

**KONVERSI NANOSELULOSA MENJADI GULA ALKOHOL  
DARI LIMBAH KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca* L.)  
MENGUNAKAN NANOKOMPOSIT  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{nGO}$  DIIRADIASI  
DI BAWAH SINAR UV**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Iin Indriani Sibagariang**



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

## ABSTRAK

### KONVERSI NANOSELULOSA MENJADI GULA ALKOHOL DARI LIMBAH KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca* L.) MENGUNAKAN NANOKOMPOSIT NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO DIIRADIASI DI BAWAH SINAR UV

Oleh

**Iin Indriani Sibagariang**

Pada penelitian ini telah dilakukan preparasi nanokatalis NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> menggunakan metode sol gel dan preparasi nGO menggunakan metode Hummers termodifikasi. Diperoleh ukuran partikel dari masing-masing preparasi yaitu sebesar 20,42 dan 13,37 nm. Preparasi nanokomposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO dilakukan menggunakan metode impregnasi dengan bantuan alat *ultrasonic cleaner* dengan perbandingan massa masing-masing 0,125/1; 0,25/1 dan 0,5/1. Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan nanokomposit berukuran 20,79, 24,95 dan 31,21 nm. Analisis *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS) diperoleh nilai energi *band gap* masing-masing nanokomposit sebesar 1,67; 1,74 dan 1,89 eV. Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan terjadinya aglomerasi pada permukaan nanokomposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO. Nanoselulosa telah dipreparasi menggunakan metode delignifikasi, *bleaching* dan hidrolisis asam sehingga diperoleh nanoselulosa berukuran 16,5 nm dengan indeks kristalinitas sebesar 30,02%. Nanoselulosa yang dihasilkan dikonversi menjadi gula alkohol menggunakan nanokomposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO dibawah sinar *Ultraviolet* disertai aliran gas H<sub>2</sub> dengan variasi waktu 60, 120, 180, 240 dan 300 menit. Konsentrasi gula pereduksi larutan hasil konversi tertinggi pada variasi nanokomposit 0,125/1 dengan waktu konversi selama 120 menit sebesar 80, 24 ppm. Analisis Kromatografi Cair Tingkat Tinggi (KCKT) menunjukkan nanokomposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO mampu mengkonversi nanoselulosa menjadi gula alkohol sorbitol dengan konsentrasi 24 ppm.

**Kata kunci:** nanokomposit, nanoselulosa, sorbitol, Iradiasi sinar UV.

## ABSTRACT

### CONVERSION OF NANOCELLULOSE TO SUGAR ALCOHOL FROM PEEL BANANA KEPOK (*Musa paradisiaca* L.) USING NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO NANOCOMPOSITES UNDER UV IRRADIATION

By

**Iin Indriani Sibagariang**

In this research, the preparation of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanocatalyst using sol gel method and preparation of nGO using modified Hummers method were conducted. The particle size obtained of these preparation are 20.42 and 13.37 nm, respectively. Furthermore, the preparation of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO nanocomposites was carried out using the impregnation method with the help of an ultrasonic cleaner with a mass ratio of; 0.25/1 and 0.5/1 respectively. X-Ray Diffraction (XRD) analysis showed the particle size of nanocomposite were 20.79, 24.95 and 31.21 nm. The band gap energy obtained using Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS) for each nanocomposite are 1.67, 1.74 and 1.89 eV. Scanning Electron Microscope (SEM) analysis showed agglomeration on the surface of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO nanocomposite with the ratio of 0.125/1. Nanocellulose was prepared using delignification, bleaching and acid hydrolysis methods and obtained 16.5 nm particle size with a 30.02% crystallinity index. Then, nanocellulose was converted to sugar alcohol using NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO nanocomposite under ultraviolet light accompanied by H<sub>2</sub> gas flow with time variations of 60, 120, 180, 240 and 300 minutes. The highest concentration of reducing sugar product is obtained at 80.24 ppm using 0.125/1 nanocomposite catalyst, and 120 minutes exposure time. High Performance Liquid Chromatography (HPLC) analysis showed that NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO nanocomposite was able to convert nanocellulose into sorbitol with a concentration of 24 ppm.

**Keywords:** nanocomposite, nanocellulose, sorbitol, UV irradiation

**KONVERSI NANOSELULOSA MENJADI GULA ALKOHOL  
DARI LIMBAH KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca* L.)  
MENGUNAKAN NANOKOMPOSIT NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO DIIRADIASI  
DI BAWAH SINAR UV**

**Oleh**

**Iin Indriani Sibagariang**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar**

**SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Kimia**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

Judul : **KONVERSI NANOSELULOSA MENJADI GULA ALKOHOL DARI LIMBAH KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca* L.) MENGGUNAKAN NANOKOMPOSIT NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO DIIRADIASI DI BAWAH SINAR UV**

Nama : **Tin Indriani Sibagariang**

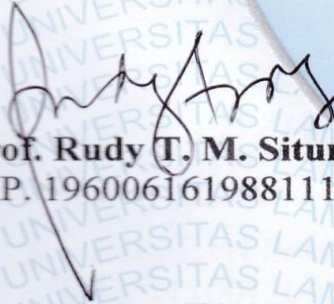
NPM : **1817011070**


Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**




1. **Komisi Pembimbing**

  
Prof. Rudy T. M. Situmeang, Ph. D.  
NIP. 196006161988111001

  
Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph. D.  
NIP. 195907061988111001

2. **Ketua Jurusan Kimia FMIPA**

  
Mulyono, Ph.D.  
NIP. 197406112000031002

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Pengujji**

**Ketua**

**: Prof. Rudy T. M. Situmeang, Ph. D.**



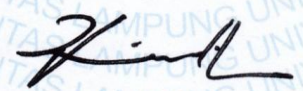
**Sekretaris**

**: Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph. D.**



**Anggota**

**: Dr. Rinawati, S. Si., M. Si., Ph. D.**



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

**Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.**

**NIP. 197110012005011002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 27 Maret 2023**



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Iin Indriani Sibagariang  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011070  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “**Konversi Nanoselulosa Menjadi Gula Alkohol Dari Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca L*) Menggunakan Nanokomposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO Diiradiasi di Bawah Sinar UV**” adalah benar karya saya sendiri dan tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dicantumkan dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandar Lampung, 27 Maret 2023

Yang menyatakan,



Iin Indriani Sibagariang  
NPM 1817011070

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Baringin pada tanggal 01 September 1999, Sebagai anak kelima dari lima bersaudara, putri dari Bapak Martua Sibagariang dan Ibu Retima Sianturi. Jenjang pendidikan diawali dari Sekolah Dasar (SD) di SDN 173533 Sitinjak-Baringin, Pakkat, Kabupaten Humbang Hasundutan, Sumatera Utara yang diselesaikan pada tahun 2011. Kemudian penulis melanjutkan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 8 Pakkat diselesaikan pada tahun 2014, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Pakkat diselesaikan pada tahun 2017. Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Pada tahun 2021 penulis telah menyelesaikan Praktek Kerja Lapangan (PKL) yang berjudul Sintesis dan Karakterisasi Grafena Oksida dari Limbah Bonggol Jagung Menggunakan Metode Hummer's Termodifikasi di Laboratorium Kimia Anorganik Fisik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Penulis juga telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Beringin Raya, Kecamatan Kemiling, Bandar Lampung pada tahun 2022. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Anorganik Fisik untuk mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Unila angkatan 2019 pada tahun 2022, serta menjadi asisten praktikum Kimia Organik Fisik untuk mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Unila angkatan 2020 pada tahun 2022.

Penulis pernah menjadi bagian dari keluarga besar persekutuan oikumene mahasiswa FMIPA (POM MIPA) Universitas Lampung. Pada tahun 2022 penulis melakukan penelitian di laboratorium Kimia Anorganik Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.



*Kupersembahkan karyaku ini sebagai tanda kasih, cinta, pengabdian, serta pelayananku*

*Kepada*

Tuhan Yesus Kristus, yang selalu memberikan kasih karunia, kesabaran, dan kemampuan selama perkuliahan, penelitian dan sampai karya ini selesai Dia selalu menguatkan di setiap langkah hidupku dan selalu memberkati setiap pekerjaanku.

Kedua Orangtuaku, yang menjadi sumber semangat dan motivasi dalam pelaksanaan karya ini, yang selalu memberikan doa, dukungan tiada henti, serta bantuan selama ini.

Kakak, Abang dan Saudara terdekat, yang selalu mendukung perkuliahanku dan penelitianku baik dalam dana, dukungan, dan doa selama ini hingga karya ini dapat terselesaikan.

Sahabat dan teman-teman, yang selalu hadir membantu, memberi semangat, dan berjuang bersama selama ini hingga karya ini selesai.

*Dan Almamater Tercinta Universitas Lampung*

## MOTTO

*“Pakailah firman Tuhan ketika logika dan perasaan tak mampu membuat keputusan. Firman-Mu itu pelita bagi kakiku dan terang bagi jalanku.”*

*Mazmur 119:105*

*“Apa pun yang kamu perbuat, perbuatlah dengan segenap hatimu seperti untuk Tuhan dan bukan untuk manusia.”*

*Kolose 3:23*

*“Sebab Tuhan, Dia sendiri akan berjalan di depanmu, Dia sendiri akan menyertai engkau, Dia tidak akan membiarkan engkau dan tidak akan meninggalkan engkau; janganlah takut dan janganlah patah hati”*

*Ulangan 31:8*

*“Semua akan indah pada waktunya”*

*Pengkhotbah 3:11*

## SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yesus Kristus yang maha kasih dan maha penyayang yang telah memberikan anugerah-Nya yang sungguh besar sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi yang berjudul “**Konversi Nanoselulosa Menjadi Gula Alkohol Dari Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca L*) Menggunakan Nanokomposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO Diiradiasi di Bawah Sinar UV**” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis, ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak Martua Sibagariang dan Ibu Retima Sianturi yang selalu memberikan semangat dan dukungan moral maupun materi, yang telah berjuang dan berkorban dengan berpeluh keringat demi penulis, dan tiada henti-hentinya mendoakan keberhasilan penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Rudy T. M. Situmeang, Ph. D., selaku pembimbing utama penelitian yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, arahan, bantuan, keceriaan, saran, dan kritik kepada penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph. D., selaku pembimbing kedua penelitian atas ketersediaannya memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, arahan, saran dan kritik yang membangun dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Ibu Dr. Rinawati, S. Si., M. Si., selaku pembahas penelitian atas ketersediaannya memberikan koreksi, saran, dan kritik yang membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

5. Ibu Prof. Dr. Tati Suhartati M. S., selaku dosen pembimbing akademik atas dukungan, motivasi, arahan, nasihat, saran dan kritik kepada penulis dalam proses perencanaan dan pelaksanaan studi serta saat penelitian.
6. Bapak Mulyono, Ph. D, selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M. Si., selaku plt. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
8. Bapak/Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.
9. Bapak/ Ibu staff administrasi di Jurusan Kimia dan Fakultas MIPA yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan segala urusan hingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.
10. Teruntuk mba Liza selaku laboran di Laboratorium Kimia Anorganik Fisik, terimakasih atas bantuan, canda, dan tawa kepada penulis selama penelitian hingga penulis selesai mengerjakan skripsi ini.
11. Keluargaku tersayang Kak Nelly beserta abang ipar bang Henry Sinaga dan ponakanku tercinta Keizaro dan Oswald.  
Kak Tabita beserta abang ipar bang Hendry Simamora dan ponakanku yang cantik Ivana  
Bang Maringan dan kakak ipar eda Masnuli beserta ponakanku Yakub, Gideon, dan Hizkia.  
Bang Henok dan kakak ipar Herna beserta ponakanku yang cantik Kayla.  
Terimakasih atas doa, perhatian, dukungan, dan bantuan dana yang telah diberikan, semoga Tuhan Yesus selalu memberkati keluarga besar kita, Amin.
12. Keluarga besar Op. Sabet Sibagariang dan Keluarga Besar Op. Mariati Simatupang, terimakasih telah selalu mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
13. Khusus Sirait Family, terimakasih selalu menemani dan mendoakan penulis mulai dari awal tes SBMPTN hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini terutama Kiano Yabes Amiel Sirait ponakan yang selalu menjadi teman dan yang selalu membuat penulis senang.

14. Khusus partner penelitian, Grace Febrianti Solafide Sirait, S. Si. dan Shafa Ilina Faticha, S. Si., terimakasih atas kerja sama dan kebahagiaan selama penelitian dan skripsi berjalan sampai akhir, semoga segala harapan dan tujuan kita dapat tercapai.
15. Teman-teman seiman di dalam nama Kristus, Dora Panny Nurcahyani Sitorus, S. Mat., Ester Hellen Lumban Gaol, S. Si., Chetrine Enamia Ginting, S. Si., April Fransiska Br. Sembiring, S. Si., Ninid Widya Sari Lubis, S. Si., Hendriko Marisep, S. Si., terimakasih untuk setiap kebersamaan, dukungan, semangat, keceriaan selama perkuliahan dan penelitian hingga penulis menyelesaikan skripsi ini, semoga kita semakin bertumbuh dalam Tuhan dan semoga kita tetap menjadi berkat bagi banyak orang dan tetap menjalin komunikasi yang baik kedepannya.
16. Teman-teman se-angkatan kimia 2018, terimakasih telah menjadi keluarga yang selalu memberi dukungan, keceriaan, dan kasih sayang kepada penulis, semoga kita tetap menjalin komunikasi yang baik dan sukses untuk kedepannya.
17. Teman, kakak, dan adik-adik Rudy research yang telah memberikan bantuan, doa dan semangat kepada penulis hingga selesainya skripsi ini.
18. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu secara tulus memberikan bantuan dan mendoakan penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki penulisan dimasa yang akan datang. Penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat menambah wawasan keilmuan dan bermanfaat bagi kita semua, Amin. Kiranya Tuhan Yesus senantiasa memberkati kita disetiap langkah kaki dan pekerjaan kita semua.

Bandar Lampung, 27 Maret 2023

Penulis

**Iin Indriani Sibagariang**

## DAFTAR ISI

|   | Halaman    |
|---|------------|
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                       | <b>i</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                     | <b>iii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                    | <b>iv</b>  |
| <b>I. PENDAHULUAN</b> .....                                   | <b>1</b>   |
| 1.1 Latar Belakang .....                                      | 1          |
| 1.2 Tujuan Penelitian.....                                    | 4          |
| 1.3 Manfaat Penelitian.....                                   | 4          |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                             | <b>5</b>   |
| 2.1 Gula Alkohol .....  | 5          |
| 2.1.1 Sorbitol .....  | 6          |
| 2.1.2 Manitol .....   | 7          |
| 2.1.3 <i>Xylitol</i> .....                                    | 8          |
| 2.2 Selulosa .....  | 8          |
| 2.3 Nanoselulosa .....  | 10         |
| 2.4 Kulit Pisang Kepok .....                                  | 10         |
| 2.5 Pektin.....   | 11         |
| 2.6 Pemanfaatan Sinar <i>Ultraviolet</i> (UV).....            | 12         |
| 2.7 Reaksi Fotokatalitik.....                                 | 14         |
| 2.8 Hasil Analisis Konversi Selulosa .....                    | 15         |
| 2.8.1 Metode DNS .....  | 15         |
| 2.8.2 Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT) .....           | 16         |
| 2.9 Limbah Tongkol Jagung.....                                | 16         |
| 2.10 Grafit.....  | 18         |
| 2.11 Metode Sintesis Grafit.....                              | 19         |
| 2.12 Grafena Oksida (GO) .....                                | 20         |
| 2.13 Sintesis Grafena Oksida (GO) .....                       | 21         |
| 2.14 Nanokomposit.....  | 22         |
| 2.15 Katalis.....   | 23         |
| 2.16 Metode Preparasi Katalis.....                            | 25         |
| 2.17 Karakterisasi Katalis.....                               | 28         |
| 2.17.1 Analisis <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)..... | 28         |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.17.2 Analisis Energi Band-Gap Nanokatalis Menggunakan DRS.....                               | 30        |
| 2.17.3 Penentuan Fasa Kristalinitas Katalis .....  | 31        |
| 2.17.4 Analisis Scanning Electron Microscope (SEM) .....                                       | 32        |
| <b>III. METODE PENELITIAN .....</b>  | <b>34</b> |
| 3.1 Waktu dan Tempat .....   | 34        |
| 3.2 Alat dan Bahan .....   | 34        |
| 3.3 Prosedur Penelitian.....   | 35        |
| 3.3.1 Preparasi Nanokomposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /nGO .....                       | 35        |
| 3.3.2 Karakterisasi nanokomposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /nGO .....                   | 37        |
| 3.3.3 Preparasi Nanoselulosa.....  | 39        |
| 3.3.4 Karakterisasi nanoselulosa .....   | 40        |
| 3.3.5 Analisis Hasil Konversi .....  | 41        |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>   | <b>42</b> |
| 4.1 Pembuatan Nanokatalis NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /nGO.....                           | 42        |
| 4.1.1 Pembuatan Nanokatalis NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....                             | 42        |
| 4.1.2 Karbonisasi Tongkol Jagung .....   | 44        |
| 4.1.3 Sintesis Grafit .....  | 45        |
| 4.1.4 Sintesis nGO .....   | 47        |
| 4.1.5 Sintesis Nanokomposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /nGO.....                         | 48        |
| 4.2 Karakterisasi Nanokomposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /nGO.....                      | 49        |
| 4.2.1 Analisis Struktur Kristal .....  | 49        |
| 4.2.2 Analisis Keasaman Katalis .....  | 55        |
| 4.2.3 Analisis Energi Band-Gap .....   | 57        |
| 4.2.4 Analisis <i>Scanning Electron Microscope</i> NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /nGO ..... | 59        |
| 4.3 Preparasi Nanoselulosa .....   | 60        |
| 4.3.1 Preparasi Nanoselulosa dari Kulit Pisang Kepok .....                                     | 60        |
| 4.3.2 Analisis XRD Nanoselulosa .....  | 61        |
| 4.4 Uji Aktivitas Nanokomposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /nGO .....                     | 62        |
| 4.4.1 Konversi Nanoselulosa Menjadi Gula Alkohol.....  | 62        |
| <b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>   | <b>69</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....  | 69        |
| 5.2 Saran.....   | 70        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  | <b>71</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>   | <b>78</b> |

