

**KONVERSI NANOSELULOSA DARI LIMBAH KULIT PISANG
KEPOK MENJADI GULA ALKOHOL MENGGUNAKAN
NANOKATALIS $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ DENGAN DIIRIDASI
MENGGUNAKAN SINAR UV**

(Skripsi)

Oleh

Rika Meliana Putri



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

ABSTRAK

KONVERSI NANOSELULOSA DARI LIMBAH KULIT PISANG KEPOK MENJADI GULA ALKOHOL MENGGUNAKAN NANOKATALIS $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ DENGAN DIIRIDASI MENGGUNAKAN SINAR UV

Oleh

Rika Meliana Putri

Konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol telah dilakukan pada penelitian ini dengan bantuan nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ dengan irradiasi sinar UV. Nanoselulosa dipreparasi dari bahan awal yaitu limbah kulit pisang kepok dengan melalui beberapa tahapan yaitu delignifikasi, *bleaching*, dan hidrolisis menggunakan asam nitrat disertai dengan proses sonikasi. Nanoselulosa yang dihasilkan memiliki indeks kristalinitas sebesar 38,064 % dan ukuran kristal sebesar 20,17 nm. Nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ dipreparasi dengan dua metode yaitu metode sol-gel dan impregnasi logam prekursor LaCrO_3 dengan logam titanium isopropoxide menggunakan larutan 2-propanol. Preparasi yang dilakukan dengan kalsinasi pada temperature 700°C . Hasil dari analisis nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ menggunakan XRD terlihat bahwa nanokatalis didominasi fasa kristalin LaCrO_3 , $\text{LaCr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_3$, dan La_2CrO_6 dan memiliki ukuran kristal 67,67 nm. Hasil analisis SEM-EDX terjadi penyebaran hampir merata dari partikel nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$, memiliki morfologi yang heterogen, dan mempunyai kristal yang berbentuk tetragonal. Pada hasil analisis DRS UV-Vis energi celah pita nanokatalis sebesar 2,77 eV. Hasil FTIR menunjukkan adanya interaksi antara nanokatalis dan nanoselulosa ditandai dengan munculnya vibrasi ulur C-O-C dari ikatan β -(1,4) glikosida pada daerah $1028,7\text{ cm}^{-1}$. Uji DNS mengindikasikan bahwa hasil terbaik diperoleh pada waktu konversi 240 menit memiliki presentase nanoselulosa yang terkonversi 40.2% dengan konsentrasi glukosa sebesar 136,73 ppm. Hasil analisis KCKT dari nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ mengindikasikan bahwa nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ bisa digunakan untuk mengkonversi nanoselulosa menjadi gula pereduksi berupa ribosa tetapi untuk mengkonversi nanoselulosa menjadi gula alkohol belum bisa mendapatkan hasil yang optimal.

Kata Kunci : Nanokatalis, nanoselulosa, gula alkohol, irradiasi sinar UV, konversi

ABSTRACT

NANOCELLULOSE CONVERSION FROM BANANA SKIN WASTE KEPOK BECOME SUGAR ALCOHOL USING NANOCATALYST $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ WITH IRRADIATION USING UV LIGHT

By

Rika Meliana Putri

The conversion of nanocellulose into sugar alcohols has been carried out in this study with the help of nanocatalysts $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ with UV irradiation. Nanocellulose was prepared from the starting material, namely kepok banana peel waste by going through several stages, namely delignification, bleaching, and hydrolysis using nitric acid accompanied by a sonication process. The resulting nanocellulose has a crystallinity index of 38.064% and a crystal size of 20.17 nm. Nanocatalyst $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ was prepared by two methods, namely the sol-gel method and the impregnation of precursor metal LaCrO_3 with titanium isopropoxide metal using a 2-propanol solution. The preparation was carried out by calcining at a temperature of 700°C. Results of nanocatalyst analysis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ Using XRD it was seen that the nanocatalyst was dominated by the LaCrO_3 crystalline phase. $\text{LaCr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_3$, and La_2CrO_6 and has a crystal size of 67.667 nm. The results of the SEM-EDX analysis showed an almost uniform distribution of the nanocatalyst particles $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$, which has a heterogeneous morphology and tetragonal crystals. In the results of the UV-Vis DRS analysis, the band gap energy of the nanocatalyst is 2.77 eV. The FTIR results show that there is an interaction between nanocatalyst and nanocellulose which is indicated by the appearance of COC stretching vibrations from the (1,4) glycoside bond in the 1028.7 cm^{-1} regions. . The DNS test indicated that the best results were obtained at a conversion time of 240 minutes having a percentage of nanocellulose converted to 40.2% with a glucose concentration of 136,73 ppm. HPLC analysis results from nanocatalyst $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ indicates that the nanocatalyst $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ can be used to convert nanocellulose into reducing sugar in the form of ribose but to convert nanocellulose into sugar alcohol has not been able to get optimal results.

Keywords: Nanocatalyst, nanocellulose, sugar alcohol, UV light irradiation, conversion

**KONVERSI NANOSELULOSA DARI LIMBAH KULIT PISANG
KEPOK MENJADI GULA ALKOHOL MENGGUNAKAN
NANOKATALIS $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ DENGAN DIIRIDASI
MENGGUNAKAN SINAR UV**

Oleh

Rika Meliana Putri

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 NANOSELULOSA DARI LIMBAH KULIT
PISANG KEPOK MENJADI GULA ALKOHOL
MENGUNAKAN NANOKATALIS $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$
DENGAN DIIRIDASI MENGGUNAKAN SINAR UV**

Nama Mahasiswa

: **Rika Meliana Putri**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1617011070**

Jurusan

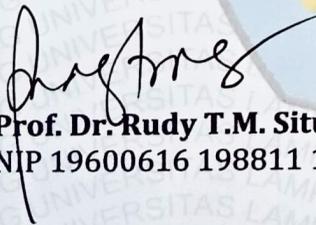
: **Kimia**

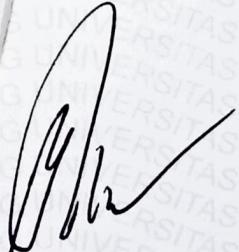
Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

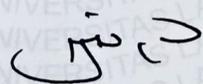


1. **Komisi Pembimbing**


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


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

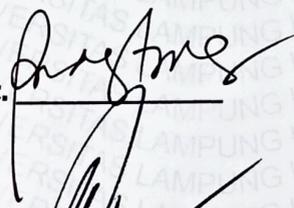
2. **Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung**


Mulyono, Ph.D.
NIP 19740611 200003 1 002

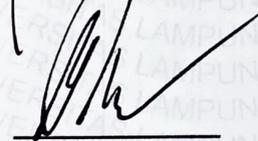
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

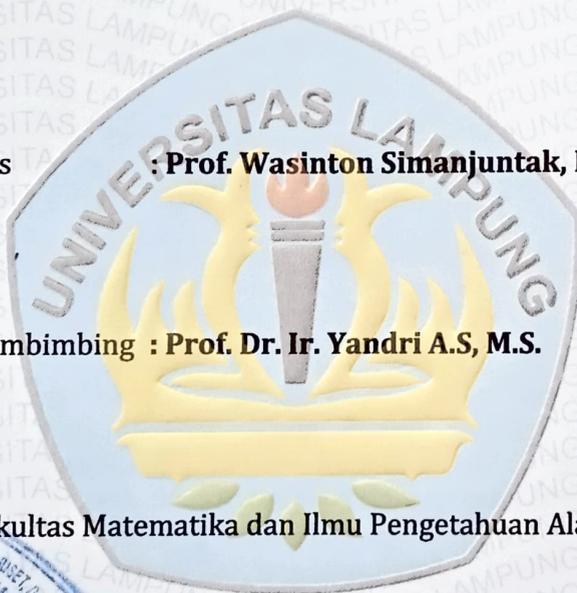
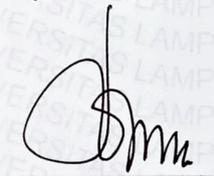
Ketua : Prof. Dr. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc.



Sekretaris : Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Yandri A.S, M.S.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP.19740705 200003 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 10 November 2022

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rika Meliana Putri
Nmor Pokok Mahasiswa : 1617011070
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“Konversi Nanoselulosa Dari Limbah Kulit Pisang Kepok Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ Diiridasi Menggunakan 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.

Pandar Lampung, 12 Desember 2022



Kika Meliana Putri
NPM. 1617011070

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di kota Prabumulih, Sumatera Selatan pada tanggal 09 Mei 1999 sebagai anak pertama dari dua bersaudara, yang merupakan buah hati dari pasangan suami istri dari bapak Maiyucik, A.Md. dan ibu Mareni Ferlin, A.Md.Kep. Jenjang pendidikan penulis diawali dari sekolah dasar SD Negeri 40 Prabumulih dan diselesaikan pada tahun 2010. Lalu, dilanjutkan ke jenjang sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Prabumulih dan diselesaikan pada tahun 2013, setelah menyelesaikan jenjang sekolah menengah pertama, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sekolah menengah atas di SMA Negeri 3 Prabumulih yang diselesaikan pada tahun 2016. Pada tahun yang sama, penulis juga diterima untuk melanjutkan pendidikan dan terdaftar sebagai Mahasiswi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum kimia dasar I dan Kimia Biologi Terapan untuk Mahasiswa Biologi pada tahun 2019, menjadi asisten praktikum Kimia Fisik pada tahun 2019, serta menjadi asisten praktikum Kimia Dasar II untuk jurusan Biologi pada tahun 2020. Pengalaman organisasi penulis dimulai sebagai Kader Muda Himpunan Mahasiswa Kimia (KAMI) FMIPA Unila dan menjadi Anggota Muda BEM FMIPA Unila tergabung dalam departemen PSDM. Selanjutnya, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Unila dan sebagai anggota BEM FMIPA Unila pada Departemen PSDM pada periode 2017.

MOTTO

*“Percaya dan bertindaklah seolah-olah tidak mungkin gagal” —
Charles Kettering*

“Jangan biarkan hatimu berlarut-larut dalam kesedihan atas masa lalu, atau itu akan membuatmu tidak akan pernah siap untuk menghadapi apa yang akan terjadi.” - Ali bin Abi Thalib

“Semua ada waktunya, jangan membandingkan hidupmu dengan hidup orang lain. Tidak ada perbandingan antara matahari dan bulan, mereka bersinar saat waktunya tiba”

(Penulis)

PERSEMBAHAN

*Dengan segala rasa syukur kepada Allah SWT
kupersembahkan karya ini kepada :*

*Kedua Orangtuaku yang telah banyak berjasa dalam hidupku
dari dalam kandungan hingga saat ini. Merekalah yang telah
memberikan doa, dukungan, motivasi, semangat, dan kasih
sayang yang tidak bisa dinilai dengan apapun.*

*Saudariku yang tak hentinya menjadi tempat ceritaku, tempat
bermain, dan sebagai teman disegala kesempatan.*

*Dosen-Dosen Pembimbing dan pembahas yang selalu sabar
dalam membimbingku.*

*Partner satu timku yang selalu memberikan semangat dan
melangkah bersamaku.*

*Seseorang yang telah menyayangiku, membantuku,
mengingatkanku, memberikan semangat serta saran untukku.*

*Para sahabat-sahabatku, kakak S2 beserta adik-adik
seperbimbinganku yang telah memberikan bantuan, semangat,
dan motivasi untukku.*

Serta teman-teman seperjuangan Kimia 2016.

Dan Almamater tercinta, Universitas Lampung.

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin. Segala puji dan syukur hanya milik Allah SWT yang senantiasa menganugerahkan ilmu pengetahuan kepada manusia dengan perantara alam, sehingga atas kehendak dan izin-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Konversi Nanoselulosa Dari Limbah Kulit Pisang Kepok Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ Diiridasi Menggunakan Sinar UV”** dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat serta pengikutnya yang setia hingga Yaumul Akhir. Amin.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Tidak sedikit kendala yang dihadapi penulis dalam pelaksanaan serta dalam penulisan skripsi ini, tetapi *Alhamdulillah*, Allah menunjukkan kemurahan-Nya melalui orang-orang yang dipercaya untuk membantu penulis, sehingga kendala tersebut dapat terlewati dengan baik. Pada kesempatan kali ini ucapan terima kasih setulus hati diberikan kepada:

1. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Maiyucik dan Ibu Mareni Ferlin 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, dukungan, dan diskusi-diskusinya 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, dukungan, dan motivasi 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. Ir. Yandri A.S, M.S., selaku pembahas atas semua saran, kritik, dan nasihat yang membantu dalam penyusunan skripsi ini.
6. Ibu Dr. Nurhasana, M.Si., 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. Adikku Aghita Namira Yuliza yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis.
12. Mohammad Faikar Razzaq., seseorang yang telah dihadirkan oleh Allah SWT, yang insyaallah akan menjadi pendampingku nanti.
13. Partner penelitianku Nabitaliah untuk kerjasama, dukungan, motivasi, dan kebersamaannya dalam suka maupun duka selama melakukan penelitian sehingga semua dapat berjalan lancar sampai akhir.
14. Teman – temanku tersayang Krisanti W.P, Selvy S., Amilia A., Novia I.N., Anita A., Tirza P.L., Lailla H., Istikomah dan Agusman B.J., atas dukungan, semangat dan canda tawa yang diberikan.
15. Kakak – kakak S2 terutama kak Della dan adik – adik sebimbingan atas bantuan dan dukungan yang diberikan.
16. Teman-teman kelas B atas kebersamaan, canda tawa dan bantuan selama masa perkuliahan.
17. Rekan-rekan keluarga Kimia Angkatan 2016 yang telah memotivasi dan memberikan dukungan.
18. Keluarga besar HIMAKI FMIPA Universitas Lampung.

