

KONVERSI NANOSELULOSA DARI KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca L.*) MENJADI GULA ALKOHOL MENGGUNAKAN NANOFOTOKATALIS $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ DI BAWAH PENGARUH IRRADIASI SINAR UV

(Skripsi)

Oleh

Nabitah



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

KONVERSI NANOSELULOSA DARI KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca L.*) MENJADI GULA ALKOHOL MENGGUNAKAN NANOFOTOKATALIS $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ DI BAWAH PENGARUH IRRADIASI SINAR UV

Oleh

Nabitaliah

Pada penelitian ini telah dilakukan preparasi dan karakterisasi nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ sebagai fotokatalis untuk konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol dengan bantuan irradiasi sinar UV. Nanoselulosa yang digunakan memiliki indeks kristal sebesar 38,064% dan ukuran Kristal 20,17 nm. Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ dipreparasi dengan metode sol-gel menggunakan pektin sebagai agen pengemulsi dan impregnasi logam titanium menggunakan propanol sebagai pelarut. Preparasi nanokatalis dilakukan melalui langkah – langkah pencampuran, pengeringan beku dan kalsinasi pada temperatur 700 °C. Hasil karakterisasi nanokatalis menggunakan XRD menunjukkan bahwa nanokatalis memiliki fasa kristalin LaCrO_3 , $\text{LaCr}_{0,05}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ dan La_2TiO_5 dengan ukuran kristal 67,65 nm. Analisis morfologi nanokatalis menggunakan SEM menunjukkan terjadi aglomerasi dan persebaran partikel yang tidak merata. Berdasarkan hasil DRS UV-Vis nanokatalis memiliki energi celah pita sebesar 2,97 eV. Hasil uji konversi nanoselulosa dengan variasi waktu penyinaran 30, 60, 90, 120, 180 dan 240 menit diperoleh masing – masing persentase nanoselulosa terkonversi sebesar 25,76; 32,32; 35,52; 35,56; 37,28 dan 39,06 %. Uji DNS menunjukkan konsentrasi glukosa larutan hasil konversi tertinggi sebesar 132,11 ppm pada waktu irradiasi 120 menit. Pada analisis hasil konversi menggunakan KCKT menunjukkan bahwa tidak terdeteksi adanya gula alkohol.

Kata kunci : nanokatalis, nanoselulosa, gula alkohol, konversi, irradiasi

ABSTRACT

CONVERSION OF NANOCELLULOSE FROM KEPOK BANANA PEEL (*Musa paradisiaca* L.) TO ALCOHOL SUGAR USING $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ NANO PHOTOCATALYST UNDER THE EFFECT OF UV IRRADIATION

By

Nabitaliah

In this research, the preparation and characterization of $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ Nano catalyst as photocatalyst for the conversion of Nanocellulose into sugar alcohol has been carried out with the help of UV light irradiation. The Nanocellulose used has a crystal index of 38,064 % and crystal size of 20,17 nm. $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ nanocatalyst was prepared by sol-gel method using pectin as an emulsifying agent and titanium metal impregnation using propanol as solvent. The preparation of the nanocatalyst was carried out through the steps of mixing, freeze-drying, and calcination at a temperature of 700 °C. The results of nanocatalyst characterization using XRD showed that the nanocatalyst has a crystalline phase LaCrO_3 , $\text{LaCr}_{0,05}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$ and La_2TiO_5 with a crystal size of 67,65 nm. Morphological analysis of nanocatalysts using SEM showed that there was agglomeration and uneven distribution of particles. Based on the results of the DRS UV-Vis nanocatalyst has a band gap energy of 2,97 eV. The results of the nanocellulose conversion test with variations in irradiation time of 30, 60, 90, 120, 180 and 240 minutes. Its the percentage was 25,76; 32,32; 35,52; 35,56; 37,28 and 39,06 %, respectively. The DNS test showed that the glucose concentration of the highest converted solution was 132,11 ppm at the irradiation time of 120 minutes. The analysis of the conversion results using HPLC showed that no sugar alcohol was detected.

Keywords: nanocatalyst, nanocellulose, sugar alcohol, conversion, irradiation

KONVERSI NANOSELULOSA DARI KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca L.*) MENJADI GULA ALKOHOL MENGGUNAKAN NANOFOTOKATALIS $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ DI BAWAH PENGARUH IRRADIASI SINAR UV

Oleh

Nabitah

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **KONVERSI NANOSSELULOSA DARI KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca L.*) MENJADI GULA ALKOHOL MENGGUNAKAN NANOFOTOKATALIS $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ DI BAWAH PENGARUH IRRADIASI SINAR UV**

Nama Mahasiswa : **Nabitaliah**

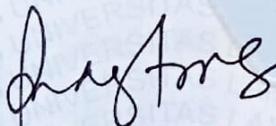
Nomor Pokok Mahasiswa : **1617011092**

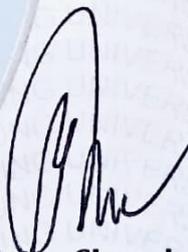
Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

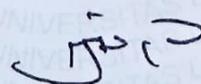


1. **Komisi Pembimbing**


Prof. Dr. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc.
NIP 19600616 198811 1 001


Prof. Wasinton Simanjutak, Ph.D.
NIP 19590706 198811 1 001

2. **Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung**

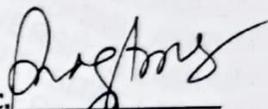

Mulyono, Ph.D.
NIP 19740611 200003 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

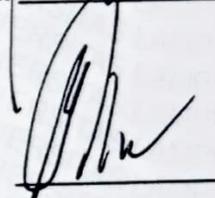
Ketua

: Prof. Dr. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc.



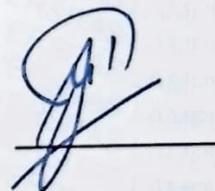
Sekretaris

: Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.



Penguji

Bukan Pembimbing : Prof. Dr. John Hendri, M.S.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP 19740705 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 November 2022

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nabitaliah
Nmor Pokok Mahasiswa : 1617011092
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul “**Konversi Nanoselulosa Dari Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca L.*) Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanofotokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ Di Bawah Pengaruh Irradiasi Sinar UV**” adalah benar karya saya sendiri dan saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 12 Desember 2022

Yang bertanda tangan,



Nabitaliah
NPM. 1617011092

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 19 Oktober 1998, sebagai anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Mustaqim dan Ibu Muslihatun. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 1 Sawah Lama Bandar Lampung pada tahun 2010, Madrasah Tsanawiyah (MTs) Al-Hikmah Bandar Lampung pada tahun 2013, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Perintis 1 Bandar Lampung pada tahun 2016.

Pada tahun 2016 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung (UNILA) melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti organisasi mahasiswa yang dimulai dari menjadi Anggota Kader Muda Himpunan Mahasiswa Kimia (KAMI) FMIPA Unila, Anggota FMIPA UNILA, Anggota muda UKM Penelitian (2016-2017) dan anggota Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Unila sebagai anggota Biro Usaha Mandiri (BUM) periode 2017-2019. Selanjutnya, pernah menjadi asisten dosen Praktikum Kimia Dasar pada tahun 2019 dan 2020 serta menjadi asisten dosen Praktikum Kimia Fisik pada tahun 2019.

MOTTO

“Always think positively and smile everyday, don't bring problems to sadness but make it into happiness”

“ Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”

–Q S. Al-Insyirah 5-6

Janganlah takut dengan apa yang kau pilih. Saat kau ragu dan takut akan kehilangan, maka kau akan kehilangan segalanya

–Gu Family Book

Kadang kau bosan terhadap sesuatu dan tampaknya murahan bahkan hingga kau tak mau menatapnya. Tapi di dunia ini yang bisa melindungiku hanya orang – orangku yaitu keluarga

–Reply 1988

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur dan terima kasih yang dalam karya ini

dipersembahkan untuk :

*Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW yang selalu menjadi penunjuk hidup
dikala senang ataupun susah*

*Kedua orang tuaku yang selalu memberiku semangat, mendoakanku, dan
dukungan yang tiada henti padaku*

*Mbak Nafis dan adik kembarku Mina & Muni yang selalu menyemangati,
mengingatkan dan memahami kala duka maupun bahagia*

Dosen-dosen pembimbing dan pembahas yang selalu penyabar

Teman se-pembimbinganku yang selalu ada dan menyemangati di setiap langkah

*Serta sahabat, teman, kakak S2 dan adik – adik kimia yang selalu memberi
semangat dan bantuan kepadaku*

Almamater tercinta Universitas Lampung

SANWACANA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Skripsi yang berjudul “**Konversi Nanoselulosa Dari Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca L.*) Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanofotokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ Di Bawah Pengaruh Irradiasi Sinar UV**” dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam tidak lupa selalu disanjung agungkan kepada suri tauladan umat Islam Nabi Muhammad SAW.

Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit kendala yang dihadapi penulis pada pelaksanaannya serta dalam penulisannya, tetapi terselesaikannya Skripsi ini tentu mendapatkan bantuan, kerjasama, dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini ucapan terima kasih setulus hati diberikan kepada:

1. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Mustaqim dan Ibu Muslihatun yang telah berjuang dan berkorban demi penulis. Terima kasih atas segala perhatian dan dukungan moral maupun materi, serta do'a yang selalu diberikan kepada penulis;
2. Bapak Prof. Dr. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc., selaku pembimbing utama yang telah banyak memberikan banyak ilmu, bimbingan, kritik, saran, dan dukungan

yang sangat berarti bagi penulis selama penelitian hingga tersusun dan selesainya skripsi ini;

3. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah banyak memberikan bimbingan, kritik, saran, dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini;
4. Alm. Bapak Prof. Drs. Simon Sembiring, Ph.D, yang pernah menjadi pembimbing kedua sebelumnya atas bimbingan, kritik, dan saran selama penyusunan skripsi ini;
5. Bapak Prof. Dr. John Hendri, M.S. Ph.D., selaku pembahas atas semua saran, kritik, dan nasihat yang membantu dalam penyusunan skripsi ini;
6. Bapak Prof. Suharso, Ph.D., selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran dan pembelajaran selama masa kuliah;
7. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;
8. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku Dekan Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;
9. Laboran Kimia Anorganik Fisik mbak Liza atas bantuannya saat penulis melakukan penelitian di Laboratorium;
10. Seluruh dosen kimia serta staff, dan karyawan di Jurusan Kimia Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;
11. Mbak Nafis dan adik kembarku Mina Muni yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis;

12. Teman sebangsan Rika Meliana Putri untuk kerjasama, dukungan, motivasi, dan kebersamaannya dalam suka maupun duka selama melakukan penelitian sehingga semua dapat berjalan lancar sampai akhir;
13. Teman – teman tersayang Rani D.C., Rina H., N. Nadila, Novi A. dan Maria F. atas dukungan, semangat dan canda tawa yang diberikan;
14. Kakak – kakak S2 terutama mbak della dan adik – adik sebangsan atas bantuan dan dukungan yang diberikan;
15. Teman-teman international class yang dulunya kelas C atas kebersamaan, canda tawa dan bantuan selama masa perkuliahan;
16. Rekan-rekan keluarga Kimia Angkatan 2016 yang telah memotivasi dan memberikan dukungan.
17. Keluarga besar HIMAKI FMIPA Universitas Lampung.
18. Semua pihak yang telah berperan dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas kekurangan tersebut dan berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang membaca, khususnya rekan-rekan mahasiswa kimia.

Bandar Lampung, 12 Desember 2022
Penulis,

Nabitaliah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	5
1.3. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Selulosa	6
2.2. Nanoselulosa	7
2.3. Gula Alkohol	9
2.3.1. Sorbitol	10
2.3.2. Manitol	11
2.3.3. Xylitol	11
2.4. Kulit Pisang Kepok	12
2.5. Nanokatalis	13
2.6. Metode Preparasi Katalis	13
2.6.1. Sol Gel	14
2.6.2. <i>Freezer-Dry</i>	14
2.6.3. Kalsinasi	15
2.7. Pektin	16
2.8. Reaksi Fotokatalitik	17
2.9. Karakteristik Nanokatalis	19

2.9.1. <i>X-ray Diffraction</i> (XRD)	19
2.9.2. <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	22
2.9.3. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)	24
2.9.4. <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy UV-Vis</i> (DRS UV-Vis)	25
2.10. Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT)	27
III. METODE PENELITIAN	31
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2. Alat dan Bahan	31
3.3. Prosedur Penelitian	32
3.3.1. Preparasi Nanoselulosa dari Limbah Kulit Pisang Kepok	32
3.3.2. Preparasi Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$	33
3.3.3. Karakterisasi Nanokatalis	34
3.3.3.1. Analisis <i>X-ray Diffraction</i> (XRD)	34
3.3.3.2. Analisis <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	35
3.3.3.3. Analisis <i>Scanning Electron Microscope Energy Dispersive</i> <i>X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDX).....	35
3.3.3.4. Analisis DRS UV-VIS	35
3.3.4. Uji Aktivitas Nanokatalis	36
3.3.4.1. Konversi Nanoselulosa menjadi Gula Alkohol	36
3.3.4.2. Analisis Kuantitatif Hasil Konversi	37
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1. Preparasi dan Karakterisasi Nanoselulosa dari Limbah Kulit Pisang Kepok	39
4.2. Preparasi Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$	42
4.3. Karakterisasi Nanokatalis	45
4.3.1. Analisis <i>X-ray Diffraction</i> (XRD)	45
4.3.2. Analisis <i>Fourier Transform Infrared Spectrophotometer</i> (FTIR)	48
4.3.3. Analisis <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> <i>Spectroscopy</i> (SEM-EDX)	51
4.3.4. Analisis DRS UV-Vis	53