## DAFTAR TABEL

| Tabel   | Halaman |
|---|---------|
| 1. Beberapa tanaman holtikultura yang berpotensi sebagai sumber selulosa .....  | 9       |
| 2. Kandungan senyawa dalam kulit pisang kepok .....                             | 10      |
| 3. Komposisi elemen tongkol jagung (% massa) .....                              | 17      |
| 4. <i>Yield</i> arang tongkol jagung (% massa) .....                            | 45      |
| 5. Puncak-puncak representatif acuan JCPDF .....                                | 50      |
| 6. Puncak-puncak representatif nanokatalis $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ .....      | 50      |
| 7. Puncak representatif nanokomposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{nGO}$ ..... | 54      |
| 8. Persentase nanoselulosa terkonversi .....                                    | 63      |
| 9. Konsentrasi glukosa pada larutan hasil konversi .....                        | 66      |
| 10. Data $2\theta$ dan nilai FWHM difraktogram fasa kristalin .....             | 81      |
| 11. Analisis band gap $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ .....                           | 82      |
| 12. Kurva standar glukosa .....   | 86      |



## DAFTAR GAMBAR

| Gambar  | Halaman |
|---|---------|
| 1. Konversi katalitik selulosa menjadi gula alkohol .....   | 6       |
| 2. Sorbitol.....  | 7       |
| 3. Manitol .....  | 7       |
| 4. <i>Xylitol</i> .....   | 8       |
| 5. Struktur selulosa.....   | 9       |
| 6. Buah dan kulit pisang.....   | 11      |
| 7. Struktur pektin.....   | 12      |
| 8. Skema ilustrasi pemisahan muatan fotokatalis diinduksi sinar UV .....  | 13      |
| 9. Reaksi DNS dengan glukosa.....   | 15      |
| 10. Kromatogram dari gula alkohol, monosakarida dan disakarida.....   | 16      |
| 11. Limbah tongkol jagung .....   | 17      |
| 12. Struktur natural grafit.....  | 18      |
| 13. Struktur <i>graphene oxide</i> (GO) .....   | 20      |
| 14. Difraktogram XRD <i>graphene oxide</i> (GO) .....   | 21      |
| 15. Siklus katalis .....  | 23      |
| 16. Reaksi piridin pada situs asam Bronsted-Lowry.....  | 29      |
| 17. Reaksi piridin pada situs asam Lewis .....  | 29      |
| 18. Spektra IR dari katalis: (a) $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , (b) $\text{Co}_3\text{O}_4$ , dan c. $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{NiFe}_2\text{O}_4$ .....   | 29      |
| 19. Instrumen DRS.....  | 30      |
| 20. Difraktogram katalis $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ .....  | 32      |
| 21. Hasil analisis SEM $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{N-Gr}$ .....  | 33      |
| 22. Preparasi nanokatalis $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , (a) larutan pektin, (b) larutan nikel nitrat, (c) larutan ferrit nitrat, (d) penambahan larutan logam-logam nitrat, (e) gel coklat setelah pemanasan.....             | 43      |
| 23. (a) Padatan serbuk kering $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ setelah proses freeze-dry (b) serbuk kering katalis $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ setelah proses kalsinasi .....  | 44      |
| 24. Arang tongkol jagung.....   | 44      |
| 25. Proses sintesis grafit (a) karbon dan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam akuades, (b) pengecekan pH larutan, (d) pengadukan selama 5 jam pada suhu $60^\circ\text{C}$ , (d) pencucian dengan akuades ..... | 46      |
| 26. Serbuk grafit.....  | 46      |
| 27. Serbuk nGO.....   | 48      |
| 28. Serbuk nanokomposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{nGO}$ .....  | 49      |
| 29. Hasil XRD $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ .....   | 49      |

|   |    |
|---|----|
| 30. Difraktogram hasil pencocokan pola difraksi katalis pada temperatur kalsinasi 700°C pada panjang gelombang sinar X Cu- $k\alpha$ : 1,54187Å ..... | 51 |
| 31. Hasil difragtogram (a) Grafit dan (b) nGO .....   | 52 |
| 32. Hasil XRD nanokomposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /nGO.....   | 53 |
| 33. Spektra FT-IR (a) Grafit; (b) Grafena Oksida.....   | 55 |
| 34. Spektra FTIR NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /nGO (a) variasi 1, (b) variasi 2, (c) variasi 3.....   | 56 |
| 35. Hubungan antara panjang gelombang dengan absorbansi a. NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ; b. variasi; 1; c. variasi 2; d. variasi 3.....          | 57 |
| 36. Grafik nilai <i>band gap</i> (a) NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (b) variasi 1, (c) variasi 2, (d) variasi 3 ...                                 | 58 |
| 37. Hasil SEM NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /nGO.....  | 59 |
| 38. Serbuk selulosa.....  | 60 |
| 39. Hasil nanoselulosa.....   | 61 |
| 40. Hasil XRD nanoselulosa .....  | 62 |
| 41. Hasil uji fehling larutan hasil konversi .....  | 64 |
| 42. Hasil uji larutan hasil konversi dengan reagen DNS .....  | 65 |
| 43. Kromatogram KCKT hasil konversi variasi 1 waktu 120 menit.....  | 67 |
| 44. Konversi katalitik selulosa (Kobayashi <i>et al.</i> , 2011) .....  | 68 |

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, komoditas pisang menduduki tempat pertama diantara jenis buah-buahan lainnya, baik dari segi luas penanamannya maupun dari segi produksinya. Setiap tahunnya provinsi Lampung dapat menghasilkan sekitar 915.353,84 ton buah pisang, termasuk di dalamnya buah pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.). Tingginya potensi produksi buah pisang tidak sebanding dengan potensi bobot kulit pisang yang dihasilkan. Bobot kulit pisang bisa mencapai 40% dari buahnya, dengan demikian kulit pisang menghasilkan limbah dengan volume yang besar yang dibuang sembarangan dan belum dimanfaatkan secara optimal oleh masyarakat (Hariani *et al.*, 2015).

Pisang merupakan buah tropis yang paling banyak diproduksi dan dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia. Pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.) paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Saat ini, kulit, batang dan daun pisang (80%) dibuang begitu saja tanpa pengolahan lebih lanjut. Limbah kulit pisang umumnya memiliki kandungan 37,52% hemiselulosa, 12,06% selulosa, dan 7,04% lignin. Sedangkan limbah kulit pisang kepok memiliki kandungan selulosa sebanyak 18,71% dan kandungan lignin sebesar 15,36% (Nur *et al.*, 2013). Selulosa adalah polimer linier yang terdiri dari 300-15.000 D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan -(1,4) glikosidik. Rumus empiris selulosa adalah  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Selulosa memiliki permukaan yang seragam dan membentuk lapisan struktur pori seperti serat. Padatan berpori memiliki kemampuan sebagai adsorben yang dapat digunakan sebagai adsorben pencemar di lingkungan (Palkovits *et al.*, 2011). Adanya kandungan selulosa di dalam kulit pisang berpotensi untuk dijadikan berbagai bahan baku salah satunya sebagai bahan baku gula alkohol.

Gula alkohol (*Polyols*), saat ini digunakan sebagai pemanis massal dalam makanan berkalori rendah. Gula alkohol merupakan bagian dari makanan manusia selama ribuan tahun dan hadir dalam buah-buahan seperti pir, melon, dan anggur serta jamur dan makanan fermentasi (anggur, kedelai saus dan keju). Gula alkohol yang paling umum yang tersedia di pasaran adalah sorbitol, manitol, *xylitol*, *erythritol*, *isomalt*, laktitol, maltitol, dan hidrolisat pati terhidrogenasi (HSH). Gula alkohol diyakini sebagai pengganti gula yang baik untuk orang-orang dengan diabetes dan gula alkohol tidak berkontribusi pada *karies* gigi (gigi berlubang). Nilai kalori gula alkohol umumnya setengah dari gula sukrosa. Gula alkohol memiliki indeks glikemik yang sangat rendah, yang bagus untuk mengontrol kadar gula darah (Godswill, 2017).

Berdasarkan penelitian Liu *et al.*, 2014 selulosa telah berhasil dikonversi menjadi gula alkohol menggunakan katalis logam transisi berupa  $\text{Ni}_{4,63}\text{Cu}_1\text{Al}_{1,82}\text{Fe}_{0,79}$  pada suhu 488 K, dengan penyinaran UV selama 3 jam, dan tekanan 4 MPa menghasilkan gula alkohol berupa sorbitol sebesar 68,07%. Selain menggunakan katalis logam transisi, konversi selulosa menjadi gula alkohol juga dapat menggunakan katalis asam berupa Ru/C yang dikombinasikan dengan boron fosfat melepaskan  $\text{H}^+$  di dalam air pada suhu 463 K, selama 1 jam dengan tekanan 5 MPa menggunakan metode hidrotermal. Berdasarkan penelitian ini, diperoleh gula alkohol berupa manitol dan sorbitol sebesar 74,9 % dengan konversi selulosa 91% tercapai.

*Graphene oxide* (GO) adalah turunan dari grafit dengan berbagai gugus fungsi yang terikat pada permukaannya. Adanya gugus fungsi ini sangat mempengaruhi sifat dan karakteristik GO, salah satunya kelarutannya yang tinggi dalam air. GO sangat diminati para peneliti karena dapat digunakan pada berbagai bidang, seperti dalam produksi superkapasitor, sensor dan peralatan elektronik. Biasanya, GO disintesis dari grafit murni yang dijual secara komersial yang banyak tersedia akan tetapi belum dimanfaatkan dengan maksimal. Tetapi, grafit dengan kemurnian yang tinggi sangat mahal dan sulit diperoleh. Oleh karena itu, berbagai upaya telah dilakukan untuk mensintesis GO dari bahan alam yang murah dan mudah didapat, salah satunya dari limbah jagung (Akhavan *et al.*, 2014).

Grafena oksida telah banyak digunakan sebagai katalis. Sujatmiko (2020), berhasil mendegradasi fotokatalitik metilena biru (MB) menggunakan spektrofotometer UV-Vis double beam. Reaktor fotokatalis yang dilengkapi dengan lampu UV dinyalakan selama 90 menit. Persen degradasi terbaik yaitu pada saat dilakukan penambahan  $H_2O_2$  dengan material rGO/SnO<sub>2</sub> dengan persentase sebesar 98,28%. Dapat dilihat juga bahwa persen degradasi MB menggunakan material rGO/SnO<sub>2</sub> tanpa penambahan  $H_2O_2$  masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan persen degradasi MB menggunakan rGO baik tanpa penambahan  $H_2O_2$  maupun dengan penambahan  $H_2O_2$  dengan nilai persentase sebesar 97,74%. Pada penelitian ini hasil persentase degradasi menggunakan material rGO/SnO<sub>2</sub> lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan material rGO dan bertambah efektif saat dilakukan penambahan  $H_2O_2$ . Penggunaan material rGO/SnO<sub>2</sub> memberikan hasil yang signifikan karena material semikonduktor yaitu SnO<sub>2</sub> yang telah diembankan akan meningkatkan kinerja dalam mendegradasi MB ditambah dengan adanya penambahan  $H_2O_2$  yang merupakan penghasil radikal tambahan yang akan membantu degradasi zat warna MB.

Dengan bantuan katalis, selulosa dapat diubah menjadi gula alkohol. Beberapa peneliti telah menggunakan metode irradiasi UV untuk mengubah senyawa karbohidrat menjadi sukrosa dengan katalis menjadi H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> dengan waktu reaksi 18 jam pada suhu kamar. Gula alkohol dapat dihasilkan dengan menguraikan selulosa dengan bantuan katalis. Sebagai contohnya, konversi selulosa menjadi sorbitol menggunakan katalis Ru/AC-SO<sub>3</sub>H dengan perolehan rendemen sebesar 71,1% pada temperatur reaksi 165°C (Han *and* Lee, 2012). Konversi selulosa menjadi manitol dengan rendemen sebesar 68,07% menggunakan katalis Ni<sub>4,63</sub>Cu<sub>1</sub>Al<sub>1,82</sub>Fe<sub>0,79</sub> pada temperatur reaksi 215°C berhasil dilakukan oleh Zhang *et al.*, 2016. Hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa konversi selulosa menjadi gula alkohol sangat ditentukan oleh jenis katalis yang digunakan. Penelitian lain menunjukkan konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol menggunakan nanokatalis LaCrO<sub>3</sub> yang diirradiasi sinar UV menghasilkan sebanyak 620 ppm glukosa, 260 ppm *xylitol*, 150 ppm manitol, dan 210 ppm sorbitol dengan waktu kontak 45 menit (Situmeang *et al.*, 2019).

Berdasarkan penjelasan diatas, maka pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan nano fotokatalis  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  yang didoping dengan *nano graphene oxide* (nGO) sehingga diperoleh nanokomposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{nGO}$ . Struktur berongga pada nGO diharapkan mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi katalis  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  dalam mengkonversi nano selulosa menjadi gula alkohol, karena karakteristiknya yang diharapkan mendukung.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh Grafena Oksida berukuran nano.
2. Memperoleh katalis  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  dengan metode sol- gel berukuran nano.
3. Memperoleh nanokomposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  yang didoping oleh nano grafena oksida (nGO).
4. Memperoleh selulosa berukuran nano dari limbah kulit pisang kepok.
5. Menghasilkan gula alkohol dari hasil konversi nano selulosa berupa xilitol, manitol, dan sorbitol.

## 1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

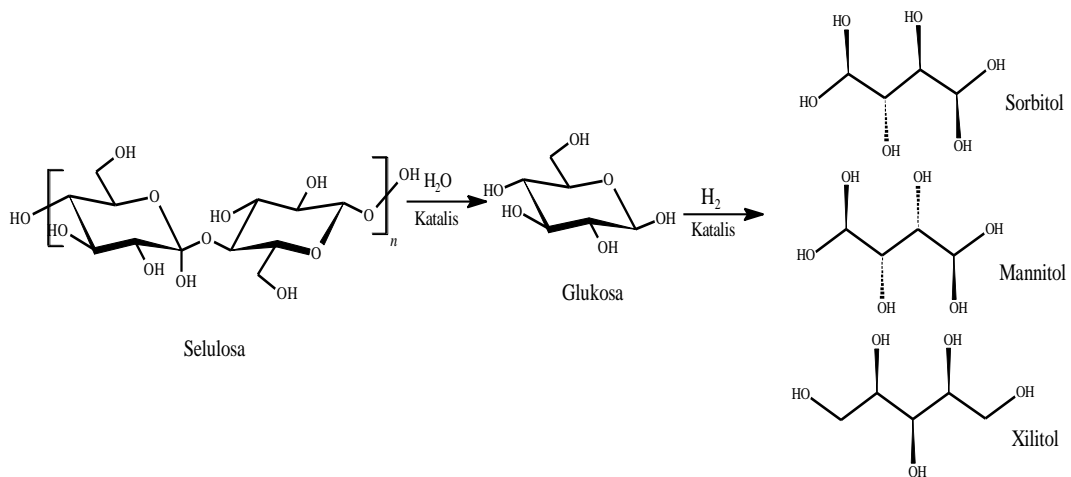
1. Meningkatkan daya guna nano selulosa sebagai bahan baku produksi gula alkohol yang berasal dari limbah kulit pisang kepok.
2. Memberikan informasi mengenai penggunaan nanokomposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  yang didoping oleh nGO sebagai katalis untuk mengkonversi selulosa menjadi gula alkohol.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gula Alkohol

Gula alkohol didefinisikan sebagai turunan gula dimana gugus keton atau aldehida telah digantikan oleh gugus hidroksil. Gula alkohol adalah pemanis bebas gula karena bukan gula atau alkohol. Pemanis ini memiliki rasa manis yang sama dengan sukrosa (sukrosa) dan merupakan turunan selulosa. Gula alkohol juga dikenal dengan nama poliol dan dapat diklasifikasikan sebagai karbohidrat. Gula alkohol secara alami terjadi di banyak buah dan sayuran, tetapi mereka banyak dikonsumsi dalam makanan bebas gula dan rendah gula. Manisnya gula alkohol bervariasi dari 25% hingga 100% dibandingkan dengan sukrosa gula meja. Alasan gula alkohol digunakan dalam makanan bebas gula karena mereka perlahan dan sepenuhnya diserap dalam tubuh dan menggunakan hampir nol insulin untuk diubah menjadi energi. Gula alkohol ditemukan dalam beragam produk makanan bebas gula seperti permen, permen karet, es krim, makanan panggang, dan selai buah. Gula alkohol juga dapat ditemukan dalam produk kebersihan mulut seperti pasta gigi, obat kumur dan permen penyegar nafas. Gula alkohol juga ditemukan dalam obat-obatan seperti sirup obat batuk dan pelega tenggorokan dan yang paling penting gula alkohol dapat ditemukan di banyak produk nutrisi olahraga seperti bubuk protein, suplemen pra-latihan, dan produk rendah karbohidrat (Godswill, 2017).