19. 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,

Rika Meliana Putri

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	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Nanopartikel.....	7
2.2. Katalis	8
2.3. Nanokatalis.....	11
2.4. Senyawa Perovskite	12
2.5. Reaksi Fotokatalitik	14
2.6. Metode Preparasi Katalis	15
2.6.1. Sol-Gel	15
2.6.2. Pengeringan Beku (<i>Freeze Drying</i>)	16
2.6.3. Impregnasi.....	17
2.6.4. Kalsinasi.....	18
2.7. Pektin.....	18
2.8. Karakterisasi Nanokatalis.....	19
2.8.1. Analisis Gugus Fungsi dan Interaksi Nanokatalis	19

2.8.2.	Analisis Fasa Kristalin dan Ukuran Partikel Nanoatalis dan Nanoselulosa	21
2.8.3.	Analisis Morfologi Permukaan dan Komposisi Unsur Nanokatalis	23
2.8.4.	Analisis Energi Celah Pita Nanokatalis	24
2.9.	Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT).....	26
2.10	Selulosa	28
2.11	Nanoselulosa	30
2.12	Gula Alkohol.....	31
2.12.1	Sorbitol.....	32
2.12.2	Manitol	33
2.12.3	Xylitol	34
III.	METODE PENELITIAN	36
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	36
3.2	Alat dan Bahan.....	36
3.3	Prosedur Penelitian.....	37
3.3.1	Ekstraksi Selulosa dari Kulit Pisang Kepok.....	37
3.3.2	Pembuatan Nanoselulosa	38
3.3.3	Preparasi Nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$	38
3.3.4	Karakterisasi Nanokatalis.....	39
3.3.5	Uji Aktivitas Katalis.....	40
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1	Sintesis Nanokatalis	43
4.1.1	Sintesis $\text{LaCr}_{0.99}\text{O}_3$	43
4.1.2	Sintesis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$	45
4.2	Karakterisasi Katalis	47
4.2.1	Analisis Struktur Kristal Nanokatalis.....	47
4.2.2	Analisis Gugus Fungsi	50
4.2.3	Analisis Morfologi dan Komposisi Permukaan Katalis.....	53
4.2.4	Analisis Energi Celah Pita	55
4.3	Ekstraksi Kulit Pisang Kepok	58
4.4	Pembuatan Nanoselulosa Kulit Pisang Kepok	59
4.5	Karakterisasi Nanoselulosa Kulit Pisang Kepok.....	60

4.5.1	Analisis Derajat Kristalinitas	60
4.6	Uji Aktifitas Fotokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$	61
4.7	Analisis Gula Pereduksi	62
4.7.1	Penentuan Kadar Gula Pereduksi dengan Reagen DNS	62
4.7.2	Analisis dengan Kromatografi Cair Tinggi (KCKT)	64
V. KESIMPULAN DAN SARAN		66
5.1.	Kesimpulan.....	66
5.2.	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA		68
LAMPIRAN.....		80
Lampiran 1.	Skema Preparasi katalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$	81
Lampiran 2.	Skema Preparasi Nanoselulosa.	83
Lampiran 3.	Difraktogram XRD nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$	85
Lampiran 4.	Karakterisasi XRD Nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$	86
Lampiran 5.	Data Komposisi Permukaan Katalis	87
Lampiran 6.	Kurva Regrenasi Perhitungan Energi Band-gap.....	88
Lampiran 7.	Analisis XRD Nanoselulosa.	89
Lampiran 8.	Perhitungan Presentase nanoselulosa Terkonversi.	91
Lampiran 9.	Perhitungan Kadar Gula dengan Metode DNS.....	92

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Puncak-puncak Representatif Nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$	49
2. Puncak-puncak Representatif Difraktogram <i>Acuan Crystallography Open Database (COD)</i>	49
3. Puncak-puncak Representatif Difraktogram Acuan JCPDF.	49
4. Ukuran Partikel Katalis Berdasarkan Persamaan <i>Scherrer</i>	50
5. Hasil EDX Persentase unsur pada Nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$	54
6. Ukuran partikel nanoselulosa kulit pisang kepok	61
7. Persentase Nanoselulosa Terkonversi.	62
8. Data 2θ dan Nilai FWHM Difraktogram Fasa Kristalin.	86
9. Komposisi Permukaan Katalis.	87
10. Data Perhitungan Presentase Nanokatalis yang Terkonversi.	91
11. Kurva Standar Glukosa.	92
12. Data Luas Area Standar Glukosa.	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Umum Perovskite ABO_3 (Navrotsky <i>et al.</i> , 1989).....	13
2. Skema Mekanisme Terjadinya Pengeringan Beku (Phariyadi, 2013).	17
3. (a) Struktur α -galakturonat, (b) Stuktur metilasi α -galakturonat (c) Struktur Pektin.	19
4. Skema instrumentasi FTIR.....	20
5. Spektrum FTIR dari sintesis $LaCrO_3$, Nanoparticles (Shinde, 2018).	21
6. Ilustrasi Difraksi Sinar-X Pada XRD (Callister and Rethwisch, 2009).	23
7. Skema Alat DRS (Supriyadi, 2018).	26
8. Skema alat KCKT.	28
9. Struktur Selulosa (Fessenden and Fessenden, 1986).	29
10. Konversi selulosa menjadi poliol (Matveeva <i>et al.</i> , 2016).....	32
11. Mekanisme Reaksi Pembentukan Sorbitol (Marhusari, 2009).	33
12. Mekanisme Reaksi Pembentukan Manitol (Arai <i>et al.</i> , 2004).	34
13. Mekanisme Reaksi Pembentukan Xylitol (Fengel <i>et al.</i> , 1995).....	35
14. Rangkaian Alat Konversi Nanoselulosa.....	41
15. Difraktogram analisis nanokatalis $LaCr_{0.99}Ti_{0.01}O_3$	47
16. Pencocokan difraktogram $LaCr_{0.99}Ti_{0.01}O_3$ dengan metode search match.	48
17. Spektrum FTIR nanokatalis $LaCr_{0.99}Ti_{0.01}O_3$ sebelum reaksi fotokatalitik.....	51
18. Spektrum FTIR nanokatalis $LaCr_{0.99}Ti_{0.01}O_3$ setelah reaksi fotokatalitik.	52
19. Hasil SEM Nanokatalis $LaCr_{0.99}Ti_{0.01}O_3$	53
20. Spektrum EDX Nanokatalis $LaCr_{0.99}Ti_{0.01}O_3$	54
21. Spektrum Absorbansi Nanokatalis $LaCr_{0.99}Ti_{0.01}O_3$	56
22. Spektrum Reflektan Nanokatalis $LaCr_{0.99}Ti_{0.01}O_3$	57
23. Energi Celah Pita Nanokatalis $LaCr_{0.99}Ti_{0.01}O_3$	58
24. Hasil Selulosa dari Kulit Pisang Kepok.	59

25. Hasil Nanoselulosa dari Kulit Pisang Kepok.....	60
26. Difraktogram XRD dari Nanoselulosa.....	60
27. Analisis gula pereduksi dengan reagen DNS.....	63
28. Kurva Larutan Standar Glukosa.....	64
29. Kromatogram Larutan Hasil Konversi.....	65
30. Difraktogram Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Ti}_{0,01}\text{O}_3$	85
31. Kurva Regresi Linier Perhitungan Energi Band-gap Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Ti}_{0,01}\text{O}_3$	88
32. Difraktogram Nanoselulosa Kulit Pisang Kepok.....	89

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada saat ini biomassa telah banyak menarik perhatian dikarenakan sifatnya yang ramah terhadap lingkungan dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan (*renewable*). Biomassa akan memiliki nilai ekonomi tinggi jika terkandung bahan organik, dapat dikonversi menjadi produk bernilai. Di Indonesia keberadaan biomassa sangatlah berlimpah, contohnya seperti selulosa. Maka, konversi katalitik selulosa untuk bahan bakar dan kimia lebih menarik dan menjanjikan daripada sumber biomassa lain seperti pati (Kwon *et al.*, 2011). Sehingga, selulosa menjadi sumber daya alam yang baik untuk di konversi menjadi bahan bakar (Fukuoka and Dhepe, 2006).

Selulosa merupakan produk polimer alam yang berasal dari reaksi fotosintesis CO₂ dan H₂O yang dapat dihidrolisis menjadi glukosa menggunakan asam atau enzim. Proses ini bertujuan untuk memutuskan ikatan lignin, menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa, merusak struktur kristal selulosa serta meningkatkan porositas bahan (Sun and Cheng, 2002). Rusaknya struktur kristal selulosa mempermudah terurainya selulosa menjadi glukosa. Selain itu, hemiselulosa turut terurai menjadi senyawa gula sederhana: glukosa, galaktosa, manosa, heksosa, pentosa, xylosa dan arabinosa (Mosier, 2004).

Pada pemanfaatan selulosa menjadi produk lain, fase kristalinnya perlu diubah menjadi amorf dan ukurannya menjadi nanometer. Karena Material yang berukuran nano memiliki kelebihan seperti luas permukaan dan volume yang lebih besar (Abdullah *et al.*, 2008). Selulosa yang telah memiliki ukuran nanoselulosa dan fasa

amorf akan mudah diuraikan dan berfungsi sebagai bahan baku produksi gula alkohol (Fatriasari dkk, 2019).

Gula alkohol merupakan senyawa yang penting karena memiliki manfaat yang beragam, seperti pengganti glukosa yang aman dikonsumsi oleh penderita diabetes, stabilizer pada suplemen dan makanan, menjaga kesehatan gigi dengan cara menghambat pembentukan karies dan plak pada gigi, Menekan keasaman plak serta mempercepat proses pembentukan mineral gigi (Zumbé *et al.*, 2001). Gula alkohol yang dimanfaatkan biasanya dalam bentuk sorbitol, manitol, dan xylitol (Hansen *et al.*, 2006). Maka konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol secara katalitik menjadi sangat menarik.

Gula alkohol yang dimanfaatkan biasanya dalam bentuk sorbitol, manitol, dan xylitol (Hansen *et al.*, 2006). Meskipun hidrolisis selulosa menjadi gula alkohol masih mengalami kendala, tetapi banyak peneliti telah memfokuskan peningkatan hidrolisis selulosa menjadi gula alkohol (Fukuoka and Dhepe, 2006 ; Suri dkk,2013; Atmaji dkk,2013).

Beberapa peneliti telah menunjukkan kinerja katalis padatnya untuk mengkonversi selulosa. Fukuoka dan Dhepe (2006) melaporkan bahwa konversi selulosa menggunakan katalis Pt/Al₂O₃ memperoleh sorbitol 32% dan manitol 6,6% pada suhu 463 °C dan tekanan H₂ 5,0 MPa. Selain itu, HPMo juga dapat mengkatalisis konversi selulosa menjadi asam glikolat sebesar 49,3% dan katalis MoO₃ sebesar 24,5% pada suhu 180 °C dan dialiri gas O₂ 0,5 MPa selama 1 jam dengan pelarut air (Han *et al.*, 2013). Katalis CrCl₃ juga ditemukan efektif untuk konversi selulosa menjadi asam levulinat sebesar 67%, pada suhu 200 °C setelah 180 menit (Lin *et al.*, 2010). katalis Ru/AC-SO₃H sebesar 71,1 % pada suhu 165 °C (Lee and Han, 2012). Fukuoka *et al.*, (2011) menggunakan katalis logam Pt(N)/BP2000 menghasilkan sorbitol sebesar 39% dan manitol 4% selama 24 jam pada suhu 190 °C. Palkovits *et al.* (2010) berhasil mengubah selulosa menjadi xylitol sebesar 11,3% dengan katalis Ru/C pada suasana asam (H₂SO₄) selama 3 jam pada suhu 160 °C.

Banyak metode yang telah digunakan untuk mengkonversi biomassa menjadi sumber bahan bakar dan turunan dari senyawa kimia seperti etil selulosa (Mota *et al.*, 2011), pyrolisis (Lu *et al.*, 2014), gasifikasi-uap (Seri *et al.*, 2002) dan super-kritis (Kumar and Gupta, 2008; Trahanovsky *et al.*, 2013). Namun metode-metode tersebut membutuhkan energi yang besar, peralatan yang mahal, dan juga menghasilkan limbah. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan digunakan energi cahaya matahari (sinar UV) yang ramah terhadap lingkungan dan ekonomis serta dapat beroperasi pada temperatur ruang (Colmenares *et al.*, 2009; Colmenares *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2016).

Konversi selulosa menjadi gula alkohol menggunakan katalis logam transisi dengan struktur perovskite $\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_{1.5}\text{O}_4$ pada temperatur 120 °C dan struktur perovskite NiFeO_4 pada temperatur 140 °C, memiliki aktivitas dan dapat mengkonversi selulosa menjadi sorbitol, manitol, dan xilitol (Amalia dkk, 2013). Selain itu, telah dilakukan juga konversi fruktosa menjadi manitol menggunakan katalis $\text{LaCr}_{0.94}\text{Ni}_{0.06}\text{O}_{3\pm\delta}$, $\text{LaCr}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{O}_{3\pm\delta}$, dan $\text{LaCr}_{0.06}\text{Ni}_{0.94}\text{O}_{3\pm\delta}$, yang dikalsinasi pada temperatur 600 °C dan temperatur 800 °C, Hasil uji katalitik menunjukkan bahwa katalis dapat mengkonversi fruktosa menjadi manitol (Agustine dkk., 2009).