4.4. Uji Aktivitas Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$	56
4.4.1. Konversi Nanoselulosa menjadi Gula Alkohol	56
4.4.2. Analisis Kuantitatif Hasil Koversi	57
4.4.3 Analisis hasil konversi menggunakan KCKT	59
V. SIMPULAN DAN SARAN	61
5.1. Simpulan	61
5.2. Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	70

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Ukuran kristal nanoselulosa	41
2. Puncak-puncak representatif difraktogram acuan COD	47
3. Puncak-puncak Representatif Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$	47
4. Puncak-puncak representatif difraktogram acuan JCPDS	48
5. Hasil EDX Persentase unsur pada nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$	52
6. Persentase nanoselulosa terkonversi	56
7. Konsentrasi glukosa pada sampel hasil konversi	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur selulosa	6
2. Skema preparasi nanoselulosa	9
3. Struktur kimia dari (a) manitol, (b) sorbitol, (c) xylitol	10
4. Mekanisme reaksi pembentukan sorbitol	10
5. Mekanisme reaksi pembentukan manitol	11
6. Mekanisme reaksi pembentukan xylitol	12
7. Struktur molekul pektin	16
8. Difraktogram XRD dari nanokatalis LaCrO_3	20
9. Difraktogram XRD untuk nanoselulosa.....	21
10. Hasil spektrum FTIR membran selulosa asetat dan membran selulosa asetat TiO_2	23
11. Hasil karakterisasi SEM pada katalis LaCrO_3	24
12. Skema alat KCKT	28
13. Rangkaian alat konversi nanoselulosa dengan iradiasi sinar UV	37
14. Serbuk nanoselulosa	40
15. Difraktogram XRD nanoselulosa	41
16. Gel katalis LaCrO_3	43
17. Serbuk material LaCrO_3	44
18. Serbuk nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$	45
19. Hasil XRD nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$	45
20. Hasil pencocokan dari hasil nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ dengan aplikasi <i>Match</i>	46
21. Spektrum FTIR nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,01}\text{O}_3$	49
22. Spektrum FTIR nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,01}\text{O}_3$ setelah reaksi fotokatalitik ...	50

23. Hasil SEM Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ dengan a) perbesaran 10000 kali; b) perbesaran 20000 kali	51
24. Spektrum EDX nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$	52
25. Spektrum Absorbansi nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$	53
26. Spektrum Reflektansi Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$	54
27. Energi celah pita nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$	55
28. Larutan hasil konversi	56
29. Analisis gula pereduksi dengan reagen DNS	58
30. Kurva larutan standar Glukosa	58
31. Kromatogram larutan hasil konversi nanoselulosa	59
32. Skema konversi selulosa	60

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada saat ini pemanfaatan limbah menjadi senyawa kimia yang lebih bermanfaat sudah dikembangkan, seperti pemanfaatan biomassa dari limbah selulosa yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan. Sumber energi terbarukan didefinisikan sebagai sumber energi yang dapat pulih secara alami dan digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil. Salah satu bahan yang telah banyak dikembangkan untuk sumber energi terbarukan adalah limbah selulosa, seperti misalnya pembuatan bioetanol dari tepung ampas tebu, produksi etanol dari bahan baku singkong, jagung dan iles – iles (Kusmiyati, 2014). Di alam, selulosa tergolong sebagai polimer yang paling melimpah sebab sebagian besar tanaman mengandung serat selulosa. Selulosa dapat digunakan sebagai sumber karbon untuk kebutuhan bahan bakar serta bahan-bahan kimia yang dapat dikonversi menjadi produk – produk bernilai ekonomi tinggi seperti gula alkohol.

Gula alkohol atau polirol didefinisikan sebagai turunan sakarida yang gugus keton atau aldehidnya diganti dengan gugus hidroksil. Gula alkohol dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengganti pemanis sukrosa, tetapi memiliki efek yang lebih baik terutama untuk kesehatan gigi dan mencegah obesitas karena memiliki indeks glikemik yang rendah (Prangdimurti, 2007). Produksi gula alkohol dapat dilakukan dengan cara penguraian selulosa menjadi gula pereduksi berupa glukosa, kemudian dilanjutkan dengan hidrogenasi glukosa menjadi gula alkohol. Gula alkohol yang sering dimanfaatkan biasanya dalam bentuk sorbitol, manitol, dan xylitol (Hansen *et al.*, 2006). Salah satu sumber selulosa untuk produksi gula alkohol adalah limbah kulit pisang.

Kulit pisang merupakan bagian dari pisang yang umumnya dibuang sehingga menjadi limbah. Namun, memiliki banyak kandungan bermanfaat yang salah satunya adalah kandungan selulosa. Kandungan selulosa yang terdapat pada kulit pisang kepok mencapai 18,71% (Hariyani dkk., 2016), yang dapat digunakan sebagai sumber konversi selulosa menjadi gula alkohol. Selulosa sendiri sulit untuk diuraikan sebab molekul selulosa tersusun dalam bentuk fibril yang terdiri atas beberapa molekul paralel yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik sehingga sulit diuraikan (Fitriani, 2003), oleh karenanya ukuran selulosa perlu dikecilkan sampai ukuran nanometer. Material nano memiliki kelebihan dibandingkan dengan material ukuran besarnya karena memiliki perbandingan yang besar pada luas permukaan dan volumenya (Abdullah dkk., 2008). Selulosa yang ukurannya diperkecil sampai nanometer disebut nanoselulosa. Nanoselulosa merupakan jenis selulosa yang ditandai dengan adanya peningkatan luas permukaan, peningkatan dispersi, biodegradasi dan terjadi perubahan dari fase kristalin menjadi amorf (Habibi *et al.*, 2010). Dengan ukuran nanoselulosa diharapkan dapat lebih mudah diuraikan dan dijadikan sebagai bahan baku untuk produksi gula alkohol.

Proses konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol dapat dilakukan dengan bantuan katalis. Katalis memiliki peranan yang sangat penting di dalam bidang industri dan berbagai bidang penelitian lainnya karena memiliki fungsi yang dapat mempercepat terjadinya suatu reaksi, serta produk yang dihasilkan memiliki rendemen yang cukup tinggi. Maka, peneliti fokus untuk mendapatkan katalis yang sesuai dengan aplikasi dan target dari produk yang diinginkan (Stefanidis *et al.*, 2011). Aktivitas katalis yang optimal dapat meningkatkan hasil konversi.

Saat ini banyak penelitian mengenai perkembangan katalis dengan ukuran nano yang dapat meningkatkan produktivitas katalis. Ukuran nanopartikel pada katalis memiliki aktivitas yang lebih baik karena luas permukaan pada nanokatalis cukup besar dengan rasio atom-atom yang menyebar merata pada permukaan sehingga memudahkan transfer massa reaktan untuk dapat berdifusi ke dalam situs aktif katalis di dalam pori-pori (Widegren *et al.*, 2003). Metode sol-gel merupakan

salah satu metode preparasi yang dapat menghasilkan katalis berukuran nano. Sebagai contoh, preparasi nanokatalis α Fe_2O_3 menggunakan pelarut asam sitrat dan (PEG)-6000 dihasilkan ukuran partikel sebesar 30 nm pada kalsinasi 600 °C dan preparasi perovskite LaCrO_3 menggunakan larutan pectin yang memperoleh ukuran partikel < 50 nm pada kalsinasi 600°C (Situmeang *et al.*, 2019). Metode sol-gel termasuk metode sederhana yang dapat dilakukan dalam temperatur rendah, tidak terjadi reaksi dengan senyawa sisa, dan kemungkinan kehilangan bahan reaktan saat penguapan pelarut cukup kecil (Delfinas, 2014). Preparasi katalis dengan menggunakan metode sol gel memerlukan pengontrol mesopori dari katalis agar tidak mudah terjadi penggumpalan dan membentuk aglomerasi. Penambahan pektin dapat mengurangi aglomerasi saat sintesis nanokatalis. Selain itu, pektin merupakan bahan baku yang mudah didapat, murah dan tidak beracun.

Konversi selulosa secara katalitik dapat dikembangkan dengan memanfaatkan sinar UV atau yang dikenal dengan proses fotokatalitik. Hal ini dikarenakan sinar UV adalah energi yang digunakan untuk mempromosikan elektron dari HOMO ke LUMO dan pemutusan ikatan menghasilkan radikal. Selain itu, penggunaan sinar UV juga ramah lingkungan dan ekonomis. Proses fotokatalitik oleh sinar UV akan menghasilkan radikal hidroksil yang sangat aktif dan mampu mengoksidasi berbagai bahan organik menjadi H_2O dan CO_2 (Wahyuni *et al.*, 2017). Adapun pemanfaatan sinar UV untuk reaksi fotokatalitik pada degradasi fenol dengan katalis TiO_2 dapat menghasilkan senyawa intermediet berupa katekol, hidrokuinon dan benzokuinon (Slamet dkk., 2008).

Dari penelitian konversi selulosa yang telah dilakukan sebelumnya, dengan menggunakan fotokatalis TiO_2 (Pt) yang cukup efektif pada konversi selulosa secara fotokatalitik menghasilkan 80-90% H_2 dan 70-80% CO_2 (Zhang *et al.*, 2016). Selanjutnya, pada penelitian Lindawati (2017), menggunakan katalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Mo}_{0,02}\text{O}_3$ mengkonversi nanoselulosa menjadi gula alkohol menghasilkan sorbitol dengan rendemen 7,53% untuk lama penyinaran 45 menit. Akan tetapi, pada penelitian tersebut terdapat beberapa kelemahan, yaitu kadar sinar UV yang digunakan sebesar 125 Watt masih cukup rendah untuk melakukan konversi

sehingga hasilnya kurang maksimal dan variasi waktu penyinaran konversi yang memiliki selisih cukup berdekatan membuat perbedaan hasil konversi tiap variasinya tidak terlalu signifikan. Kemudian, penelitian Sari (2019) dengan katalis 1% V/LaCrO₃ dalam konversi nanoselulosa menghasilkan nanoselulosa terkonversi sebesar 20,18% dan 132,7 ppm glukosa dari lama penyinaran 120 menit. Namun, pada penelitian tersebut ditemukan bahwa nanokatalisnya hanya aktif mengkonversi nanoselulosa menjadi gula reduksi, tetapi belum optimal untuk mengkonversi nanoselulosa menjadi gula alkohol. Hal ini mungkin dapat disebabkan pada saat konversi, tekanan dan aliran gas hidrogen yang mengalir seluruh larutan masih belum cukup stabil dan kadar sinar UV yang digunakan sebesar 100 Watt masih cukup rendah untuk melakukan konversi sehingga hasilnya kurang maksimal. Kadar sinar UV berbanding lurus dengan daya dan lama kontak dengan bahan, semakin tinggi daya dan lama kontak dengan bahan maka produk yang dihasilkan juga semakin tinggi dan begitu juga sebaliknya (Bachman, 1995).

Pada penelitian ini akan ditingkatkan lama waktu kontak penyinaran sinar UV pada saat konversi nanoselulosa dan memastikan tekanan serta aliran gas hidrogen tetap stabil pada saat mengalir seluruh larutan yang akan dikonversi, sehingga diharapkan lebih optimal dalam mengkonversi menjadi gula alkohol. Kemudian, dilakukan preparasi nanokatalis menggunakan bahan baku berbasis logam lantanum dan kromium dengan penambahan logam transisi titanium sebagai promotor melalui metode impregnasi basah. Hal ini dikarenakan metode impregnasi dapat menghasilkan katalis dengan aktivitas yang cukup tinggi. Selanjutnya, pembuatan katalis akan menggunakan metode sol-gel dengan pektin sebagai pengemulsi dan kemudian diiradiasi sinar UV dalam variasi waktu penyinaran pada konversi nanoselulosa dari kulit pisang kepok menjadi gula alkohol dengan nanokatalis LaCr_{0,98}Ti_{0,02}O₃ untuk menghasilkan rendemen glukosa dan gula alkohol seperti sorbitol, manitol dan xylitol..

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mempelajari cara pembuatan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ dengan metode sol-gel.
2. Mendapatkan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ yang memiliki karakteristik yang sesuai untuk reaksi fotokatalitik.
3. Memperoleh hasil konversi nanoselulosa yang baik menggunakan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ di bawah sinar UV sebagai fungsi waktu.
4. Mendapatkan gula pereduksi dan gula alkohol dengan hasil yang baik dari konversi nanoselulosa.

1.3. Manfaat Penelitian

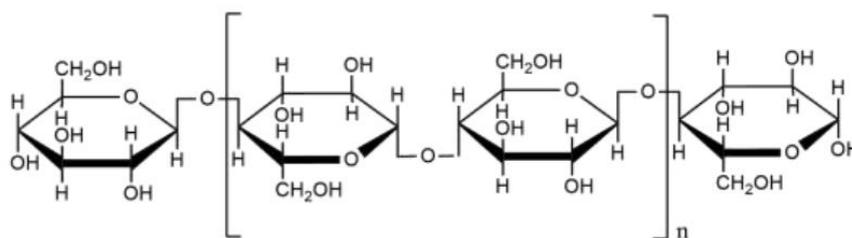
Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai penggunaan nanokomposit $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ pada konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol.
2. Memberikan informasi terkait efektivitas penggunaan sinar UV dalam proses konversi selulosa menjadi gula alkohol.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Selulosa

Selulosa adalah polimer glukosa yang berbentuk rantai linier dan dihubungkan oleh ikatan β -1,4 glikosidik. Struktur yang linier menyebabkan selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut. Di alam, biasanya selulosa berasosiasi dengan polisakarida lain seperti hemiselulosa atau lignin membentuk kerangka utama dinding sel tumbuhan. Selulosa memiliki rumus empiris $(C_6H_{10}O_5)_n$ dengan n menunjukkan derajat polimerisasi yakni jumlah satuan glukosa. Kedudukan β dari gugus OH pada atom C_1 membutuhkan pemutaran unit glukosa melalui sumbu C_1 - C_4 cincin piranosa (Mathur and Mathur, 2001). Struktur selulosa ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur selulosa.

