5.2 Saran | 45 |
| DAFTAR KEPUSTAKAAN | 46 |
| LAMPIRAN | 50 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. Silika..... | 6 |
| Gambar 2. Struktur Tetrahedral Silika | 8 |
| Gambar 3. Mekanisme reaksi pembentukan natrium silikat..... | 13 |
| Gambar 4. FTIR | 16 |
| Gambar 5. Prinsip kerja SEM | 18 |
| Gambar 6. XRF..... | 19 |
| Gambar 7. XRD | 20 |
| Gambar 8. Hasil analisa FTIR silika sebelum aktivasi | 27 |
| Gambar 9. Hasil analisa FTIR silika setelah aktivasi HCl 1 M | 27 |
| Gambar 10. Hasil analisa XRD silika sebelum aktivasi | 28 |
| Gambar 11. Hasil analisa XRD silika setelah aktivasi HCl 1 M | 28 |
| Gambar 12. Hasil analisa SEM (a) silika sebelum aktivasi dan (b) silika setelah aktivasi HCl 1 M..... | 29 |
| Gambar 13. (a) pasir silika, (b) pasir silika setelah diayak dan (c) pasir silika setelah aktivasi HCl 1 M..... | 31 |
| Gambar 14. Kurva hubungan antara kenaikan konsentrasi NaOH dengan persen hasil dan persen kelarutan Natrium Silikat..... | 35 |
| Gambar 15. Kurva hubungan antara kenaikan waktu peleburan NaOH dengan persen hasil dan persen kelarutan Natrium Silikat..... | 38 |
| Gambar 16. Kurva hubungan antara kenaikan suhu peleburan NaOH dengan persen hasil dan persen kelarutan Natrium Silikat..... | 39 |
| Gambar 17. Hasil analisa FTIR natrium silikat optimum | 41 |
| Gambar 18. Spektrum FTIR natrium silikat standar | 41 |
| Gambar 19. Hasil analisa XRD natrium silikat optimum | 43 |
| Gambar 20. Pola difraksi XRD natrium silikat standar | 43 |
| Gambar 21. Hasil analisa SEM (a) natrium silikat optimum dan (b) natrium silikat standar | 44 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1. Komposisi kimia secara umum pasir kuarsa di Indonesia | 7 |
| Tabel 2. Bilangan gelombang spektrum FTIR Natrium Silikat | 15 |
| Tabel 3. Hasil analisa XRF silika sebelum aktivasi | 30 |
| Tabel 4. Hasil analisa XRF silika setelah aktivasi HCl 1 M | 30 |
| Tabel 5. Persen hasil dan analisa XRF NS01 (dengan peleburan) | 32 |
| Tabel 6. Persen hasil dan analisa XRF NS02 (tanpa peleburan) | 32 |
| Tabel 7. Persen hasil massa yang terbentuk berdasarkan variasi konsentrasi NaOH (waktu 30 menit dan suhu 500 °C) | 35 |
| Tabel 8. Persen kelarutan natrium silikat dalam air berdasarkan konsentrasi NaOH (waktu 30 menit dan suhu 500 °C) | 35 |
| Tabel 9. Persen hasil massa yang terbentuk berdasarkan variasi waktu peleburan NaOH (konsentrasi 4 M dan suhu 500 °C) | 37 |
| Tabel 10. Persen kelarutan natrium silikat dalam air berdasarkan waktu peleburan NaOH (konsentrasi 4 M dan suhu 500 °C) | 38 |
| Tabel 11. Persen hasil massa yang terbentuk berdasarkan suhu peleburan NaOH (konsentrasi 4 M dan waktu 30 menit) | 39 |
| Tabel 12. Persen kelarutan natrium silikat dalam air berdasarkan suhu peleburan NaOH (konsentrasi 4 M dan waktu 30 menit) | 39 |
| Tabel 13. Perbandingan nilai 2θ natrium silikat standar dan natrium silikat sintesis | 42 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1. Prosedur Pembuatan Reagen | 50 |
| Lampiran 2. Prosedur Penelitian | 52 |
| Lampiran 3. Perhitungan Pembuatan Larutan..... | 56 |
| Lampiran 4. Perhitungan Teoritis | 58 |
| Lampiran 5. Perhitungan Hasil Penelitian | 59 |
| Lampiran 6. Dokumentasi Pembuatan Larutan..... | 71 |
| Lampiran 7. Dokumentasi Aktivasi Silika | 71 |
| Lampiran 8. Dokumentasi Sintesis Natrium Silikat..... | 73 |
| Lampiran 9. Dokumentasi Studi Optimasi..... | 74 |
| Lampiran 10. Hasil Karakterisasi XRF | 76 |
| Lampiran 11. Hasil Karakterisasi FTIR | 82 |
| Lampiran 12. Hasil Karakterisasi XRD | 83 |
| Lampiran 13. Hasil Karakterisasi SEM | 87 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Silika ialah adsorben yang kerap digunakan dalam adsorpsi. Silika berbentuk padatan pendukung yang normal pada keadaan asam, mempunyai ciri pertukaran massa yang besar, porositas serta luas permukaan khusus dan hal lain seperti energinya tahan terhadap panas, tetapi lemah efektivitas penyerapannya terhadap ion logam. Lemahnya kekuatan oksigen inilah yang menyebabkan hal tersebut (silanol serta siloksan) bagaikan donor pasangan elektron, sehingga berdampak pada tidak kuatnya ikatan pada permukaan silika dengan ion logam (Jal *et all*, 2004).