Fotokatalisis adalah proses terjadinya reaksi suatu materi terhadap materi lainnya yang dibantu oleh energi dari penyinaran ultraviolet dan katalis padat (Setiawan, 2007). Katalis ini mempercepat fotoreaksi melalui interaksinya dengan substrat baik dalam keadaan dasar maupun keadaan tereksitasinya, atau fotoproduk utamanya yang bergantung pada mekanisme fotoreaksi tersebut. Fotokatalis mampu mempercepat laju reaksi melalui reaksi fotokimia serta bahan katalisnya bersifat semikonduktor. Material semikonduktor memiliki energi celah pita yang memenuhi syarat untuk proses katalisis (Qodri, 2011).

Menurut penelitian yang dilakukan Situmeang dkk (2019) nanokatalis LaCrO_3 yang dipreparasi menggunakan metode sol-gel dan pengeringan beku dapat mengubah selulosa menjadi produk gula alkohol sebanyak 620 ppm yang terdiri dari 260 ppm xylitol, 150 ppm manitol, dan 210 ppm sorbitol dengan waktu pemaparan 45 menit.

Menurut penelitian yang dilakukan Tria Juliarsi (2020), nanokatalis $\text{LaCr}_{(1-x)}\text{Mo}_x\text{O}_3$ memiliki aktivitas katalitik yang dapat mengkonversi nanoselulosa menjadi gula reduksi sebesar 11-22%, namun belum mampu mengkonversi nanoselulosa menjadi sorbitol dan disarankan untuk menggunakan alat tambahan untuk memantau berlangsungnya reaksi sehingga dapat dipastikan bahwa aliran gas hidrogen dan gerak pengaduk tetap stabil, dan melakukan analisis konversi dengan metode KCKT-MS atau GC-MS untuk mengidentifikasi produk.

Selanjutnya, konversi fruktosa dan xylosa menjadi asam organik menggunakan lampu UV 400W, $\lambda = 365 \text{ nm}$ selama 120 menit pada temperatur 30°C dengan rendemen konversi sebesar 50-70% (Puttipat *et al.*, 2014). Kelompok riset di Inggris juga mengkonversi selulosa dalam bentuk nano yang ditempelkan pada TiO_2 dan TiO_2 (Pt), disuspensi dalam air bebas ion dan diaerasi serta reaksi berlangsung 6 jam untuk 1 siklus dan proses berlangsung hingga 7 siklus serta iradiasi sinar UV berasal dari lampu Fe-halida. Konversi selulosa tersebut memberikan hasil bahan bakar hidrogen sebesar 90% (Zhang *et al.*, 2016). Kemudian, konversi selulosa dari biomassa pisang menjadi asam levulinat melalui reaksi fotokatalitik dengan katalis kromium klorida menghasilkan asam levulinat sebesar 3,52% (Ummiyil, 2012), dan Pertiwi (2017), menggunakan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ menghasilkan sorbitol sebesar 19,07% lama penyinaran 45 menit. Lindawati (2017) nanokatalis $\text{LaCr}_{0,98}\text{Mo}_{0,02}\text{O}_3$ menghasilkan sorbitol sebesar 7,53% dari lama penyinaran 60 menit. Kemudian dilakukan oleh Rumondang (2017) dengan nanokatalis $\text{Ni}_{0,75}\text{Fe}_{0,25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ dengan perolehan rendemen sorbitol terbesar 2,5%. Selanjutnya Susanti (2017) dengan nanokatalis $\text{Ni}_{0,75}\text{Fe}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ menghasilkan sorbitol sebesar 4,6%.

Pada penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa kelemahan yaitu sumber sinar UV yang dimiliki oleh lampu yang digunakan pada eksperimen tersebut memiliki kadar UV rendah sekitar 4% sehingga konversi menjadi kurang maksimal dan variasi waktu penyinaran konversi yang selisihnya berdekatan membuat perbedaan hasil konversi tiap variasinya tidak terlalu signifikan.

Berdasarkan penjelasan diatas, maka pada penelitian ini akan dilakukan preparasi nanokatalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Ti}_{0,01}\text{O}_3$ menggunakan metode sol-gel menggunakan pengemulsi pektin dan *freeze dry*. Selanjutnya, katalis akan dikarakterisasi untuk mengukur jumlah keasaman dan jenis situs asamnya menggunakan metode gravimetri dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), menentukan fasa kristalin katalis menggunakan difraksi sinar-X (XRD), menentukan morfologi katalis dengan *Transmission Electron Microscopy* (TEM), menghitung energi celah (*band gap*) dengan *UV-Vis diffuse reflectance Spectroscopy* (DRS). Menurut peneliti sebelumnya disarankan agar dapat menghasilkan sorbitol, manitol dan xylitol dari nanoselulosa limbah kulit pisang kepok dengan rendemen tinggi melalui uji katalitik maka harus diperhatikan waktu konversi pada variasi waktu 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit menggunakan lampu UV 100 Watt, aliran gas H_2 yang optimal, dan rasio antara nanoselulosa dengan katalis. Hasil konversi akan diuji katalitis dengan KCKT (Kromatografi Cair Kinerja Tinggi).

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Mempelajari cara pembuatan Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Ti}_{0,01}\text{O}_3$ dengan metode sol-gel dan impregnasi.
2. Menganalisa hasil konversi dengan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT).
3. Mendapatkan kondisi optimum aktivitas katalitik nanokatalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Ti}_{0,01}\text{O}_3$ untuk konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol dengan metode irradiasi sinar UV.
4. Menganalisa aktivitas katalitik nanokatalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Ti}_{0,01}\text{O}_3$ sebagai konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol dengan metode irradiasi sinar UV untuk mendapatkan gula alkohol pada waktu optimum dengan rendemen tinggi .

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah

1. Memberikan informasi mengenai pembuatan nanoselulosa dengan menggunakan bahan baku kulit pisang kapok.
2. Memberikan informasi mengenai $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ sebagai katalis untuk mengkonversi selulosa menjadi gula alkohol.
3. Memberikan informasi terkait efektivitas penggunaan sinar UV dalam proses konversi selulosa menjadi gula alkohol.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Nanopartikel

Material nanopartikel secara luas telah banyak menarik perhatian para peneliti. Hal ini dikarenakan material nanopartikel memiliki ukuran partikel yang sangat kecil dan sifat permukaannya dapat dengan mudah di atur dan di ubah sesuai pemanfaatannya. Nanopartikel merupakan partikel mikroskopis yang memiliki ukuran antara 1-100 nm. Proses sintesis dapat berlangsung secara fisika atau kimia. Proses sintesis secara fisika tidak melibatkan reaksi kimia, yang terjadi hanya pemecahan material besar menjadi material berukuran nanometer, atau penggabungan material berukuran sangat kecil, seperti kluster, menjadi partikel berukuran nanometer tanpa mengubah sifat bahan. Proses sintesis secara kimia melibatkan reaksi kimia dari sejumlah material awal (*precursor*) sehingga dihasilkan material lain yang berukuran nanometer. Contohnya adalah pembentukan nanopartikel garam dengan mereaksikan asam dan basa yang bersesuaian (Abdullah dkk, 2008).

Material nanopartikel dapat disintesis dari metode pemecahan material makro molekul melalui reduksi *top down* dan *bottom up*. *Top down* merupakan proses yang berawal dari *bulk* kemudian menjadi serbuk dan menjadi material nanopartikel, tanpa melibatkan reaksi kimia. Sedangkan *bottom up* merupakan proses yang melibatkan reaksi kimia dari gabungan partikel-partikel atom yang membentuk molekul lalu menjadi material nanopartikel. Sintesis material nanopartikel dengan atom logam melalui reaksi kimia harus dilengkapi dengan penggunaan senyawa organik yang nantinya akan membentuk susunan teratur pada permukaan logam tersebut. Bagian senyawa organik yang bersifat hidrofobik akan langsung teradsorpsi pada permukaan nanopartikel logam dan bagian yang bersifat hidrofilik akan berada pada bulk

larutan. Senyawa organik tersebut (surfaktan dan polimer) dapat mengontrol kecepatan reduksi dan agregasi yang terjadi pada nanopartikel logam (Hanke, 2001).

Suatu partikulat yang terdispersi atau partikel-partikel padatan dengan ukuran partikel berkisar 10-100 nm dikenal sebagai nanopartikel (Mohanraj and Chen, 2006, Sietsma *et al.*, 2007, Abdullah *et al.*, 2008). Daya tarik material nanopartikel ditunjukkan oleh sifat fisika dan kimia yang sangat berbeda dari bulk materialnya, seperti kekuatan mekanik, elektronik, magnetik, kestabilan termal, katalitik dan optik (Mahaleh *et al.*, 2008 and Deraz *et al.*, 2009). Ukuran yang kecil dari material nanopartikel akan memberikan perbandingan luas permukaan dan volume yang lebih besar. Hal inilah yang menyebabkan nanopartikel bersifat lebih reaktif. Reaktivitas material ditentukan oleh atom-atom di permukaan, karena hanya atom-atom tersebut yang bersentuhan langsung dengan material lain. Ketika ukuran partikel menuju orde nanometer, hukum fisika yang berlaku lebih didominasi oleh hukum-hukum fisika kuantum.

Material nanopartikel menunjukkan potensi sebagai katalis karena material nanopartikel memiliki area 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).

Dalam bidang katalis telah banyak peneliti yang mampu menghasilkan nanokatalis dengan metode nanopartikel yang umum digunakan, seperti metode *combustion*, metode sintesis koloid (Soderlind, 2008), metode kopresipitasi (Kanade *et al.*, 2006) dan metode sol-gel (Ismunandar, 2006).

2.2. Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang mampu meningkatkan laju suatu reaksi, tanpa mengalami perubahan apapun dan secara termodinamika tidak akan mempengaruhi

nilai ketetapan kesetimbangan. Sebenarnya dalam suatu reaksi, katalis ikut terlibat membentuk ikatan dengan molekul yang ada untuk saling bereaksi membentuk produk yang kemudian pada akhir reaksi akan kembali ke bentuk semula. Maka dari itu, katalis tidak memberikan tambahan energi pada sistem, tetapi menurunkan energi aktivasi yang menyebabkan reaksi berlangsung lebih cepat. Penurunan energi aktivasi tersebut terjadi akibat adanya interaksi antara reaktan dengan situs-situs aktif yang terdapat pada katalis (Anderson *et al.*, 1976).

Kemampuan suatu katalis dalam mempercepat laju reaksi dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain adalah sifat fisika dan kimia katalis; kondisi operasi seperti temperatur, tekanan, laju alir, waktu kontak; jenis padatan pendukung yang digunakan. Katalis yang dipreparasi dengan cara yang berbeda akan menghasilkan aktivitas dan selektivitas yang berbeda (Rieke *et al.*, 1997). Kemampuan suatu katalis dalam suatu proses biasanya diukur dari aktivitas dan selektivitasnya. Aktivitas biasanya dinyatakan dalam persentase konversi atau jumlah produk yang dihasilkan dari jumlah reaktan yang digunakan dalam waktu reaksi tertentu. Sedangkan selektivitas adalah ukuran katalis dalam mempercepat reaksi pada pembentukan suatu produk tertentu. Aktivitas katalis biasanya akan menurun dengan meningkatnya temperatur, dan peningkatan temperatur juga akan berakibat memperpendek waktu pakai (*life time*) katalis. Jika secara termodinamika produk sangat bervariasi maka peningkatan temperatur system dapat menyebabkan meningkat atau menurunnya selektivitas katalis, bergantung pada keseluruhan kinetik dan produk yang diinginkan. Dengan demikian selektivitas dapat dikontrol melalui kondisi temperatur sistem (Satterfield, 1980).

Berzelius mengatakan bahwa laju reaksi kimia dapat dipercepat dengan penambahan suatu senyawa dimana senyawa ini tidak ikut dikonsumsi. Bersama dengan molekul yang bereaksi, senyawa ini membentuk suatu ikatan, setelah molekul yang bereaksi membentuk produk senyawa ini dapat diperoleh kembali, senyawa ini dikenal sebagai katalis (Stoltze, 2000 and Chorkendroff and Niemantsverdriet, 2003).

Secara umum, katalis dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang memiliki fasa yang sama

dengan fasa reaktan. Katalis ini memiliki beberapa kekurangan yaitu sulit dipisahkan dari campuran reaksi sehingga tidak dapat digunakan kembali dan pada akhirnya akan ikut terbuang sebagai limbah yang dapat mencemarkan lingkungan serta bersifat korosif (Kirk and Othmer, 1980). Sedangkan katalis heterogen merupakan katalis yang memiliki fasa berbeda dengan reaktan. Katalis ini berada pada fasa padat sedangkan reaktan berada pada fasa cair atau gas. katalis heterogen saat ini lebih disukai dibandingkan dengan katalis homogen karena katalis ini memiliki keuntungan seperti ramah lingkungan, tidak bersifat korosif, mudah dipisahkan dari produk dengan cara filtrasi, serta dapat digunakan berulang kali dalam jangka waktu yang lama. Selain itu, katalis heterogen dapat meningkatkan kemurnian hasil karena reaksi samping dapat dieliminasi (Chorkendroff, J.W and Niemantsverdriet, 2003).