Jumlah selulosa di alam sangat berlimpah sebagai sisa tanaman atau dalam bentuk sisa pertanian seperti jerami padi, kulit jagung, gandum, kulit tebu dan

tumbuhan lainnya. Komposisi selulosa berkisar antara 35-50% dari komposisi total penyusun dinding sel tumbuhan. Selulosa dapat diisolasi dari dinding sel tanaman, bahan berkayu, rambut biji, kulit pohon, tanaman laut dan lain-lain. Serat kapas mengandung 95% selulosa, sedangkan kayu 40-50% selulosa. Jumlah selulosa dalam serat bervariasi menurut sumbernya dan biasanya berkaitan dengan bahan-bahan seperti air, lilin, pektin, protein, lignin dan substansi-substansi mineral (Bhimte and Tayade, 2007).

Selulosa dapat dikonversi menjadi produk-produk bernilai ekonomis yang lebih tinggi seperti glukosa dan etanol dengan jalan menghidrolisis selulosa dengan bantuan selulase sebagai biokatalisator atau dengan hidrolisis secara asam/basa. Konversi selulosa dapat menghasilkan berbagai produk gula alkohol seperti sorbitol, manitol, xilitol dengan bantuan katalis. Selulosa dapat menghasilkan sorbitol dengan rendemen 71,1% menggunakan katalis yang mengandung gugus sulfonat dan nanopartikel Ru.

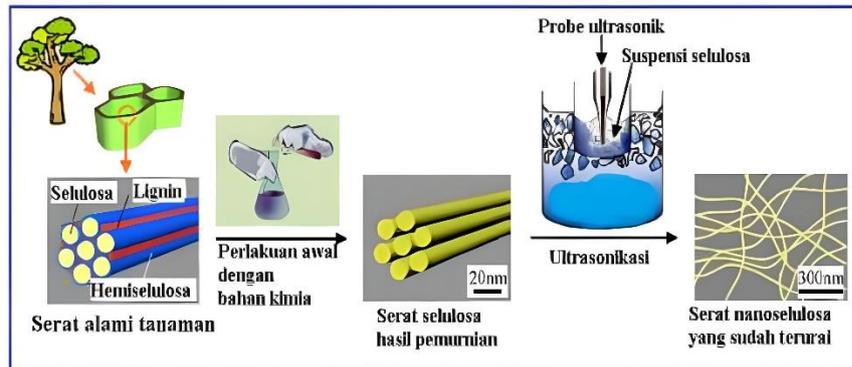
Konversi selulosa menjadi sorbitol dengan rendemen 32% dan manitol dengan rendemen 6,6% menggunakan katalis Pt/Al₂O₃ (Fukuoka *et al.*, 2011). Selain gula alkohol, selulosa dapat diubah menjadi beberapa senyawa kimia, diantaranya etilen glikol sebesar 60% dengan katalis tungsten karbida yang dipromosikan dengan sejumlah kecil nikel (Ji *et al.*, 2008), asam levulinat 67% menggunakan katalis CrCl₃ dengan waktu 180 menit pada temperatur reaksi 200 °C, asam laktat 60% dengan katalis timbal (II) pada temperatur reaksi 190°C dan 5-hidroksi metil furfural menggunakan kromium triklorida dengan perolehan rendemen sebesar 43,7% dengan waktu 90 menit pada temperatur reaksi 140°C (Wang *et al.*, 2014).

2.2. Nanoselulose

Seiring perkembangan zaman, selulosa dapat dibuat dalam ukuran nanometer atau yang dikenal sebagai nanoselulosa. Nanoselulosa merupakan jenis selulosa yang ditandai dengan adanya peningkatan kristalinitas, aspek rasio, luas

permukaan, dan peningkatan kemampuan dispersi serta biodegradasi. Adanya kemampuan ini, partikel nanoselulosa dapat digunakan sebagai *filler* penguat polimer, aditif untuk produk-produk *biodegradable*, penguat membran, pengental untuk dispersi, dan media pembawa obat serta implan. Dengan adanya perubahan dari selulosa menjadi nanoselulosa menyebabkan terjadinya perubahan sifat dari selulosa. Perubahan sifat dari selulosa juga mempengaruhi bentuk dari struktur nanoselulosa (Isdin, 2010).

Menurut Teixeira *et al.*, (2009) proses sintesis nanoselulosa dari selulosa memiliki empat tahapan yaitu hidrolisis asam, sentrifuse, dialisis dan ultrasonikasi. Pada saat hidrolisis menggunakan asam kuat yaitu H_2SO_4 dengan konsentrasi 6,5 M dan dibantu dengan pemanasan dengan suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$ selama 40 menit. Lalu larutan hasil hidrolisis asam ditambah aquades, hal ini bertujuan untuk menghentikan reaksi berlebih yang terjadi saat proses hidrolisis asam. Proses hidrolisis menggunakan asam kuat yang bertujuan untuk mempermudah proses penguraian bagian amorf dan mengurangi ikatan serat selulosa (Costa *et al.*, 2015). Asam sulfat pekat (75%) akan menyebabkan selulosa membentuk gelatin. Selanjutnya pada tahap ultrasonikasi, energi ultrasonik dilewatkan pada cincin selulosa melalui getaran pada air. Energi yang dihasilkan dari proses sonokimia ini berkisar 10-100 kJ/mol atau setara dengan energi ikatan hidrogen. Proses ultrasonikasi memberikan perubahan pada ukuran dan tingkat kristalinitas selulosa sehingga menjadi berukuran nano dan tingkat kristalinitasnya menurun (Khawas and Deka, 2016). Proses preparasi nanoselulosa yang ditunjukkan pada Gambar 2.

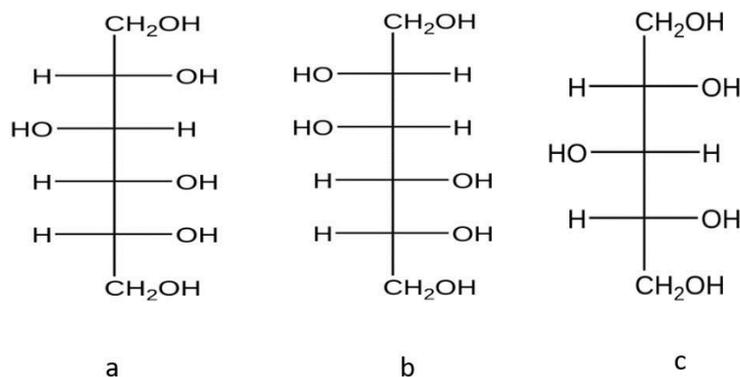


Gambar 2. Skema preparasi nanoselulosa.

2.3. Gula Alkohol

Gula alkohol adalah gula yang komposisi kimianya terdiri dari tiga atau lebih kelompok hidroksil. Bentuk gula alkohol antara lain sorbitol, xylitol, manitol, *dulcitol*, dan inositol (Goldberg, 1994). Selulosa terdiri dari unit D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan β -1-4-glikosidik. Struktur ini mirip dengan gula alkohol. Oleh karena itu, konversi langsung selulosa menjadi gula alkohol memiliki nilai ekonomi dan energi yang efisien. Gula alkohol dikembangkan sebagai pengganti pemanis sukrosa, tetapi memiliki efek baik terutama untuk kesehatan gigi dan mencegah obesitas karena memiliki indeks glikemik yang rendah (Prangdimurti dkk., 2007).

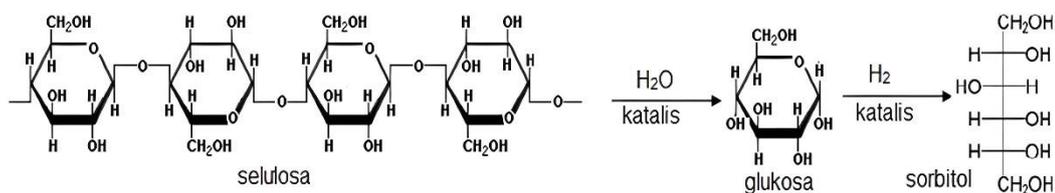
Pada penelitian yang dilakukan Fukuoka *et al.*, (2011), selulosa dengan bantuan katalis dapat diubah menjadi gula alkohol, namun sebelumnya diubah terlebih dahulu menjadi glukosa. Sejumlah besar gugus hidroksil pada selulosa memungkinkan selulosa untuk dikonversi menjadi polioliol lainnya. Struktur dari sorbitol, manitol dan xylitol ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur kimia dari (a) sorbitol, (b) manitol, (c) xylitol.

2.3.1. Sorbitol

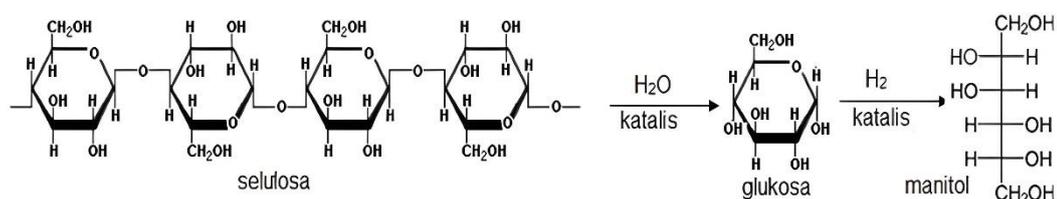
Sorbitol merupakan gula alkohol yang memiliki rumus kimia $C_6H_{14}O_6$ yang termasuk dalam kelompok poliol asiklik dengan enam rantai karbon. Di Indonesia sorbitol diproduksi dari umbi tanaman singkong (*Manihot utilissima pohl*). Sorbitol juga terdapat pada alga merah mengandung 13,6 %, pada tanaman berri dari spesies *Sorbus amiricana* sebanyak 10 % dan terdapat juga pada famili *Rosaceae* seperti buah pir, apel, ceri, *prune*, *peach*, dan apricot (Goldberg, 1994). Selain terdapat pada tanaman, jaringan tubuh juga memproduksi sorbitol melalui hasil katalisasi dari D-glukosa oleh enzim *aldose reductase* yang mengubah struktur aldehyd (CHO) pada glukosa menjadi alkohol (CH₂OH). Mekanisme rekasi yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme reaksi pembentukan sorbitol.

2.3.2. Manitol

Manitol merupakan gula alkohol seperti sorbitol yang memiliki rantai enam karbon dengan rumus kimia $C_6H_{14}O_6$ dengan berat molekulnya 182,17 g/mol dan memiliki kelarutan lebih kecil dibandingkan dengan sorbitol yaitu 22 g/100 ml air. Perbedaan terbesar antara manitol dan sorbitol ialah sorbitol bersifat higroskopis sedangkan manitol tidak. Secara alami manitol banyak ditemukan pada bahan alam seperti alga, manna, rumput laut dan zaitun. Produksi manitol skala industri dilakukan dengan reaksi hidrogenasi fruktosa, sukrosa, atau sirup glukosa-fruktosa. Untuk mendapatkan hasil manitol yang tinggi disarankan menggunakan sirup dengan kadar fruktosa yang lebih tinggi. Saat reaksi hidrogenasi, β -fruktosa akan menjadi manitol sedangkan α -fruktosa akan menjadi sorbitol (Toukoniitty *et al*, 2005). Mekanisme pembentukan manitol ditunjukkan pada Gambar 5.

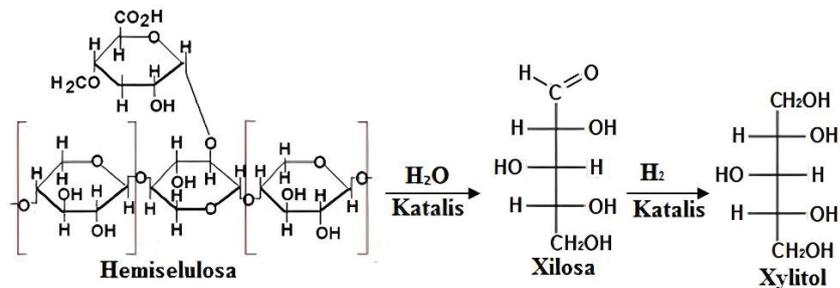


Gambar 5. Mekanisme reaksi pembentukan manitol.

2.3.3. Xylitol

Xylitol merupakan gula alkohol jenis pentitol dengan rumus kimia $C_5H_{12}O_3$ dengan berat molekul 152,15 g/mol. Secara alami xylitol banyak ditemukan pada buah-buahan dan sayuran seperti strawberry, wortel, bayam, selada dan bunga kol. Dalam industri gula alkohol, xylitol diproduksi melalui reaksi hidrogenasi xylosa yang dibantu oleh katalis logam dengan dialiri gas hidrogen pada temperatur dan tekanan tinggi (Chandel *et al.*, 2007). Sama halnya dengan sorbitol dan mannitol, xylitol juga dapat dikonversi dari bahan lignoselulosa

khususnya hemiselulosa atau xilan. Melalui proses hidrolisis xilan akan membentuk xilosa dan arbinosa yang kemudian dapat dihidrogenasi menjadi xylitol. Mekanisme reaksi pembentukan xylitol ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Mekanisme reaksi pembentukan xylitol.