Silika memiliki kelemahan sebagai adsorben, namun dapat diperbaiki dengan beberapa upaya, diantaranya dengan modifikasi permukaan silika (Jal *et all*, 2004). Silika biasanya dimodifikasi dengan gugus organik tertentu untuk meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Namun, sebelum itu perlu dilakukan pengujian kondisi optimum pada bahan yang digunakan dalam pembuatan ulang silika sehingga dapat dioptimalkan pemanfaatan bahan tersebut dan diperlukan teknologi pemurnian sehingga diperoleh bahan silika dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Oleh karena itu, diupayakan dalam mendapatkan kondisi optimum dari penambahan bahan pembuatannya sehingga meningkatkan persentasenya dan dapat dimanfaatkan dalam berbagai penelitian seperti sintesis silika gel dan modifikasi silika alam.

Silika alam dapat dimurnikan secara fisik dengan melakukan pengecilan ukuran butir, pengayakan, dan pemanasan dengan tujuan agar pengotor organik

dapat dihilangkan, memperbesar pori, dan memperluas permukaan serta aktivasi secara kimia dengan pengasaman dan pembasaan agar pengotor anorganik hilang, membersihkan permukaan pori dan menghilangkan senyawa pengganggu (Lestari et al., 2020).

Pada pembentukan ulang silika dari silika alam melalui tahap pembentukan natrium silikat. Pembentukan natrium silikat yang efektif sangat mempengaruhi perolehan kembali silika yang diinginkan. Senyawa natrium silikat dapat dibuat dalam sebuah proses termal pada suhu tinggi pada reaksi yang terjadi antara natrium, silika dan oksigen untuk menghasilkan kemurnian senyawa yang baik. Pada penelitian ini, silika dibentuk dari material dasar silika alam yang telah direaksikan dengan NaOH sehingga membentuk natrium silikat. NaOH sebagai bahan pembentuk natrium silikat, dilakukan pengujian agar didapatkan kondisi optimum dari penambahan NaOH tersebut sehingga hasil penelitian dapat digunakan pada penelitian sintesis silika gel dan aplikasi silika yang telah dimodifikasi pada anion.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang masalah ini, dapat diidentifikasi adanya permasalahan sebagai berikut :

1. Aktivasi silika alam dilakukan untuk mendapatkan silika yang lebih murni tanpa adanya pengotor sehingga diharapkan dapat digunakan dalam pembuatan natrium silikat yang lebih optimal.
2. Pengaruh konsentrasi natrium hidroksida dalam pembentukan natrium silikat yang dihasilkan diharapkan dapat mengetahui kondisi optimum dari natrium silikat.

3. Pengaruh suhu dan waktu peleburan menggunakan natrium hidroksida dalam pembentukan natrium silikat yang dihasilkan diharapkan dapat mengetahui kondisi optimum dari natrium silikat.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus, maka perlu dilakukan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Pembentukan natrium silikat dari silika alam dengan peleburan menggunakan NaOH yang efektif.
2. Kondisi optimum konsentrasi NaOH dari 2 M, 3 M, 4 M, 5 M dan 6 M, suhu peleburan menggunakan NaOH dari 300°C, 400°C, 500°C dan 600°C serta waktu peleburan menggunakan NaOH dari 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit dan 50 menit pada pembentukan natrium silikat.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang penelitian ini, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pembentukan natrium silikat dari silika alam dengan peleburan menggunakan NaOH yang efektif?
2. Bagaimana kondisi optimum konsentrasi NaOH, suhu dan waktu peleburan menggunakan NaOH pada pembentukan natrium silikat?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan diadakan penelitian ini adalah :

1. Memperoleh natrium silikat dari silika alam dengan peleburan menggunakan NaOH yang efektif.

2. Memperoleh kondisi optimum konsentrasi NaOH, suhu dan waktu peleburan menggunakan NaOH pada pembentukan natrium silikat.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan tercapai dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi bagaimana memperoleh natrium silikat dari silika alam dengan peleburan menggunakan NaOH.
2. Memberikan informasi tentang kondisi optimum konsentrasi NaOH, suhu dan waktu peleburan menggunakan NaOH pada pembentukan natrium silikat.