Konversi selulosa menjadi gula alkohol melibatkan dua tahapan, yang pertama adalah hidrolisis selulosa menjadi gula alkohol, diikuti oleh hidrogenasi gula menjadi gula alkohol sebagai tahap kedua (Gambar 1).

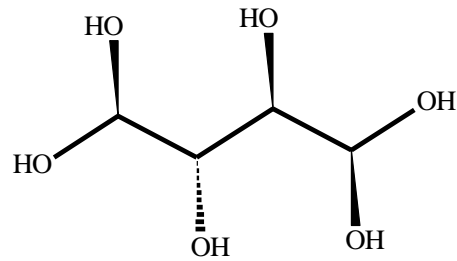


**Gambar 1.** Konversi katalitik selulosa menjadi gula alkohol

### 2.1.1 Sorbitol

Sorbitol juga dikenal dengan nama *D-glucitol*, adalah alkohol gula enam karbon  $C_6H_{14}O_6$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Secara alami banyak terdapat dalam buah-buahan seperti apel, anggur, plum, persik, dan ceri. Juga hadir dalam alga, dan rumput laut. Karena ekstraksinya dari buah-buahan atau rumput laut tidak layak secara ekonomi, diproduksi dengan reduksi *D*-glukosa atau *D*-fruktosa menggunakan hidrogenasi tekanan tinggi. Sorbitol sekitar 60% semanis gula sukrosa dalam jumlah yang sama. Sorbitol menahan fermentasi asam oleh mikroorganisme di dalam mulut dan oleh karena itu tidak berkontribusi terhadap kejadian karies gigi. Sifat memungkinkan untuk digunakan sebagai pengganti gula sebagai pemanis rendah kalori dalam produk makanan seperti makanan penutup beku (Deis and Kearsley, 2012), permen karet bebas gula, dan minuman. Dalam pengobatan digunakan sebagai zat pemanis dalam sirup obat dan suspensi, seperti sirup obat batuk. Juga, digunakan sebagai pencahar untuk meredakan sembelit dan sebagai diuretik untuk menginduksi buang air kecil. Dalam produk kosmetik digunakan sebagai pengental dan pelembab.

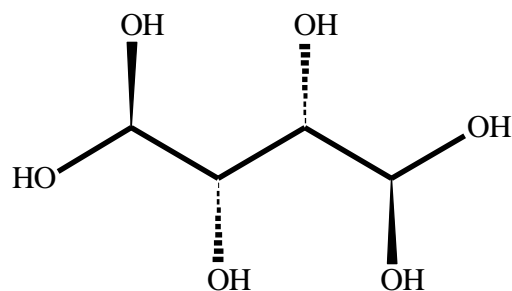




**Gambar 2.** Sorbitol

### 2.1.2 Manitol

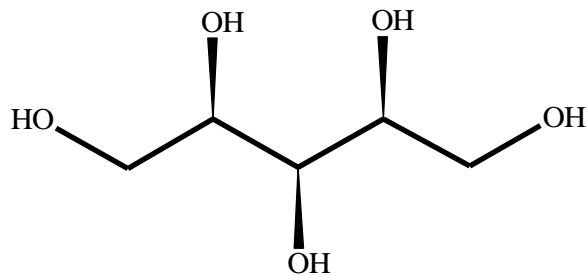
Manitol juga dikenal dengan nama *mannite* atau gula manna adalah gula alkohol enam karbon  $C_6H_{14}O_6$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Secara alami ada di semua tanaman dan rumput laut. Konsentrasi manitol dalam produk alami ini dapat berkisar dari 20% pada rumput laut hingga 90% pada tanaman. Manitol diekstraksi dari produk alami ini menggunakan pelarut atau cairan super kritis dan umumnya menghasilkan hasil sekitar 18% dari produk alami asli ini. Hal ini juga dapat diproduksi melalui hidrogenasi manosa gula menjadi manitol (Song *and* Vieille, 2009). Manitol memiliki rasa manis yang sama dengan gula sukrosa dan biasa digunakan dalam makanan dan obat-obatan. Dalam makanan manitol memiliki indeks glikemik lebih rendah dari sukrosa dan oleh karena itu digunakan sebagai pemanis bagi penderita diabetes.



**Gambar 3.** Manitol

### 2.1.3 Xilitol

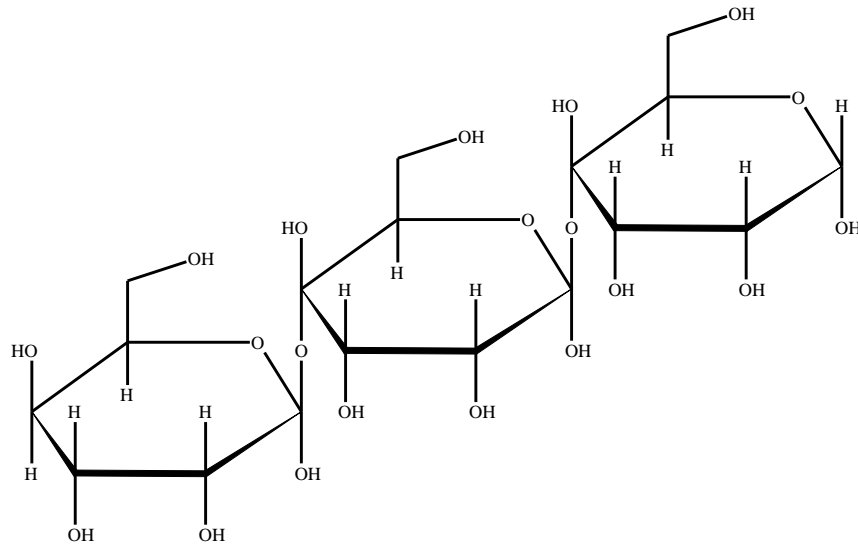
Xilitol adalah alkohol gula lima karbon  $C_5H_{12}O_5$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Secara alami ada di sebagian besar bahan tanaman, termasuk banyak buah. Ini banyak digunakan sebagai pengganti gula dan dalam permen karet “bebas gula”, permen mint dan produk perawatan mulut lainnya untuk mencegah kerusakan gigi dan mulut kering. Dalam pengobatan xilitol digunakan sebagai pengganti gula bagi penderita diabetes. Xilitol memiliki rasa manis tetapi, tidak seperti gula sukrosa, tidak dapat difermentasi oleh mikroflora oral menjadi asam yang menyebabkan kerusakan gigi (Storey *et al.*, 2007)



**Gambar 4.** Xilitol

## 2.2 Selulosa

Selulosa merupakan polisakarida yang terdapat dalam tumbuhan, yang berfungsi sebagai bahan pembentuk dinding sel dan serat tumbuhan dengan rumus empiris  $(C_6H_{12}O_5)_n$ . Struktur kimianya terdiri dari glukosa anhidrat yang dihubungkan oleh ikatan  $\beta$ -1,4-glikosidik. Struktur molekul selulosa tidak melingkar serta tidak bercabang, dan bersifat sedikit kaku. Struktur selulosa ditunjukkan dalam Gambar 5.



**Gambar 5.** Struktur selulosa

Senyawa selulosa ditemukan melimpah pada tanaman dan produk hortikultura seperti tanaman pisang, nanas, padi, jagung, tebu, singkong dan kelapa sawit serta lainnya (Fajardo *et al.*, 2015). Secara umum, kandungan selulosa dari beberapa tanaman hortikultura dipaparkan dalam Tabel 1 berikut ini.

**Tabel 1.** Beberapa tanaman hortikultura yang berpotensi sebagai sumber selulosa

| No | Jenis Tanaman Holtikultural | Produksi pertahun<br>(10 <sup>6</sup> ton) | Kandungan<br>Residu Selulosa<br>(10 <sup>6</sup> ton) |
|----|-----------------------------|--|---|
| 1  | Pisang                      | 8,74                                       | 2,14  |
| 2  | Jagung                      | 30,43                                      | 8,09  |
| 3  | Tebu                        | 17,36                                      | 2,3   |
| 4  | Kelapa Sawit                | 49,71                                      | 3,714   |
| 5  | Nanas                       | 2,89                                       | 0,675   |

Sumber: Dirjen Perkebunan Indonesia, 2022

Melihat jumlah residu selulosa pada Tabel 1, potensi pemanfaatannya menjadi tantangan bagi para peneliti. Inovasi dalam pemanfaatan selulosa telah banyak diteliti, salah satunya sebagai bahan baku pembuatan gula alkohol. Konversi selulosa diawali dengan hidrolisis selulosa yang menghasilkan glukosa. Glukosa yang terbentuk kemudian dikonversi lebih lanjut menjadi gula alkohol melalui reaksi hidrogenasi dan bantuan katalis (Kobayashi *et al.*, 2011).

### 2.3 Nanoselulosa

Selulosa dapat diubah ukurannya menjadi selulosa skala nano, yang disebut dengan nanoselulosa. Perubahan ukuran ini dapat diikuti dengan peningkatan sifat amorf, luas permukaan, meningkatkan dispersibilitas dan biodegradabilitas. Sifat amorf dari selulosa memiliki keuntungan tersendiri yaitu bagian yang amorf akan lebih rentan terhadap reaksi hidrolisis. Salah satu metode pembuatan nanoselulosa adalah hidrolisis asam menggunakan asam kuat. Asam sulfat adalah pelarut asam kuat pilihan untuk proses hidrolisis asam untuk produksi nanoselulosa.

Menurut Peng *et al.*, 2010, asam sulfat umumnya digunakan untuk memproduksi nanoselulosa, namun dispersibilitas dari nanoselulosa yang diperoleh dari jenis asam ini berbeda dengan jenis asam lainnya, karena kelimpahan dari gugus sulfat pada permukaan, nanoselulosa yang diperoleh dari hidrolisis menggunakan asam sulfat dapat terdispersi dengan mudah di dalam air dibanding dengan menggunakan asam kuat lainnya.

### 2.4 Kulit Pisang Kepok

Selain manfaat kandungan buah pisang seperti protein, vitamin dan mineral (Dewati, 2008.), ternyata kulit pisang juga masih dapat bermanfaat melalui pengolahan kandungan yang ada, seperti terlihat pada Tabel 2 berikut ini.

**Tabel 2.** Kandungan senyawa dalam kulit pisang kepok

| No | Kandungan | % Berat (g/100 g berat kering) |
|----|-----------|--------------------------------|
| 1  | Protein   | 8,6                            |
| 2  | Lemak     | 13,1                           |
| 3  | Pati      | 12,1                           |
| 4  | Serat     | 50,3                           |
| 5  | Abu       | 15,3                           |

Sumber: Yosephine dkk. 2012

Buah pisang terutama pisang kepok yang buahnya dibuat menjadi keripik-pisang tentunya memberikan residu kulit pisang yang melimpah dan bernilai ekonomi

tinggi jika diolah menjadi produk-produk lain, seperti gula alkohol. Jenis pisang kepok yang banyak dibuat untuk kripik pisang adalah pisang kepok kuning. Bentuk fisik buah dan kulit tanaman pisang kepok kuning dipaparkan pada Gambar 6 .



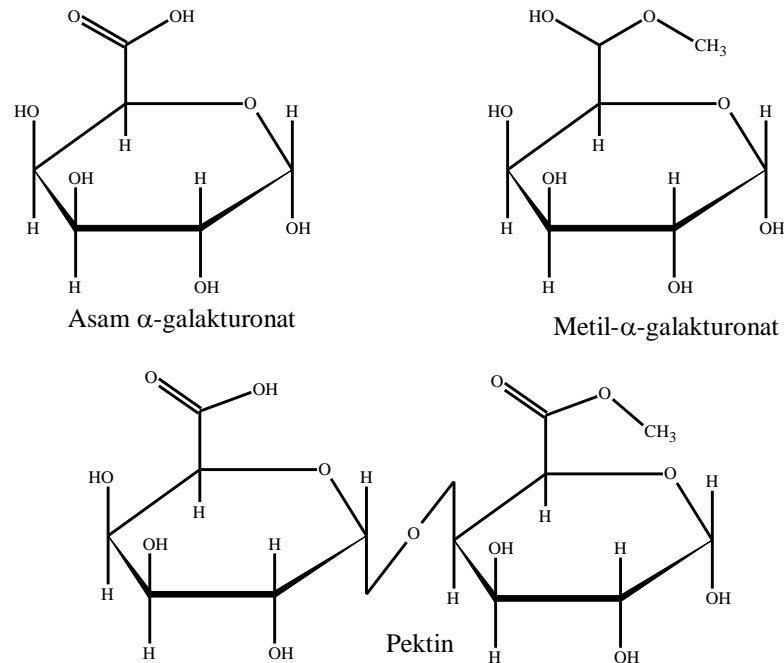
**Gambar 6.** Buah dan kulit pisang

Kandungan serat yang tinggi tentunya berpotensi untuk diolah menjadi produk yang lebih bermanfaat seperti gula alkohol, energi bahan bakar dan lainnya (Seftian dkk., 2012) dibandingkan hanya sebagai makanan ternak atau pupuk cair.

Provinsi Lampung sebagai penghasil budidaya pisang sebesar 21,59% skala nasional dan persentase produksi di Indonesia. Kulit pisang juga merupakan sumber yang baik mengandung lignin (6-12%), pektin (10-21%), selulosa (7,6-9,6%), hemiselulosa (6,4-9,4%) dan asam galakturonat. Pektin yang diekstrak dari kulit pisang juga mengandung glukosa, galaktosa, arabinosa, rhamnosa, dan xilosa. Kulit pisang juga dapat digunakan dalam minuman anggur, produksi etanol, sebagai substrat untuk produksi biogas dan sebagai bahan dasar untuk ekstraksi pektin (Sutar, 2010).

## 2.5 Pektin

Pektin merupakan suatu polimer dari polisakarida yang memiliki bobot molekul tinggi dan terkandung dalam lamella tengah dinding sel pada tumbuhan darat. membentuk rantai lurus dan saling terikat satu sama lain oleh ikatan  $\alpha$ -1,4-glikosidik (Sriamornsak, 1998). Struktur pektin ditunjukkan dalam Gambar 7 :



**Gambar 7.** Struktur pektin

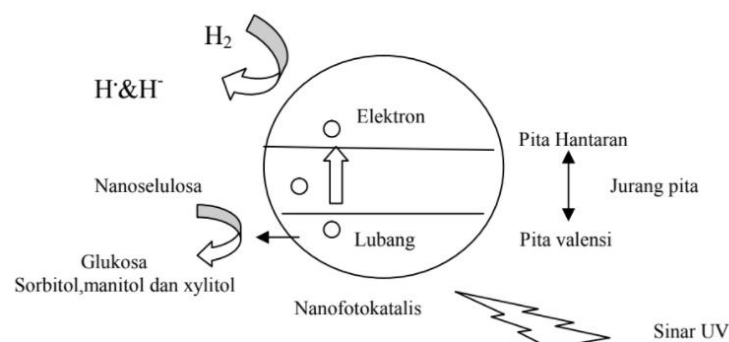
Umumnya, larutan pektin bersifat asam. Hal ini disebabkan adanya gugus karboksil pada rantai panjang struktur pektin. Namun, beberapa gugus karboksil juga secara alami termetoksilasi menjadi gugus metoksi. Senyawa pektin terdiri dari asam pektat, asam pektat, dan protopektin. Kandungan metoksi pektin mempengaruhi kelarutannya. Pektin dengan kandungan gugus metoksi tinggi (7-9%) mudah larut dalam air, sedangkan pektin dengan kandungan gugus metoksi rendah (3-6%) mudah larut dalam alkali dan asam oksalat. Semakin rendah kadar metoksi dalam pektin, maka jumlah gugus aktif pada rantai pektin akan semakin banyak. Hal ini menyebabkan meningkatnya aktivitas pengikatan terhadap ion logam, sehingga pektin dengan kadar metoksi yang rendah dapat digunakan sebagai pengkelat (pengikat logam) pada preparasi katalis. (Erika, 2013).

## 2.6 Pemanfaatan Sinar *Ultraviolet* (UV)

Sinar *Ultraviolet* (UV) adalah sinar yang ada di bawah sinar matahari, meskipun dalam jumlah yang relatif kecil dibandingkan dengan sinar tampak. Biasanya, sinar UV memiliki rentang panjang gelombang 100-400 nm atau 3,1-12,4 eV.

Menurut *American Cancer Society* (2001), sinar UV diklasifikasikan menjadi tiga jenis sinar UV menurut panjang gelombang atau energinya, yaitu: UV-A ( $\lambda = 320-400$  nm), sinar UV-B ( $\lambda = 290-320$  nm) dan sinar UV-C cahaya ( $\lambda = 200-290$  nm). Dalam prakteknya, berdasarkan pertimbangan energi, sinar UV-A dan UV-B atau 8,37 eV digunakan untuk fotolisis senyawa pewarna dan reaksi fotokatalitik senyawa lain (Lestari dkk, 2015).