2.4. Kulit Pisang Kepok

Pisang merupakan salah satu jenis buah tropis yang dapat ditemukan dengan mudah di Indonesia. Berdasarkan data Pusdatin (2016), Provinsi Lampung menempati urutan ketiga sebagai provinsi sentra produksi buah pisang dengan kontribusi sebesar 18,20%. Salah satu jenis pisang yang banyak diproduksi adalah pisang kepok. Pada umumnya, manusia hanya memanfaatkan bagian buah pisang untuk diolah sehingga meninggalkan limbah kulit pisang. Jumlah kulit pisang adalah 1/3 dari buah pisang yang belum dikupas. Pisang kepok termasuk pisang berkulit tebal dengan kulit berwarna kuning apabila sudah matang (Zuhrina, 2011).

Menurut data Balai Besar Litbang Industri 2015, kulit pisang memiliki kandungan selulosa yang tinggi. Limbah kulit pisang mengandung serat yang halus dibandingkan serat dari kayu dengan kandungan selulosa yang tinggi (18-20%), hemiselulosa (6-9%), dan lignin (5-10%) dan asam galakturonat. Kayu lunak hanya mengandung selulosa 16%, hemiselulosa 47%, dan lignin 37.8%.

2.5. Nanokatalis

Katalis merupakan zat yang mampu meningkatkan laju suatu reaksi kimia agar reaksi tersebut dapat berjalan lebih cepat. Katalis mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi reaksi. Penurunan energi aktivasi tersebut terjadi akibat interaksi antara katalis dengan reaktan. Katalis menyediakan situs-situs aktif yang berperan dalam proses reaksi. Situs-situs aktif ini dapat berasal dari logam-logam yang terdeposit pada pengemban atau dapat pula berasal dari pengemban sendiri. Logam-logam tersebut umumnya adalah logam transisi yang menyediakan orbital d kosong atau elektron tunggal yang akan disumbangkan pada molekul reaktan sehingga terbentuk ikatan baru dengan kekuatan ikatan tertentu (Campbell, 1998). Katalis dengan ukuran nano dikenal dengan sebutan nanokatalis.

Nanokatalis saat ini dikembangkan sebagai pengganti katalis dalam mempercepat reaksi kimia karena keunggulannya mengkatalisis suatu reaksi yang lebih cepat dari katalis biasa. Keunggulan nanokatalis ini disebabkan oleh permukaan yang luas dan rasio-rasio atom yang tersebar secara merata pada permukaannya. Sifat ini menguntungkan untuk transfer massa di dalam pori-pori dan juga menyumbangkan antar muka yang besar untuk reaksi-reaksi adsorpsi dan katalitik (Widegren *et al.*, 2003).

2.6. Metode Preparasi Katalis

Metode preparasi merupakan suatu metode dengan prinsip menukarkan ion yang terdapat pada situs aktif pengemban dengan katalis logam yang stabil. Banyak metode telah dikembangkan untuk preparasi katalis karena dalam preparasi katalis, metode yang dipilih untuk dapat mempengaruhi karakteristik dari katalis yang akan dibuat. Beberapa jenis metode preparasi katalis adalah sebagai berikut:

2.6.1. Sol Gel

Metode sol-gel merupakan proses pembuatan nanopartikel yang melalui perubahan sistem dari suspensi koloid (fasa sol) menjadi padatan atau semi padatan (fasa gel). Metode ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain: konsumsi energi yang rendah karena rendahnya temperatur proses, dan investasi peralatan yang relatif murah dibandingkan teknik deposisi (Yuwono dkk., 2011).

Preparasi katalis heterogen dengan proses sol-gel melibatkan tahapan pembentukan sol dan kemudian menjadi gel. Sol gel adalah suatu suspensi koloid dari partikel yang digelkan ke bentuk padatan. Sol adalah suspensi cair dari partikel padat dengan ukuran 1 nm – 1 mikron, dapat diperoleh dari hidrolisis dan kondensasi parsial seperti sebuah garam anorganik atau logam. Kondensasi lebih lanjut dari partikel sol menjadi jaringan tiga dimensi yang berbentuk gel, yang merupakan material fasa ganda dengan enkapsulat padat dan pelarut (Mills *et al.*, 1997).

Menurut Lambert and Gonzalez, (1998), Metode sol gel digunakan secara luas dalam sintesis katalis berpendukung logam karena kemudahannya dalam memasukkan satu atau lebih logam aktif sekaligus dalam katalis. Adapun Keuntungan dari metode sol gel yaitu :

- a. Dispersi tinggi dari spesi aktif yang tersebar secara homogen pada permukaan katalis.
- b. Tekstur pori yang dihasilkan memberikan kemudahan untuk berdifusi dari reaktan menuju ke situs aktif.
- c. Luas permukaan tinggi.
- d. Peningkatan stabilitas termal

2.6.2. Freezer-Dry

Penggunaan metode *Freezer-Dry* dalam katalis yaitu untuk menghilangkan air hidrat dalam rongga bahan katalis tanpa merusak struktur jaringan yang telah

terbentuk dari bahan tersebut. Air yang terperangkap dalam rongga bahan katalis diubah menjadi air beku dan selanjutnya diubah menjadi uap air tanpa melalui intermediat air cair. Dasar sublimasi ini melibatkan absorpsi panas oleh sampel beku guna menguapkan air, pemindahan dan pengumpulan uap air ke dalam suatu kondensor, menghilangkan panas sebagai akibat pembentukan es dari kondensor dengan sistem *refrigerator*, terjadi keseimbangan antara panas yang diabsorpsi oleh sampel untuk menguapkan air dan memindahkan panas dari kondensor untuk mengubah uap air menjadi es. Inti dari proses *Freezer-Dry* adalah keseimbangan antara panas yang diadsorpsi oleh sampel untuk menguapkan air dan memindahkan panas dari kondensor untuk mengubah uap air menjadi es (Liapis *et al.*, 1994).

Efisiensi *Freezer-Dry* bergantung pada luas permukaan dan ketebalan sampel, temperatur kondensor dan tekanan yang diperoleh, titik eutektik dan konsentrasi terlarut dari sampel. Laju *Freezer-Dry* berbanding lurus terhadap tekanan uap dan tekanan uap bergantung pada kedua temperatur eutektik dan konsentrasi terlarut sampel (Liapis *et al.*, 1994). Keuntungan dari menggunakan metode freezer-dry yaitu hasilnya homogen, murni, dengan ukuran partikel dapat diproduksi kembali serta memiliki aktivitas yang seragam (Bermejo *et al.*, 1997).

2.6.3. Kalsinasi

Proses kalsinasi merupakan pemanasan zat padat di bawah titik lelehnya untuk menghasilkan keadaan dekomposisi termal dari transisi fasa lain selain fasa lelehan. Kalsinasi diperlukan sebagai penyiapan serbuk untuk proses lebih lanjut dan memperoleh ukuran partikel yang optimum serta menggunakan senyawa dalam bentuk garam atau dihidrat menjadi oksida, membentuk fase kristal.

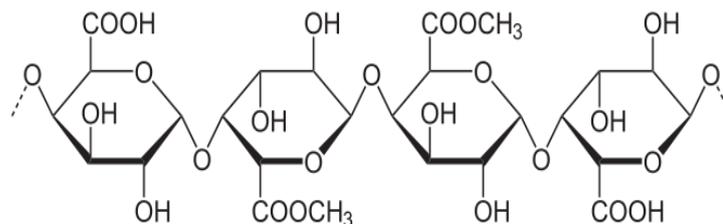
Peristiwa yang terjadi pada proses kalsinasi yaitu:

- a. Dekomposisi komponen pada pembentukan spesi oksida. Proses pertama terjadi pelepasan air bebas (H_2O) dan terikat (OH) yang berlangsung pada suhu diantara $100^{\circ}C$ dan $300^{\circ}C$.

- b. Pelepasan gas CO₂ berlangsung pada suhu sekitar 600°C, akan terjadi pengurangan berat secara berarti dan terjadi reaksi antara oksida yang terbentuk dengan penyangga.
- c. Sintering komponen . Pada proses ini struktur kristal sudah terbentuk namun ikatan di antara partikel serbuk belum kuat dan mudah lepas (Pinna, 1998).

2.7. Pektin

Pektin merupakan polimer dari asam D-galakturonat yang dihubungkan oleh ikatan α -1,4 glikosidik. Sebagian gugus karboksil pada polimer pektin mengalami esterifikasi dengan metil (metilasi) menjadi gugus metoksil. Senyawa ini disebut sebagai asam pektinat atau pektin. Asam pektinat ini bersama gula dan asam pada suhu tinggi akan membentuk gel seperti yang terjadi pada pembuatan selai (Edahwati, dkk., 2013). Menurut Haryati (2006) pektin terdiri dari monomer asam galakturonat yang berbentuk suatu rantai molekul panjang. Rantai utama ini diselingi oleh kelompok rhamnosa dengan rantai cabang menyusun gula netral (arabinosa, galaktosa). Struktur molekul pektin ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur molekul pektin.

Pektin dapat ditemui dalam buah-buahan seperti mangga, nanas, pepaya, markisa, dan buah kecap. Beberapa diantaranya buah yang memiliki kandungan pektin tinggi yaitu biji jeruk nipis sebanyak 32%, bubur daging bit sejumlah 30%, dan daging nanas sebanyak 29%. Secara umum, pektin larut dalam air. Selain itu,

pektin juga dapat diendapkan dalam larutan encer seperti etanol atau aseton (Puspitasari dkk., 2008). Dalam bidang makanan, pektin digunakan sebagai bahan pembentuk gel untuk pembuatan selai dan jeli. Dimana kemampuan pektin membentuk gel tergantung pada kandungan gugus metoksilnya. Kemampuan pektin untuk dapat membentuk gel merupakan sifat yang unik dari pektin. Penggunaan pektin selain sebagai pembentuk gel juga digunakan dalam produk buah-buahan kemasan, juice, dan es krim sebagai penstabil. Pektin juga berguna dalam persiapan membran untuk ultrasentrifugasi dan elektrodialisis. Dalam industri karet pektin berguna sebagai bahan pengental lateks. Pektin juga dapat memperbaiki warna, konsistensi, kekentalan, dan stabilitas produk yang dihasilkan (Towle and Christensen, 1973). Pada penelitian ini, pektin akan digunakan sebagai pengkhelat yang dapat mengikat ion logam pada preparasi katalis.

2.8. Reaksi Fotokatalitik

Reaksi fotokatalitik adalah reaksi yang berlangsung melibatkan cahaya (foton) dan material katalis secara bersamaan. Katalis adalah suatu zat yang mempengaruhi proses laju reaksi tanpa ikut berubah secara kimia. Katalis dapat mempercepat fotoreaksi melalui interaksinya dengan substrat baik keadaan dasar maupun tereksitasi atau dengan fotoproduk utamanya, tergantung pada mekanisme fotoreaksi tersebut (Kirk and Otmer, 1994).

Fotokatalitik dapat dibagi menjadi 2 macam, yaitu fotokatalitik homogen dan fotokatalitik heterogen. Fotokatalitik homogen adalah proses fotokatalitik dengan bantuan zat pengoksidasi seperti ozon dan hidrogen peroksida, sedangkan fotokatalitik heterogen dilakukan dengan bantuan semikonduktor yang diiradiasi dengan sinar UV. Fotokatalitik heterogen adalah teknologi oksidasi yang merupakan suatu metode baru dalam pemurnian air limbah. Fotokatalitik diiradiasi oleh sinar UV ($\lambda = 413 \text{ nm}$) menghasilkan pasangan elektron-hole dan membentuk radikal hidroksil. Radikal hidroksil mendegradasi berbagai macam

polutan organik, seperti herbisida, pestisida, aromatik, alifatik, pewarna, dan biopolimer seperti protein, karbohidrat, dan lemak (Manendar, 2010).

Reaksi fotokatalitik umumnya terjadi melalui bantuan bahan semikonduktor. Pada semikonduktor, terdapat pita energi yang memperbolehkan keberadaan elektron, yaitu pita valensi berenergi rendah yang terisi penuh oleh elektron dan pita konduksi yang berenergi tinggi yang kosong. Celah energi yang memisahkan kedua pita tersebut yaitu pita terlarang atau disebut juga sebagai *band gap* (E_g). Salah satu karakteristik penting semikonduktor adalah memiliki energi *band-gap* berkisar antara 0,2-2,5 eV. Energi celah pita yang kecil ini memungkinkan suatu elektron memasuki level energi yang lebih tinggi. Perpindahan elektron ini dapat terjadi karena pengaruh suhu dan penyinaran (Malvino, 1989). Untuk berlangsungnya proses fotokatalitik, semikonduktor memerlukan serapan energi yang sama atau lebih dari *band-gap*.

Reaksi konversi pada selulosa merupakan salah satu yang bersifat endoterm. Sehingga dapat menggunakan bantuan energi dari paparan sinar UV. Secara alamiah sinar UV terdapat dalam sinar matahari dan mempunyai rentang panjang gelombang 100 – 400 nm atau rentang energi sebesar 3,1 – 12,4 eV. Sedangkan selulosa dengan ikatan β -1,4-glikosidik memerlukan energi sebesar 2 – 14 kJ/mol untuk memutuskan ikatan O-glikosidiknya per molekul selulosa (Sorensen *et al.*, 2015). Hal ini dibuktikan dengan penggunaan fotokatalis TiO_2 dan dopannya dalam mengonversi selulosa (Zhang *et al.*, 2016).