Pada katalis heterogen terdapat 2 komponen penyusun, yaitu penyangga dan situs aktif (dopan). Fungsi utama dari penyangga adalah mampu menyediakan luas permukaan yang besar (memadai) yang bertujuan memperluas kontak langsung antara situs aktif dan reaktan sehingga menghindari penggumpalan dan dapat meningkatkan sifat katalitiknya. Penyangga sebaiknya merupakan senyawa pembawa yang inert terhadap reaksi yang tidak diinginkan, seperti alumina, silica dan karbon aktif (Hegedus *et al.*, 1987). Sedangkan situs aktif umumnya adalah logam oksida dari logam-logam transisi deret pertama, seperti: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, dan Zn yang memiliki orbital d yang masih kekurangan elektron sehingga dapat menangkap elektron dari reaktan dan membentuk ikatan yang kuat. Saat ini, proses katalitik heterogen dibagi menjadi dua kelompok yaitu:

1. Reaksi redoks, meliputi reaksi dimana katalis mempengaruhi pemecahan ikatan secara homolitik pada molekul-molekul reaktan menghasilkan elektron tak berpasangan, dan kemudian membentuk ikatan secara homolitik dengan katalis melibatkan elektron dari katalis.
2. Sedangkan reaksi-reaksi asam-basa meliputi reaksi-reaksi dimana reaktan membentuk ikatan heterolitik dengan katalis melalui penggunaan pasangan elektron bebas dari katalis atau reaktan (Li, 2005)

Katalis berperan dalam menyediakan situs- situs aktif suatu reaksi kimia, biasanya berasal dari logam-logam yang terdeposit pada pengemban atau dapat pula berasal

dari pengemban itu sendiri. Logam-logam tersebut umumnya adalah logam-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).

2.3. Nanokatalis

Nanokatalis adalah nanopartikel yang memiliki peran sebagaimana mestinya katalis yaitu mempercepat suatu reaksi tanpa ikut serta dalam hasil reaksi. Keunggulan nanokatalis adalah memiliki aktivitas yang lebih baik sebagai katalis karena material nanokatalis memiliki 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).

Nanosains dapat diartikan sebagai kajian fenomena dan manipulasi bahan pada skala atom, molekular dan makromolekul dimana sifat berbeda nyata pada skala yang lebih besar. Jenis-jenis produk yang dapat dihasilkan dari nanostruktur yaitu seperti *clusters*, *quantum dots*, nanokristal, *nanowires*, dan *nanotubes* (Rao *et al.*, 2004). Sedangkan, nanopartikel didefinisikan sebagai partikulat yang terdispersi atau partikel-partikel padatan dengan ukuran partikel berkisar 10 – 100 nm yang dapat terjadi secara alamiah ataupun melalui proses sintesis oleh manusia (Mohanraj and Chen, 2006). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Qi dan Wang.,2002), jika perbandingan ukuran atom terhadap partikel tersebut kurang dari 0,1 maka, gaya kohesi mulai menurun sehingga dapat menurunkan titik leleh. (Nanda *et al.*, (2003) telah melaporkan bahwa energi dari permukaan nanopartikel lebih tinggi daripada ukuran bulk dari material tersebut.

Katalis menurut Berzelius didefinisikan sebagai suatu senyawa yang dapat meningkatkan laju dari suatu reaksi kimia (Stoltze, 2000). Katalis dapat mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi reaksi. Penurunan

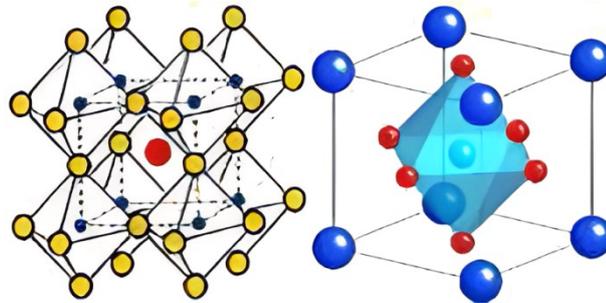
energi aktivasi tersebut terjadi akibat interaksi antara katalis dengan reaktan. Katalis menyediakan situs-situs aktif yang berperan dalam proses reaksi yang berasal dari logam. Logam-logam tersebut umumnya adalah logam transisi yang menyediakan orbital d kosong atau elektron tunggal yang akan disumbangkan pada molekul reaktan sehingga terbentuk ikatan baru dengan kekuatan ikatan tertentu (Campbell, 1998).

Banyak metode yang telah dikembangkan untuk sintesis nanokatalis, berbagai metode dari pembuatan nanokatalis *perovskite* seperti *microemulsions*, koopresipitasi, *reverse micelles*, metode sonokimia, metode hidrotermal, dan metode sol-gel. Dari beberapa metode sintesis tersebut, dalam penelitian ini digunakan metode sol-gel untuk mendapatkan nanokatalis 2% V/LaCrO₃. Metode sol gel memiliki banyak keunggulan seperti dispersi yang tinggi dari spesi aktif yang tersebar secara homogen pada permukaan katalis, tekstur porinya memberikan kemudahan difusi dari reaktan untuk masuk ke dalam situs aktif (Lecloux and Pirard, 1998), luas permukaan yang cukup tinggi, serta kemudahannya dalam memasukkan satu atau dua logam aktif sekaligus dalam prekursor katalis (Lambert and Gonzalez, 1998). Dengan alasan ini diharapkan keunggulan dari metode sol-gel ini dapat diterapkan pada katalis.

2.4. Senyawa Perovskite

Oksida logam yang membentuk struktur *perovskite* dengan rumus umum ABO₃ telah menjadi perhatian yang menarik selama dua dekade terakhir karena mempunyai aplikasi komersil yang potensial sebagai katalis untuk dekomposisi NO_x, sel elektroda bahan bakar, dan sensor deteksi gas. Senyawa ABO₃ memiliki struktur yang sangat sederhana, dimana struktur idealnya membentuk kubus dengan kation besar (A) dikelilingi oleh dua anion dan kation yang lebih kecil (B) dikelilingi oleh enam anion. Studi pertama yang berkaitan dengan penggunaannya sebagai katalis dilakukan oleh Dickens *et al.* pada tahun 1965. Sejak itu, *perovskite* oksida dievaluasi dalam berbagai reaksi katalitik misalnya, oksidasi hidrokarbon, senyawa

oksigen atau halokomponen hidrogenasi CO atau CO₂; hidrogenolisis hidrokarbon, proses fotokatalitik dan elektrokatalitik (Pena, 2007). Contoh struktur umum *perovskite* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Umum Perovskite ABO₃ (Navrotsky *et al.*, 1989).

Perubahan struktur dapat terjadi pada beberapa *perovskite*. Misalnya atom A atau B tidak berada dalam ukuran yang benar dalam menyerang situs yang dihasilkan oleh sisa struktur. Struktur oksida yang ideal adalah struktur kubik *perovskite* yang panjang ikatannya berhubungan dengan ukuran unit sel a yang dinyatakan dengan persamaan (1):

$$a = \sqrt{2r_{A_B}} = 2r_{B_O} \quad (1)$$

Derajat perubahan *perovskite* diberikan dengan faktor toleransi, seperti pada persamaan (2) :

$$t = \frac{\sqrt{2r_{A_B}}}{2r_{B_O}} \quad (2)$$

fleksibilitas dari panjang ikatan dan biasanya *perovskite* kubik terbentuk dengan t dalam rentang $0.9 < t < 1.0$. Jika $t > 1$, sisi B lebih besar dari yang dibutuhkan. Jika t sedikit lebih besar dari 1.0 maka struktur berubah namun masih struktur dasar *perovskite* seperti BaTiO_3 dengan $t = 1,06$. Untuk perbedaan yang lebih besar dari $t = 1$, ion B menempati sisi yang lebih kecil dengan bilangan koordinasi yang lebih rendah dan struktur berubah seluruhnya seperti pada BaSiO_3 dengan Si tetrahedral. Untuk faktor toleransi yang lebih kecil $0,85 < t < 0,90$ terjadi perubahan struktur yang berbeda seperti GdFeO_3 , kation A terlalu kecil untuk sisi tersebut. Untuk $t < 0,85$, perubahan struktur *perovskite* tidak stabil dalam waktu lebih lama dan kation A menempati sisi yang lebih kecil, contoh adalah pada LiNbO_3 dan FeTiO_3 .

Perovskite dapat diberikan dengan rumus umum $\text{A}_1\text{A}_2\text{B}_1\text{B}_2\text{O}_3$ dimana A1 adalah yang terpilih diantara Lantanida (umumnya La, namun kadang-kadang Ce, Pr atau Nd) dan A2 adalah diantara logam alkali tanah (Ca, Ba, Sr) posisi B1 dan B2 ditempati oleh logam transisi (Co, Mn, Fe, Cr, Cu, V) atau logam mulia. A2 dan B2 berhubungan dengan substitusi sebagian dari ion A1 dan B1. Metode preparasi *perovskite* dapat dilakukan dengan metode etilen glikol dengan prekursor garam oksalat, atau dengan metode karbonil dengan prekursor garam asetat, dan metode sitrat dengan prekursor garam nitrat (Irusta *et al.*, 1998). Katalis oksida tipe *perovskite* dapat memberikan aktivitas katalitik yang baik untuk oksidasi CO dan reduksi NO (Deremince, 1998).

2.5. Reaksi Fotokatalitik

Secara umum proses fotokatalitik adalah proses kombinasi antara proses fotokimia dan katalis. fotokimia adalah suatu proses sintesis atau transformasi secara kimiawi yang melibatkan cahaya sebagai pemicunya. Sedangkan katalis adalah substansi yang dapat mempercepat laju reaksi tanpa ikut bereaksi secara keseluruhan. Fotokatalitik berasal dari kata foto dan katalis. Foto didefinisikan sebagai sinar, sedangkan katalis didefinisikan sebagai suatu zat yang dapat mempercepat reaksi. Jadi, fotokatalitik adalah suatu proses untuk mempercepat reaksi yang berjalan karena adanya cahaya dengan menggunakan katalis (Putera, 2008).

Reaksi fotokatalitik umumnya terjadi melalui bantuan bahan semikonduktor. Semikonduktor adalah bahan yang memiliki konduktivitas listrik diantara konduktor dan isolator. 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 biasanya disebut dengan band gap (E_g). Salah satu karakteristik penting semikonduktor adalah memiliki celah energi yang relatif kecil yaitu 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).

2.6. Metode Preparasi Katalis

2.6.1. Sol-Gel

Metode sol-gel adalah sebuah metode sintesis yang didasarkan pada reaksi kimia larutan pada suhu rendah, dimana pada proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) menjadi fasa padat kontinu (gel) (Zawrah *et al.*, 2009). Sol-gel adalah suatu suspensi koloid dari partikel yang digelkan ke bentuk padatan. Proses ini membutuhkan peran dari prekursor aktif, umumnya berupa logam-logam anorganik atau senyawa logam organik yang dikelilingi oleh ligan reaktif seperti logam alkoksida. Hal ini dikarenakan sifat logam alkoksida yang mudah bereaksi dengan air. Adapun keuntungan yang diperoleh dari proses preparasi katalis dengan menggunakan metode sol-gel adalah sebagai berikut :

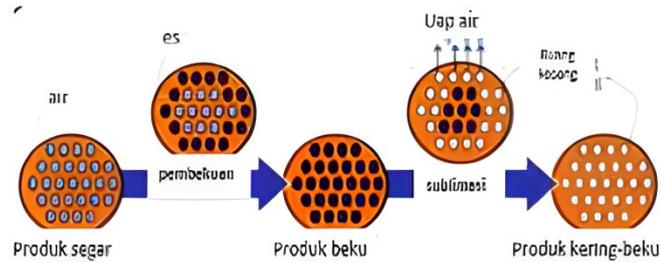
1. Daya dispersi tinggi dari spesi aktif yang tersebar secara homogen pada permukaan katalis.
2. Tekstur pori yang dihasilkan memberikan kemudahan untuk berdifusi dari reaktan menuju ke situs aktif.
3. Luas permukaan tinggi.
4. Peningkatan stabilitas termal
5. Infestasi peralatan relatif murah (Lambert and Gonzalez, 1998).

2.6.2. Pengeringan Beku (*Freeze Drying*)

Pengeringan beku (*freeze drying*) adalah salah satu metode pengeringan yang mempunyai keunggulan dalam mempertahankan mutu hasil pengeringan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas. Pada pembuatan katalis, metode ini digunakan untuk menghilangkan kadar air dalam rongga-rongga bahan katalis tanpa merusak struktur dari jaringan bahan tersebut (Labconco, 1996).

Proses pengeringan dengan metode *freeze drying*, pertama-tama sampel yang akan dikeringkan terlebih dahulu dibekukan supaya air yang terperangkap dapat diubah menjadi Kristal-kristal es. Selanjutnya, pengeringan dilakukan menggunakan tekanan rendah agar kandungan air yang ada menjadi Kristal-kristal es yang akan langsung tevakum dan terbuang menjadi uap, yg biasanya disebut dengan istilah sublimasi.