Energi yang dimiliki oleh sinar UV cukup untuk memutuskan ikatan -1,4-glikosidik pada selulosa dengan energi sebesar 2-14 kJ mol<sup>-1</sup>. Maka energi yang dibutuhkan untuk memutuskan satu ikatan glikosidik (per dua molekul glukosa) adalah 0,03151-0,1103 eV (Beckham *et al.*, 2011). Hal ini ditunjukkan dengan menggunakan fotokatalis TiO<sub>2</sub> dan dopannya yang mampu menghasilkan sekitar 100% konversi selulosa, karena energi celah pita dari anatase dan rutil TiO<sub>2</sub> masing-masing adalah 3,22 dan 3,03 eV. Faktanya, fotodegradasi kontaminan menggunakan sinar UV hanya memberikan efisiensi kuantum yang rendah, yaitu hanya 1% foton UV yang mampu memberikan langkah redoks (Colmenares *and* Magdziarz, 2013). Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi kuantum adalah memilih nanokatalis yang menyerap lebih banyak energi UV. Desain reaktor yang memungkinkan lebih banyak paparan UV ke sampel juga dapat meningkatkan efisiensi kuantum. Hal yang sama dapat terjadi dengan pemilihan substrat (nanoselulosa), membuatnya lebih terdispersi dalam larutan, lebih cenderung menyerap energi dan mengarah pada ikatan  $\beta$ -1,4-glikosidik, sinar UV diposisikan sedemikian rupa sehingga tidak terpantul ke reaktor, dan panjang kontak di mana reaksi terjadi. Proses reaksi untuk konversi nanoselulosa dengan adanya gas hidrogen dijelaskan dalam skema berikut:



**Gambar 8.** Skema ilustrasi pemisahan muatan fotokatalis diinduksi sinar UV

Penggunaan sinar ultraviolet (UV) dalam konversi biomassa sudah ada sejak lama, seperti konversi karbohidrat menjadi hidrogen dengan lampu Xe 500 W (sinar UV dengan  $\lambda = 320$  nm) yang mampu memecah sampel sukrosa yang dilarutkan dalam air destilasi, diaerasi dan dicampur dengan katalis  $\text{RuO}_2 - \text{TiO}_2 - \text{Pt}$  (10:100:5, g/g), dalam gas hidrogen hingga 70 mol dan  $\text{CO}_2$  dalam 18 jam pada suhu kamar (Kawai *and* Sakata, 1980). Selanjutnya, konversi fruktosa dan xilosa menjadi asam organik menggunakan lampu UV 400 W,  $\lambda = 365$  nm selama 120 menit pada suhu  $30^\circ\text{C}$  dengan konversi 50-70% (Puttipat *et al.*, 2013). Digunakan terdiri dari larutan 500 mL fruktosa, dengan konsentrasi 1 g/L dicampur dengan larutan asetonitril (10:90, v/v) dan katalis  $\text{TiO}_2$  (1 g/L) dan diaduk. Kelompok peneliti di Inggris juga mengubah selulosa menjadi nanoform tetap pada  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2 - \text{Pt}$ , tersuspensi dalam air suling dan aerasi dan reaksi dilanjutkan. Dibutuhkan waktu 6 jam untuk 1 siklus dan prosesnya memakan waktu hingga 7 siklus dan penyinaran sinar UV dari lampu Fehalide (Zhang *et al.*, 2016). Pada umumnya sinar UV yang digunakan dipasang secara vertikal pada sampel yang difotokatalis dan selulosa yang digunakan adalah mikrokristalin (Colmenares *and* Magdziarz, 2013) katalisnya harus semikonduktor.

## 2.7 Reaksi Fotokatalitik

Reaksi fotokatalitik adalah reaksi yang terjadi di bawah pengaruh cahaya dan katalis bersama-sama. Katalis ini mempercepat fotoreaksi melalui interaksinya dengan substrat keadaan dasar dan tereksitasi, atau fotoproduk utama, yang bergantung pada mekanisme fotoreaksi. Secara umum, fotokatalitik dibagi menjadi dua jenis, fotokatalitik homogen dan fotokatalitik heterogen. Fotokatalitik homogen adalah reaksi fotokatalitik dengan menggunakan oksidator seperti ozon dan hidrogen peroksida, sedangkan fotokatalitik heterogen adalah teknologi berbasis iradiasi. Sinar UV pada Semikonduktor Semikonduktor adalah bahan yang mempunyai daya hantar listrik antara konduktor dan isolator Pada semikonduktor terdapat pita energi yang memungkinkan adanya elektron, yaitu pita valensi energi rendah yang terisi penuh elektron dan pita konduksi energi

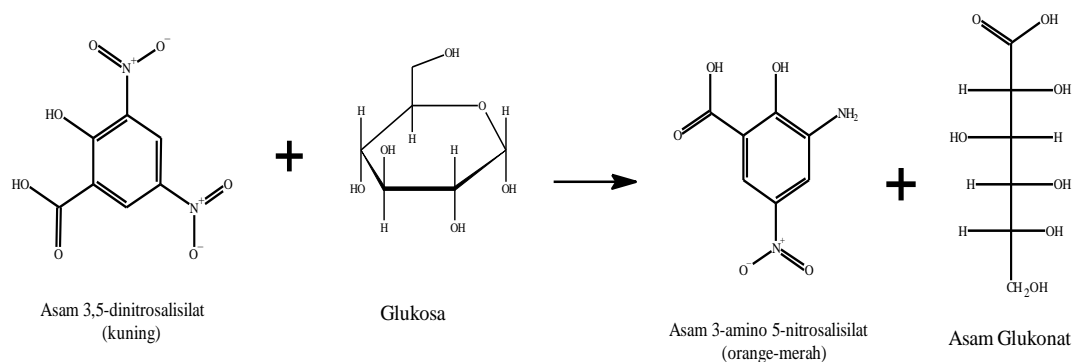


tinggi itu kosong. Celah energi yang memisahkan kedua pita tersebut biasanya disebut *band gap* ( $E_g$ ). Salah satu karakteristik penting dari semikonduktor adalah bahwa mereka memiliki celah pita yang relatif kecil, mulai dari 0,225 eV. Energi celah pita yang rendah ini memungkinkan sebuah elektron untuk memasuki suatu tingkat energi. Transfer elektron ini dapat terjadi karena pengaruh suhu dan radiasi.

## 2.8 Hasil Analisis Konversi Selulosa

### 2.8.1 Metode DNS

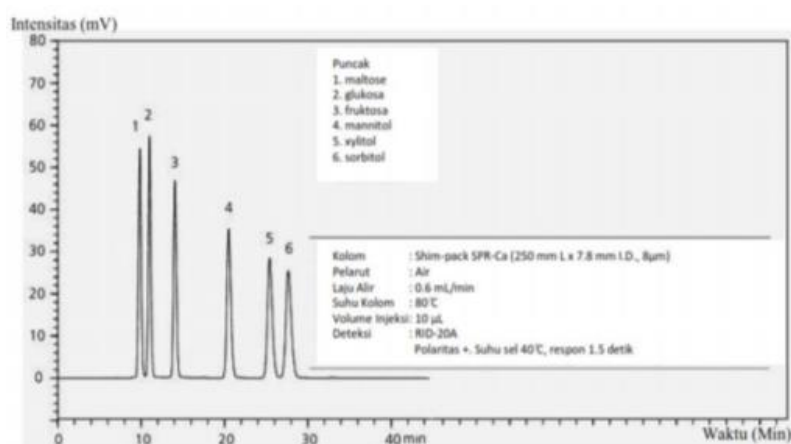
Penentuan gula pereduksi biasanya dilakukan dengan metode asam 3,5-dinitrosalisilat (DNS), yang mendeteksi adanya gugus karbonil yang bebas dari gula pereduksi. DNS merupakan senyawa aromatik yang bereaksi dengan gula pereduksi dan molekul pereduksi lainnya. Gugus dalam gula direduksi oleh DNS untuk membentuk asam 3-amino-5-nitrosalisilat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Konsentrasi gula pereduksi ditentukan secara spektrofotometri pada panjang gelombang 540 nm (Keharom *et al.*, 2016).



**Gambar 9.** Reaksi DNS dengan glukosa

### 2.8.2 Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT)

KCKT adalah teknik analisis untuk memisahkan, mengidentifikasi dan mengukur komponen campuran. KCKT bekerja berdasarkan prinsip bahwa molekul tertentu membutuhkan waktu lebih lama untuk melewati kolom kromatografi tergantung pada afinitas molekul dengan fase gerak dan fase diam. Molekul yang memiliki afinitas yang paling besar akan membutuhkan waktu yang lebih lama. Fase diam umumnya terdiri dari butiran yang terdiri dari partikel padat seperti silika atau polimer. Komponen utama KCKT terdiri dari: kolom untuk menampung fase diam, pompa untuk mensirkulasikan fase gerak melalui kolom dan detektor menunjukkan waktu retensi molekul. Metode ini dapat digunakan pada senyawa yang tidak tahan panas dan memiliki berat molekul tinggi (Kupiec, 2004). Contoh kromatogram gula alkohol dapat dilihat pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Kromatogram dari gula alkohol, monosakarida dan disakarida (Noviyanthi, 2015).

### 2.9 Limbah Tongkol Jagung

Jagung (*Zae mays*) termasuk dalam jenis tanaman pangan *serealia* dari famili rumput-rumputan (*Plantae*). Limbah tongkol jagung berasal dari produk pertanian berbahan dasar jagung dan disebut limbah lignoselulosa. Hal ini disebabkan komposisi senyawa utama tongkol jagung terdiri dari selulosa (48,1%), hemiselulosa (37,2%) dan lignin (14,7%) (Hao *et al.*, 2013). Selulosa dan

hemiselulosa adalah senyawa organik yang terdiri dari atom karbon, hidrogen, dan oksigen. Rumus senyawa selulosa adalah  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Sedangkan lignin merupakan jenis polimer alam yang mengandung karbon sekitar 50% lebih banyak (per satuan massa) dibandingkan selulosa dengan rumus  $(C_{31}H_{34}O_{11})_n$  (Benner *et al.*, 1987). Tongkol jagung dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Limbah tongkol jagung

Untuk memperoleh unsur-unsur yang terkandung dalam selulosa, hemiselulosa dan lignin. Oleh karena itu, ketiga senyawa tersebut harus terlebih dahulu didegradasi. Temperatur degradasi selulosa dan hemiselulosa masing-masing pada temperatur 280-350°C dan 200-250°C. Selama ini lignin berada pada suhu 300-400°C (Hartanto dan Ratnawati, 2010). Secara umum data komposisi unsur tongkol dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Komposisi elemen tongkol jagung (% massa)

| Unsur    | (%)  |
|----------|------|
| Karbon   | 46,8 |
| Nitrogen | 0,9  |
| Hidrogen | 6,0  |
| Oksigen  | 46,3 |

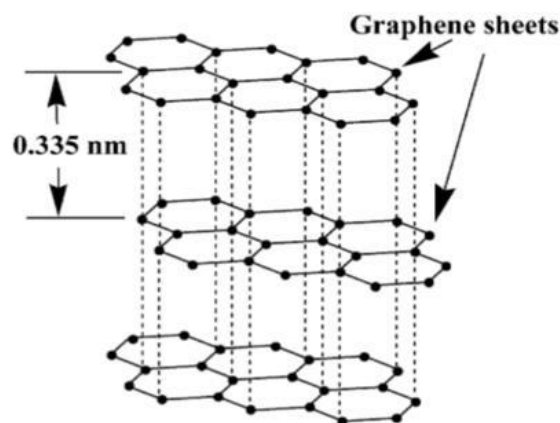
Sumber : (Tsai *et al.*, 2001)

Selama ini pemanfaatan tongkol jagung masih sangat terbatas dan memiliki nilai komersial yang rendah. Meningkatnya jumlah limbah tongkol jagung dan tidak dapat dimanfaatkan secara optimal akan menimbulkan permasalahan bagi lingkungan. Oleh karena itu, berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi

tongkol jagung di Indonesia, antara lain sebagai pupuk, bahan baku karbon aktif dan biohidrogen (Tsai *et al.*, 2001). Dari data pada Tabel 3 diketahui bahwa karbon merupakan salah satu unsur yang paling melimpah pada tongkol jagung. Karbon merupakan bahan utama yang diperlukan untuk sintesis grafit alam dan GO. Oleh karena itu, limbah tongkol berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku sintesis grafit alam dan GO.

## 2.10 Grafit

Grafit merupakan salah satu alotrop karbon dengan struktur yang sangat teratur berupa kristal. Atom karbon dalam grafit terikat kuat secara kovalen dengan atom karbon tipe hibridisasi  $sp^2$  dan membentuk cincin heksagonal planar (Ko *et al.*, 2020). Grafit terdiri dari lembaran graphene dengan spasi di antara lembarannya sebesar 0,335 nm. Pada setiap lembar terdapat elektron dari orbital  $\pi$  atom karbon yang dipindahkan ke seluruh bagian lembaran. Hal ini memicu munculnya gaya Van der Waals yang mengikat antar lembaran agar tetap terhubung (Sengupta *et al.*, 2011). Struktur lapisan grafit dapat dilihat pada Gambar 12.



**Gambar 12.** Struktur natural grafit (Sengupta *et al.*, 2011)

Grafit memiliki sifat unik yaitu anisotropik. Hal ini diketahui dari konduktivitas termalnya, yaitu komponen yang tegak lurus pada lapisan memiliki konduktivitas elektrik dan termal yang buruk. Sedangkan komponen yang terdapat pada lapisan akan memiliki sifat elektrik dan konduktivitas termal yang baik (Chung, 2002).

Nilai konduktivitas termal grafit mencapai 3000 W/mK pada lapisannya. Selain itu, grafit juga memiliki modulus elastisitas 1 TPa dan tahan suhu tinggi hingga 650 °C di udara (Xie *et al.*, 2005).

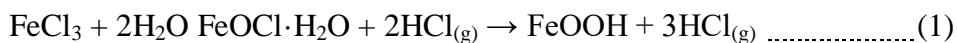
Sifat menarik dari grafit ini membuatnya mampu digunakan secara luas di berbagai bidang seperti sintesis elektroda, elektrokimia, pelumas, mekanik, aeronautika dan industri nuklir (Ko *et al.*, 2020). Secara umum grafit diklasifikasikan menjadi 2 yaitu grafit sintetis dan grafit alam. Grafit sintetis diperoleh dengan memanaskan karbon pada suhu tinggi, yang mengubah struktur karbon menjadi struktur grafit. Sementara itu, grafit alam dapat ditemukan secara alami di lingkungan atau disintesis dari bahan alam. Ukuran partikel kristal dalam grafit alam bervariasi tergantung pada jenis sumbernya. Secara umum, dimensi grafit alam adalah mikrokristalin dan makrokristalin (Wissler, 2006).

## 2.11 Metode Sintesis Grafit

Ada beberapa metode konvensional untuk mengubah struktur karbon yang sebelumnya tidak beraturan (amorf) menjadi karbon grafit (dengan struktur yang teratur), yaitu CVD (*Chemical Vapor Deposition*), grafitisasi langsung, dan grafitisasi katalitik (Hoekstra *et al.*, 2015). Berdasarkan penelitian sebelumnya, grafit disintesis dari limbah plastik (wPET) menggunakan katalis boron (grafitisasi katalitik) dan hasilnya dibandingkan dengan hasil dari metode sintesis lainnya tanpa menggunakan katalis dengan derajat kristalinitas yang tinggi (Ko *et al.*, 2020).

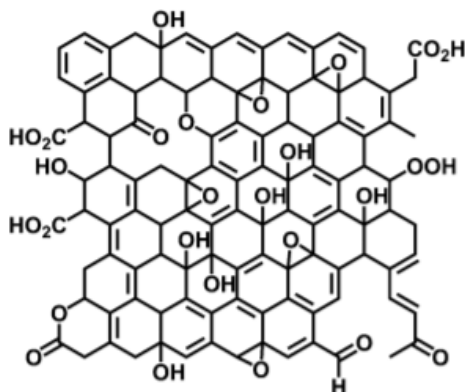
Oleh karena itu, pada penelitian ini dipilih metode grafitisasi katalitik untuk sintesis grafit alam. Beberapa keuntungan dari metode grafitisasi katalitik adalah proses sintesis dapat berlangsung dengan mudah, biaya yang dibutuhkan rendah (murah), dan dapat berlangsung pada suhu sedang atau relatif rendah. Oleh karena itu, metode ini dapat diterapkan untuk sintesis skala besar (Thambiliyagodage *et al.*, 2018). Grafitisasi katalitik adalah metode yang menggunakan katalis (logam transisi) untuk meningkatkan kristalinitas karbon untuk membentuk bahan grafit

dengan melibatkan reaksi kimia antara karbon dan logam transisi (sebagai katalis grafitisasi). Dalam penelitian ini, logam transisi yang digunakan adalah Fe (besi), yang berasal dari  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Selain itu, prekursor karbon yang digunakan berasal dari karbonisasi limbah tongkol jagung. Reaksi penguraian  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  menjadi Fe dapat dilihat pada persamaan 1-5 (Xu *et al.*, 2020).