BAB II

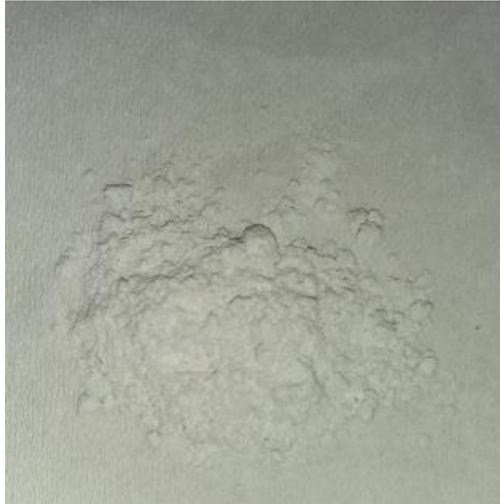
KERANGKA TEORITIS

2.1 Silika dari Silika Alam

Keberadaan pasir silika di alam sangat melimpah dan banyak manfaat yang bisa didapatkan dalam bermacam aplikasi, tetapi bahan tersebut masih bercampur dengan faktor mineral lain. Agar pemakaian bahan dapat dioptimalkan diperlukan teknologi pemurnian sehingga diperoleh bahan silika dengan kemurnian besar. Oleh karena itu, diupayakan dalam memisahkannya dari faktor lain serta tingkatkan persentase beratnya sehingga bisa dimanfaatkan dalam bermacam aplikasi teknologi yang tinggi (Silvia dan Zainuri, 2020).

Silika atau pasir kuarsa dan juga dikenal sebagai silikon dioksida (SiO_2) dalam bahan galian ialah senyawa yang kerap kali dijumpai. Komposisi campuran dari pasir kuarsa diantaranya SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , TiO_2 , MgO , dan K_2O , warna dari pasir silika dapat dipengaruhi oleh warna pengotornya, namun warna umumnya yaitu putih bening (Aina, 2007). Kemampuan pasir kuarsa sebagai penyerap dapat melemah jika banyak pengotor serta kristalinitasnya tinggi (Muljiyanti, dkk., 2010).

Jika dihitung di alam, bahan material satu ini mempunyai jumlah yang sangat melimpah, seperti pada batu, pasir kuarsa dan tanah liat. Di berbagai industri, bahan-bahan alam tersebut umumnya digunakan sebagai bahan baku, misalnya keramik, manufaktur gelas, dan beberapa industri lain (Haus, dkk., 2012).



Gambar 1. Silika

Silika terdiri dari rantai unit tetrahedral SiO_4 yang merupakan senyawa polimerisasi asam silikat, dengan rumus senyawa SiO_2 . Senyawa silika umumnya ditemukan pada alam dalam beberapa bahan alami, seperti kuarsa, pasir, gelas, dan sebagainya. Di alam, silika dapat dijumpai dalam struktur kristal, sedangkan silika buatan memiliki struktur amorf. Dengan mereaksikan larutan silikat dengan reagen silan, akan menghasilkan silika sintetis. Contoh silika yang bersifat amorph atau silika buatan yaitu silika gel. Silika gel sebagai bahan kimia yang digunakan sebagai penyerap, yang mempunyai bentuk padat. Keunggulan dari silika gel yaitu proses pembuatannya yang mudah serta keunggulan lainnya sangat inert, suka air, memiliki stabilitas energi panas dan mekanik yang cukup tinggi dan jika dimasukkan ke dalam pelarut organik, relatif tidak mengembang jika dibandingkan dengan padatan resin polimer organik. Faktor yang menentukan kualitas pemanfaatannya yaitu ketahanan, polaritas, struktur internal, porositas, ukuran partikel dan luas permukaan. Situs aktif di permukaan merupakan penyebab adanya sifat adsorptif atau biasa disebut sifat penyerap. Karena sifatnya yang adsorptif sehingga mudah menyerap air, silika gel seringkali digunakan dalam

ruangan penyimpanan untuk bahan-bahan yang mudah menyerap air seperti makanan maupun obat-obatan. Untuk mengetahui kapasitas air yang diserap, ditambahkan senyawa kobalt pada silika gel yang difungsikan sebagai penyerap air tersebut (Sulastrri dan Kristianingrum, 2010).

Tabel 1. Komposisi kimia secara umum pasir kuarsa di Indonesia

| Komponen | Kandungan (%) |
|--------------------------------|----------------------|
| SiO ₂ | 55,30-99,87% |
| Fe ₂ O ₃ | 0,01-9,14% |
| Al ₂ O ₃ | 0,01-19,00% |
| TiO ₂ | 0,01-0,49% |
| CaO | 0,01-3,24% |
| MgO | 0,01-0,26% |
| K ₂ O | 0,01-1,00% |

Silika merupakan adsorben dengan energi yang reatif kecil untuk mengikat adsorbatnya serta temperatur rendah untuk prosesnya. Dengan naiknya temperatur, kemampuan desorpsi silika meningkat. Penggunaan bahan alam sangat perlu dikaji sebelumnya dalam aplikasi teknologi. Setelah diketahui sifat bahan yang dikehendaki, perlu juga untuk mengetahui sifat-sifat bahan untuk mengikuti sifat bahan yang dikehendaki tersebut dengan mempelajari campuran fasa yang terdapat pada pasir silika (Gonzales, dkk., 2003).