Prinsip dari pengeringan beku ini dimulai dengan proses pembekuan pangan, dilanjutkan dengan pengeringan; yaitu memisahkan hampir sebagian besar air dalam bahan yang terjadi melalui mekanisme sublimasi. Pengeringan beku (*freeze drying*) mempunyai keunggulan dalam mempertahankan mutu hasil pengeringan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas. Dalam katalis, metode ini digunakan untuk menghilangkan air hidrat dalam rongga bahan katalis tanpa merusak struktur jaringan bahan tersebut (Labconco, 1996). Mekanisme kerja pengeringan beku ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Mekanisme Terjadinya Pengeringan Beku (Phariyadi, 2013).

2.6.3. Impregnasi

Impregnasi merupakan metode preparasi katalis dengan cara adsorpsi larutan garam prekursor kedalam penyangga. Metode ini dapat dibagi lagi menjadi dua kategori yaitu:

a. Impregnasi Kering

Apabila volume larutan senyawa awal logam katalis yang digunakan tidak melebihi volume pori penyangga. Pada metode ini larutan senyawa awal logam katalis disemprotkan pada penyangga secara terus-menerus disertai dengan pengadukan. Penetrasi senyawa awal logam katalis yang lebih dalam lagi ke bagian dalam pori dapat dicapai dengan mengeluarkan air yang terperangkap dalam pori, sehingga diperoleh distribusi logam prekursor yang lebih seragam dan merata.

b. Impregnasi Basah

Impregnasi basah dilakukan apabila larutan senyawa awal logam katalis yang digunakan melebihi volume pori penyangga. Campuran dibiarkan beberapa saat sambil terus diaduk, hingga semua pelarutnya habis dan kering. Teknik ini umumnya dipakai bila prekursor berinteraksi dengan penyangga tetapi hanya sebatas interaksi fisik saja (Ismunandar, 2006).

2.6.4. Kalsinasi

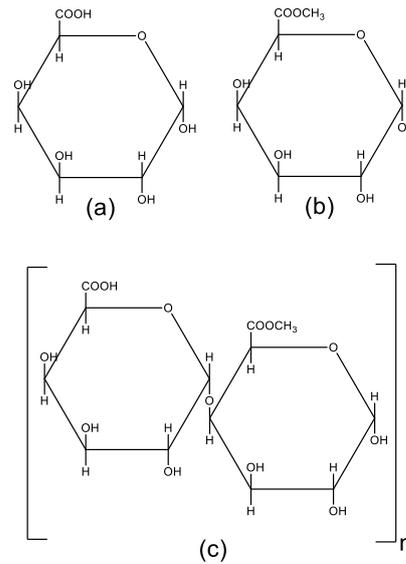
Proses kalsinasi adalah sebuah pemanasan pada zat padat di bawah titik lelehnya untuk menghasilkan keadaan dekomposisi termal yang dilakukan secara bertahap dengan laju dan derajat kenaikan yang konstan. Kalsinasi dibutuhkan pada zat padat seperti katalis untuk dapat mengubah ukuran kristal menjadi lebih kecil. Hal-hal yang terjadi pada proses kalsinasi yang digunakan dalam preparasi katalis yaitu sebagai berikut :

1. Dekomposisi komponen prekursor pada pembentukan spesi oksida. Proses pertama terjadi pelepasan air bebas (H_2O) dan terikat (OH) yang berlangsung pada suhu diantara $100^{\circ}C$ dan $300^{\circ}C$.
2. Pelepasan gas CO_2 berlangsung pada suhu sekitar $600^{\circ}C$, akan terjadi pengurangan berat secara berarti dan terjadi reaksi antara oksida yang terbentuk dengan penyangga.
3. Sintering komponen prekursor. 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 polisakarida kompleks tersusun atas polimer asam α D-galakturonat yang terikat melalui ikatan α 1,4-glikosidik. Pektin terkandung di dalam dinding sel primer yaitu diantara selulosa dan hemiselulosa (Lunell *et al.*, 1993). Sumber pektin komersil paling utama yaitu pada buah-buahan seperti kulit jeruk (25-30%), kulit apel kering (15-18%), bunga matahari (15-25%) dan bit gula (10-25%) (Ridley *et al.*, 2001).

Struktur pektin ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.

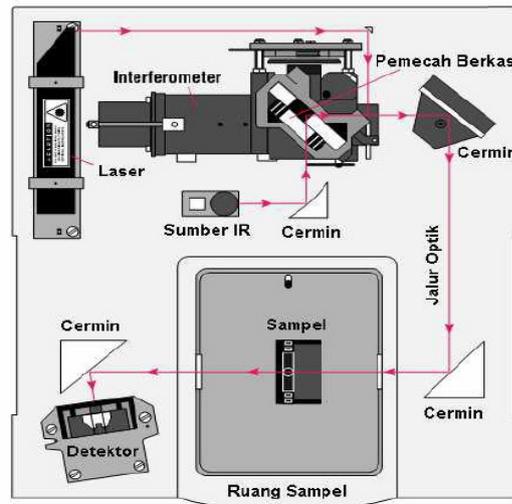


Gambar 3. (a) Struktur α -galakturonat, (b) Stuktur metilasi α -galakturonat (c) Struktur Pektin.

2.8. Karakterisasi Nanokatalis

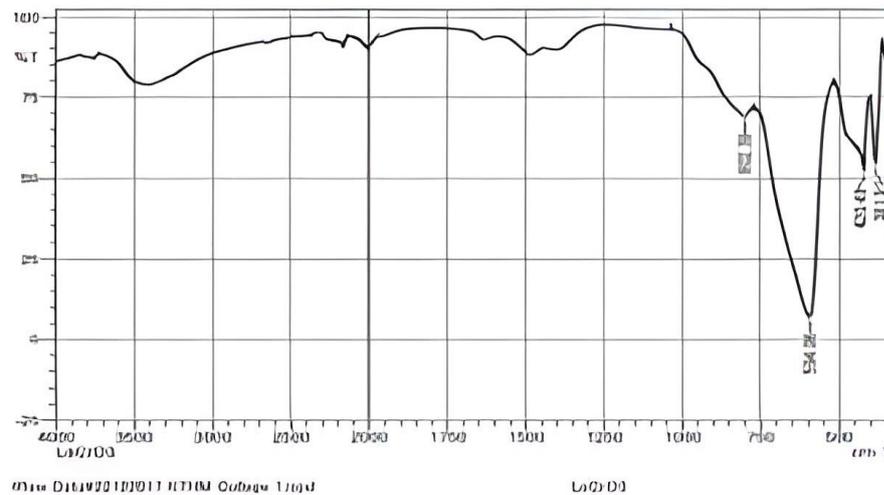
2.8.1. Analisis Gugus Fungsi dan Interaksi Nanokatalis

Spektroskopi inframerah adalah metode analisis yang didasarkan pada absorpsi radiasi inframerah oleh sampel yang akan menghasilkan perubahan keadaan vibrasi dan rotasi dari molekul sampel. Frekuensi yang diabsorpsi tergantung pada frekuensi vibrasi dari molekul (karakteristik). Intensitas absorpsi bergantung pada seberapa efektif energi foton inframerah dipindahkan ke molekul, yang dipengaruhi oleh perubahan momen dipol yang terjadi akibat vibrasi molekul (Åmand and Tullin, 1999). Skema lengkap dari instrumentasi FTIR ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema instrumentasi FTIR.

Prinsip kerja dari analisis FTIR adalah penyerapan radiasi elektromagnetik oleh gugus-gugus fungsi tertentu dengan energi vibrasi dalam bentuk spectrum. Mula-mula sinar dari sumber laser dipantulkan melewati plat pemecah sinar, sedangkan sinar dari sumber IR dipantulkan melalui cermin lalu kembali melewati plat pemecah berkas. Kemudian kedua sinar ini dipantulkan kembali melewati cermin, lalu berkas cahaya diteruskan melalui lintasan optik sebelum dipantulkan dengan cermin. Setelah itu, berkas cahaya akan melewati sampel dan dipantulkan, kemudian dilakukan pembacaan pada detektor yang mengubah energi panas menjadi energi listrik. Instrumen FTIR menggunakan sistem yang disebut dengan interferometer untuk mengumpulkan spektrum. Interferometer terdiri atas sumber radiasi, pemisah berkas, dua buah cermin, laser dan detektor. Hasil yang diperoleh dari pembacaan detektor berupa spektrum seperti gambar 5.



Gambar 5. Spektrum FTIR dari sintesis LaCrO₃, Nanoparticles (Shinde, 2018).

Dari IR frekuensi peregangan yang diamati untuk nanopartikel adalah pita serapan pada 596 cm^{-1} untuk peregangan La–O dan $416,04\text{ cm}^{-1}$ untuk peregangan Cr–O yang ditunjukkan oleh studi FTIR.

2.8.2. Analisis Fasa Kristalin dan Ukuran Partikel Nanoatalis dan Nanoselulosa

Ukuran dari suatu partikel adalah sebuah parameter penting untuk menjelaskan material dari nanokristal. Ukuran dari partikel dapat diketahui dengan menggunakan berbagai macam teknik seperti *Transmission Electron Microscopy* (TEM), *Scanning Probe Microscopy* (SPM), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-ray diffraction* (XRD). Dari keempat teknik pengukuran tersebut, XRD memiliki keunggulan karena preparasi sampel lebih sederhana.

Analisis struktur kristal katalis dilakukan menggunakan instrumentasi difraksi sinar-X (*X-ray Diffraction*/XRD). Difraksi sinar-X (XRD) adalah teknik nondestruktif yang kuat untuk mengkarakterisasi bahan kristal. Ini memberikan informasi tentang struktur, fase, orientasi kristal yang disukai (tekstur), dan parameter struktural

lainnya, seperti ukuran butir rata-rata, kristalinitas, regangan, dan cacat kristal (Bunaciu, 2015).

Karakterisasi katalis yang sering dilakukan adalah menentukan luas permukaan dan kristalinitas suatu material. Metode yang sering digunakan sebagai alternatif dalam menentukan ukuran partikel nano adalah metode Scherrer. Metode ini menentukan ukuran Kristal berdasarkan pelebaran puncak difraksi sinar-X yang muncul. Metode ini sebenarnya memprediksi ukuran kristalin dalam material, bukan ukuran partikel. Jika satu partikel mengandung sejumlah kristalit yang kecil-kecil maka informasi yang diberikan metode Scherrer adalah ukuran kristalin tersebut, bukan ukuran partikel. Untuk partikel berukuran nanometer, biasanya satu partikel hanya mengandung satu kristalinitas. Dengan demikian, ukuran kristalinitas yang diprediksi dengan metode Scherrer juga merupakan ukuran partikel (Liherlinah dkk, 2009). Untuk mendapatkan ukuran partikel suatu material dengan menggunakan persamaan Scherrer (Cullity, 1978).

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cdot \cos\theta}$$

dimana: D = diameter rata-rata partikel (nm)

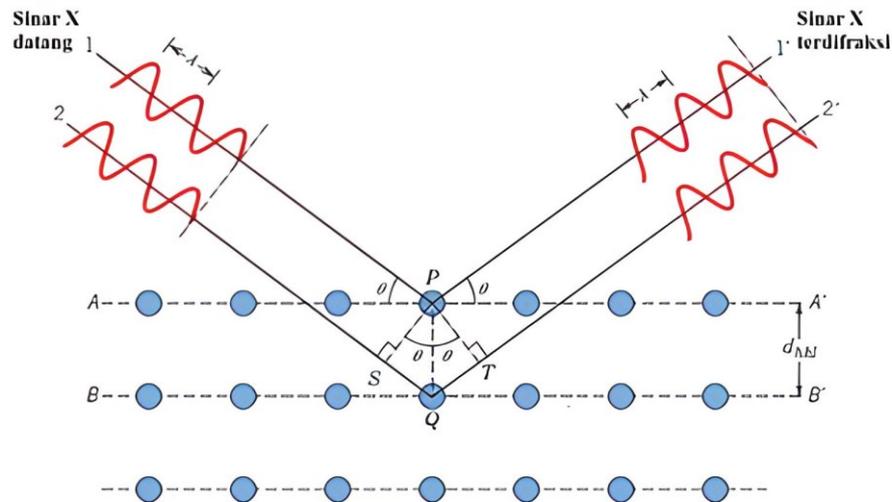
k = konstanta dari instrumen yang digunakan

λ = panjang gelombang sinar-X yang digunakan (nm)

β = pelebaran puncak (radian)

θ = sudut Bragg (radian)

Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan lapisan permukaan kristal, sebagian sinar-X ditransmisikan, diserap, direfleksikan dan sebagian lagi dihamburkan serta didifraksikan. Mekanisme terjadinya tumbukan antara elektron dan target ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Ilustrasi Difraksi Sinar-X Pada XRD (Callister and Rethwisch, 2009).