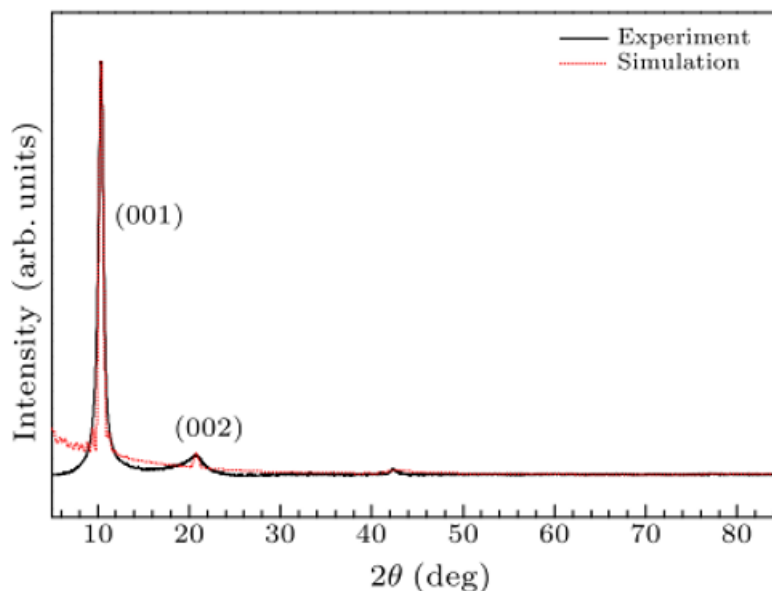
## 2.12 Grafena Oksida (GO)

GO adalah grafit yang difungsikan. Gugus fungsi yang terikat pada permukaan grafit menyebabkan GO terdiri dari 2 jenis hibridisasi atom karbon, yaitu hibridisasi  $\text{sp}^2$  dari grafit murni (tidak teroksidasi) dan hibridisasi  $\text{sp}^3$  dari grafit teroksidasi (Dimiev *et al.*, 2012). Struktur GO berupa lapisan dengan jarak antar lapisan 6-7 Å dan memiliki lengkungan pada setiap lapisannya karena adanya gugus fungsi pada permukaan akibat proses oksidasi (Lahaye *et al.*, 2009). Beberapa gugus fungsi yang dimiliki GO adalah gugus hidroksil (C-O-H), epoksi (C-O-C), asam karboksilat (C(=O)OH) dan karbonil (C=O). Struktur GO dapat dilihat pada Gambar 14.



**Gambar 13.** Struktur *graphene oxide* (GO) (Dreyer *et al.*, 2014)

GO memiliki struktur kristal dengan intensitas puncak yang lebih rendah dibandingkan grafit dengan ukuran butir yang bervariasi tergantung bahan baku grafit yang digunakan. Derajat kristalinitas GO dapat diketahui dari difraktogram XRD yang ditunjukkan dengan puncak yang agak intens dan tajam pada  $2\theta = 10,34^\circ$ .



**Gambar 14.** Difraktogram XRD *graphene oxide* (GO) (Mu *et al.*, 2013)

### 2.13 Sintesis Grafena Oksida (GO)

Proses oksidasi grafena melibatkan reaksi oksidasi grafit menjadi grafit oksida. Grafit oksida diperoleh dari reaksi dengan oksidator kuat seperti HCl atau  $H_2SO_4$ . Grafit oksida tersusun dari beberapa lapisan grafena oksida dengan komposisi karbon, oksigen dan hidrogen. Pada beberapa publikasi, struktur kimia dari grafit oksida belum dapat ditentukan secara pasti dan masih menjadi perdebatan, karena kompleksitas bahan akibat dengan sifatnya yang amorf. Dari pengamatan struktur kimia grafit oksida oleh (Park *and* Ruoff, 2009), dijelaskan bahwa grafit oksida memiliki ikatan dengan gugus hidroksil dan epoksi. Komponen lain yang terkandung dalam grafit oksida adalah gugus karbonil dengan jumlah yang relatif rendah.

Grafit oksida memiliki kelarutan yang tinggi dalam air dan diproduksi dengan proses ultrasonik. Proses ultrasonik menyebabkan ikatan sp pada struktur grafit putus (Basu *and* Bhattacharyya, 2013). Beberapa lembar oksida grafit memiliki atom karbon dengan ikatan tetrahedral sp<sup>3</sup> yang bergerak sedikit di atas atau di bawah bidang *graphene*, sedangkan dalam kondisi ideal *graphene* hanya memiliki atom karbon dengan ikatan trigonal sp<sup>2</sup>, karena penataan ulang struktural dan adanya ikatan kovalen dalam struktur fungsional.

Hummers *and* Offeman (1958) memodifikasi metode sintetik dengan mereaksikan grafit dan HCl dengan NaNO<sub>3</sub> dan KMnO<sub>4</sub>. KMnO<sub>4</sub> merupakan oksidator kuat dan akan membentuk senyawa Mn<sub>2</sub>O<sub>7</sub> dengan sifat yang lebih reaktif. Proses oksidasi grafit dimulai ketika grafit bereaksi dengan oksidator pada suhu rendah. Selama proses oksidasi, terbentuk gugus fenol pada tepi grafena oksida akibat reaksi dengan KMnO<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Di sisi lain, gugus fenolik akan berubah menjadi gugus eter karena kondensasi karena proses oksidasi yang terus menerus. Gugus fenolik, d, akan teroksidasi dan berubah menjadi gugus keton. Gugus keton yang terbentuk akan berubah menjadi gugus karboksil dan karbonil. Langkah selanjutnya dalam sintesis oksida grafit adalah proses ultrasonik untuk menghasilkan grafena oksida.

## 2.14 Nanokomposit

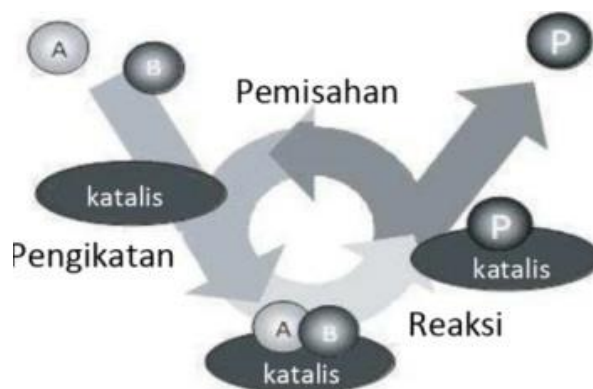
Nanokomposit dapat dibuat dengan memasukkan nanopartikel (*nanofiller*) ke dalam material makroskopik (matriks). Pencampuran nanopartikel dalam matriks penyusunnya merupakan bagian dari evolusi dunia nanoteknologi. Nanokomposit adalah bahan padat multifase, dimana setiap fasa memiliki satu, dua atau tiga dimensi kurang dari 100 nm, atau struktur padat dengan dimensi skala nanometer yang berulang dalam jarak antar komponen struktur yang berbeda (Chitaningrum, 2008). Partikel-partikel yang berukuran nano memiliki luas permukaan interaksi yang besar, yang menyebabkan semakin kuat material tersebut. Ini memperkuat ikatan antar partikel, meningkatkan sifat mekanik material. Namun, penambahan



nanopartikel tidak selalu meningkatkan sifat mekaniknya. Ada batas tertentu di mana ketika mereka ditambahkan kekuatan bahan berkurang. Namun secara umum material nanokomposit menunjukkan perbedaan sifat mekanik, elektrik, optik, elektrokimia, katalitik dan struktural dibandingkan dengan bahan awalnya (Hadiyawarman dkk., 2008). Dengan memasukkan nanopartikel ke dalam komposit, dimungkinkan untuk meningkatkan sifat katalitiknya. dari fotokatalis.

## 2.15 Katalis

Menurut Berzelius, kecepatan reaksi kimia dapat ditingkatkan jika katalis ditambahkan, tetapi tidak dikonsumsi selama reaksi. Katalis dapat membentuk ikatan dengan reaktan, sehingga meningkatkan kemudahan reaktan bereaksi untuk membentuk produk dan kemudian melepaskan katalis. Reaksi yang dikatalisis digambarkan sebagai siklus peristiwa di mana katalis berpartisipasi dalam reaksi dan kembali ke bentuk asalnya di akhir siklus (Chorkendroff and Niemantsverdriet, 2005).



**Gambar 15.** Siklus katalis

Berdasarkan Gambar 15, siklus dimulai dengan pengikatan molekul A dan B (reaktan) ke katalis. A dan B kemudian bereaksi membentuk kompleks, yang selanjutnya membentuk produk P, yang juga berikatan dengan katalis. Pada tahap akhir, P dipisahkan dari katalis, mengembalikan siklus ke bentuk aslinya. Secara umum katalis dibedakan menjadi dua yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Untuk katalis homogen, katalis dan reaktan berada dalam fasa yang sama, sedangkan untuk katalis heterogen, katalis dan reaktan berada dalam fasa yang

berbeda. Untuk tujuan praktis, katalis heterogen saat ini lebih sering digunakan dibandingkan dengan katalis homogen (Chorkendroff *and* Niemantsverdriet, 2005). Saat ini, proses katalisis heterogen dibagi menjadi dua kategori besar, yaitu reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dan reaksi asam-basa. Reaksi redoks meliputi reaksi dimana katalis mempengaruhi pemecahan ikatan secara homolitik pada molekul-molekul reaktan yang menghasilkan elektron tak berpasangan, dan kemudian membentuk ikatan secara homolitik dengan katalis melibatkan elektron dari katalis. Reaksi asam-basa meliputi reaksi dimana reaktan membentuk ikatan heterolitik dengan katalis melalui penggunaan pasangan elektron bebas dari katalis atau reaktan (Li, 2005).

Katalis pada umumnya memiliki sifat sebagai berikut :

#### 1. Selektivitas

Katalis harus memiliki kemampuan untuk menghasilkan produk yang diinginkan. Selektivitas diperlukan dalam pemilihan setiap material yang akan digunakan. Hal ini dikarenakan dalam suatu proses reaksi, terdapat zat yang berperan dalam meningkatkan laju reaksi, namun juga dapat menjadi penghambat pada proses lainnya. Katalis dikatakan memiliki selektivitas yang baik, jika katalis mampu secara efektif meningkatkan jumlah produk yang diinginkan.

#### 2. Aktivitas

Katalis harus memiliki kemampuan untuk dapat aktif bereaksi. Keaktifan tersebut dapat dibuktikan dari hasil kerja katalis dalam mengubah bahan baku menjadi produk baru yang diinginkan. Katalis dikatakan memiliki aktivitas yang baik, jika katalis mampu menuju kesetimbangan dengan waktu yang sangat singkat.

#### 3. Waktu Hidup

Katalis harus memiliki kemampuan untuk bertahan pada level yang cukup sesuai kinerja katalis yang diinginkan. Masa hidup katalis dipengaruhi oleh aktivitas dari katalis.

#### 4. Stabilitas

Katalis harus memiliki kemampuan untuk dapat menghadapi racun atau zat lain yang mungkin dapat merusak kinerja dari katalis itu sendiri. Stabilitas katalis dalam reaksi akan berpengaruh pada produk yang dihasilkan.

### 5. Regenerasi

Katalis harus memiliki sifat mudah diregenerasi. Sifat ini akan memberi kemudahan dalam meminimalkan setiap gangguan yang terjadi saat bereaksi.

### 6. Kekuatan mekanik

Katalis harus memiliki kemampuan untuk dapat digunakan dalam kondisi apapun, meskipun dalam tekanan dan temperatur tinggi (Clark, 2001).

Katalis heterogen memiliki 2 komponen penyusun, yaitu buffer (penyangga) dan situs aktif (dopan). Fungsi utama dopan adalah untuk dapat memberikan luas permukaan yang besar (cukup), bertujuan untuk memperbesar kontak langsung antara situs aktif dan reaktan, sehingga menghindari aglomerasi dan meningkatkan kinerja katalitiknya. Dopan yang lebih disukai adalah senyawa pendukung reaktan yang tidak bereaksi terhadap reaksi yang tidak diinginkan, seperti alumina, silika, dan karbon aktif. Situs aktif biasanya oksida dari logam transisi deret pertama, seperti: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, dan Zn, yang orbital d-nya masih kekurangan elektron, sehingga dapat menangkap elektron dari reaktan dan membentuk ikatan kuat.

## 2.16 Metode Preparasi Katalis

Metode preparasi termasuk salah satu faktor yang mempengaruhi sifat katalis. Pemilihan metode preparasi yang tepat akan menunjukkan hasil yang diharapkan dari karakteristik katalis dengan aktivitas, selektivitas, dan stabilitas maksimum. Banyak metode yang telah dikembangkan untuk sintesis nanokatalis, berbagai metode untuk pembuatan nanokatalis spinel ferit, seperti mikroemulsi, metode combustion ceramic, metode kopresipitasi, metode aerosol, reverse metode misel, metode poliol, metode sonokimia, metode hidrotermal, metode sol-gel, ablasi laser, dan prekursor polimer (Hasnidawani *et al.*, 2016).

Berdasarkan berbagai metode dalam sintesis, nanokatalis  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  dipreparasi menggunakan metode sol-gel dalam penelitian ini. Metode sol-gel ini dipilih karena telah banyak digunakan dalam sintesis katalis berbahan logam, seperti

TiCl<sub>4</sub> (Peng *et al.*, 2010). Selain itu metode sol-gel memiliki banyak keunggulan diantaranya dispersi yang tinggi dari spesi aktif yang tersebar secara merata pada permukaan katalis, tekstur porinya memberikan kemudahan difusi dari reaktan untuk masuk ke dalam situs aktif, luas permukaan yang besar, meningkatkan stabilitas termal, serta mempermudah dalam memasukkan satu atau dua logam aktif secara bersamaan dalam prekursor katalis (Lambert *and* Gonzalez, 1998). Metode sol-gel termasuk salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam preparasi material oksida logam berukuran nano. Sol merupakan suspensi koloid yang fasa terdispersinya berupa padatan dan fasa pendispersinya berupa cairan. Suspensi dari partikel padat atau molekul-molekul koloid dalam larutan, dibuat dengan metal alkoxi dan dihidrolisis dengan air, menghasilkan partikel padatan metal hidroksida dalam larutan, dan reaksinya adalah reaksi hidrolisis.

Gel merupakan jaringan partikel atau molekul padat dan cair di mana polimer yang terbentuk dalam larutan digunakan sebagai tempat tumbuhnya zat anorganik. Pertumbuhan anorganik terjadi pada gel dengan energi ikat rendah. Reaksi ini merupakan reaksi kondensasi alkohol atau air membentuk jembatan oksigen (*oxygen bridge*) membentuk oksida logam (Abbas *and* Jafir, 2012).

Proses sol-gel dapat didefinisikan sebagai suatu proses dimana senyawa anorganik terbentuk melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah, dimana terjadi perubahan fase dari suspensi koloid (sol) menjadi fase cair (gel) yang kontinu. Metode sol-gel adalah metode yang paling umum digunakan. Hal ini terkait dengan beberapa keuntungan, antara lain: proses berlangsung pada suhu rendah, prosesnya relatif sederhana, dapat digunakan dalam segala kondisi (serbaguna), menghasilkan produk yang sangat murni dan homogen jika parameternya bervariasi. Dimana ukuran dan distribusi pori dapat dikontrol dengan memvariasikan rasio molar air / prekursor, jenis katalis atau prekursor, suhu gelasi, proses pengeringan dan stabilisasi (Zawrah *et al.*, 2009).

Pengeringan beku (*freeze dry*) merupakan metode pengeringan yang memiliki keunggulan dalam memberikan hasil pengeringan yang baik, terutama untuk

produk yang sensitif terhadap panas. Pada katalis, metode ini digunakan untuk menghilangkan air hidrat yang terkumpul di rongga bahan tanpa merusak struktur jaringan di dalam bahan (Labconco, 2020). Keuntungan dari *freeze dry* dibandingkan metode lain adalah:

- a. Dapat mempertahankan stabilitas produk dan struktur bahan (menghindari pengerutan bentuk, perubahan aroma, warna, dan unsur organoleptik lain).
- b. Dapat meningkatkan daya rehidrasi (hasil pengeringan sangat berongga sehingga daya rehidrasi sangat tinggi dan dapat kembali ke sifat fisiologis, organoleptik dan bentuk fisik yang hampir sama dengan sebelum pengeringan).
- c. Hasilnya homogen, murni, dengan ukuran partikel dapat diproduksi kembali serta memiliki aktivitas yang seragam (Bermejo *et al.*, 1995).

*Freeze Dryer* adalah unit pengering yang termasuk dalam pengantar pengering atau input pengeringan tidak langsung (*conduction dryer/indirect dryer*) karena proses pengeringannya dilakukan secara tidak langsung, karena proses perpindahan terjadi secara tidak langsung yaitu antara bahan yang akan dikeringkan (bahan basah) dan media pemanas terdapat dinding pembatas sehingga air dalam bahan basah/lembab yang menguap tidak terbawa bersama media pemanas. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan panas terjadi secara hantaran (konduksi), sehingga disebut juga pengantar pengeringan atau pengeringan tak langsung (*Conduction Dryer/ Indirect Dryer*) (Liapis and Bruttini, 1995). Kalsinasi adalah proses pemanasan suatu zat padat pada suhu tinggi dibawah titik lelehnya yang dilakukan secara bertahap dengan laju dan kenaikan suhu yang konstan. Kalsinasi dibutuhkan pada zat padat seperti katalis untuk mengubah ukuran kristal menjadi lebih kecil (berukuran nano). Perubahan ini terjadi karena atom-atom karbon, hidrogen dan oksigen dapat menguap membentuk air dan karbon dioksida.