Menggunakan senyawa SiO₂, berbagai fasa yang dapat dibentuk yang berasal dari silika, seperti kuarsa, kristabolit dan trimidit. Kuarsa memiliki struktur atom trigonal yang merupakan mineral utama, dimana tiga atom oksigen mengelilingi satu atom silikon. Pada temperatur yang lemah silika memiliki fasa kuarsa dan pada temperatur yang kuat silika memiliki fasa kristabolit. Perubahan silika dari

fasa kuarsa ke silika berfasa trimidit akan terjadi perubahan yang besar pada kristalnya.

Silika adalah senyawa yang terbentuk antara silika dan oksigen. Struktur tetrahedron terbentuk antara ikatan silika dan oksigen. Pada umumnya silika berbentuk kuarsa (*quartes*), yang ditemukan dari batuan metaforis di sebagian besar batuan sedimen alami. Silika dalam tiga jenis bentuk kristal pada suhu kamar termasuk : *quartz-kwarsa* (stabil hingga 870°C), tridimit (stabil 870-1470)°C dan *kristobalit* (stabil 1470-1710)°C, ketiganya tidak dapat saling terbentuk. Setiap bentuk berada dalam modifikasi suhu rendah (α) dan suhu tinggi (β) dengan suhu peralihan kira-kira 573°C pada kwarsa, (120-160)°C pada tridimit, dan (200-275)°C pada kristobalit. Proses yang lambat terjadi ketika perubahan ikatan-ikatan seperti kwarsa menjadi tridimit, sedangkan perubahan yang hanya memiliki sedikit perbedaan bentuk seperti pada kwarsa α dan kwarsa β tanpa pemecahan masalah ikatan dan konsekuensinya adalah proses reversibel (dapat dikembalikan). Jika digunakan pada penurunan akan meghasilkan proses yang baik, karena silika mudah dijumpai dan penyerapannya sangat baik (Sugiyarto, 2004).



Gambar 2. Struktur Tedrahedral Silika

Sifat silika sebagai bahan organik memiliki banyak keunggulan seperti stabil terhadap pengaruh mekanis, suhu, dan sifat asam. Sebagai bahan kimia, silika dalam berbagai bidang sangat luas aplikasi dan pemanfaatannya seperti dalam bidang seni, medis, mekanik, elektronik dan bidang lainnya (Islam, 2000). Sifat-sifat senyawa silika yaitu (Sugiyarto, 2004) :

a. Sifat fisik silika

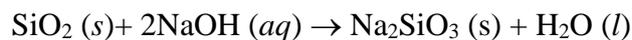
Rumus molekul dari silika adalah SiO_2 dan memiliki warna putih. Titik didih silika adalah 2320°C dan 1610°C untuk titik lelehnya. Dapat larut jika dilarutkan dalam HF, namun tidak dapat larut dalam air dingin, air panas dan alkohol.

b. Sifat kimia silika

1) Inert untuk semua asam kecuali HF dan juga stabil terhadap hidrogen kecuali fluorin, dengan HF bereaksi sesuai dengan persamaan reaksi :



2) Silikat yang larut dalam air dapat terbentuk jika terjadi reaksi antara NaOH yang telah dipanaskan dengan silika. Reaksinya yaitu :



2.2 Aktivasi Silika

Aktivasi adalah proses menghilangkan pengotor-pengotor yang menyumbat pori-pori silika sehingga luas permukaannya semakin besar. Beberapa senyawa pengotor yang terdapat pada silika adalah Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO , dan K_2O .

Reaktivitas adsorben dapat ditingkatkan dengan memberikan perlakuan tambahan berupa aktivasi fisika dan kimia (Sahoo, 2016). HCl memiliki peran tambahan sebagai aktivator terhadap adsorben (Lestari, 2020).

Ada dua cara untuk melakukan aktivasi yaitu :

a. Aktivasi secara fisika

Aktivasi secara fisika meliputi pengecilan ukuran, pengayakan dan pemanasan sehingga pengotor-pengotor organik hilang dan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal menguap sehingga jumlah pori dan luas permukaannya bertambah.

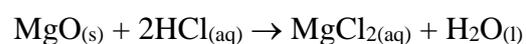
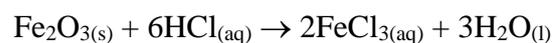
b. Aktivasi secara kimiawi

Aktivasi secara kimiawi dilakukan dengan merendam silika dalam bahan seperti H_3PO_4 , ZnCl_2 , KOH , HCl , H_2SO_4 , CaCl_2 , K_2S , NaCl dan lain-lain (Danarto, 2008). Keunggulan dari aktivasi kimia yaitu dapat berlangsung pada temperatur rendah, kemurnian yang dihasilkan lebih tinggi dan dapat dikontrol ukuran mikroporinya (Memoria, 2013).

1) Aktivasi dengan asam

Asam yang dapat digunakan adalah HCl , H_2SO_4 , dan H_3PO_4 berfungsi untuk membersihkan permukaan dan membuang senyawa pengganggu. Asam yang sering digunakan adalah HCl yang mampu mengeluarkan logam-logam Fe , Mg , dan zat lain yang terikat pada sampel.