Proses degradasi secara katalitik selulosa menghasilkan produk berupa gula alkohol, seperti sorbitol dan manitol dengan menggunakan katalis logam. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, katalis Ru/C mampu mengkonversi selobiosa (pada 245 °C; 0,5 jam; 6 MPa) menjadi sorbitol sebanyak 34,6% dan manitol 11,4% sebagai produk samping (Luo *et al.*, 2007), dan katalis Pt/ γ -Al₂O₃ (pada 190 °C; 24 jam; 5 MPa) dapat menghasilkan sorbitol 25% dan manitol 6% (Fukuoka *et al.*, 2011), sedangkan katalis Ni/CNF (pada 230 °C; 4 jam; 6 MPa)

dapat menghasilkan sorbitol 50,3% dan manitol 6,2% (Van de Vyver *et al.*, 2010).

2.9. Karakteristik Nanokatalis dan Nanoselulosa

Nanokatalis yang telah dipreparasi diperlukan karakterisasi untuk tahap selanjutnya. Karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui informasi sifat – sifat katalis yang meliputi struktur kristal, morfologi, dan komposisi katalis.

2.9.1. X-ray Diffraction (XRD)

Metode analisis difraksi sinar-X dikenal dengan sebutan *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengetahui fasa kristalin meliputi transformasi struktur fasa, ukuran partikel bahan seperti keramik, komposit, polimer dan lain-lain (Cullity, 1978). Difraksi sinar-X dalam analisis padatan kristalin memegang peranan penting untuk meneliti parameter kisi dan tipe struktur, selain itu dimanfaatkan untuk mempelajari cacat pada kristal individu dengan mendeteksi perbedaan intensitas difraksi di daerah kristal dekat dislokasi dan daerah kristal yang mendekati kesempurnaan.

Metode XRD berdasarkan sifat difraksi sinar-X, yakni Sinar-X terjadi jika suatu bahan ditembakkan dengan elektron dengan kecepatan dan tegangan yang tinggi dalam suatu tabung vakum. Elektron-elektron dipercepat yang berasal dari filamen (Anoda) menumbuk target (Katoda) yang berada dalam tabung sinar-X sehingga elektron-elektron tersebut mengalami perlambatan (Cullity, 1978). Data yang diperoleh dari metode karakterisasi XRD adalah sudut hamburan (sudut Bragg) dan intensitas. Berdasarkan teori difraksi, sudut difraksi bergantung kepada lebar celah kisi sehingga mempengaruhi pola difraksi, sedangkan intensitas cahaya difraksi bergantung dari berapa banyak kisi kristal yang memiliki orientasi yang sama (Tipler, 1991). Dengan menggunakan metode XRD

dapat menentukan parameter kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel suatu material dengan menggunakan persamaan *Debye-Scherrer* yang ditunjukkan dalam Persamaan 1.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \dots\dots\dots(1)$$

dimana: D = ukuran partikel (nm)

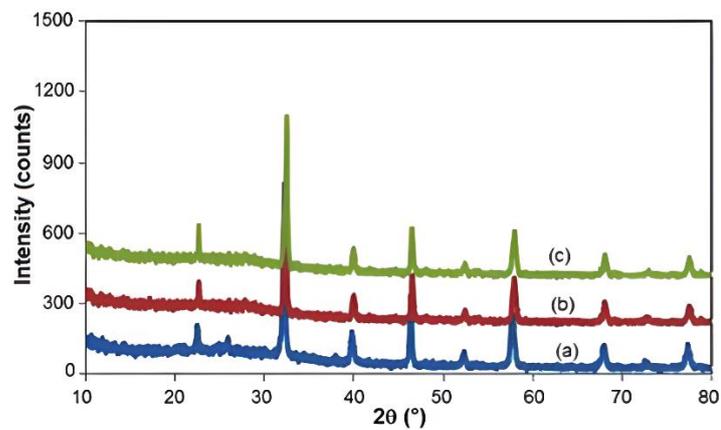
k = konstanta (0,9)

$\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$

β = radian (FWHM)

θ = lebar puncak

Adapun contoh difraktogram dari hasil XRD dari nanokatalis LaCrO_3 yang ditunjukkan pada Gambar 8.

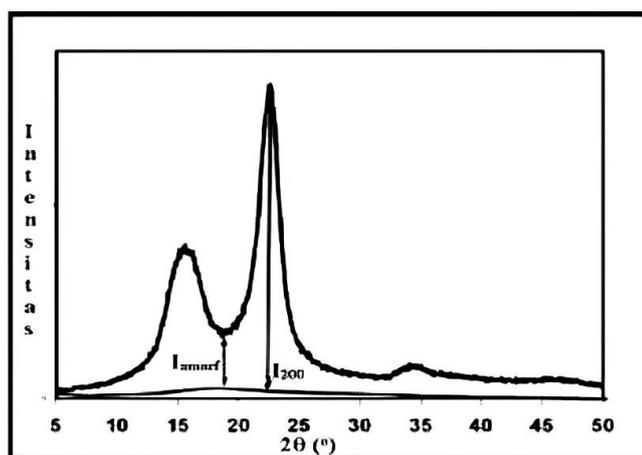


Gambar 8. Difraktogram XRD dari nanokatalis LaCrO_3 .

Pada Gambar 8. menunjukkan terlihat jelas bahwa fasa kristal yang terbentuk adalah perovskit LaCrO_3 walaupun strukturnya berbeda. LaCrO_3 yang dikalsinasi pada $600 \text{ }^\circ\text{C}$ menghasilkan LaCrO_3 berbentuk kubus, sedangkan LaCrO_3 yang

dikalsinasi pada suhu 700 dan 800 °C bersifat ortorombik dengan parameter sel yang sedikit berbeda.

Adapun contoh difraktogram XRD dari nanoselulosa yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Difraktogram XRD untuk nanoselulosa

Untuk menentukan nilai indeks kristalinitas (% CrI) dari nanoselulosa menggunakan Metode *Segal* (Segal *et al.*, 1959) pada Persamaan 2.

$$\% \text{ CrI} = \frac{I_{200} - I_{\text{am}}}{I_{200}} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

% CrI = Indeks Kristalinitas (%)

I_{200} = Intensitas difraksi dengan puncak maksimum yang memiliki indeks Miller 200 dan berada pada daerah 2θ antara $22^\circ - 24^\circ$

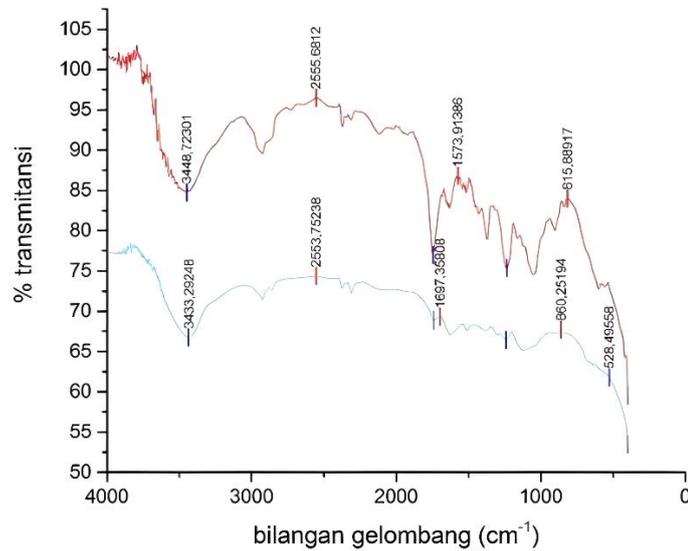
I_{am} = Intensitas dari bagian amorf (non-kristalin), yaitu pada lembah antara dua puncak yang berada pada daerah 2θ sudut 18°

2.9.2. *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Fourier transform infrared (FTIR) merupakan salah satu teknik spektroskopi inframerah yang sangat baik dalam proses untuk analisis gugus fungsi secara kualitatif dalam suatu senyawa kimia. Komponen utama spektroskopi FTIR adalah interferometer Michelson yang mempunyai fungsi menguraikan (mendispersi) radiasi inframerah menjadi komponen-komponen frekuensi. Penggunaan interferometer Michelson tersebut memberikan keunggulan metode FTIR dibandingkan metode spektroskopi inframerah konvensional maupun metode spektroskopi yang lain (Sankari, 2010). Spektroskopi inframerah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang $0.75 - 1.000 \mu\text{m}$ atau pada bilangan gelombang $13.000 - 10 \text{ cm}^{-1}$. Metode spektroskopi inframerah merupakan suatu metode yang meliputi teknik serapan (*absorption*), teknik emisi (*emission*), teknik fluoresensi (*fluorescence*). Komponen medan listrik yang banyak berperan dalam spektroskopi umumnya hanya komponen medan listrik seperti dalam fenomena transmisi, pemantulan, pembiasan, dan penyerapan. Penyerapan gelombang elektromagnetik dapat menyebabkan terjadinya eksitasi tingkat-tingkat energi dalam molekul. Dapat berupa eksitasi elektronik, vibrasi, atau rotasi (Yudhapratama, 2010).

Teknik pengoperasian FTIR berbeda dengan spektrofotometer infra merah. Pada FTIR digunakan suatu interferometer Michelson sebagai pengganti monokromator yang terletak di depan monokromator. Interferometer ini akan memberikan sinyal ke detektor sesuai dengan intensitas frekuensi vibrasi molekul yang berupa interferogram. Prinsip kerja FTIR berupa *infrared* yang melewati celah kesampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Kemudian beberapa *infrared* diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar *infrared* lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim kekomputer. *Infrared* yang diperoleh kemudian akan diplot sebagai intensitas fungsi energi,

panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}) (Thermo, 2001).
Contoh spektrum FTIR dapat dilihat pada Gambar 10.

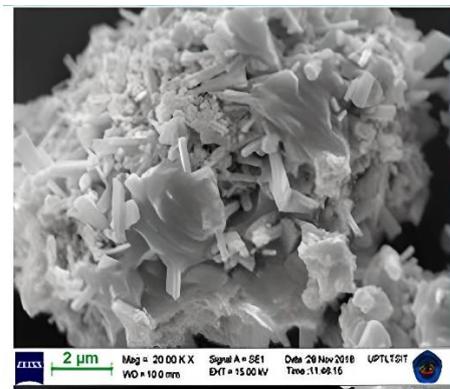


Gambar 10. Hasil spectrum FTIR membran selulosa asetat dan membran selulosa asetat TiO_2 .

Pada Gambar 10. Hasil spektrum hollow fiber selulosa asetat dan hollow fiber hollow fiber selulosa asetat- TiO_2 relatif tidak memiliki perbedaan yang berarti. Adanya serapan bilangan gelombang 528,4 cm^{-1} pada membran selulosa asetat- TiO_2 disebabkan adanya gugus Ti-O. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada ikatan yang terjadi antara membran hollow fiber selulosa asetat dengan TiO_2 . Rentang bilangan gelombang serapan Ti-O dari TiO_2 yaitu 550-700 cm^{-1} (daerah fingerprint) dan rentang panjang gelombang serapan TiO_2 yaitu pada daerah bilangan gelombang 479-625 cm^{-1} .

2.9.3. Scanning Electron Microscope (SEM) - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)

SEM merupakan mikroskop elektron yang digunakan untuk menganalisis morfologi (bentuk) dari nanopartikel yang dihasilkan, selain itu juga untuk mengukur ukuran nanopartikel yang terbentuk. SEM yang dilengkapi dengan Energy Dispersive X-ray (EDX) dapat mengidentifikasi komposisi unsur-unsur yang terkandung pada suatu bahan (Voutou and Stefanaki, 2008). Prinsip kerja SEM adalah sebuah pistol elektron memproduksi berkas elektron dan dipercepat di anoda. Lensa magnetik kemudian memfokuskan elektron menuju sampel. Berkas elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh kumparan pemindai. Ketika elektron mengenai sampel, maka sampel akan mengeluarkan elektron yang baru yang akan diterima oleh detektor (Hanke, 2001). Hasil dari SEM dapat dilihat pada gambar yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil karakterisasi SEM dari katalis LaCrO_3 yang dikalsinasi pada $700\text{ }^\circ\text{C}$.

Pada Gambar 11 menunjukkan hasil dari karakterisasi dari katalis LaCrO_3 berupa ada berbagai fase kristal seperti fase heksagonal, ortorombik, tidak teratur dan bulat. Namun umumnya, bentuk ortorombik terlihat lebih dominan.

Tipe sinyal yang dihasilkan oleh SEM dapat meliputi elektron sekunder, sinar-X karakteristik dan cahaya. Sinyal tersebut datang dari hamburan elektron dari permukaan unsur dan berinteraksi dengan sampel atau di dekat permukaannya. SEM dapat menghasilkan gambar dengan resolusi sangat tinggi dari suatu permukaan sampel, menampakkan secara lengkap dengan ukuran resolusi sekitar 0,4 nm (Girao, 2017). Untuk mengetahui komposisi kimia pada permukaan sampel, sebagian besar alat SEM dilengkapi dengan kemampuan *energy dispersive x-ray Spectroscopy* (EDX). EDX adalah teknik mikroanalisis kimia yang digunakan untuk mendeteksi sinar-X yang dipancarkan dari sampel selama bombardment oleh sinar elektron untuk mengkarakterisasi komposisi unsur dari volum yang dianalisis. Ukuran terkecil yang dapat dianalisis hingga kurang dari 1 μm . Ketika sampel disinari oleh berkas elektron SEM, elektron dikeluarkan dari atom pada permukaan sampel. Elektron yang keluar diganti dengan elektron pada keadaan yang lebih besar dan sinar-X dipancarkan untuk menyeimbangkan perbedaan energi antar kedua elektron tersebut. Saat sinar-X ditembak ke detektor, detektor akan mendeteksi dalam bentuk spektrum yang akan dikirim ke komputer untuk ditampilkan sebagai spektrum komposisi unsur dari sampel (Hanke, 2001).