Peristiwa yang terjadi pada proses kalsinasi yaitu:

- a. Dekomposisi komponen prekursor pada pembentukan spesi oksida. Proses pertama terjadi pelepasan air bebas ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dan terikat (OH) yang berlangsung pada suhu diantara  $100^\circ\text{C}$  dan  $300^\circ\text{C}$ .
- b. Pelepasan gas  $\text{CO}_2$  berlangsung pada suhu sekitar  $600^\circ\text{C}$ , akan terjadi pengurangan berat secara berarti dan terjadi reaksi antara oksida yang terbentuk dengan penyangga.

## 2.17 Karakterisasi Katalis

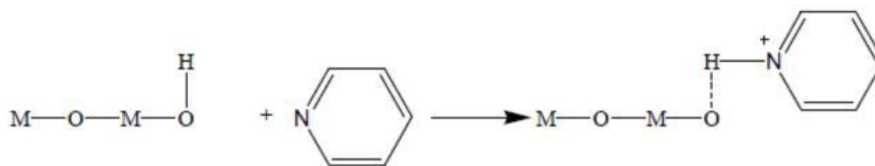
Karakterisasi dalam bidang katalis merupakan hal yang sangat penting. Beberapa metode yang memberikan kemudahan dalam menyelidiki sifat-sifat katalis seperti difraksi, spektroskopi, dan mikroskopik (Chorkendroff *and* Niemantsverdriet, 2005).

### 2.17.1 Analisis Fourier Transform Infrared (FTIR)

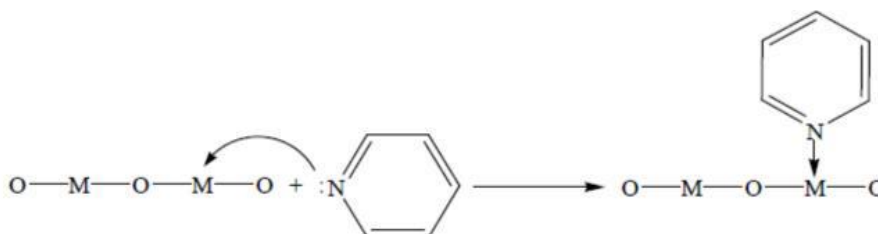
Penentuan jenis situs asam pada katalis dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Katalis yang telah dibiarkan mengadsorpsi basa adsorban kemudian dianalisis untuk identifikasi keberadaan situs asamnya melalui puncak serapan. FTIR merupakan suatu metode analisis yang mengamati interaksi antar atom-atom dalam molekul berdasarkan perubahan vibrasi-vibrasi yang terbentuk pada saat sampel teradsorpsi dengan energi khusus dan dilewati oleh sinar inframerah (Ayyad, 2011). Sinar inframerah ini berada pada jangkauan panjang gelombang  $2,5\text{--}25\ \mu\text{m}$  atau jangkauan frekuensi  $2000\text{--}400\ \text{cm}^{-1}$ . Hal ini karena di daerah jangkauan antara  $2000\text{--}400\ \text{cm}^{-1}$  adalah daerah khusus yang berguna untuk identifikasi gugus fungsional.

Pada hasil analisis FTIR, adsorpsi molekul piridin dapat terjadi pada situs-situs asam di permukaan katalis. Pada situs asam Brønsted-Lowry, piridin akan berinteraksi dengan situs asam melalui ikatan hidrogen membentuk ion piridinium dan ditandai dengan puncak hasil serapan pada bilangan gelombang

$1537,26\text{ cm}^{-1}$ , sedangkan pada situs asam Lewis, piridin akan berinteraksi secara koordinasi dengan situs aktif (logam transisi) yang akan bertindak sebagai spesies asam Lewis dengan menerima pasangan elektron dari piridin dan ditandai dengan puncak hasil serapan pada bilangan gelombang  $1634,95\text{ cm}^{-1}$  (Parry, 1963). Reaksi antara piridin dengan situs-situs asam dapat dilihat pada Gambar 16 dan 17.

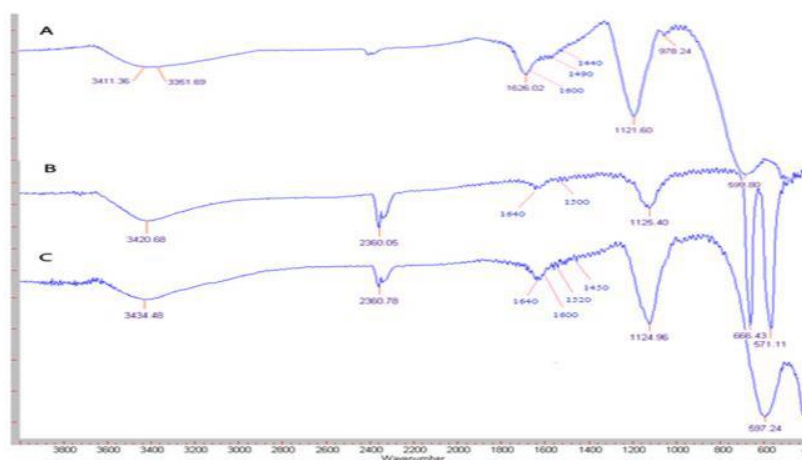


**Gambar 16.** Reaksi piridin pada situs asam Bronsted-Lowry



**Gambar 17.** Reaksi piridin pada situs asam Lewis

Pada Gambar 18 hasil puncak serapan katalis menunjukkan bahwa situs asam Brønsted-Lowry lebih dominan daripada situs asam Lewisnya (Simarmata, 2018). Spektra IR dari katalis:  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , dan  $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{NiFe}_2\text{O}_4$  ditunjukkan pada Gambar 18.

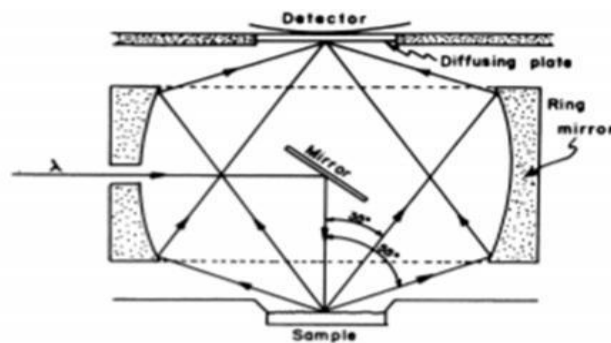


**Gambar 18.** Spektra IR dari katalis: (a)  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , (b)  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , dan c.  $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{NiFe}_2\text{O}_4$

Pada penelitian ini nanokatalis  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  akan diuji keasamannya menggunakan metode gravimetri untuk mengetahui besar keasamannya dan selanjutnya serapan basa yang terikat pada katalis saat gravimetri akan diidentifikasi menggunakan FTIR untuk mengetahui jenis situs asam yang terbentuk, yang akan terlihat jelas dari spektrum inframerah yang diperoleh.

### 2.17.2 Analisis Energi Band-Gap Nanokatalis Menggunakan DRS

*Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS) adalah suatu instrumen yang digunakan untuk menentukan nilai celah energi atau *band-gap* dari suatu material semikonduktor berukuran nano. Pengukuran nilai *band-gap* suatu material diperlukan untuk mengetahui sifat fisik dari material padat tersebut. *Band-gap* ( $E_g$ ) merupakan perbedaan energi antara pita valensi berenergi rendah yang terisi penuh oleh elektron dan pita konduksi yang berenergi tinggi yang kosong. *Band-gap* berkaitan dengan sifat konduktivitas elektrik suatu material, yang biasa ditemukan pada material semikonduktor. Berikut gambar skema instrumen DRS:



**Gambar 19.** Instrumen DRS

Dalam menentukan nilai energi *band-gap* dari suatu material, dibutuhkan persamaan Tauc. Nilai *band-gap* dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$(h\nu\alpha)^{1/n} = A(h\nu - E_g) \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

$h$  = konstanta Planck's

$\nu$  = Frekuensi vibrasi

$\alpha$  = Koefisien absorpsi



$E_g = \text{band gap}$   
 $A = \text{konstanta proposisi}$

Nilai eksponen  $n$  bergantung pada jenis transisi yang terjadi.

- Untuk transisi langsung terizinkan,  $n=1/2$
- Untuk transisi langsung terlarang,  $n=3/2$
- Untuk transisi tak langsung terizinkan,  $n= 2$
- Untuk transisi tak langsung terlarang,  $n=3$

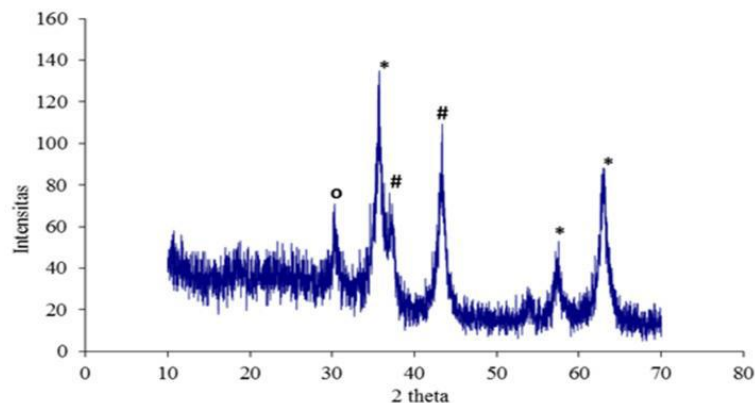
Spektra hasil analisis DRS dikonversikan ke fungsi Kubelka-Munk. Dimana, sumbu vertikal merupakan nilai dari  $F(R_\infty)$ , yang mana setara dengan koefisien absorpsi. dalam persamaan Tauc disubstitusikan dengan  $F(R_\infty)$ . Sehingga didapat persamaan:

$$(h\nu F(R_\infty))^2 = A(h\nu - E_g) \dots \dots \dots (7)$$

Kemudian dari perhitungan yang diperoleh dari persamaan Kubelka- Munk diplotkan ke dalam grafik  $(h\nu F(R_\infty))^2 \sim h\nu$ . Dimana nilai  $h\nu$  pada sumbu x dan sumbu y nilai  $(h\nu F(R_\infty))^2$ . Dari kurva yang ada pada grafik dapat ditentukan garis tangen yang memotong nilai  $h\nu$  dan pada titik itulah merupakan nilai band-gap ( $E_g$ ) (Tatarchuk *et al.*, 2017).

### 2.17.3 Penentuan Fasa Kristalinitas Katalis

Analisis struktur kristalinitas suatu katalis dilakukan dengan menggunakan instrumen *X-ray diffraction* (XRD). XRD termasuk salah satu metode karakterisasi untuk mengidentifikasi fasa suatu material dan untuk mengetahui sifat kristal atau kristalinitas suatu material dengan menentukan parameter kisi. Metode karakterisasi ini merupakan metode yang digunakan karena penggunaan metode ini juga cukup sederhana untuk mengukur partikel suatu material (Leofanti *et al.*, 1997). Difraktogram katalis ditunjukkan pada Gambar 20.

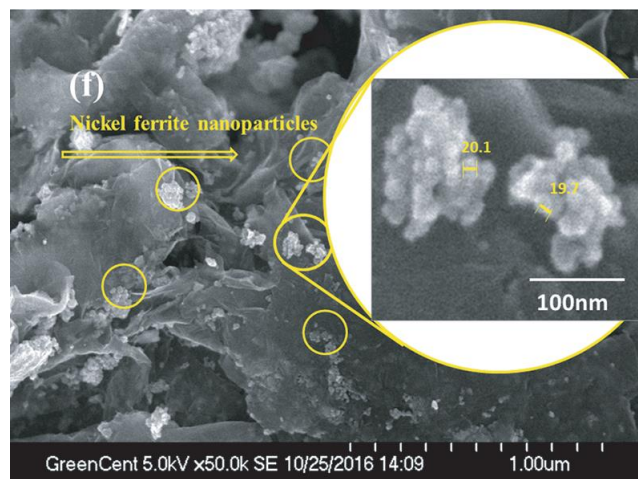


**Gambar 20.** Difraktogram katalis  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  (tanda \* fasa kristalin  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  ; tanda # fasa kristalin  $\text{NiO}$  ; tanda o fasa kristalin  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

Berdasarkan difraktogram pada Gambar. 20, fasa kristalin yang terlihat jelas muncul yaitu fasa kristalin  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  karena pada fasa tersebut muncul 3 puncak difraktogram dengan intensitas yang tinggi. Sedangkan pada fasa kristalin  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{NiO}$  puncak yang muncul kurang mendukung keberadaan fasa tersebut (Simarmata, 2018).

#### 2.17.4 Analisis Scanning Electron Microscope (SEM)

*Scanning Electron Microscope* digunakan untuk analisis topologi suatu material. Topologi tersebut meliputi tekstur, morfologi, bentuk, ukuran dan susunan partikel penyusun material. Pancaran berkas yang diarahkan ke bahan akan dipantulkan dan difraksikan. Timbulnya elektron yang terdifraksi dapat diamati dalam bentuk pola-pola difraksi yang bergantung pada bentuk dan ukuran sel satuan dari bahan. Tipe-tipe sinyal yang diproduksi oleh SEM dapat berupa *secondary Electron (SE)*, *back-scattered electron (BSE)*, dan sinar X. SEM bekerja dengan cara menembakan elektron yang berasal dari katoda filament ke arah sampel. Ketika elektron berinteraksi dengan sampel, elektron kehilangan sejumlah energi sehingga terjadi pemantulan elektron dan emisi elektron. Hasil dari pemantulan dan emisi tersebut kemudian dideteksi dengan detektor tertentu dan diperoleh gambaran berupa morfologi dari suatu kristal (Aisyah *et al.*, 2020).



**Gambar 21.** Hasil analisis SEM  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{N-Gr}$  (Kiani *et al.*, 2017)

Gambar 21 menunjukkan hasil analisis menggunakan SEM dari  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{N-Gr}$  pada perbesaran tinggi. Nanopartikel  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  berhasil tumbuh dan terdispersi secara homogen pada N-Gr dengan menggunakan metode hidrotermal onepot. Struktur jaringan yang khas ini menciptakan situs yang lebih aktif dan memungkinkan pengangkutan  $\text{O}_2$  dan elektrolit dengan mudah dalam nanohibrid  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{N-Gr}$  selama proses elektrokatalisis (Kiani *et al.*, 2017).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2022 sampai dengan Desember 2022 di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik FMIPA Universitas Lampung. Proses *freeze-dry* dan kalsinasi dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi, Universitas Lampung. Analisis XRD dilakukan di Universitas Negeri Padang (UNP), sedangkan analisis SEM dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Teknologi, Universitas Lampung. Analisis FTIR dan DRS dilakukan di Laboratorium UI-Chem, Universitas Indonesia. Uji konversi selulosa dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Unila, dan kadar gula alkohol dianalisis dengan KCKT di Badan Riset dan Inovasi Nasional Cibinong, Bogor.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu set alat refluks, neraca analitik (*Ainsworth AA-160 Denver Instrument Company*<sup>TM</sup>), *centrifuge* (17250-10-*Centrifuge Cole Parmer*<sup>TM</sup>), botol semprot, spatula, kaca arloji, piprt tetes, pH meter (*MetroHM*<sup>TM</sup> 827), tabung sentrifugasi (15 mL), alumunium foil, *hot plate stirrer* (*CB162 Stuart*<sup>TM</sup>) dan stir bar, tabung reaksi, rak tabung reaksi, oven (*Innotech*), kertas saring Whattman No. 42, *freeze dryer*, *furnace*, desikator, lampu UV, reaktor katalitik, termometer, botol dan selang infus, corong gelas, labu Erlenmeyer (250 mL), gelas kimia (100 mL - 1000 mL), gelas ukur (10 mL - 500 mL), labu ukur (25mL - 1000 mL), mortar dan alu, botol vial (20 mL), difraktometer sinar-X (XRD), *Transmission Electron Microscope* (TEM), spektrofotometer DRS, alat kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT), serta ultrasonik (D68H).

Bahan-bahan yang digunakan adalah  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Merck™), HCl 1 M dan HCl 5%,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat (Merck™),  $\text{KMnO}_4$  (Merck™),  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  30%, amonia berair (pH = 12) (Merck™), minyak zaitun, akuades, pektin, kulit pisang kepok, tongkol jagung, buffer asetat, pH indikator, gas Hidrogen (BOC 99,99%), NaOH 4%,  $\text{NaClO}_2$  1,7% ,  $\text{HNO}_3$  35%, reagen fehling, dan asam 2-hidroksi-3,5-dinitrosalisilat/DNS (Sigma-Aldrich™).

### 3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu pembuatan nanokatalis, pembuatan nanoselulosa serta uji aktivitas reaksi konversi nanoselulosa dengan fotokatalisis.