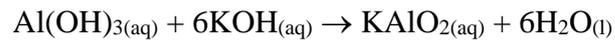
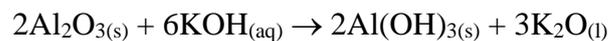
Reaksi yang terjadi adalah :



Aktivasi dengan asam mineral akan melarutkan komponen Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO dan MgO yang mengisi pori-pori silika, sehingga pori-porinya terbuka dan menambah luas permukaannya.

2) Aktivasi dengan basa

Aktivator basa dapat melarutkan pengotor yang larut dalam basa seperti alumina yang menutupi permukaan silika. Basa yang biasa digunakan adalah NaOH dan KOH . KOH bereaksi dengan karbon serta alumina sehingga luas permukaan sampel meningkat karena pengotornya telah larut (Sudibandriyo, 2011).



NaOH dapat menurunkan tingkat kristalinitas sampel, sampel amorf yang mempunyai tingkat kristalisasi rendah mempunyai daya adsorpsi yang lebih tinggi dari wujud kristalinnya.

2.3 Pembentukan Natrium Silikat

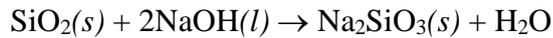
Natrium Silikat memiliki banyak manfaat dalam bidang industri dan merupakan salah satu jenis mineral silikat yang banyak dimanfaatkan. Natrium silikat dimanfaatkan sebagai pengurai kadar lemak dan menjadikannya larut dalam air. Contohnya untuk mengeluarkan kotoran, dapat digunakan natrium silikat yang ada pada bahan detergen. Pada material logam, dapat dibentuk lapisan pelindung menggunakan natrium silikat untuk menghambat perkaratan. Proses pembuatan natrium silikat per tahunnya mencapai 4.000.000 ton karena pemanfaatannya yang banyak. Natrium silikat sering dipasarkan dalam bentuk cairan dan bentuk padat seperti waterglass atau kaca. Natrium Silikat atau disebut

juga *water glass* merupakan senyawa yang terdiri dari ion natrium (Na^+) dan ion silikat (SiO_3^{2-}) dengan anion silikat yang bervariasi mulai jumlah Si satu sampai beberapa buah (SiO_3^{2-} , SiO_4^{4-} , $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$, $\text{Si}_3\text{O}_{10}^{8-}$, dst) bergantung pada perbandingan mol ion Na^+ dan SiO_2 pembentuknya, yang membentuk padatan dengan sifat yang sangat berguna karena dapat larut dalam air. Temperatur yang tinggi dapat mempengaruhi proses sintesis natrium silikat dimana suatu kuarsa yang dipanaskan yang ditambahkan campuran basa akan memutus ikatan yang kuat pada mineral silika, sehingga mineral silika yang berupa kristalin tersebut dapat berubah menjadi senyawa ionik yang mudah larut yaitu natrium silikat (Oktasari, 2008).

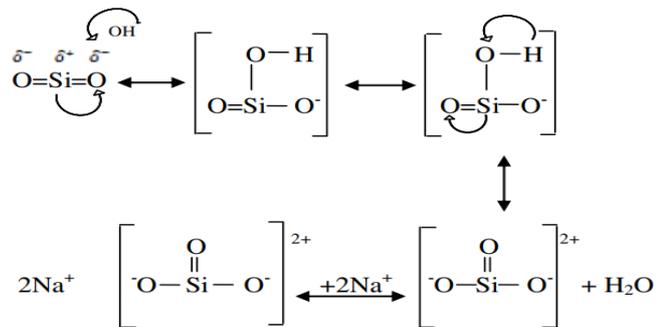
Natrium silikat dengan kemurnian yang cukup baik, dapat dibentuk melalui reaksi antara natrium, silika dan oksigen (Aramaki, 2001). Silika (SiO_2) dalam proses pembentukan natrium silikat ialah elemen penting. Mineral yang tersusun antara silikon dan oksigen biasa dikenal dengan silika. Proses pembuatan natrium silikat, pasir silika dan abu sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika (Soeswanto, 2011).

Sodium silikat banyak digunakan dalam industri, terutama untuk sabun dan bahan deterjen, bahan baku manufaktur semen dan beton, bahan perekat, dan sebagai zat penyerap. Karena mempunyai banyak manfaat, maka dalam penelitian dilakukan proses pembuatan natrium silikat melalui peleburan silika dengan NaOH . Tujuan pembentukan natrium silikat pada penelitian ini yaitu agar mengetahui kandungannya serta mengetahui karakter dari natrium silikat tersebut (Muljiyanti, 2010).

Pada peleburan silika alam, reaksi yang terjadi yaitu :



Pada pembentukan Natrium Silikat, mekanisme reaksinya dapat diketahui melalui Gambar 3 (Alex, 2005).



Gambar 3. Mekanisme reaksi pembentukan natrium silikat

Sifat kimia dan fisika dari natrium silikat adalah sebagai berikut :

- Silikatnya stabil dalam udara beroksigen, tidak bisa teroksidasi.
- Kerangka dari silikat mempunyai toleransi yang tinggi terhadap panas.
- Beberapa dari senyawa silikat inert seperti kuarsa terhadap beberapa reagent, hanya bereaksi dengan HF dan perubahan pH yang sangat ekstrim.
- Silikat memiliki tingkat struktur dan komposisi fleksibel.
- Polimerisasi jaringan tiga dimensi dari silikat dapat terjadi pada temperatur ruang, bahkan dalam larutan air.
- Silikat dan silikat tersubstitusi dengan mudah membentuk rangka ukuran molekul dan supermolekul, yang disebut dengan *molecular sieves* (Aini. S dan Effendi. J, 2008).