2.9.4. Diffuse Reflectance Spectroscopy UV-Vis (DRS UV-Vis)

Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS) merupakan instrument yang digunakan untuk mengetahui besarnya band gap atau energi celah pita dari suatu material hasil sintesis. Salah satu material semikonduktor seperti fotokatalis memiliki karakteristik energi celah pita. Energi celah pita adalah suatu celah yang menyatakan besarnya jarak diantara pita valensi (VB; *Valence Band*) dengan pita konduksinya (CB; *Conduction Band*) sebanding dengan energi (dalam eV atau elektron volt) yang dibutuhkan untuk elektron tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Tentunya energi yang dibutuhkan dapat sebanding atau lebih dari besar celah pitanya (Yuwono dkk., 2011).

Metode DRS didasarkan pada pengukuran intensitas UV-Vis yang direfleksikan oleh sampel. Dasar pemikiran metode tersebut cukup sederhana yakni jika material disinari dengan gelombang elektromagnetik maka foton akan diserap oleh elektron dalam material. Penentuan energi *band gap* dilakukan dengan menggunakan hubungan *Tauc* yang memiliki Persamaan 3.

$$(h\nu\alpha)^{1/n} = A(h\nu - E_g) \quad \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

h = konstanta Planck's

ν = Frekuensi vibrasi

α = Koefisien absorpsi

E_g = energi celah pita

A = Konstanta proporsi

Nilai eksponen n bergantung pada jenis transisi yang terjadi.

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

Spektrum hasil analisis DRS dikonversikan ke fungsi Kubelka-Munk. Dimana, sumbu vertikal merupakan nilai dari $F(R_\infty)$, yang mana setara dengan koefisien absorpsi. α dalam persamaan *Tauc* disubstitusikan dengan $F(R_\infty)$. Sehingga didapat persamaan 4.

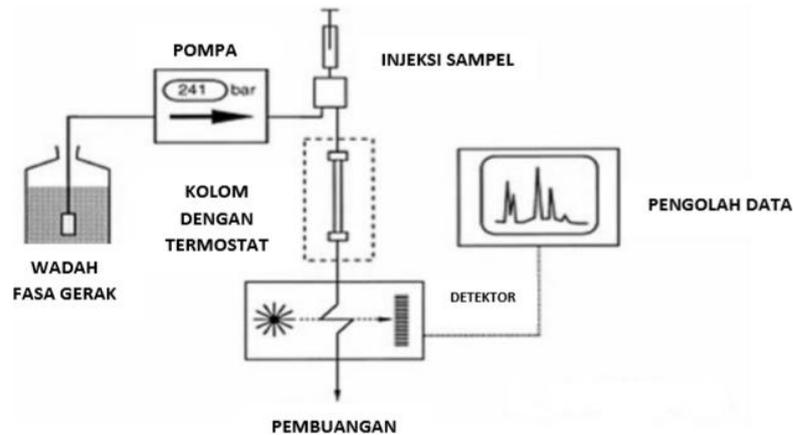
$$(h\nu F(R_\infty))^2 = A(h\nu - E_g) \quad \dots\dots\dots(4)$$

Selanjutnya dari perhitungan yang didapatkan dari persamaan Kubelka – Munk diplotkan ke dalam grafik $(h\nu F(R_\infty))^2$ vs $h\nu$. 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).

2.10. Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT)

Kromatografi merupakan suatu proses pemisahan dimana analit-analit dalam sampel terdistribusi antara dua fase, yaitu fase diam dan fase gerak. Fase diam dapat berupa bahan padat dalam bentuk molekul kecil atau dalam bentuk cairan yang dilapiskan pada pendukung padat atau dilapiskan pada dinding kolom. Fase gerak dapat berupa gas atau cairan. Jika gas digunakan sebagai fase gerak, maka prosesnya dikenal sebagai kromatografi gas. Dalam kromatografi cair dan juga kromatografi lapis tipis, fase gerak yang digunakan selalu cair (Rohman, 2009).

Kromatografi Cair Kinerja Tinggi atau KCKT merupakan teknik analisis untuk identifikasi zat/senyawa dan memisahkan serta mengukur jumlahnya dalam suatu larutan campuran. Teknik pemisahan ini diterima secara luas untuk analisis dan pemurnian senyawa tertentu dalam suatu sampel pada sejumlah bidang, antara lain: farmasi, bioteknologi, polimer, dan industri-industri makanan. Prinsip kerja KCKT pada dasarnya sama dengan kromatografi lapis tipis dan kromatografi kolom, yang membedakan adalah pada kolom (fase diam) KCKT memperbolehkan ukuran butir partikel yang lebih kecil sehingga memberi luas permukaan yang lebih besar untuk molekul-molekul yang lewat berinteraksi dengan fase diamnya. Hal ini membuat keseimbangan antar fase menjadi lebih baik dan efisien. Tekanan tinggi menyebabkan fase gerak berdifusi menjadi sekecil-kecilnya karena gerakan yang begitu cepat. Sehingga akan didapatkan hasil pemisahan komponen-komponen dari campuran yang sebaik-baiknya. Metode ini dapat digunakan pada senyawa yang tidak tahan terhadap panas dan berbobot molekul besar (Kupiec, 2004). Skema alat KCKT ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Skema alat KCKT.

Menurut Johnson dan Stevenson (1991) Sistem peralatan KCKT pada dasarnya terdiri atas :

a. Wadah fasa gerak

Wadah fasa gerak berfungsi menampung fasa gerak yang akan dialirkan ke dalam kolom. Biasanya wadah terbuat dari bahan yang inert terhadap fase gerak. Bahan yang umum digunakan adalah gelas dan baja anti karat. Fase gerak yang digunakan harus murni (tidak ada pencemar atau kontaminan) dan terbebas dari udara terlarut. Menghindari hasil akhir analisis yang memiliki banyak noise yang menyebabkan data tidak dapat digunakan.

b. Pompa

Pompa berfungsi menggerakkan fasa gerak melalui kolom. Dimana, pompa harus mampu menghasilkan tekanan tinggi sampai 6000 psi (400 atm).

c. Injektor

Injektor berfungsi memasukkan cuplikan ke dalam kolom. Pada saat penyuntikan, katup berputar sehingga fasa gerak mengalir melewati keluk sampel dan memasukkan sampel ke pangkal kolom.

d. Kolom

Kolom berfungsi memisahkan masing-masing komponen. Kolom merupakan jantung pada kromatografi. Keberhasilan atau kegagalan analisis dipengaruhi pada pemilihan kolom dan kondisi kerja yang tepat.

e. Detektor

Detektor berfungsi mendeteksi adanya komponen cuplikan dalam aliran yang keluar dari kolom. Terdapat beragam jenis detektor, penggunaannya harus selektif tergantung pada jenis komponen yang akan dipisahkan.

f. Pengolahan Data

Komponen yang terelusi mengalir ke detektor dan dicatat sebagai puncak-puncak yang secara keseluruhan disebut sebagai kromatogram.

Pengukuran analisis untuk fase gerak digunakan akuabides alkohol, kolom yang digunakan SCR-101C, dengan laju alir 1 mL/menit pada suhu 80°C. Hasil yang diperoleh untuk gula alkohol seperti gliserol, xylitol, sorbitol dan manitol kromatogramnya muncul pada waktu retensi kurang dari 10 menit. Untuk monosakarida seperti glukosa dan fruktosa dihasilkan pada rentang waktu retensi antara 5 –10 menit, sedangkan untuk disakarida (sukrosa dan laktosa) dihasilkan pada rentang waktu retensi 10 –15 menit. Hal ini disebabkan karena senyawa-senyawa yang berbeda memiliki waktu retensi yang berbeda. Uji aktivitas pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT). Larutan baku (sorbitol, manitol, dan xylitol) serta larutan sampel diinjeksikan ke KCKT dilakukan dengan waktu analisis 15 menit.

Pada identifikasi selulosa yang terkonversi menjadi gula alkohol, akan terlihat berupa data luas area puncak yang diambil dari kromatogram hasil pengukuran tiap larutan. Dari data tersebut, dibuat plot grafik antara luas area puncak (sumbu y) larutan baku terhadap konsentrasi larutan baku (sumbu x), kemudian dibuat persamaan garis linier dari plot menggunakan metode *least square*. Nilai luas

area puncak larutan sampel dibandingkan dengan persamaan *least square* yang diperoleh untuk mendapatkan nilai konsentrasi larutan sampel. Jika dilakukan pengenceran larutan sampel maka nilai konsentrasi larutan sampel dikalikan dengan faktor pengenceran. Konsentrasi sampel dapat dihitung dengan Persamaan 5.

$$C = \frac{Area-a}{b} \times Fp \quad \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

C = Konsentrasi selulosa dalam sampel (ppm)

Area = Luas area puncak untuk larutan sampel

a = Koefisien regresi untuk variabel y (variabel terikat)

b = Koefisien regresi untuk variabel x (variabel bebas)

Fp = Faktor pengenceran (Amalia, 2013).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan dari Agustus 2021 sampai dengan Maret 2022. Preparasi nanoselulosa dan nanokatalis serta uji aktivitas katalitik katalis dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik FMIPA Universitas Lampung. Analisis struktur kristal (XRD) dilakukan di Institut Teknologi Sepuluh November. Analisis gugus fungsi (FTIR) dan Analisis morfologi permukaan (SEM) dilakukan di UPT LTSIT Universitas Lampung. Analisis energi *band gap* (DRS) dilakukan di Universitas Indonesia. Analisis hasil konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol menggunakan HPLC dilakukan di PT. SIG Bogor.

3.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas laboratorium, blender, mortar *agate*, termometer, neraca analitik, *stirrer bar*, sentrifus merek Oregon LC-04R, *heating magnetic stirrer* merek Stuart heat-stir CB162, alat ultrasonikasi merek Delta D68H, *freeze-dryer*, *furnace*, oven merek Fisher Scientific (SEA), lampu UV merek Solar Glo E27 220V, *X-Ray Diffraction* (XRD) merek PanAnalytical E'xpert Pro, *Fourier Transform Infrared Spectrophotomete* (FTIR) Shimadzu IR Prestige-21, *Diffuse Reflectance Spectrophotometer* (DRS) merek Shimadzu, *Scanning Electron Microscope* (SEM) - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) merek Zeiss dan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) merek Alliance E2695.

Bahan-bahan yang akan digunakan adalah limbah kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca L.*), NaOH, NaClO₂, akuabides, buffer asetat, HNO₃, pektin, La(NO₃)₃.6H₂O (Merck, 99%), Cr(NO₃)₃.9H₂O (Merck,99%), Ti{OCH(CH₃)₂}₄ (Merck, 98%), 2-Propanol (Merck 98%) dan gas Hidrogen (BOC 99,99%).

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu preparasi nanoselulosa dari limbah kulit pisang kepok, preparasi nanokatalis LaCr_{0,98}Ti_{0,02}O₃, karakterisasi nanokatalis, dan uji aktivitas nanokatalis.

3.3.1. Preparasi Nanoselulosa dari Limbah Kulit Pisang Kepok

Kulit pisang kepok dicuci dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Kulit pisang yang sudah kering kemudian dihaluskan dengan menggunakan *dry-blender* dan disaring. Sebanyak 50 gram serbuk yang diperoleh dimasukkan ke dalam labu bundar, ditambahkan larutan 300 ml NaOH 4%, dan direfluks pada suhu 100-120 °C selama 2 jam. Hasil dari proses refluks tersebut kemudian disaring dan dicuci dengan air mengalir beberapa kali untuk memisahkan lignin dan hemiselulosa. Selanjutnya, dilakukan proses *bleaching* dengan cara memasukkan padatan selulosa ke dalam labu bundar dan ditambahkan 400 mL larutan NaClO₂ 1,7% dan 5 ml buffer asetat pH 5, lalu direfluks pada suhu 110-130 °C selama 4 jam. Kemudian didinginkan dan dicuci dengan akuades hingga diperoleh padatan putih selulosa. Selulosa yang diperoleh kemudian dikeringkan menggunakan *freeze-dryer* pada -39°C selama 24 jam (Zain *et al.*, 2014; Shankar and Rhim, 2016).

Nanoselulosa dibuat dengan cara menyiapkan bubuk selulosa sebanyak 10 gram dimasukkan dalam labu bundar 1 L dan ditambahkan larutan HNO₃ 35% . Campuran tersebut diultrasonikasi selama 4 jam lalu direfluks selama 5 jam dengan suhu 60°C sambil diaduk sebagai proses hidrolisis asam. Selanjutnya.

ditambahkan 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 dilakukan pencucian hingga pH cairan mendekati 7 untuk menghentikan reaksi berlebih yang terjadi saat proses hidrolisis asam. Suspensi koloid diultrasonikasi selama 60 menit dalam *ice-bath* dan dihilangkan pelarut yang masih ada dengan menggunakan *freeze dryer*. Nanoselulosa yang telah didapat kemudian disimpan pada suhu 4°C sebelum digunakan (Zain *et al.*, 2014; Shankar and Rhim, 2016). Selanjutnya, nanoselulosa yang sudah didapatkan kemudian dianalisis menggunakan instrumentasi *X-ray Diffraction* (XRD) untuk menghitung ukuran kristal nanoselulosa dengan persamaan 1 dan indeks kristalinitas menggunakan persamaan 2.