#### 3.3.1 Preparasi Nanokomposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{nGO}$

Preparasi nanokomposit dilakukan melalui beberapa tahapan yakni :

##### 3.3.1.1 Preparasi grafit dari bonggol jagung

Preparasi grafit dari bonggol jagung dilakukan dengan cara preparasi serbuk tongkol jagung dan karbonisasi. Pertama, limbah tongkol jagung dicuci hingga bersih, lalu dipotong kecil-kecil dan dijemur dibawah sinar matahari. Kemudian, dikeringkan lagi dalam oven pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 1,5 jam dan dihaluskan. Serbuk yang telah dikeringkan diambil sebanyak  $\pm 40$  gram dan dimasukkan ke dalam *Crucible* dan ditutup, lalu di furnace pada suhu  $350^\circ\text{C}$  selama 2 jam dengan *heating rate*  $10^\circ\text{C}/\text{menit}$ . Setelah itu didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan dihaluskan dengan mortar untuk digunakan pada tahap selanjutnya. Sebanyak 5 gram arang dimasukkan dengan 500 mL akuades dan diaduk dengan kecepatan putaran 600 rpm. Selanjutnya,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ditambahkan kedalam larutan dan kecepatan putaran dinaikkan menjadi 900 rpm pada suhu ruang. pH larutan diubah hingga  $\sim 2$  dengan penambahan HCl (1 M) secara perlahan. Pengadukan larutan dilanjutkan pada suhu  $60^\circ\text{C}$  selama 5 jam. Kemudian, larutan

disentrifugasi untuk memisahkan supernatan dari endapan *natural graphite*. Endapan dicuci dengan akuades hingga pH ~7. Selanjutnya, endapan akhir dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C (*overnight*) dan dilanjutkan 110°C selama 5 jam. Hasil pengeringan berupa serbuk *graphite* ditempatkan dalam desikator selama 15 menit, lalu dikarakterisasi dengan XRD dan digunakan sebagai bahan baku sintesis nGO.

### 3.3.1.2 Preparasi nanografena oksida (nGO)

Grafena Oksida (GO) disintesis dengan metode Hummer termodifikasi. Mula-mula 5 gram grafit dan 2,5 gram NaNO<sub>3</sub> dicampurkan dalam 120 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat (95%) dan diaduk menggunakan *heat magnetic stirrer* selama 10 menit dalam penangas es (0°C). Setelah itu, secara perlahan ditambahkan 15 gram serbuk KMnO<sub>4</sub> dengan suhu campuran dijaga dibawah 5°C. Setelah itu, suspensi direaksikan dengan pengadukan selama 60 menit dengan pemanasan selama 2 jam hingga mencapai suhu 98°C dengan penambahan akuades hingga volume suspensi mencapai 400 mL. Kemudian ditambahkan 15 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%, diaduk selama 5 menit. Larutan yang terbentuk disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 4 jam dan endapannya dicuci dengan larutan HCl 5% dan akuades untuk menghilangkan ion sulfat. Endapan yang dihasilkan didispersikan dalam 450 mL akuades dan disonikasi selama 2 jam. Kemudian suspensi dipisahkan menjadi cairan supernatan dan residu berwarna keemasan dengan sentrifugasi pada kecepatan 5000 rpm selama 10 menit. Supernatant disentrifugasi lagi untuk menghilangkan zat tersuspensi. Endapan di ultrasonikasi, dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C hingga terbentuk nano grafena oksida dan dianalisis menggunakan XRD.

### 3.3.1.3 Sintesis nanokomposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nGO

Nanokatalis NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dipreparasi dengan metode sol-gel dengan pengemulsi pektin (Situmeang *et al.*, 2019). Nanokatalis dibuat dengan cara melarutkan 8 gram pektin dalam 400 mL akuades menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu

ruang hingga diperoleh larutan yang homogen ( $\pm 4$  jam). Ditambahkan amoniak hingga pH 11 (basa) sebanyak 25-30 mL supaya pengikatan logam terjadi dengan baik. Kemudian dimasukkan larutan Nikel nitrat (0,3386 gram  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dalam 300 mL akuades) dan larutan Fe- nitrat (7,7099 gram  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  dalam 300 mL akuades) secara perlahan dan bersamaan dengan menggunakan selang infus, sambil terus diaduk dan dipanaskan menggunakan heating magnetic stirrer pada suhu  $80^\circ\text{C}$ , proses ini dihentikan hingga volume campuran mencapai 200 mL dan terbentuk gel prekursor. Setelah itu gel dikeringkan dengan freeze dryer selama 24-48 jam. Selanjutnya dikalsinasi pada suhu  $700^\circ\text{C}$ , dengan suhu awal kalsinasi  $25^\circ\text{C}$  kemudian suhu dinaikkan  $2^\circ\text{C}/\text{menit}$  sampai  $350^\circ\text{C}$  dan ditahan selama 2 jam, lalu dinaikkan kembali hingga mencapai  $600^\circ\text{C}$  dan ditahan selama 1 jam kemudian suhu dinaikkan kembali hingga mencapai  $700^\circ\text{C}$  dan ditahan selama 2 jam. Setelah dicapai suhu maksimal, pemanasan dihentikan dan didiamkan sampai mencapai suhu kamar. Tahap terakhir, 0,125 gram  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  yang didispersikan kedalam 10 mL akuades ditambahkan dengan 1 gram nGO kemudian distirrer selama 30 menit. Selanjutnya disonikasi selama 1 jam, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu  $60^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Bubuk katalis  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{nGO}$  yang diperoleh digerus sampai halus menggunakan mortar agate dan dilanjutkan untuk uji karakterisasi katalis.

### 3.3.2 Karakterisasi nanokomposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{nGO}$

#### 3.3.2.1 Analisis Struktur Kristal

Penentuan struktur kristal dilakukan menggunakan difraktometer sinar-X dengan tipe alat *Rigaku SmartLab*. Analisis dilakukan menggunakan radiasi CuK ( $1,541862 \text{ \AA}$ ), tabung sinar-X dioperasikan pada 40 kV dan 30 mA. Rentang difraksi diukur ( $2\theta$ ) dalam rentang  $10-90^\circ$ , dengan *scan step size*  $0,01^\circ/\text{menit}$ . Sampel padat diletakkan pada sample holder. Kemudian sumber sinar bergerak mengelilingi sampel sambil menyinari sampel. Sampel akan memantulkan sinar dan ditangkap oleh detektor. Alat perekam merekam intensitas pantulan sinar untuk tiap sudut tertentu. Puncak-puncak yang terdapat pada difraktogram

kemudian diidentifikasi menggunakan metode *Search Match* dengan standar file data yang terdapat dalam program *Match Crystal Impact* dan data standar pada JCPDF.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \dots\dots\dots (8)$$

Di mana:

D = ukuran partikel (nm)

k = konstanta (0,9)

$\lambda = 1,541862 \text{ \AA}$

$\beta =$  radian (FWHM)

$\theta =$  lebar puncak

### 3.3.2.2 Analisis Morfologi

Penentuan morfologi katalis dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Sampel yang dianalisis terlebih dahulu dilapisi emas, kemudian sampel dianalisis menggunakan analisis area. Sampel kemudian ditembak dengan elektron. Berkas yang menembus sampel dibaca oleh detektor dan diolah menjadi gambar.

### 3.3.2.3 Analisis Energi Band-Gap

Analisis energi *band gap* dilakukan dengan spektrofotometer Shimadzu UV-3600 yang diintegrasikan pada tabung berdiameter 15 cm untuk dapat mengukur diffuse reflectance. Senyawa yang digunakan sebagai referensi adalah BaSO<sub>4</sub>. Semua sampel yang telah mengandung BaSO<sub>4</sub> (1:50) digunakan untuk perhitungan (Tatarchuk *et al.*, 2017). Sampel yang digunakan untuk pengukuran berupa bubuk dengan ukuran dibawah 100 mesh atau 149 mikron. Absorbansi diukur pada kisaran panjang gelombang 200-800 nm.



### 3.3.3 Preparasi Nanoselulosa

#### 3.3.3.1 Ekstraksi selulosa dari kulit pisang kepok.

Selulosa diekstraksi dengan cara memotong kulit pisang kepok kuning menjadi ukuran yang lebih kecil kemudian dicuci hingga bersih dan dijemur dibawah sinar matahari langsung. Kulit pisang yang telah kering diblender hingga halus.

Selanjutnya sebanyak 50 gram bubuk yang diperoleh dimasukkan ke dalam labu bulat dan ditambahkan larutan NaOH 4%. Campuran ini direfluks pada temperatur 100-120°C selama 2 jam. Hasil dari proses refluks tersebut kemudian disaring dan dicuci dengan akuades beberapa kali untuk memisahkan lignin dan hemiselulosa. Proses selanjutnya adalah bleaching yang dilakukan dengan cara memasukkan selulosa pada labu bundar dan ditambahkan 400 mL larutan NaClO 5,25% serta buffer asetat (pH 5). Selanjutnya direfluks pada temperatur 110-130°C selama 4 jam. Padatan putih yang terbentuk didinginkan dan dicuci dengan akuades.

Selulosa yang diperoleh kemudian dikeringkan menggunakan *freeze-dryer* pada suhu -39°C selama 24 jam.

#### 3.3.3.2 Pembuatan nanoselulosa

Nanoselulosa dibuat dengan cara menyiapkan sebanyak 10 gram bubuk selulosa dan dimasukkan dalam labu bundar bervolume 1 L dan ditambahkan 200 mL larutan HNO<sub>3</sub> 50% . Larutan kemudian disonikasi selama 25 jam lalu direfluks selama 45 menit dengan suhu 60°C sambil di aduk. Selanjutnya dilakukan penambahan akuabides sebanyak 200 mL pada larutan yang telah direfluks kemudian didinginkan. Sampel yang sudah didinginkan kemudian disentrifus selama 15 menit dengan kecepatan 3500 rpm dan dicuci hingga pH mendekati 7. Lalu dikeringkan menggunakan *freeze-dryer*. Nanoselulosa yang telah didapat, disimpan pada suhu 4°C sebelum digunakan (Lee *et al.*, 2014).

### 3.3.4 Karakterisasi nanoselulosa

#### 3.3.4.1 Analisis Derajat Kristalinitas

Analisis derajat kristalinitas dilakukan dengan menggunakan difraktometer sinar X/X-ray difractometer (XRD). Sampel nanoselulosa dipindai dengan monokromator sumber radiasi Cu-K ( $\lambda = 1,54186 \text{ \AA}$ ) dengan sudut  $2\theta$  dari  $10\text{--}50^\circ$  dengan scan step size 0,04 dan waktu scanning 5 menit. Indeks kristalinitas dihitung pada puncak 200 ( $I_{002}$ ,  $2\theta = 22,6^\circ$ ) dan intensitas minimum diantara puncak 200 dan 110 ( $I_{am}$ ,  $2\theta = 18^\circ$ ) menggunakan metode Segal (Lee *et al.*, 2014).  $I_{002}$  menunjukkan material kristalin, sedangkan  $I_{am}$  menunjukkan material amorf.

$$\text{Derajat Kristalinitas} = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \times 100 \dots\dots\dots (9)$$

#### 3.3.4.2 Uji Aktivitas Katalis NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nHGO

Konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol dilakukan dengan melarutkan sebanyak 0,5 gram nanoselulosa ke dalam 100 mL akuades. Kemudian larutan nanoselulosa di tambahkan dengan nanokatalis NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nHGO sebanyak 0,1 gram dan dialirkan gas hidrogen dengan laju 10 mL/menit. Setelah itu dipasang lampu sinar UV (60 Watt), dimana posisi lampu sinar UV dengan rentang jarak 10-15 cm ke permukaan reaktor (Situmeang *et al.*, 2019). Waktu proses iradiasi sinar UV pada konversi selulosa divariasikan yaitu 60, 120, 180, 240, dan 300 menit. Perlakuan yang sama dilakukan untuk uji blanko menggunakan dua larutan nanoselulosa. Larutan nanoselulosa pertama dikonversi dengan iradiasi sinar UV tanpa ditambahkan dengan nanokatalis dan larutan nanoselulosa kedua ditambahkan nanokatalis kemudian dikonversi tanpa menggunakan iradiasi sinar UV. Hal ini dilakukan sebagai pembandingan dari hasil uji katalitik nanoselulosa menggunakan nanokatalis NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/nHGO dan iradiasi sinar UV. Hasil konversi nanoselulosa ini dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif.

### **3.3.5 Analisis Hasil Konversi**

#### **3.3.5.1 Analisis kualitatif hasil konversi**

Analisis kualitatif untuk hasil konversi dilakukan menggunakan reagen Fehling. Sebanyak 1 mL sampel hasil konversi dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian ditambahkan 1 mL reagen Fehling dan dipanaskan selama 10 menit pada suhu 100°C. Adanya gula pereduksi ditunjukkan dengan terbentuknya endapan  $\text{Cu}_2\text{O}$  berwarna merah bata. Untuk sampel dengan hasil positif, analisis dilanjutkan secara kuantitatif.

#### **3.3.5.2 Analisis kuantitatif hasil konversi**

Konversi Analisis kuantitatif untuk hasil konversi dilakukan menggunakan reagen DNS dan diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Sebanyak 1 mL sampel hasil konversi dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian ditambahkan 1 mL reagen DNS dan dipanaskan dalam penangas air pada suhu 100°C selama 10 menit. Lalu didinginkan dan diencerkan menggunakan akuades sebanyak 2 mL. Kemudian diukur serapan dari larutan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm dan ditentukan kadar glukosa menggunakan kurva standar glukosa.

#### **3.3.5.3 Analisis dengan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT)**

Hasil uji katalitik dianalisis dengan menggunakan KCKT Shimadzu dengan parameter fase gerak air, kolom Shimp-Pack SCR 101 C (7,8 x 250 mm) detektor indeks bias, laju air 0,6 mL/menit, dan suhu kolom 80°C (Shimadzu, 2015). Hal ini bertujuan untuk mengetahui kandungan gula alkohol yang terbentuk dari hasil konversi nanoselulosa. Analisis kualitatif dilakukan dengan membandingkan waktu retensi puncak yang muncul dari sampel dengan puncak gula alkohol standar yang digunakan (*sorbitol*, *mannitol*, dan *xylitol*).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Nanokomposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  yang didoping dengan nGO dengan perbandingan 0,125/1; 0,25/1 dan 0,5/1 menghasilkan katalis berukuran nano dengan ukuran kristal masing-masing sebesar 20,79; 24,95 dan 31,21 nm.
2. Nilai *band gap* dari nanokomposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{nGO}$  menggunakan DRS UV-Vis masing-masing sebesar 1,67; 1,74; dan 1,89 eV yang menunjukkan bahwa nanokomposit yang dihasilkan dapat bekerja dibawah irradiasi sinar UV dan sinar *visibel*.
3. Hasil analisis Menggunakan SEM pada nanokomposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{nGO}$  variasi 1 menunjukkan bahwa morfologi permukaan tidak homogen dan terjadi aglomerasi.
4. Nanoselulosa dari limbah kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca* L) berhasil dipreparasi dengan ukuran kristal sebesar 16,5 nm dan indeks kristalin sebesar 30,02 %.
5. Hasil uji kuantitatif pada larutan hasil konversi menggunakan reagen DNS menunjukkan terbentuknya glukosa dengan konsentrasi terbesar yaitu 80,24 ppm pada nanokomposit variasi 1 dengan waktu konversi 120 menit.
6. Sorbitol terdeteksi pada larutan hasil konversi menggunakan nanokomposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{nGO}$  variasi 1 (0,125:1) dengan konsentrasi 24 ppm pada waktu penyinaran 120 menit.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, maka pada penelitian selanjutnya disarankan untuk:

1. Dalam preparasi nanoselulosa perlu dilakukan pengembangan metode yang digunakan termasuk metode pemisahan suspensi antara nanoselulosa dengan akuades, sehingga diperoleh nanoselulosa dengan jumlah yang lebih optimal.
2. Dalam tahapan uji katalitik, peneliti harus memastikan tekanan dan aliran gas hidrogen supaya tetap stabil pada saat proses konversi, serta terus memantau penggunaan alat untuk memastikan perangkat-perangkat yang digunakan bekerja dengan optimal selama proses konversi.
3. Dalam hasil konversi nanoselulosa peneliti harus melakukan analisis yang lebih lengkap untuk dapat menentukan bahwa gula alkohol yang telah terbentuk sesuai dengan yang diharapkan dan memberikan hasil gula alkohol yang optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, T.A. and Jafir, A.O. 2012. The Effect of Substrate Temperature on the Physical Properties of Spray Pyrolysed CdS thin Films. *journal of education and Sciences*. 25. 4. 77–85.
- Aisyah, N., Rifai, H., Maisonneuve, C.B.D. La, Oalman, J., Forni, F., Eisele, S., Phua, M. and Putra, R. 2020. Scanning Electron Microscope (SEM) Imaging and Analysis of Magnetic Minerals of Lake Diatas Peatland Section DD REP B 693. *Journal of Physics: Conference Series*. 1481. 1. 1–10.
- Akhavan, O., Bijanzad, K. and Mirsepah, A. 2014. Synthesis of Graphene from Natural and Industrial Carbonaceous Wastes. *RSC Advances*. 4. 39. 20441–20448.
- Allaberdiev, K.H. 2002. *Application of FTIR for Investigation of Graphite Materials*. Ukraina.
- Amhadin, F.A. 2020. Sintetis Komposit Grafena Oksida Tereduksi (rGO) dan Seng Oksida (ZnO) dari Arang Tempurung Kemiri (*Aleuritas moluccana*). *Skripsi*. UIN Alauddin Makassar.
- Ayyad, O.D.H. 2011. Novel strategies for The Synthesis of Metal Nanoparticles and Nanostructures. *Thesis*. Universidad de Barcelona.
- Basu, J. and Bhattacharyya, T.K. 2013. Microelectromechanical System Cantilever-based Frequency Doublers. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 24. 2. 240–246.
- Bayantong, A.R.B., Shih, Y.J., Dong, C. Di, Garcia-Segura, S. and de Luna, M.D.G. 2021. Nickel Ferrite Nanoenabled Graphene Oxide (NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@GO) as Photoactive Nanocomposites for Water Treatment. *Environmental Science and Pollution Research*. 28. 5. 5472–5481.
- Beckham, G.T., Matthews, J.F., Peters, B., Bomble, Y.J., Himmel, M.E. and Crowley, M.F. 2011. Molecular-level Origins of Biomass Recalcitrance: Decrystallization free Energies for Four Common Cellulose Polymorphs. *Journal of Physical Chemistry B*. 115. 14. 4118–4127.
- Benner, R., Fogel, M.L., Sprague, E.K. and Hodson, R.E. 1987. Depletion of <sup>13</sup>C in Lignin and Its Implications for Stable Carbon Isotope Studies. *Nature Catalysis*. 329. 708–710.
- Bermejo, E., Dantas, T., Lacour, C. and Quarton, M. 1995. Mechanism of