2.4 Instrumen yang digunakan

2.4.1 FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

Spektroskopi inframerah (IR) adalah alat yang penggunaannya memerlukan peta korelasi untuk mengartikan keberadaan kelompok yang terkandung dalam senyawa tertentu. Spektroskopi inframerah adalah penyerapan dengan menggunakan cahaya inframerah dalam spektrum elektromagnetik dalam menganalisis sampelnya, spektrum yang terlihat merupakan kompleksnya. Alat ini dapat mengetahui hal apa yang terkandung dalam sampel seperti halnya metode spektroskopi lainnya (Ardiansyah, 2011).

Karakterisasi dengan FTIR dilakukan pada rentang bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} . Pola serapan silika yang muncul umumnya adalah gugus silanol ($\equiv\text{Si-OH}$) dan siloksan ($\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$). Pita serapan di bilangan gelombang 416,62 cm^{-1} , 528,5 cm^{-1} , 590,22 cm^{-1} menunjukkan vibrasi tekuk dari gugus siloksan ($\equiv\text{Si-OSi}\equiv$). Ikatan Si-O-Si terdapat pada bilangan gelombang 682,8 cm^{-1} . Vibrasi ulur simetris dari Si-O pada siloksan ($\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$) berada pada bilangan gelombang 713,66 cm^{-1} dan 771,53 cm^{-1} (Trisko dkk, 2013). Bilangan gelombang 898,83 cm^{-1} merupakan indikasi keberadaan gugus Si-O dari ikatan Si-O-Si. Bilangan gelombang 972,12 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur Si-O pada silanol ($\equiv\text{Si-OH}$) (Witoon, 2008) dan 1022,27 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur asimetris Si-O dari siloksan ($\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$) (Adam dkk, 2006).

Tabel 2. Bilangan gelombang spektrum FTIR Natrium Silikat

| Bilangan Gelombang (cm⁻¹) | Intensitas | Gugus Fungsi |
|---|-------------------|---|
| 416.62 | 30.113 | Vibrasi tekuk dari gugus siloksan (≡Si-O-Si≡) |
| 528.5 | 28.214 | Vibrasi tekuk dari gugus siloksan (≡Si-O-Si≡) |
| 590.22 | 31.679 | Vibrasi tekuk dari gugus siloksan (≡Si-O-Si≡) |
| 682.8 | 38.919 | Si-O-Si |
| 713.66 | 33.713 | Vibrasi ulur simetris dari Si-O pada siloksan (≡Si-O-Si≡) |
| 771.53 | 39.913 | Vibrasi ulur simetris dari Si-O pada siloksan (≡Si-O-Si≡) |
| 898.83 | 24.757 | Gugus Si-O dari Ikatan Si-O-Si |
| 972.12 | 23.704 | Vibrasi ulur Si-O pada Silanol (≡Si-OH) |
| 1022.27 | 24.541 | Vibrasi ulur asimetris Si-O dari siloksan (≡Si-O-Si≡) |
| 1442.75 | 24.384 | Vibrasi tekuk Silanol (≡Si-OH) |
| 1597.06 | 47.232 | Vibrasi tekuk -OH dari silanol (≡Si-OH) |
| 2036.83 | 53.302 | H-Si-Si-H |
| 2318.44 | 49.035 | Vibrasi tekuk Si-O (siloksan) |
| 2387.87 | 49.927 | Vibrasi tekuk Si-O (siloksan) |
| 2468.88 | 49.172 | Vibrasi tekuk Si-O (siloksan) |
| 2985.81 | 34.138 | Gugus -OH silanol (≡Si-OH) dan H ₂ O |

IR *Spectroscopy* dapat digunakan untuk mengetahui kandungan senyawa organik dan mengetahui gugus fungsi pada suatu senyawa. Interaksi yang terjadi antara tingkat energi getaran (*vibration*) merupakan prinsip spektroskopi IR. Dengan menyerap radiasi pada elektromagnetik inframerah akan mengikat molekul melalui getaran atom (Bresnick, 2003). Komponen FTIR adalah sumber energi, monokromator, kontainer sampel, detektor dan perekam.