2.8.3. Analisis Morfologi Permukaan dan Komposisi Unsur Nanokatalis

Pemodelan persamaan struktural (Structural Equation Modelin, SEM) adalah salah satu teknik peubah ganda yang dapat menganalisis secara simultan beberapa peubah laten endogenous dan eksogenous (Bollen, 1989). SEM dilakukan untuk menganalisis serangkaian hubungan secara simultan sehingga memberikan efisiensi secara statistik. Pendugaan atas persamaan regresi yang berbeda tetapi terkait satu sama lain secara bersama – sama dilakukan dengan model struktural dalam SEM (Hair et. al., 2007). Dari segi metodologi, SEM memiliki beberapa peranan, di antaranya, sebagai sistem persamaan simultan, analisis kausal linear, analisis lintasan (path analysis), analisis struktur kovarians, dan model persamaan struktural (Wijanto, 2008). Alat ini dilengkapi dengan detector disperse energy (EDX) sehingga dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen – elemen pada sampel yang dianalisis. Analisa struktur mikro dilakukan terutama untuk melihat ukuran dan bentuk partikel yang dihasilkan. Metode SEM merupakan pemeriksaan dan analisa permukaan atau lapisan yang tebalnya sekitar 20 μm dari permukaan. Hasilnya berupa topografi dengan segala tonjolan dan bentuk permukaan. Gambar topografi diperoleh dari penangkapan pengolahan elektron sekunder yang dipancarkan dari specimen. Prinsip kerja dari SEM adalah pemindaian berkas

elektron yang seperti “menyapu” permukaan spesimen, titik demi titik dengan membentuk sapuan garis demi garis, mirip seperti gerakan mata membaca. Sinyal elektron sekunder yang dihasilkan adalah dari titik pada permukaan, yang selanjutnya ditangkap oleh detektor untuk ditampilkan pada layar CRT (TV). Sinyal lain adalah *back scattered electron* yang intensitasnya bergantung pada nomor atom unsur yang ada pada permukaan spesimen. Gambar yang didapatkan menyatakan perbedaan unsur kimia. Dengan warna tertentu menunjukkan adanya unsur kimia yang lebih tinggi nomor atomnya. Instrument SEM juga dilengkapi dengan analisa EDX (Energy Dispersive X Ray Analyzer) dimana sinar X karakteristik yang diemisikan adalah akibat tumbukkan elektron pada atom – atom bahan sampel (Sujatno, 2015).

2.8.4. Analisis Energi Celah Pita Nanokatalis

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

Metode ini didasarkan pada pengukuran intensitas UV-Vis yang direfleksikan oleh sampel. Salah satu material semikonduktor seperti fotokatalis memiliki karakteristik energi celah pita yang khas. Mudahnya, 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.

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

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

Keterangan:

h = konstanta Planck's

ν = Frekuensi vibrasi

α = Koefisien absorpsi

E_g = band gap

A = konstanta proposi

Nilai eksponen n bergantung pada jenis transisi yang terjadi.

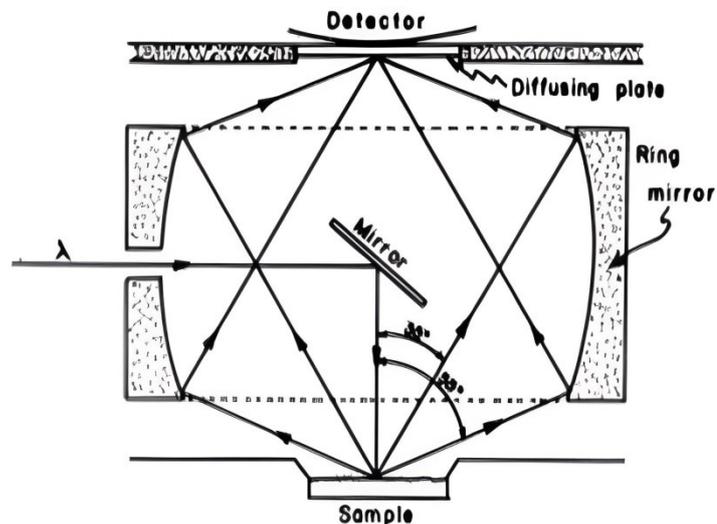
- Untuk transisi langsung terijinkan, $n = 1/2$
- Untuk transisi langsung terlarang, $n = 3/2$
- Untuk transisi tak langsung terijinkan, $n = 2$
- Untuk transisi tak langsung terlarang, $n = 3$

Spektra 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:

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

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

Berikut gambar skema instrumen DRS pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema Alat DRS (Supriyadi, 2018).

2.9. Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT)

Kromatografi merupakan suatu cara pemisahan yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan kadar tiap komponen dari suatu campuran berdasarkan perbedaan pola pergerakan antara fase gerak berupa zat gas atau zat cair dan fase diam (kolom) berupa zat cair (Skoog *et al.*, 1996). Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT) atau sering disebut dengan HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*) adalah instrumen yang penggunaannya paling berkembang, disebabkan memiliki kecepatan dan efisiensi yang tinggi dalam sistem pemisahan. KCKT dilengkapi dengan pompa bertekanan tinggi, detektor yang sensitif dan kolom yang beragam sehingga mampu menganalisis berbagai cuplikan secara kualitatif maupun kuantitatif, baik dalam komponen tunggal maupun campuran.

Prinsip kerja KCKT pada dasarnya sama dengan kromatografi lapis tipis dan kromatografi kolom, yang membedakan adalah pada kolom (fasa diam) KCKT memperbolehkan ukuran butir partikel yang lebih kecil sehingga memberi luas

permukaan yang lebih besar untuk molekul-molekul yang lewat berinteraksi dengan fasa diamnya. Hal ini membuat keseimbangan antar fasa menjadi lebih baik dan efisien. Tekanan tinggi menyebabkan fasa 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).

Menurut Johnson dan Stevenson (1991) instrumentasi KCKT pada dasarnya terdiri :

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/kontaminan), dan terbebas dari udara terlarut, untuk 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), untuk menjamin proses penghantaran fase gerak berlangsung secara tepat, reproduibel, konstan, dan bebas dari gangguan.

c. Injektor

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

d. Kolom

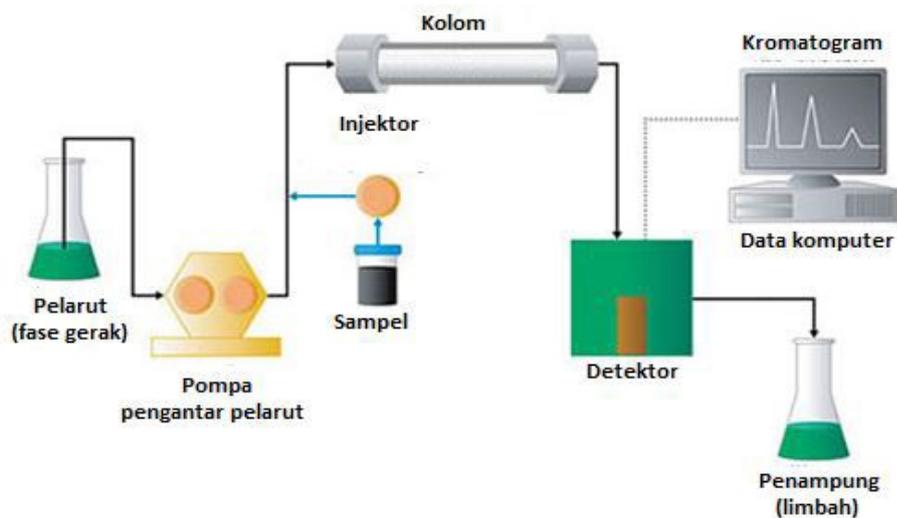
Kolom berfungsi memisahkan masing-masing komponen. Kolom merupakan jantung pada kromatografi. Keberhasilan atau kegagalan analisis dipengaruhi pada pemilihan kolom dan kondisi kerja yang tepat.

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. Rekorder

Rekorder berfungsi menangkap sinyal elektronik yang dihasilkan detektor, untuk selanjutnya dibaca dalam bentuk peak yang disebut kromatogram. Sample yang mengandung banyak komponen akan mempunyai kromatogram dengan banyak peak, bahkan tak jarang antar peak saling bertumpuk (*overlap*). Skema alat KCKT disajikan pada Gambar 8.

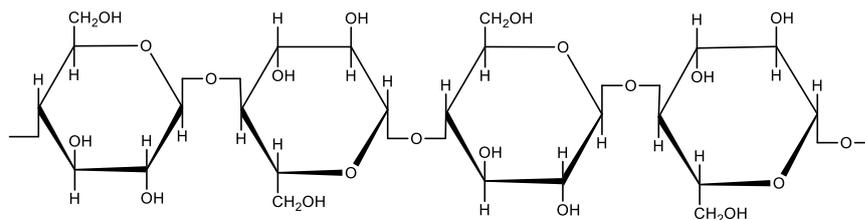


Gambar 8. Skema alat KCKT.

2.10 Selulosa

Selulosa merupakan salah satu polimer yang tersedia melimpah di alam. Produksi selulosa sekitar 100 milyar ton setiap tahunnya. Sebagian dihasilkan dalam bentuk selulosa murni seperti yang terdapat dalam rambut biji tanaman kapas. Selulosa juga ditemukan pada beberapa makhluk hidup, dari tanaman baik tingkat tinggi maupun

rendah, beberapa amuba, hewan laut, bakteri, dan jamur. Namun paling banyak adalah yang berkombinasi dengan lignin dan polisakarida lain seperti hemiselulosa dalam dinding sel tumbuhan berkayu, baik pada kayu lunak dan keras, jerami atau bambu. Senyawa ini juga dijumpai dalam plankton bersel satu atau alga di lautan, juga pada jamur dan bakteri (Potthast, dkk., 2006; Zugenmaier, 2008). Selulosa merupakan polisakarida yang tersusun atas molekul-molekul β -Dglukosa, membentuk rantai lurus dan saling terikat satu sama lain oleh ikatan β -1,4-glikosidik juga mempunyai massa molekul relatif tinggi yang setara dengan 5.000 unit glukosa. Keberadaan selulosa tidak pernah terlepas dari polisakarida biomassa karbohidrat lainnya, seperti hemiselulosa dan lignin (Frieder, 2002). Struktur selulosa ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Struktur Selulosa (Fessenden and Fessenden, 1986).

Selulosa mengandung sekitar 50-90% bagian berkrystal dan sisanya bagian amorf (Aziz *et al.*, 2002). Selulosa terdapat dalam tumbuhan sebagai bahan pembentuk dinding sel dan serat tumbuhan. Molekul selulosa merupakan mikrofibril dari glukosa yang saling terikat satu dengan lainnya membentuk rantai polimer yang sangat panjang. Adanya ligan serta hemiselulosa di sekeliling selulosa merupakan hambatan utama untuk menghidrolisis selulosa (Sjostrom, 1995).

Hidrolisis sempurna dari selulosa akan menghasilkan monosakarida yaitu glukosa, sedangkan hidrolisis yang tidak sempurna akan menghasilkan oligosakarida dari selulosa yaitu selobiosa. Namun, proses hidrolisis yang sempurna sangat sulit untuk dilakukan. Hal ini dikarenakan keberadaan hemiselulosa dan lignin dapat menghambat proses hidrolisis. Selulosa dapat dihidrolisis menjadi gula reduksi

(glukosa, fruktosa, selbiosa) dengan menggunakan media air dan dibantu dengan katalis asam atau enzim (Huber *et al.*, 2006), degradasi dengan *supercritical water*, depolimerisasi dalam cairan ionik (Rinaldi *et al.*, 2010), dan pirolisis suhu tinggi dengan atau tanpa katalis (Carlson *et al.*, 2008).

Hasil hidrolisis selulosa dapat dikonversi menjadi gula alkohol (sorbitol, mannitol, xylitol) serta glukosa anhidrat. Hasil konversi ini dapat dipergunakan lebih lanjut sebagai produksi bahan kimia atau bahan produksi biofuel karena memiliki banyak manfaat lainnya (Hansen *et al.*, 2006). Konversi dipengaruhi oleh berbagai faktor lain seperti indeks kristalinitas, tingkat polimerisasi, dan fraksi gugus ujung yang terikat dengan substrat. Hal ini dikarenakan struktur kristal yang dimiliki selulosa sebagai hasil ikatan jaringan hidrogen yang luas, mampu membuat selulosa tahan terhadap reaksi enzimatik. Jika struktur kristal yang dimiliki selulosa semakin kristalin, maka katalis akan semakin sulit untuk berinteraksi dengan situs inti kristal pada selulosa (Zang *et al.*, 2010).

2.11 Nanoselulosa

Partikel nanoselulosa adalah selulosa yang mengalami perubahan ukuran menjadi bentuk nanometer 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 (Ioelovich, 2012).