3.3.2. Preparasi Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$

Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ dibuat dengan cara melarutkan 20 gram pektin dalam 400 mL akuades menggunakan *heating magnetic stirrer* pada suhu ruang sampai diperoleh larutan yang homogen. Ditambahkan amoniak sebanyak 30-35 ml hingga pH larutan 11. Kemudian dimasukkan secara bersamaan tetes demi tetes La-nitrat (9,0656 gram $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam 324 mL akuades), dan Cr-nitrat (8,21001 gram $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dalam 276 mL akuades) ke dalam larutan pektin yang sebelumnya telah ditambah amoniak dengan menggunakan selang infus tetes demi tetes sambil diaduk dan dipanaskan menggunakan *heating magnetic stirrer* dengan suhu 100 °C hingga diperoleh larutan homogen yang berbentuk gel. Selanjutnya dilakukan *freeze drying* untuk menghilangkan uap air dan dikalsinasi sampai suhu 550 °C. Setelah dicapai suhu maksimal, pemanasan dihentikan dan didiamkan sampai mencapai suhu kamar. Didapatkan katalis LaCrO_3 dalam bentuk serbuk, kemudian dihaluskan dengan *mortar agate*, ditimbang dan disimpan dalam oven (Djayasinga and Situmeang, 2015).

Proses selanjutnya yaitu pembuatan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ dengan impregnasi logam Ti. Pertama, larutan $\text{Ti}\{\text{OCH}(\text{CH}_3)_2\}_4$ sebanyak 0,1214 gram dimasukkan ke dalam larutan 2-propanol sebanyak 50 mL. Selanjutnya dimasukkan serbuk LaCrO_3 yang telah dibuat, diaduk menggunakan *stirrer bar* kemudian dipanaskan dalam gelas beaker berukuran 1000 ml berisi air dengan suhu $40\text{ }^\circ\text{C}$ sampai diperoleh gel $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$. Selanjutnya, dilakukan *freezer-drying* untuk menghilangkan uap air dan dikalsinasi sampai suhu $700\text{ }^\circ\text{C}$. Katalis yang diperoleh digerus hingga halus menggunakan mortar agate, ditimbang dan dikarakterisasi.

3.3.3. Karakterisasi Nanokatalis

3.3.3.1. Analisis *X-ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi katalis yang dilakukan untuk analisis fasa dan struktur kristal dapat menggunakan alat *X-ray Diffraction* (XRD). Analisis XRD untuk mengetahui struktur kristal menggunakan program *Match*. Sejumlah sampel yang dianalisis ditembakkan berkas sinar-X dengan menggunakan radiasi $\text{CuK}\alpha$ ($1,5410\text{ \AA}$), akan dipantulkan dengan membentuk sudut difraksi (2θ) dalam rentang $10 - 80^\circ$, dengan step size $0,02^\circ/\text{menit}$ sebagai dasar pembentuk dari grafik difraktogram. Puncak-puncak pada difraktogram diidentifikasi menggunakan metode *Search Match* dengan standar file data sebagai acuan yang akan mencari data standar referensi dari database *Crystallography Open Database* (COD), yang mengacu pada *International Center for Diffraction Data* (ICDD) (Putz *et al.*, 2001) dengan mengambil 3 - 4 puncak dengan intensitas tertinggi dan identifikasi menggunakan data JCPDF dalam PCPDFwin 1997.

3.3.3.2. Analisis *Fourier Transform Infrared Spectrophotometer* (FTIR)

Analisis gugus – gugus fungsi nanokatalis dapat dilakukan secara kualitatif dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectrophotometer* (FTIR). Sampel katalis yang telah mengadsorpsi basa adsorbat dicampur dengan KBr, dengan perbandingan 1:50 atau 1:100. Kemudian sampel yang sudah dicampur dengan KBr dibentuk menjadi tablet, lalu dimasukkan ke dalam vessel sampel. Setelah itu sampel diukur menggunakan FTIR pada daerah bilangan gelombang 1200–2100 cm^{-1} (Rodiansono dkk., 2007). Interpretasi gugus fungsi dapat dilihat dari regangan gugus pada bilangan gelombang tertentu.

3.3.3.3. Analisis *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X- Ray Spectroscopy* (SEM-EDX)

Analisis morfologi permukaan katalis dilakukan dengan menggunakan instrumen SEM, sedangkan EDX digunakan untuk analisis komposisi unsur pada katalis. Setiap sampel dianalisis menggunakan analisis area, sinar elektron yang dihasilkan area dialihkan hingga mengenai sampel. Aliran sinar elektron ini selanjutnya difokuskan menggunakan elektron *optik columb* sebelum sinar elektron tersebut membentuk atau mengenai sampel. Setelah sinar elektron mengenai sampel, akan terjadi beberapa interaksi pada sampel yang disinari. Interaksi–interaksi yang terjadi tersebut selanjutnya akan terdeteksi dan diubah (Yurugi *et al.*, 2001).

3.3.3.4. Analisis DRS UV-VIS

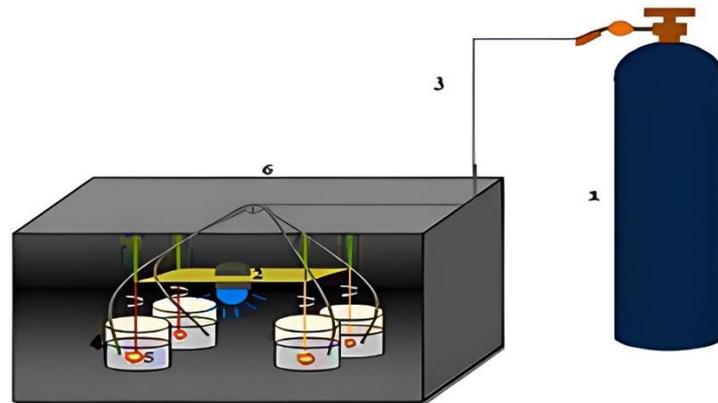
Energi celah pita dari katalis dapat ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer DRS UV-vis. Spektrum DRS UV-vis direkam menggunakan spektrofotometer Shimadzu UV-3600 yang diintegrasikan dengan tabung dengan diameter 15 cm. BaSO_4 digunakan sebagai referensi. Semua sampel yang telah mengandung BaSO_4 (1:50) digunakan untuk perhitungan (Tatarchuk *et al.*, 2017).

Sampel yang digunakan untuk pengukuran berupa bubuk dengan ukuran dibawah 100 mesh.

3.3.4. Uji Aktivitas Nanokatalis

3.3.4.1. Konversi Nanoselulosa menjadi Gula Alkohol

Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ digunakan untuk konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol. Sebanyak 0,5 gram nanoselulosa dilarutkan 100 mL akuabides dan ditambahkan 0,1 gram nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$, kemudian dialirkan gas hidrogen dengan laju 10 mL/menit. Setelah itu dipasangkan lampu sinar UV dengan daya sebesar 100 Watt, dimana posisi lampu sinar UV dengan rentang jarak 15 cm ke permukaan reaktor (Manurung *et al.*, 2015). Proses irradiasi sinar UV pada konversi selulosa pada variasi waktu kontak penyinaran, yaitu 30, 60, 90, 120, 180 dan 240 menit. Setiap variabel waktu diambil 10 mL sebagai sampel yang akan dianalisis dengan instrumentasi KCKT. Perlakuan yang sama dilakukan untuk uji blanko, yaitu dua larutan nanoselulosa yang dilakukan uji katalitiknya. Larutan nanoselulosa pertama dikonversi dengan iradiasi sinar UV tanpa ditambahkan dengan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ dan larutan nanoselulosa kedua ditambahkan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ kemudian dikonversi tanpa menggunakan iradiasi sinar UV. Hal ini dilakukan sebagai pembandingan dari hasil uji katalitik nanoselulosa menggunakan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ dan iradiasi sinar UV. Rangkaian alat untuk uji katalitik dengan iradiasi sinar UV ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Rangkaian alat konversi nanoselulosa dengan iradiasi sinar UV.

Keterangan:

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1. Tabung gas H ₂ | 4. Wadah berisi larutan selulosa dan nanokatalis |
| 2. Lampu UV | 5. Alat pengaduk |
| 3. Selang penyalur gas H ₂ | 6. Ruang gelap tempat iradiasi sinar UV |

3.3.4.2. Analisis Kuantitatif Hasil Konversi

Analisis kuantitatif untuk hasil konversi nanoselulosa dilakukan menggunakan reagen DNS (asam 3,5-dinitrosalisilat) dan diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Sampel hasil konversi sebanyak 1ml dimasukkan ke dalam tabung reaksi, ditambahkan 1 mL reagen DNS dan akuades sebanyak 2 mL. Kemudian dipanaskan campuran larutan selama 10 menit pada suhu 100 °C. Diukur absorbansi tiap larutan menggunakan spektrofotometer UV-Vis diukur pada bilangan gelombang 540 nm (Ceirwyn, 1995). Nilai absorbansi yang diperoleh diplotkan pada kurva standar glukosa untuk mengetahui konsentrasi glukosa pada sampel.

Selanjutnya, sampel dengan konsentrasi glukosa tertinggi dianalisis lebih lanjut dengan instrument HPLC untuk mengetahui adanya kandungan gula alkohol seperti sorbitol, manitol dan xylitol dari aktivitas katalitik nanofotokatalis pada

nanoselulosa. Pada instrumentasi HPLC, fase gerak yang digunakan merupakan campuran asetonitril dan akuabides. kolom yang digunakan adalah kolom *Carbohydrate High Performance* (4,6 x 250 mm), dan detektor indeks refraksi. Laju alir yang digunakan adalah 1,4 mL/menit dengan suhu 35 °C.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Selulosa dari limbah kulit pisang kepok dipreparasi menghasilkan selulosa berukuran nano dengan ukuran kristal sebesar 20,17 nm dan indeks kristalinitas sebesar 38,064%.
2. Katalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ dipreparasi menggunakan metode sol gel pada temperatur kalsinasi 700 °C menghasilkan katalis berukuran nano dengan ukuran kristal sebesar sebesar 67,65 nm.
3. Nilai energi celah pita dari nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ menggunakan DRS UV-Vis sebesar 2,97 eV yang menunjukkan bahwa nanokatalis dapat bekerja dibawah pengaruh sinar UV.
4. Hasil uji kuantitatif menggunakan reagen DNS menunjukkan bahwa konversi nanoselulosa menjadi gula pereduksi dengan konsentrasi terbesar 132,11 ppm pada waktu irradiasi 120 menit.
5. Hasil analisis KCKT dari nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Ti}_{0,02}\text{O}_3$ menunjukkan tidak terdeteksi adanya gula alkohol.

5.2. Saran

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

1. Melakukan analisis lanjut terhadap larutan hasil konversi berwarna kuning kecoklatan dengan kemungkinan adanya senyawa furfural dan asam levulinat.
2. Melakukan karakterisasi luas permukaan, sehingga dapat diketahui pasti ukuran luas permukaan dan pori – porinya yang harus digunakan untuk reaksi konversi nanoselulosa.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. V., Yudistira, Nirmin dan Khairurrijal. 2008. Sintesis Nanomaterial. *Journal Nanosains dan Nanoteknologi*. 1: 33–36.
- Amalia, R. 2013. Studi Pendahuluan Konversi Selulosa Menjadi Gula Alkohol dengan Katalis $\text{NiFe}_2\text{-xO}_4$ dengan Variabel $x=0,5; 0,8$ dan 1. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 47-49.
- Bermejo E., Dantas, T., Lacour, C. and Querton, M. 1997. Mechanism of Formation of Nanocrystalline Hematite Prepared by Freeze-Drying. *Material Research Bulletin*. 30 (5): 645-652.
- Bhimte, N.A., and Tayade, P.T. 2007. Evaluation of Microcrystalline Cellulose Prepared From Sisal Fibers as a Tablet Excipient: A Technical Note. *AAPS Pharm SciTech*, 8 (1): 1.
- Campbell, I.M. 1988. *Catalyst at surfaces*. Chapman and Hall. New York. 1–3.
- Ceirwyn, S.J. 1995. *Analytical Chemistry of Foods*. Blackie Acad and Professional. London. 178.
- Chandel, A. K., Chan, ES., Rudravaram, R., Narasu, M. L., Rao, L. V., & Ravindra, P. 2007. Economics and Environmental Impact of Bioethanol Production Technologies: An Appraisal. *Biotechnology and Molecular Biology Review*, 2 (1): 014-032.
- Cheng, K., Virginie, M., Ordonsky, V.V., Cordier, C., Chernavskii, P.A., Ivantsov, M.I., Sebastien, P., Wang Y., and Khodakov, A.Y. 2015. Pore Size Effect in High-Temperature Fisher-Tropsch Synthesis Over Supported Iron Catalysts. *Journal of Catalysis*. 328. 139-150.
- Ciolacu, D., Ciolacu, F. and Popa, V.. 2011. Amorphous Cellulose – Structure and Characterization. *Cellulose Chemistry and Technology*. 45 : 13.
- Costa, L.A.S., Asisi, D.J., Gomes, G.V.P., Silva, J.B.A., Fonseca, A.F., and J. I. Druzian. 2015. Extraction and Characterization of Cellulose Nanocrystals From Corn Stover. *Cellulose and Chemistry Technology*. 49 (2) : 287-294.