Gambar 4. FTIR

2.4.2 SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

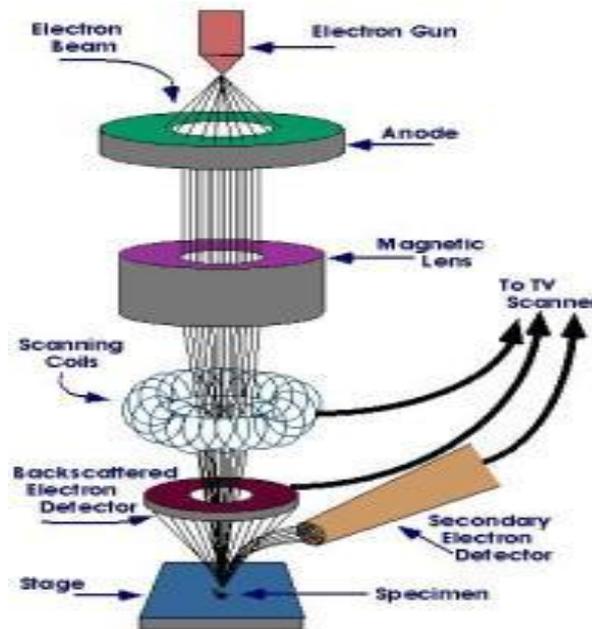
Metode karakterisasi sederhana yang berdasarkan pada panjang gelombang 650 nm ke atas. Dalam memperoleh data ilmiah yang dikehendaki dalam menganalisis metalografi tidak mempunyai resolusi yang baik sama halnya dengan mikroskop optik. Namun, dalam mengidentifikasi serta mengarakterisasi lainnya, metode ini dapat digunakan sehingga memperoleh resolusi yang lebih besar dan bagi para periset dapat memberikan hasil yang lebih jelas sehingga dapat mengamati secara detail apa yang terdapat dalam interface antara bahan dengan susunan oksida secara detail dan secara *In-Situ*. Ernst Ruska dan Max Knoll sebagai penemu dari SEM atau *Scanning*

Electron Microscopy mendapatkan penghargaan Nobel yang berarti diakui sebagai metode yang baik oleh komunitas periset dunia.

Proses yang terjadi dalam pembuatan gambar menggunakan SEM melalui proses fisika, bukan hanya sekedar mendapatkan gambar atau foto. Proses fisika yang terjadi ketika menganalisis struktur mikro dari susunan oksida yaitu interaksi korpuskular yang terjadi antara atom pada bahan yang di analisis dengan elektron sumber. Keunggulannya dibandingkan dengan mikroskop optik maupun XRD yaitu sinyal informasinya kuat, namun juga terdapat kelemahan dari SEM ini yaitu, kontras yang dihasilkan kurang maksimal jika sampel yang diamati sangat kecil kemudian dilakukan perbesaran yang banyak dan memiliki komposisi yang tidak konduktif seperti susunan paviasi oksida pada permukaan. Untuk mengatasi hal tersebut, dalam mengoperasikan SEM perlu setelan parameter elektron seperti *spot size*, *highvoltage*, *beam current* serta bias dan juga parameter optik semacam kontras, fokus serta astigmatismus yang baik sehingga diperoleh hasil foto yang maksimal secara ilmiah serta tidak membagikan interpretasi ganda. Hasil pengambilan foto serta hasil analisis melalui SEM dapat dipengaruhi oleh metode preparasi, metode penanganannya, tipe ilustrasi. Pengaruh lainnya yang paling penting yaitu keahlian operator dalam mengoperasikannya.

Mikroskop elektron yang dapat memperoleh resolusi yang besar dari bayangan suatu gambaran yaitu SEM (Cahyana, 2014). SEM digunakan dalam mengamati topografi permukaan dari sampel dalam ilustrasi dan dimensi ilustrasi. Hasil yang diperoleh berbentuk scanning electron

micrograph yaitu mempunyai wujud 3 ukuran seperti gambar. Umumnya perbesaran SEM mencapai 1.000- 40.000 kali. Hal utama dari SEM, ialah penembak elektron, lensa objektif serta lensa magnetik, fine probe, spesimen, detektor, serta monitor CRT.



Gambar 5. Prinsip kerja SEM

2.4.3 XRF (*X-Ray Fluoresensi*)

X- Ray Fluoresensi (XRF) ialah salah satu tata cara analisis faktor secara kualitatif serta kuantitatif. Prinsip kerja XRF menurut terbentuknya tabrakan yang terjadi antar atom-atom pada permukaan ilustrasi (bahan) oleh sinar-X yang bersumber dari sinar-X (Kriswarini dkk, 2010). XRF secara luas digunakan bagaikan perlengkapan karakterisasi kilat di banyak laboratorium serta industri di dunia, buat aplikasi yang banyak semacam metalurgi, *forensic*, polimer, elektronik, arkeologi, analisa area, geolog serta pertambangan.

Intensitas sinar-X yang dihasilkan oleh atom bahan sangat dipengaruhi oleh jumlah atom yang mengalami efek fotolistrik, akibat terjadinya efek tersebut dapat menimbulkan sinar-X. Untuk penentuan kadar silika yang terbentuk, maka dilakukan dengan alat difraktometer pendar sinar-X. Komposisi Na_2O dan SiO_2 ditentukan dari puncak-puncak difraktogram yang terjadi, dengan mengacu pada puncak difraktogram standar Na_2O , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO murni dan oksida logam lain.