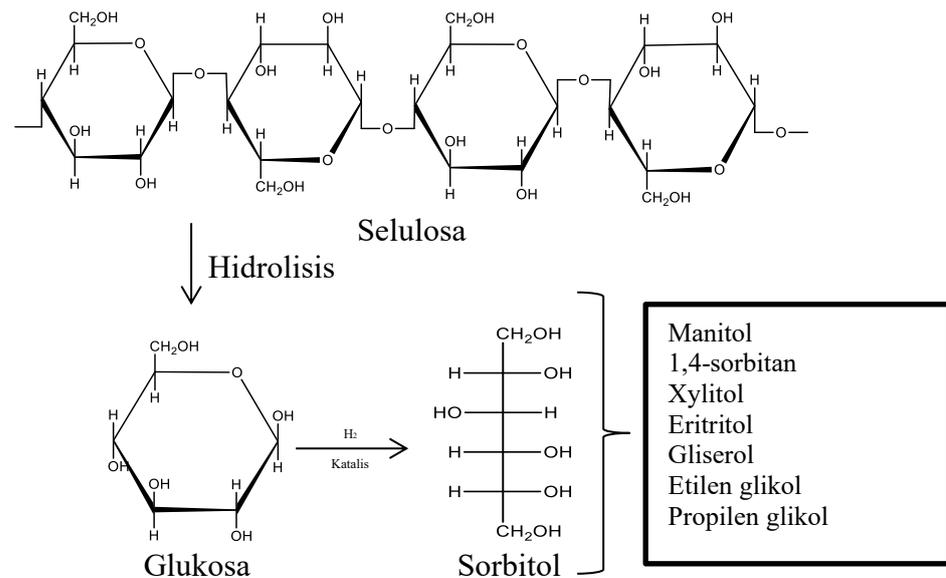
Metode yang sangat akurat diperlukan untuk mengubah selulosa menjadi nanoselulosa. Salah satu metode untuk menghasilkan glukosa adalah dengan hidrolisis asam menggunakan asam kuat seperti asam sulfat. Asam sulfat menjadi pilihan pelarut asam kuat untuk metode hidrolisis asam pada pembuatan nanoselulosa. Menurut Peng (2011) asam sulfat sering digunakan dalam produksi nanoselulosa, namun dispersabilitas dari nanoselulosa yang diperoleh dari jenis asam

ini berbeda dengan jenis asam lainnya, karena kelimpahan dari gugus sulfat pada permukaan, nanoselulosa yang diperoleh dari hidrolisis menggunakan asam sulfat dapat terdispersi dengan mudah di dalam air membuat kualitasnya menurun dibanding dengan menggunakan asam kuat lainnya. Saat ini pembuatan nanoselulosa tanpa menggunakan zat asam berbahaya seperti HCl dan H₂SO₄ telah dikembangkan (Shankar and Rhim, 2016).

2.12 Gula Alkohol

Gula alkohol merupakan produk reduksi dari glukosa yang mana semua atom oksigen dalam molekul gula alkohol yang sederhana terdapat dalam bentuk kelompok hidroksil. Polioliol dapat dibagi menjadi dua yaitu polioliol asiklik dan polioliol siklik. Polioliol adalah pemanis bebas gula, yang merupakan karbohidrat tetapi bukan gula. Gula alkohol terdapat di alam, tetapi lebih banyak merupakan produk hidrogenasi dari mono-disakarida, contohnya sorbitol dari glukosa, maltitol dari maltosa. Secara kimia disebut sebagai gula alkohol karena bagian strukturnya mirip dengan alkohol dan rasanya menyerupai gula tebu. Rasa manis yang dimiliki menjadikan gula alkohol sebagai pemanis yang rendah kalori, sehingga sering digunakan sebagai pemanis untuk penderita diabetes karena tidak menaikkan kadar glukosa darah. Bentuk gula alkohol diantaranya yaitu sorbitol, mannitol, xylitol, erythritol, maltitol, laktitol, palatinit, dan lain-lain (Djayasinga dan Situmeang, 2015).

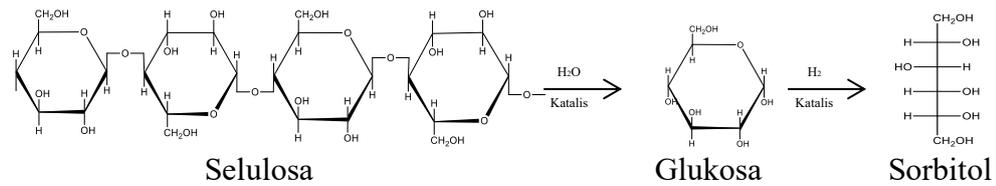
Pada penelitian yang dilakukan Fukuoka *et al.*, 2011 selulosa dengan bantuan katalis dapat diubah menjadi gula alkohol, namun sebelumnya diubah terlebih dahulu menjadi glukosa. Sejumlah besar gugus hidroksil pada selulosa memungkinkan selulosa untuk dikonversi menjadi polioliol lainnya. Reaksi konversi selulosa ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Konversi selulosa menjadi polioliol (Matveeva *et al.*, 2016).

2.12.1 Sorbitol

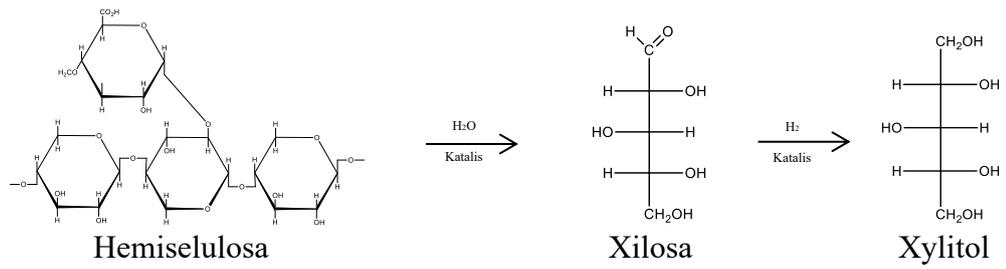
Sorbitol adalah gula alkohol alami dengan rumus molekul ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6$) tidak berbau, nonkarsinogenik, bubuk kristalin berwarna putih, dengan berat molekul 182,17 g/mol, tingkat kemanisannya sekitar 60 % dari sukrosa, kelarutannya 2350 g/L. Sorbitol umumnya digunakan sebagai bahan baku industri dan makanan seperti pasta gigi, permen, kosmetik, farmasi, vitamin C, dan termasuk industri tekstil (Othmer, 1960). Produksi sorbitol secara komersil dilakukan melalui hidrogenasi glukosa dengan menggunakan katalis nikel pada tekanan tinggi. Penambahan hidrogen yang dikatalis dengan logam (platinum, palladium, nikel dan rhodium) akan meningkatkan suhu sehingga produk yang dihasilkan lebih banyak (Marhusari, 2009). Mekanisme reaksi pembentukan sorbitol ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Mekanisme Reaksi Pembentukan Sorbitol (Marhusari, 2009).

2.12.2 Manitol

Mannitol adalah gula alkohol yang terdiri dari enam rantai karbon dengan berat molekul 182,17 g/mol, memiliki kelarutan 22 g manitol didalam 100 mL air (25°C), tingkat kemanisannya 0,5 – 0,7 kali tingkat kemanisan sukrosa. Sedangkan nilai kalori yang dimiliki manitol sebesar 1,6 kkal/g, titik didih 295°C (3,5 torr) dan titik leleh 165 – 169°C (7,6 torr). Secara alami manitol banyak ditemukan pada bahan alam seperti alga, rumput laut dan zaitun. Selain itu juga terdapat pada nanas, asparagus, ubi jalar, dan wortel. Manitol adalah hasil reduksi dari manosa dimana gugus aldehyd pada atom C1 diubah menjadi gugus CH₂OH. Produksi manitol skala industry dilakukan dengan reaksi hidrogenasi fruktosa, sukrosa, atau sirup glukosafruktosa. 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 12.



Gambar 13. Mekanisme Reaksi Pembentukan Xylitol (Fengel *et al.*, 1995).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik FMIPA Universitas Lampung. Analisis keasaman (FTIR) dilakukan di UPT. Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Analisis fasa kristalin nanokatalis (XRD) dilakukan di Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) Badan Tenaga Nuklir Nasional Serpong. Analisis morfologi permukaan nanokatalis (TEM) dilakukan di Laboratorium Anorganik UGM. Analisis energi celah pita (DRS) dilakukan di Laboratorium Jasa Kimia Universitas Indonesia. Uji aktivitas katalitik katalis (KCKT) dilakukan di PT. SIG Bogor. Penelitian ini dilakukan dari bulan Desember 2021 sampai dengan bulan Juli 2022.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan adalah FTIR, XRD, TEM, DRS, KCKT, ultrasonikasi merek Bandelin Sonorex Technik, *Freezer*, *Magnetic Stirrer* merek Stuart heatstir CB162, furnace, *freeze dryer*, oven merek Fischer Scientific (SEA) Pie Ltd, lampu UV merek Solar Glo 100 Watt, pemutar pemanas bermagnetik, pengaduk magnet, neraca digital, mortar agate, desikator, reaktor katalitik, termometer, spatula, botol dan selang infuse, serta peralatan gelas laboratorium.

Bahan-bahan yang digunakan adalah lantanum nitrat $\text{La}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck, 99%), kromium nitrat $\text{Cr}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Merck, 99%), titanium tetraisopropoxide $\text{Ti} \{ \text{OCH}$

$(\text{CH}_3)_2\text{C}_4$ (Merck,98%), akuades, pektin, amonia, kulit pisang, kertas saring, buffer asetat, NH_3 , pH indikator, gas Hidrogen (BOC 99,99%), NaOH , NaClO_2 , HNO_3 , reagen fehling, dan reagen DNS.

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukakan dalam beberapa tahapan yaitu dimulai dari isolasi selulosa dari kulit pisang kapok, pembuatan nanoselulosa, sintesis nanoatalis yang dilanjutkan dengan karakterisasinya, terakhir dilakukan uji aktivitas nanokatalis dalam konversi nanoselulosa melalui reaksi fotokatalisis dan analisis hasil konversinya menggunakan KCKT.

3.3.1 Ekstraksi Selulosa dari Kulit Pisang Kepok

Tahap awal isolasi selulosa diawali oleh pencucian kulit pisang kapok dengan air mengalir lalu kulit pisang kapok dipotong menjadi ukuran yang lebih kecil kemudian dikeringkan dibawah panas matahari dan dihaluskan. Sebanyak 50 gram bubuk yang diperoleh dimasukkan ke dalam labu bulat dan ditambahkan larutan NaOH 4%. Larutan campuran ini direfluks pada temperature 100-120°C selama 2 jam. Hasil dari proses refluks tersebut kemudian disaring dan dicuci dengan akuades beberapa kali untuk memisahkan lignin dan hemiselulosa. Setelah dicuci dan dikeringkan , proses selanjutnya adalah *bleaching* yang dilakukan dengan cara memasukkan 60 gram bubuk selulosa pada labu bulat dan ditambahkan 400 mL larutan 1,7% NaClO_2 , buffer asetat dan air destilasi serta direflus pada temperatur 110-130°C selama 4 jam. Selanjutnya padatan putih didinginkan dan dicuci dengan akuades hingga selulosa diperoleh. Selulosa yang diperoleh kemudian dikeringkan menggunakan freeze-dryer pada -39°C selama 24 jam (Zain *et al.*, 2014; Shankar Rhim, 2016).

3.3.2 Pembuatan Nanoselulosa

Nanoselulosa dibuat dengan menyiapkan 10 gram bubuk selulosa kemudian dimasukkan dalam labu bundar bervolume 1 L dan ditambahkan 200 ml larutan HNO_3 35%. Larutan campuran kemudian disonikasi selama 4 jam lalu direfluks selama 5 jam dengan suhu 60°C lalu padatan yang didapatkan didinginkan kemudian dicuci dengan aquades. Sampel yang sudah didinginkan kemudian disentrifus selama 15 menit dengan kecepatan 3500 rpm. Suspensi koloid yang diperoleh disonikasi 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 and Shankar Rhim, 2016).

3.3.3 Preparasi Nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$

Nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ dilakukan dengan dua tahap yaitu pembuatan nanokatalis LaCrO_3 dan pembuatan nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ dengan impregnasi logam Ti. Pertama-tama yaitu pembuatan larutan pektin dengan melarutkan 20 gram pektin dalam 400 mL akuades. Larutan tersebut diaduk hingga homogen selama kurang lebih 4 jam. Selanjutnya dimasukkan tetes demi tetes La-nitrat (9,0641 gram $\text{La}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam 400 mL akuades), dan Cr-nitrat (8,2923 gram $\text{Cr}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dalam 200 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* hingga diperoleh larutan homogen dan terbentuk gel. Setelah itu dilakukan *freezer-drying* untuk menghilangkan uap air dan dikalsinasi sampai suhu 550°C . Nanokatalis kemudian digerus hingga halus menggunakan *mortar agate* dan ditimbang. Tahap yang kedua yaitu impregnasi logam Ti, diawali dengan preparasi logam prekursor $\text{LaCr}_{0.99}\text{O}_3$ ditambahkan ke dalam larutan 2-propanol sebanyak 50 ml dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sampai homogen. Setelah itu, logam $\text{Ti}\{\text{OCH}(\text{CH}_3)_2\}_4$ sebanyak 0,06058 gram ditambahkan ke dalam larutan prekursor yang telah tercampur dengan 50 ml 2-propanol lalu diaduk menggunakan pengaduk magnetik pada suhu 45°C

sampai volume larutan menyusut dan terbentuk endapan. Setelah itu dilakukan pengeringan beku untuk menghilangkan uap air dan dikalsinasi sampai suhu 700°C. Katalis kemudian digerus hingga halus menggunakan *mortar agate*, ditimbang, dan dikarakterisasi (Djayasinga dan Situmeang, 2015).