- Cullity, B. D. 1978. Element of X-Ray Diffraction. *Departement of Metallurgical Engeenering and Materials Science*. Addison-Wesley Publishing Company Inc: USA. 277-281.
- Djayasinga, R. and Situmeang, R. 2015. Preparation and Characterization of Nanosize Spinel $\text{Ni}_{0,9}\text{Fe}_2\text{Cu}_{0,1}\text{O}_4$ using Pectin as Binding Agent. *Proceedings of the International Conference Science and Science Education Faculty of Science and Mathematics Satya Wacana Christian University*. 48-55.
- Edahwati L, Susilowati, Harsini, dan Tutuk. 2013. Produksi pektin dari kulit buah coklat (*Theobroma cacao*). *Skripsi*. Universitas Pembangunan Nasional. Yogyakarta. 121–124.
- Fitriani. 2003. Produksi Bioetanol Tongkol Jagung (*Zea mays*) dari Hasil Proses Delignifikasi. *Jurnal of Natural Science*, 2(3): 66-74.
- Fukuoka, A., Kobayashi, Y., Ito, T., Komanoya, Y., Dhepe, P.L., Kasai, K., and Hara, K. 2011. Synthesis of Sugar Alcohols by Hydrolytic Hydrogenation of Cellulose Over Supported Metal Catalysts. *Green Chemistry*, 13: 326 – 333.
- Girao, A.V. 2017. *Application Of Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)*. University Of Aveiro. Portugal. 154-158.
- Goldberg, I. 1994. *Functional Foods*. Chapman. New York. 37 – 219.
- Habibi, Y., Lucia, L. A. and Rojas O. J. 2010. Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, and Applications. *Chemical review*. 6: 3479-3500.
- Hanke, L. D. 2001. *Handbook of Analytical Methods for Materials*. Plymouth: Materials Evaluation and Engineering Inc. 35-38.
- Hansen, T.S., Boisen, A., Woodley, J.M., Pedersen, S., and Riisager, A. 2006. Production of HMF from Aqueous Fructose. *Microwave Study*. 8: 1–2.
- Hariani, P.L., Riyanti, F. and Asmara, R.D. 2016. Extraction of Cellulose From Kepok Banana Peel (*Musa paradisiaca* L.) for Adsorption Procion Dye. *Molekul*. 11(1): 135-142.
- Isdin, O. 2010. Nanoscience in nature: Cellulose Nanocrystals. *Study Undergraduate Research at Guelph*. 3.
- Ji, N., Zhang, T., Zheng, M., Wang, A., Wang, H., Wang, X. and Chen, J. G. 2008. Direct Catalytic Conversion of Cellulose into Ethylene Glycol Using Nickel- Promoted Tungsten Carbide Catalysts. *Angewandte Chemie*, 47: 8510– 8513.

- Johnson, E.L., and Stevenson, R. 1991. Dasar – Dasar Kromatografi Cair. Terjemahan oleh Kosasih Padmawinata. ITB. Jakarta. 361 – 365.
- Khawas, P. and Deka, S. C. 2016. Isolation and Characterization of Cellulose Nanofibers From Culinary Banana Peel using High-Intensity Ultrasonication Combined With Chemical Treatment. *Carbohydrate Polymers*, 137 : 608-616.
- Kirk, R.E. and Otmer, D.F. 1994. *Encyclopedia of Chemical Tecnology 3rd Edition*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 592-593 and 820-834.
- Kongsong, P., Sikong, L., Niyomwas, S. and Rachpech, V. Photocatalytic Antibacterial Performance of Glass Fibers Thin Film Coated with N-Doped SnO₂/ TiO₂. *The Scientific World Journal*. 1-9.
- Kupiec, T. 2004. Quality-Control Analytical Methods: High-Performance Liquid Chromatography. *International Journal of Pharmaceutical Compounding*. 8: 223-227.
- 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. *Appl Catal a General*. 172: 233–239.
- Liapis, A.I., and Bruttini, R. 1994. A Theory for the Primary and Secondary Drying Stages of the Freeze-drying of Pharmaceutical Crystalline and Amorphous Solutes: Comparison between Experimental Data and Theory. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 201: 1675 – 1687.
- Lindawati. 2017. Uji Aktivitas Nanofotokatalis LaCr_{0,98}Mo_{0,02}O₃ yang Diiradiasi Sinar UV Untuk Konversi Nanoselulosa Menjadi Gula Alkohol. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. 64.
- Liu, Y., Chen, L., Wang, T., Xu, Y., Zhang, Q., Ma, L., Liao, Y. and Shi, N. 2014. Direct Conversion of Cellulose into C6 Alditols Over Ru/C Combined with H⁺ - Released Boron Phosphate in an Aqueous Phase. *Royal Society of Chemistry Advances*, 4(94): 52402–52409.
- MacChesney, J.B. and Sauer, H.A. The System La₂O₃—TiO₅ ; Phase Equilibria and Electrical Properties. *Journal of The American Ceramic Society*. 45 (9) : 416.
- Malvino, A.P. 1989. *Aproksimasi Rangkaian Semi Konduktor (Pengantar Transistor Rangkaian Terpadu)*. Erlangga. Jakarta. 487-494.
- Manendar, R. 2010. Pengolahan Limbah Cair Rumah Pematangan Hewan (RPH) Dengan Metode Fotokatalitik TiO₂ : Pengaruh Waktu Kontak Terhadap

Kualitas BOD₅, COD, dan pH Efluen. *Tesis*. Kesehatan Masyarakat Veteriner Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

- Manurung, P., Situmeang, R., Ginting, E. and Pardede, I. 2015. Synthesis and Characterization of Titania-Rice Husk Silica Composites as Photocatalyst. *Indonesian Journal of Chemistry*. 15: 38-40.
- Mathur, N. K. and Mathur, V. 2001. *Chemical Weekly. July Edition*. 155.
- Mills, A. dan Hunte, S.L. 1997. An Overview of Semiconductor Photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A-chemistry. J Photochem Photobiol A-Chem*. 108(1): 1 – 35.
- Nelson, M.L. and O'Connor, R.T. 1964. Relation of Certain Infrared Bands to Cellulose Crystallinity and Crystal Lattice Type Part II, A New Infrared Ratio for Estimation of Crystallinity in Cellulose I and II. *Journal of Applied Polymer Science*. 8: 1325-1341.
- Pinna, F. 1998. Supported Metal Catalyst Preparation. *Catalysis Today*. 41: 129 – 137.
- Prangdimurti E., Palupi, N.S. dan Zakaria, F.R. 2007. *Metode Evaluasi Nilai Biologis Karbohidrat dan Lemak (Modul e-Learning ENBP)*. Departemen Ilmu & Teknologi Pangan-Fateta-IPB. Bogor. 3-6.
- Puspitasari, Dwi, D., Natalia, Endahwati, dan Luluk. 2008. Ekstraksi Pektin dari Ampas Nanas. *Jurnal Nasional Soebardjo Brotohardjono-Pengolahan Sumber Daya Alam dan Energi Terbarukan*. 1978-2427.
- Putz, H., Schon, J.C., and Jansen, M. 2001. Combined Method for Ab Initio Structure Solution from Powder Diffraction Data. *Journal Applied Crystallography*. 32 : 864-870.
- Rodiansono, W., Trisunaryanti dan Triyono. 2007. Pembuatan, Karakterisasi dan Uji Aktifitas Katalis NiMo/Z dan NiMo/Z-Nb₂O₅ pada Reaksi Hidrorengkah Fraksi Sampah Plastik Menjadi Fraksi Bensin. *Berkala MIPA*, 17: 44–54.
- Rohman, A. 2009. *Kromatografi untuk Analisis Obat*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Sankari, G., Kriahnamoorthy, E., Jayakumaran, S., Gunaekaran, S., Priya, V.V., Subramanlam, S. and Mohan, S.K.. 2010. Analysis of Serum Immunoglobulins using Fourier Transform Infrared Spectral Measurements. *Biology and Medicine*. 2 (3): 42-48.
- Sari, L.P. 2019. Konversi Nanoselulosa Dari Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca L.*) Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanokomposit 1%

V/LaCrO₃ Di Bawah Irradiasi Sinar UV. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. 74.

Segal, L., Creely, J. J., Martin Jr, A. E., and Conrad, C. M. 1959. An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Celulose Using the X-Ray Diffractometer. *Textile Research Journal*. 29 : 786-794.

Shankar, S., and Rhim, J. W.. 2016. Preparation of Nanocellulose from Microcrystalline Cellulose: The Effect on the Performance and Properties of Agar-Based Composite Films. *Carbohydrate Polymers*. 135 : 18-26.

Silverstein, R.M. and Webster, F.X. 1962. *Spectrometric Identification of Organic Compounds, Sixth Edition*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 82-83.

Situmeang, R., Tamba, M., Simarmata, E., Yuliarni, T., Simanjuntak, W., Sembiring, Z., Sembiring, S. 2019. LaCrO₃ Nanophotocatalyst : The Effect of Calcination Temperature On Its Cellulose Conversion Activity Under UV-Ray Irradiation. *Journal of Advanced Natural Science : Nanoscience and Nanotechnology*, 10 : 1-8.

Stefanidis, S.D., Kalogiannis, K.G., Iliopoulou, E.F., Lappas, A.A., and Pilavachi, P.A. 2011. In-situ Upgrading of Biomass Pyrolysis Vapors: Catalyst screening on a Fixed Bed Reactor. *Bioresour Technol*. 102 (17): 8261–8267.

Taherzadeh, M.J. and Karimi, K. 2007. A Review : Acid-Based Hydrolysis Processes for Ethanol from Lignocellulosic Materials. *Bioresources*. 2 : 472-499.

Tatarchuk, A., 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 CoFe₂O₄ Nanoparticles. *Nanoscale Research Letter*. 12 : 141.

Teixeira, D.M.E., Daniel, P., Antônio, A.S.C., Elisângela, C., Mohamed, N.B. and Alain, D. 2009. Cassava Bagasse Cellulose Nanofibrils Reinforced Thermoplastic Cassava Starch. *Carbohydrate Polymers*, 78: 422-431.

Thermo, N. 2001. *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*. Thermo Nicolet Corporation. USA. 3-4.

Tipler, P. A. 1991. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Terjemahan oleh Lae Prasetio. Erlangga. Jakarta. 245.

- Toukoniitty, B., Kuusisto, J., Mikkola, J.-P., Salmi, T., and Murzin, D. Y. 2005. Effect of Ultrasound on Catalytic Hydrogenation of D-Fructose to DMannitol. *American Chemical Society*, 44 : 9370 - 9375.
- Towle, G.A., and Christensen, O. 1973. *Pectin in R.L Whistler (ed.) Industrial Gum*. Academic Press. New York. 429.
- Van de Vyver, S., Geboers, J., Dusselier, M., Schepers, H., Vosch, T., Zhang, L., Van Tendeloo, G., Jacobs, P.A. and Sels, B.F. 2010. Selective Bifunctional Catalytic Conversion of Cellulose over Reshaped Particles at the Tip of Carbon Nanofibers. *ChemSusChem*. 3 : 6.
- Voutou, B. and Stefanaki, E.C. 2008. Electron Microscopy The Basic Physics of Advanced Materials. *Chemical Instrumental*. 2: 7-9.
- Wahyuni, S., Setyani A., Priatmoko S., Wibowo E.A.P., and Amin N. 2017. Synthesis and Characterization of TNTs/Polyaniline Composite as Photocatalyst Degradation of Rhodamin B by Visible Light. *International Conference on Natural Resources and Life Sciences*. 5 : 41-50.
- Wang, S., Du, Y., Zhang, W., Cheng, X. and Wang, J. 2014. Catalytic Conversion into 5-Hydroxymethylfurfural over Chromium Trichloride in Ionic Liquid. *Korean Journal of Chemical Engineering*. Springer US. 31 (10) : 1786 –1791.
- Widegren, J.A., Finke, R.G., and Mol, J. 2003. Preparation of a Multifunctional Core Shell Nanocatalyst and its Characterization by HRTEM. *Journal of Catalysis*, 191: 187.
- Wu, R.L., Wang, X.L., and Wang, Y.Z. 2009. Green Composite Films Prepared from Cellulose, Strach, and Lignin in Room-Temperature Ionic Liquid. *Bioresource Technology*. 100: 2569–2574.
- Wustenber, H., and Hahn. 1981. *ICDD Grant-in-Aid*. Inst. fur Kristallogr. Technische Hochschule. Aachen, Germany. JCPDS : 33-0702.
- Yurugi, T., Sukehiro, I., Yoshinori, N. and Sykes, K. 2001. The Technology Alliance for Analytical Instruments: SEM/EDX-Integrated Analysis System SEMEDX Series. *Readout*. 22: 15-18.
- Yuwono, A.H., Dhaneswara, D., Ferdiansyah, A. dan Rahman, A. 2011. Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna Berbasis Nanopartikel TiO₂ Hasil Proses Sol-Gel dan Perlakuan Paska Hidrotermal. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 127–140.

Zain, S.K., Lee, H.V., and Hamid, S.B.A. 2014. Conversion of Lignocellulosic Biomass to Nanocellulose: Structure and Chemical Process. *The Scientific World Journal*, 11: 20.

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 : 1673–1676.