Gambar 6. XRF

2.4.4 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Prinsip Analisis X-Ray Diffraction (XRD) ialah analisis yang dimanfaatkan dalam mengenali material kristalit ataupun nonkristalit, selaku contoh identifikasi struktur secara kualitatif seperti kristalit serta secara kuantitatif yaitu fasa dalam sesuatu bahan menggunakan radiasi gelombang elektromagnetik cahaya x. Tidak hanya itu, dimanfaatkan dalam mengenali rincian lain semacam lapisan bermacam kategori atom (Smallman dan Bishop, 2000).

Difraksi sinar-X adalah alat untuk menyelidiki struktur dari suatu material. Teknik ini berawal dalam penemuan Von Laue pada tahun 1912 tentang difraksi sinar-X kristal, cara difraksi untuk menunjukkan struktur

kristal. Pada awalnya, difraksi sinar-X hanya digunakan untuk penentuan struktur kristal. Kemudian, kegunaan lain dikembangkan, dan sekarang metode ini diterapkan tidak hanya untuk penentuan struktur, tapi untuk masalah beragam seperti analisis kimia dan pengukuran tekanan, untuk mempelajari kesetimbangan fasa dan pengukuran ukuran partikel, untuk penentuan orientasi Kristal tunggal atau ensambel dari orientasi dalam agregat polikristalin (Cullity, 1978).

Analisis XRD ialah tata cara yang bisa membagikan data tentang tipe mineral yang ada dalam sesuatu contoh batuan. Dalam penentuan tingkat kerapuhan batuan menurut Wang dan Gale (2009).



Gambar 7. XRD

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Natrium silikat telah berhasil disintesis dari silika alam yang telah diaktivasi menggunakan HCl 1 M, yang mana HCl berfungsi meningkatkan kandungan SiO₂ dengan menghilangkan pengotor-pengotornya.
2. Natrium silikat telah berhasil disintesis dengan peleburan menggunakan NaOH pada suhu tinggi dengan persen hasil 97,17%.
3. Natrium silikat telah berhasil didapatkan kondisi optimumnya pada konsentrasi NaOH 4 M, dengan peleburan selama 30 menit pada suhu 400°C.

5.2 Saran

Pada natrium silikat yang dihasilkan masih berwarna kehijauan dimana natrium silikat murni berwarna putih yang menandakan bahwa masih terdapat pengotor, oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut sehingga pengotor yang terdapat di dalam silika alam dapat hilang dan natrium silikat yang disintesis dapat lebih murni. Natrium silikat yang telah disintesis dapat digunakan pada penelitian selanjutnya sebagai prekursor dalam sintesis silika gel dan aplikasi silika yang telah dimodifikasi pada anion.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Adam, F., Kandasamy, K., Batakrishnam, S. 2006. *Iron incorporated heterogeneous catalyst from rice husk ash*. Journal of Colloid and Interface Science. Hal 137-143.
- Aina, H., Nuryono, Tahir, I. 2007. *Sintesis aditif β -Ca₂SiO₄ dari Abu Sekam Padi dengan Variasi Temperatur Pengabuan*. Skripsi. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Aini, S. dan Effendi J. 2008. *Kajian Penggunaan Na₂CO₃ dan NaOH pada Pembuatan Sodium Silikat dari Pasir Silika Sungai Nyalo Untuk Bahan Dasar Sintesis Zeolit 4A*. Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi. Fakultas MIPA UNP. Sumatra Barat.
- Alex. 2005. *Kinetika Adsorpsi Logam Zn (II) dan Cd (II) pada Bahan Hibrida Merkaptosilika dari Abu Sekam Padi*. Skripsi. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Aramaki, Kunitsugu. 2001. *The Inhibitory Effect of Chromate-Free, Anion Inhibitors on Corrosion of Zinc in Aerated 0.5 M NaCl*. Elsevier Corrosion Science 43 hal. 591-604.
- Ardiansyah, R. 2011. *Pemanfaatan Pati Umbi Garut Untuk Pembuatan Plastik Biodegradable*. Skripsi. Depok : Universitas Indonesia.
- Azwar, Nureztiti. 2020. *Sintesis dan Karakterisasi Natrium Silikat dari Batu Rijang (Chert Stone) Menggunakan Metode Peleburan dengan NaOH dan Na₂CO₃*. Padang : Kimia UNP.
- Balbay, Senay. 2019. *Recycling of Waste Foundry Sands by Chemical Washing Method*. Departement of Chemical Technologies. Turkey.
- Bresnick, S. 2003. *Intisari Kimia Organik*. Jakarta : Erlangga.
- Cahyana, A. A. 2014. *Analisa SEM (Scanning Electron Microscope) pada Kaca Tzn yang dikristalkan*. Solo : Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Cullity, B.D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction Second Edition*. Addition Wesley Publishing Company, Inc. Philippines. p. III, 3, 82-84.
- Danarto, Y.C. 2008. *Pirolisis Sekam Padi dengan Katalisator Zeolit*. Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia. Solo : FMIPA UNS.
- Gonzales, R.M, Edwards, T.E, Lorbiecke, T.D, Winburn, R.S, and Webster, J.R. 2003. *Analysis Of Geologic Materials Using Rietveld Quantitative X-Ray Diffraction*. International Centre Of Diffraction Data 2003. Advances In X-Ray Analysis 46.204-209.