- Formation of Nanocrystalline Hematite Prepared by Freeze-Drying. *Materials Research Bulletin*. 30. 5. 645–652.
- Bradder, P., Ling, S.K., Wang, S. and Liu, S. 2011. Dye Adsorption on Layered Graphite Oxide. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 56. 1. 138–141.
- Burch, R., Breen, J.P. and Meunier, F.C. 2002. A Review of the Selective Reduction of NO<sub>x</sub> with Hydrocarbons under Lean-Burn Conditions with Non-Zeolitic Oxide and Platinum Group Metal Catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*. 39. 283–303.
- Casbeer, E., Sharma, V.K. and Li, X.Z. 2012. Synthesis and Photocatalytic Activity of Ferrites Under Visible Light: A Review. *Separation and Purification Technology*. 87. 1. 1–14.
- Chitraningrum, N. 2008. Sifat Mekanik Dan Termal Pada Bahan Nanokomposit Epoxy – Clay Tapanuli. *Skripsi*. FMIPA Universitas Indonesia. Depok. 20.
- Chorkendroff, I. and Niemantsverdriet, J.W., 2005, *Concepts of Modern Catalysis and Kinetics*, Wiley-VCH GmbH and Co. Weinheim.123-134.
- Chung, D.D.L. 2002. Review Graphite, *Journal of Materials Science*. 37. 8. 1475–1489.
- Clark, J.H. 2001. Catalysis for Green Chemistry. *Pure and Applied Chemistry*.73. 103-111.
- Colmenares, J.C. and Magdziarz, A. 2013. Room temperature versatile conversion of biomass-derived compounds by means of supported TiO<sub>2</sub> photocatalysts. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 366. 156–162.
- Deis, R.C. and Kearsley, M.W. 2012. Sorbitol and Mannitol. *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*. 13. 331–346.,
- Dewati, R. 2008. *Limbah Kulit Pisang Kepok Sebagai Bahan Baku Pembuatan Ethanol*. UPN Press. Surabaya.
- Dimiev, A., Kosynkin, D. V., Alemany, L.B., Chaguine, P. and Tour, J.M. 2012. Pristine Graphite Oxide. *Journal of the American Chemical Society*. 134. 5. 2815–2822.
- Dreyer, D.R., Todd, A.D. and Bielawski, C.W. 2014. Harnessing the Chemistry of Graphene Oxide. *Chemical Society Reviews*. 43. 15. 5288–5301.
- Erika, C. 2013. Ekstraksi Pektin dari Kulit Kakao (*Theobroma Cacao* L.) Menggunakan Amonium Oksalat. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*. 5. 2. 2–7.
- Fajardo, A.R., Pereira, A.G.B. and Muniz, E.C. 2015. Hydrogels Nanocomposites Based on Crystals, Whiskers and Fibrils Derived from Biopolymers.

*Advanced Structured Materials*. 74. 43–71.

- Godswill, A.C. 2017. Sugar Alcohols: Chemistry, Production, Health Concerns and Nutritional Importance of Mannitol, Sorbitol, Xylitol, and Erythritol. *International Journal of Advanced Academic Research / Sciences*. 3. 2. 2488–9849.
- Hadiyawardan, Rijal, A., Bebeh, W.N., Abdullah, M. and Khairurrijal. 2008. Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. 1. 1. 14–21.
- Han, J.W. and Lee, H. 2012. Direct Conversion of Cellulose into Sorbitol using Dual-functionalized Catalysts in Neutral Aqueous Solution. *Catalysis Communications*. 19. 115–118.
- Hao, F., Zhao, X., Ouyang, W., Lin, C., Chen, S., Shan, Y. and Lai, X. 2013. Molecular structure of corncob-derived Biochars and the mechanism of Atrazine sorption. *Agronomy Journal*. 105. 3. 773–782.
- Hariani, P.L., Fatma and Zulfikar. 2015. Alumina-Activated Carbon Composite as Adsorbent of Procion Red Dye from Wastewater Songket Industry. *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*. 4. 1. 25–33.
- Hartanto, S. dan Ratnawati. 2010. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 12. 1. 12–16.
- Hasnidawani, J.N., Azlina, H.N., Norita, H., Bonnia, N.N., Ratim, S. and Ali, E.S. 2016. Synthesis of ZnO Nanostructures Using Sol-Gel Method. *Procedia Chemistry*. 19. 211–216.
- Hummers, W.S. and Offeman, R.E. 1958. Preparation of Graphitic Oxide. *J Am Chem Soc*. 80.1339
- Kawai, T. and Sakata, T. 1980. Conversion of Carbohydrate into Hydrogen Fuel by a Photocatalytic Process. *Nature Catalysis*. 286. 474–476.
- Keharom, S., Mahachai, R. and Chanthai, S. 2016. The Optimization Study of  $\alpha$ -Amylase Activity based on Central Composite Design-Response Surface Methodology by Dinitrosalicylic Acid Method. *International Food Research Journal*. 23. 1. 10–17.
- Kiani, M., Zhang, J., Fan, J., Yang, H., Wang, G., Chen, J., and Wang, R. 2017. Spinel Nickel Ferrite Nanoparticles Supported on Nitrogen Doped Graphene as Efficient Electrocatalyst for Oxygen Reduction in Fuel Cells. *American Scientific Publishers*. 7. 4. 261-272.
- Ko, S., Kwon, Y.J., Lee, J.U. and Jeon, Y.P. 2020. Preparation of Synthetic Graphite from Paste PET Plastic. *Journal of Industrial and Engineering*



*Chemistry*. 83. 449–458.

- Kobayashi, H., Ito, Y., Komanoya, T., Hosaka, Y., Dhepe, P.L., Kasai, K., Hara, K. and Fukuoka, A. 2011. Synthesis of sugar alcohols by hydrolytic hydrogenation of cellulose over supported metal catalysts. *Green Chemistry*. 13. 2. 326–333.
- Koni, T.N.I., Bale-therik, J. and Kale, P.R. 2013. Pemanfaatan kulit pisang hasil fermentasi *Rhizopus oligosporus* dalam ransum terhadap pertumbuhan ayam pedaging. *Jurnal Veteriner*. 14. 3. 365–370.
- Kupiec, T. 2004. Sensitivity can be increased by derivatization of the compound of interest, optimization of chromatographic system or miniaturization of the system Chromatographic Mechanisms. *International Journal of Pharmaceutical Compounding*. 8. 3. 223–227.
- Labconco. 2020. *A Guide to Freeze Drying for the Laboratory*. Labconco Corporation. U.S.A.
- Lahaye, R.J.W.E., Jeong, H.K., Park, C.Y. and Lee, Y.H. 2009. Density Functional Theory Study of Graphite Oxide for Different Oxidation Levels. *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*. 79. 12. 1–8.
- Lambert, C.K. and Gonzalez, R.D. 1998. The Importance of Measuring the Metal Content of Supported Metal Catalysts Prepared by the Sol-Gel Method. *Applied Catalysis A: General*. 172. 2. 233–239.
- Lee, H. V., Hamid, S.B.A. and Zain, S.K. 2014. Conversion of Lignocellulosic Biomass to Nanocellulose: Structure and Chemical Process. *Scientific World Journal*. 20. 14. 20.
- Leofanti, G., Tozzola, G., Padovan, M., Petrini, G., Bordiga, S. and Zecchina, A. 1997. *Catalyst characterization: characterization techniques*. 34. 4. 307–327.
- Lestari, Y.D., Wardhani, S. dan Khunur, M.M. 2015. Degradasi Methylene Blue Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>- N/Zeolit Dengan Sinar Matahari. *Kimia Student Journal*. 1. 1. 592–598.
- Li, Z., 2005, Novel Solid Base Catalysts for Michael additions Synthesis, Characterization and Application, *Dissertation*, Humboldt-Universitat zu Berlin. 9.
- Liapis, A.I. and Bruttini, R. 1995. Freeze-Drying of Pharmaceutical Crystalline and Amorphous Solutes in Vials: Dynamic Multi-Dimensional Models of the Primary and Secondary Drying Stages and Qualitative Features of the Moving Interface. *Drying Technology*. 13. 1–2. 43–72.
- Liu, Y., Chen, L., Wang, T., Xu, Y., Zhang, Q., Ma, L., Liao, Y. and Shi, N. 2014. Direct Conversion of Cellulose into C<sub>6</sub> Alditols Over Ru/C Combined with H<sup>+</sup>-Released Boron Phosphate in an Aqueous Phase. *RSC Advances*. 4. 94.

52402–52409.

- Mohapatra, D., Mishra, S. and Sutar, N. 2010. Banana and its By-product Utilisation: An Overview. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 69. 5. 323–329.
- Mu, S.J., Su, Y.C., Xiao, L.H., Liu, S.D., Hu, T. and Tang, H.B. 2013. X-Ray Diffraction Pattern of Graphite Oxide. *Chinese Physics Letters*. 30. 9. 1–3.
- Nandiyanto, A.B.D., Oktiani, R. and Ragadhita, R. 2019. How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*. 4. 1. 97–118.
- Noviyanthi, E.D. 2015. Preparasi dan Karakterisasi Nanokatalis  $\text{Ni}_{0.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$  Untuk Uji Katalitik pada Konversi Selulosa Menjadi Gula Alkohol. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung,
- Palkovits, S., Lasta, M., Schmidl, D., Boltz, A., Told, R., Kaya, S., Garhöfer, G. and Schmetterer, L. 2011. Effect of Orally Administered Moxaverine on Ocular Haemodynamics. *BMC Pharmacology*. 11. 2. 1471.
- Park, S. and Ruoff, R.S. 2009. Chemical Methods for the Production of Graphenes. *Nature Nanotechnology*. 4. 4. 217–224.
- Parry, E.P. 1963. An Infrared Study of Pyridine. *Journal of Catalysis*. 2. 371–379.
- Peng, L., Lin, L., Zhang, J., Zhuang, J., Zhang, B. and Gong, Y. 2010. Catalytic Conversion of Cellulose to Levulinic Acid by Metal Chlorides. *Molecules*. 15. 8. 5258–5272.
- Pertiwi, E.S.. 2017. Konversi Nanoselulosa Menjadi Gula Alkohol Dengan Menggunakan Nanofotokatalis  $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$  yang Diiradiasi Sinar Ultraviolet. *Skripsi*. Universitas Lampung 63–64.
- Pinna, F. 1998. Supported Metal Catalysts Preparation. *Catalysis Today*. 41. 1–3. 129–137.
- Puttipat, N., Payormhorm, J., Chiarakorn, S., Laosiripojana, N. and Chuangchote, S. 2013. A Study on Sedimentation in Sefidroud Dam by Using Depth Evaluation and Comparing the Results with USBR and FAO Methods. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*. 51. 9. 6.
- Putz, H., Schön, J.C. and Jansen, M. 1999. Combined Method for ab Initio Structure Solution from Powder Diffraction Data. *Journal of Applied Crystallography*. 32. 5. 864–870.
- Rodiansono, Trisunaryanti, W. and Triyono, T. 2008 Preparation, Characterization and Activity Test of NiMo/Z and NiMo/Z-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Catalysts for Hydrocracking of Waste Plastic Fraction to Gasoline Fraction. *Berkala*

*MIPA*. 17. 2. 43–54.

- Seftian, D., Antonius, F. dan Faizal, M. 2012. Pembuatan Etanol Dari Kulit Pisang Menggunakan Metode Hidrolisis Enzimatis dan Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia*. 18. 1. 10–16.
- Sengupta, R., Bhattacharya, M., Bandyopadhyay, S. and Bhowmick, A.K. 2011. A review on the mechanical and electrical properties of graphite and modified graphite reinforced polymer composites. *Progress in Polymer Science (Oxford)*. 36. 5. 638–670.
- Simarmata, E. 2018. Uji Aktivitas Nanokatalis  $\text{Ni}_{0,65}\text{Cu}_{0,35}\text{Fe}_2\text{O}_4$  untuk Konversi Nanoselulosa Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca L.*) Menjadi Gula Alkohol di bawah Irradiasi Sinar UV. *Skripsi*. Universitas Lampung,
- Situmeang, R., Tamba, M., Simarmata, E., Yuliarni, T., Simanjuntak, W., Sembiring, Z. and Sembiring, S. 2019.  $\text{LaCrO}_3$  Nano Photocatalyst: The Effect of Calcination Temperature on its Cellulose Conversion Activity under UV-ray Irradiation. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. 10. 1. 1–8.
- Song, S.H. and Vieille, C. 2009. Recent Advances in the Biological Production of Mannitol. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 84. 1. 55–62.
- Sriamornsak, P. 2003. Chemistry of Pectin and Its Pharmaceutical Uses : A Review Pornsak Sriamornsak Pornsak Sriamornsak. *thaiscience.info*. 206–228.
- Storey, D., Lee, A., Bornet, F. and Brouns, F. 2007. Gastrointestinal Tolerance of Erythritol and Xylitol Ingested in a Liquid. *European Journal of Clinical Nutrition*. 61. 3. 349–354.
- Sujatmiko, F. 2020. Biosintesis Komposit Grafena Oksida Tereduksi/ $\text{SnO}_2$  Menggunakan Ekstrak Daun Matoa (*Pometia pinnata*) untuk Degradasi Fotokatalitik Biru Metilena. *Skripsi*. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
- Tatarchuk, T., Bououdina, M., Macyk, W., Shyichuk, O., Paliychuk, N., Yaremiy, I., Al-Najar, B. and Pacia, M. 2017. Structural, Optical, and Magnetic Properties of Zn-Doped  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  Nanoparticles. *Nanoscale Research Letters*. 12. 1.
- Thambiliyagodage, C.J., Ulrich, S., Araujo, P.T. & Bakker, M.G., 2018, Catalytic Graphitization in Nanocast Carbon Monoliths by Iron, Cobalt and Nickel nanoparticles. *Carbon*. 134. 452–463.
- Thy, L.T.M., Tuyen, N.N.K., Viet, N.D., Huong, L.M., Tinh, N.T., Lin, T.H., Son, N.T., Oanh, D.T.Y., Phong, M.T. and Hieu, N.H. 2022. Nickel Ferrite Nanoparticles-Doped Graphene Oxide as a Heterogeneous Fenton Catalyst: Synthesis, Characterization, and Catalytic Application. *Vietnam Journal of Chemistry*. 60. 4. 532–539.

- Tsai, W.T., Chang, C.Y., Wang, S.Y., Chang, C.F., Chien, S.F. and Sun, H.F. 2001. Cleaner Production of Carbon Adsorbents by Utilizing Agricultural Waste Corn Cob. *Resources, Conservation and Recycling*. 32. 1. 43–53.
- Wang, Z., Zhang, X., Li, Y., Liu, Z. and Hao, Z. 2013. Synthesis of Graphene-NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanocomposites and their Electrochemical Capacitive Behavior. *Journal of Materials Chemistry A*. 1. 21. 6393–6399.
- Wissler, M. 2006. Graphite and Carbon Powders for Electrochemical Applications. *Journal of Power Sources*. 156. 2. 142–150.
- Wu, R.L., Wang, X.L., Li, F., Li, H.Z. and Wang, Y.Z. 2009. Green Composite Films Prepared from Cellulose, Starch and Lignin in Room-Temperature Ionic Liquid. *Bioresource Technology*. 100. 9. 2569–2574.
- Xie, X.L., Mai, Y.W. and Zhou, X.P. 2005. Dispersion and Alignment of Carbon Nanotubes in Polymer Matrix: A Review. *Materials Science and Engineering R: Reports*. 49. 4. 89–112.
- Xu, Z., Zhou, Y., Sun, Z., Zhang, D., Huang, Y., Gu, S. and Chen, W. 2020. Understanding Reactions and Pore-forming Mechanisms Between waste Cotton Woven and FeCl<sub>3</sub> during the Synthesis of Magnetic Activated Carbon. *Chemosphere*. 241. 1–15.
- Yosephine, A., Gala, V., Citra, A.A. dan Retnoningtyas, E.S. 2018. Pemanfaatan Ampas Tebu dan Kulit Pisang dalam Pembuatan Kertas Serat campuran. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. 11. 2. 101.
- Zawrah, M.F., El-Kheshen, A.A. and Abd-el-aal, H.M. 2009. Facile and Economic Synthesis of Silica Nanoparticles. *Journal of Ovonic Research*. 5. 5. 129–133.
- Zhang, G., Ni, C., Huang, X., Welgamage, A., Lawton, L.A., Robertson, P.K.J. and Irvine, J.T.S. 2016. Simultaneous Cellulose Conversion and Hydrogen Production Assisted by Cellulose Decomposition under UV-light Photocatalysis. *Chemical Communications*. 52. 8. 1673–1676.