3.3.4 Karakterisasi Nanokatalis

a. Analisis Gugus Fungsi dan Interaksi Nanokatalis

Penentuan jenis situs asam katalis dilakukan secara kualitatif dengan menggunakan spektrofotometer inframerah (FTIR). Sampel katalis yang dianalisis dicampur dengan KBr, dengan perbandingan 1:50 atau 1:100. Kemudian sampel yang sudah dicampur dengan KBr dibentuk menjadi pelet, lalu dimasukkan ke dalam wadah sampel. Setelah itu sampel diukur menggunakan spektrofotometer inframerah (FTIR) pada daerah bilangan gelombang 1200 – 2100 cm^{-1} (Rodiansono *et al.*, 2007).

b. Analisis Struktur Kristal Nanokatalis

Struktur kristal nanokatalis diidentifikasi menggunakan alat *X-ray Diffraction* (XRD). Analisis XRD untuk mengetahui struktur kristal menggunakan program *PCPDF-win* 1997 ((Drbohlavova *et al.*, 2009). Sejumlah sampel katalis ditempatkan dalam wadah sampel dan dianalisis. Berkas sinar-X yang ditembakkan ke sampel dengan menggunakan radiasi $\text{CuK}\alpha$ (1,5410 Å), akan dipantulkan dengan membentuk sudut difraksi (2θ) dalam rentang 10 – 80°, dengan step size 0,02°/menit sebagai dasar pembentuk dari grafik difraktogram. Puncak-puncak pada difraktogram diidentifikasi menggunakan metode *Search Match* dimana 3-4 puncak yang memiliki intensitas tertinggi dibandingkan dengan standar data difraktogram yang diterbitkan oleh JCPDF dalam program *PCPDF win* 1997. Ukuran kristal katalis dihitung menggunakan persamaan Debye-Scherrer (Cullity, 1978).

c. Analisis Morfologi Permukaan dan Komposisi Unsur Nanokatalis

Analisis komposisi permukaan unsur dari nanokatalis dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut SEM-EDX. Sempel yang akan dianalisis terlebih dahulu dilapisi dengan emas, kemudian sampel dianalisis dengan menggunakan analisis area. Sinar elektron dialihkan sampai mengenai sampel. Aliran sinar elektron ini kemudian difokuskan dengan 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 ke dalam bentuk gambar oleh analisis SEM dan dalam bentuk grafik oleh analisis EDX (Yurugi, *et al.*, 2001).

d. Analisis Energi Celah Pita Nanokatalis

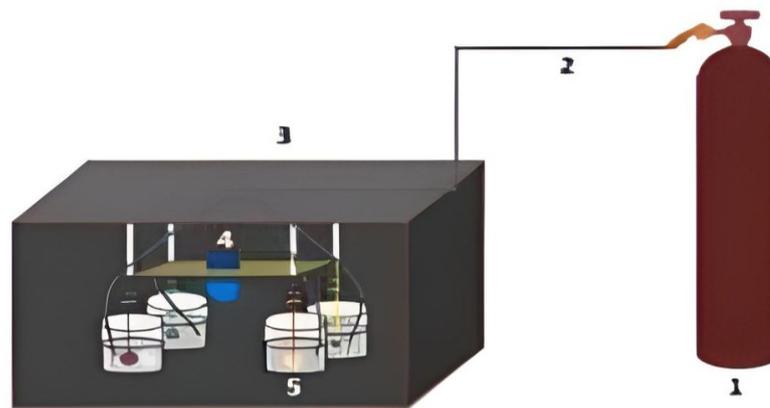
Spektrum DRS UV-vis direkam menggunakan spektrofotometer Shimadzu UV-3600 yang diintegrasikan pada tabung berdiameter 15 cm. Senyawa yang digunakan sebagai referensi adalah BaSO₄. Semua sampel yang telah mengandung BaSO₄ (1:50) digunakan untuk perhitungan (Tatarchuk *et al.*, 2017). Sampel yang digunakan untuk pengukuran berupa bubuk dengan ukuran dibawah 100 mesh atau 149 mikron.

3.3.5 Uji Aktivitas Katalis

a. Koversi Nanoselulosa menjadi Gula Alkohol

Nanoselulosa seberat 0,5 gram dicampurkan ke dalam 100 mL akuades. Kemudian larutan nanoselulosa di tambahkan dengan nanokatalis LaCr_{0.99}Ti_{0.01}O₃ sebanyak 0,1 gram dan dialirkan gas hidrogen dengan laju 10 mL/menit. Setelah itu dipasangkan lampu sinar UV, dimana posisi lampu sinar UV dengan rentang jarak 10-15 cm ke permukaan reaktor (Manurung *et al.*, 2015). Kekuatan energi lampu UV yang digunakan sebesar 120 W. Variabel waktu proses iradiasi sinar UV pada konversi nanoselulosa di menit ke 30, 60, 90, 120, 180 dan 240 dimana di tiap variabel waktu diambil 10 mL sampel yang telah dianalisis hasil konversinya dengan alat instrumen

KCKT. Perlakuan yang sama dilakukan untuk uji blanko yang dimana dua larutan nanoselulosa dilakukan uji katalitiknya. Larutan nanoselulosa pertama dikonversi dengan iradiasi sinar UV tanpa ditambahkan dengan nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ dan larutan nanoselulosa kedua ditambahkan nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ kemudian dikonversi tanpa menggunakan iradiasi sinar UV. Hal ini dilakukan sebagai pembandingan dari hasil uji katalitik nanoselulosa menggunakan nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ dan iradiasi sinar UV. Hasil dari kedua pembandingan tersebut dianalisis juga dengan KCKT. Rangkaian alat untuk uji katalitik dengan iradiasi sinar UV ditunjukkan pada Gambar. 14.



Gambar 14. Rangkaian Alat Konversi Nanoselulosa.

Keterangan :

1. Tabung gas H_2 ,
2. Selang penghantar gas H_2 ,
3. Ruang gelap,
4. Lampu UV,
5. Wadah berisi larutan selulosa dan nanokatalis,
6. Pengaduk

b. Analisis Kuantitatif Hasil Konversi

Analisis kuantitatif untuk hasil konversi dilakukan menggunakan reagen DNS (asam 3,5-dinitrosalisilat) dan diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Sebanyak 1 mL sampel direaksikan dengan 1 mL reagen DNS dalam tabung reaksi dan dipanaskan selama 10 menit pada suhu 100°C. Lalu didinginkan dan diencerkan menggunakan 2 mL akuades. Kemudian diukur serapan dari larutan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm dan ditentukan kadar glukosa menggunakan kurva standar glukosa.

Selanjutnya, sampel dengan konsentrasi glukosa terendah dianalisis lebih lanjut dengan instrumentasi KCKT untuk mengetahui adanya kandungan gula alkohol, seperti sorbitol, manitol, dan xylitol, dari aktivitas katalitik nanofotokatalis pada nanoselulosa. Pada instrumentasi KCKT, fasa 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. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Nanoselulosa pada penelitian ini berhasil dipreparasi dengan indeks kristalinitas sebesar 38.064% dan ukuran sebesar 20.17 nm.
2. Penelitian ini mampu menghasilkan nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ dengan ukuran 67,667 nm.
3. Hasil analisis menggunakan DRS UV-Vis menunjukkan bahwa energi celah pita nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ sebesar 2,77 eV. ini menandakan bahwa nanokatalis dapat bekerja di bawah pengaruh sinar UV dan sinar tampak.
4. Nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ memiliki morfologi permukaan yang heterogen dan mempunyai bentuk kristal tetragonal yang terlihat dari uji SEM-EDX.
5. Analisis dari FTIR pada panjang gelombang 1028 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur C-O-C dari ikatan β -(1,4) glikosida yang mengindikasikan adanya interaksi antara nanokatalis dan nanoselulosa.
6. Uji reagen DNS pada waktu konversi 240 menit mengindikasikan adanya konversi nanoselulosa menjadi gula pereduksi dengan hasil terbaik pada konsentrasi glukosa sebesar 136,73 ppm.
7. Analisis KCKT menunjukan nanokatalis $\text{LaCr}_{0.99}\text{Ti}_{0.01}\text{O}_3$ dapat digunakan untuk mengkonversi nanoselulosa menjadi gula pereduksi yaitu ribosa tetapi belum bisa mendapatkan hasil yang optimal untuk mengkonversi nanoselulosa menjadi gula alkohol.

5.2. Saran

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

1. Melanjutkan uji konversi pada penelitian selanjutnya dengan iridasi sinar tampak yang berfungsi sebagai pembanding hasil konversi dengan menggunakan sinar UV.
2. Perlu dilakukannya uji luas permukaan yang berfungsi untuk memastikan ukuran yang tepat dari luas permukaan dan pori-pori sehingga reaksi konversi nanoselulosa dapat optimal.
3. Perlu dilakukannya analisis lanjutan dari hasil konversi nanoselulosa dikarenakan hasil yang didapat berwarna kuning kemerahan yang kemungkinan adanya senyawa asam levulinat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Yudistira, V., Nirmin dan Khairurrijal. 2008. *Sintesis Nanomaterial. Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*. Vol.1, Hal 33–36.
- Agus Sujatno, Rohmad Salam, Bandriyana, Arbi Dimiyati. 2015. *STUDI SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) UNTUK KARAKTERISASI PROSES OXIDASI PADUAN ZIRKONIUM*. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*. Volume 9, Nomor 2, Hal 44-50.
- Agustine, R dan R.T.M. Situmeang. 2009. *Pembuatan dan karakterisasi katalis perovskite ($LaCr_{1-x}Ni_xO_{3\pm\delta}$) dengan metode sol-gel dan uji katalitiknya pada konversi fruktosa*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hal 52–58.
- Amalia, R. 2013. *Studi Pendahuluan Konversi Selulosa menjadi Gula Alkohol dengan Katalis $Ni_xFe_{2-x}O_4$ dengan Variabel $x=0,5; 0,8$ dan 1*. Universitas Lampung. Lampung. Hal 46 – 50.
- Amand, L. A. and C. J. Tullin. 1999. *The Theory Behind FTIR Analysis: Application Examples From Measurement at the 12 MW Circulating Fluidized Bed Boiler at Chalmers*. Dept. of Energy Conversion Chalmers University of Technology. Gitenborg. Sweden. Hal 1–15.
- Anderson, B. Robert and Peter, T. Dawson. 1976. *Experimental Methods In Catalytic Reseach. Vol. II. Academic Press. New York. Angewandte Chemie International Edition 2007*. Vol. 46, Hal 4547-4549.
- Andrei A. Bunaciu, Elena Gabriela Udri, Stioiu, And Hassan Y. Aboul-Enein. 2015. *X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. Critical Reviews in Analytical Chemistry*. Vol. 45, Hal 289–299.
- Arai, K., Watanabe, M., Osada, M., Shirai, M., and Adschiri, T. 2004. *Catalytic Gasification of Wood Biomassa in Subcritical and Supercritical Water*. *Combustion Science and Technology*. Vol. 178, Hal 537 – 552.

- ASTM D4824-03. 2005. *Test Method for Determination of Catalyst Acidity by Ammonia Chemisorption*. Annual Book of ASTM.
- Atmaji R., Zulfikar M., dan Didi D A. 2013. *Konversi Kulit Pisang Menjadi Glukosa Menggunakan Katalis Arang Aktif Tersulfonasi*. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol. 2, Hal 117-124.
- Aziz. A. A., M. Husin and A. Mokhtar. 2002. *Preparation of cellulose from oil palm empty fruit bunches via ethanol digestion: effect of acid and alkali catalysts*. *Journal of Oil Palm Research*. Vol.14(1), Pp 9-14.
- Bar, A. 1991. *Xylitol, Alternative Sweetener 2nd Edition (In Nabors, L.O and Gelardi, R.C.)*. Marcel Dekker, Inc. 349–376.
- Beckham, G.T., Matthews, J.F., Peters, B., Bomble, Y.J., Himmel, M.E., and Crowley, M.F. 2001. *Molecular-Level Origins of Biomass Recalcitrance: Decrystallization Free Energies for Four Common Cellulose Polymorphs*. *Journal of Physical Chemistry*, Vol. 115(41), Pp 4118–4127.
- Bendersky, L.A and F. W. Gayle. 2001. *Electron Diffraction Using Transmission Electron Microscopy*. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. Vol. 106, Pp 997–1012.
- Beniac, D., Belova, L., Burgess, R., Barnes, C., Cifuentes, L. T., Crassous, P., DiFiore, A., Gspan, C., Gunning, P., Holthuysen, F., Ito, J., Jane, W. N., Johnson, C., Keller, A. and Kisielowski, N. C. 2010. *An Introduction of Microscopy Electron. FEI*. ISBN 978-0-578-06276-1. p. 4.
- Bollen, K. A. 1989. *Structural Equations with Latent Variables*. John Wiley & Sons, Inc. Amerika.
- Callister, W.D.Jr., and Rethwisch, D.G. 2009. *Materials Science and Engineering An Introduction 7th Edition*. John Wiley and Sons Incorporated. New York. Pp 66 – 70.
- Campbell, I.M. 1998. *Catalyst at Surfaces*. Chapman and Hall. New York. Pp 1-3.
- Chorkendorf, I and Niemantsverdriet, J. W. 2003. *Concept of Modern Catalysis and Kinetics*. Wiley-VCH GmbH and Co. Weinheim. Pp 123-134.
- Chorkendroff, I. and J. W. Niemantsverdriet. 2003. *Concept of Modern Catalysis and Kinetics*. Wiley-VCH GmbH & Co. New York. Pp 2 – 4.

- Chris Woodford. 2019. *Electron Microscopes*.
<http://www.explainthatstuff.com/electronmicroscopes.html> diakses pada tanggal 20 Maret 2020 pukul 20.05 WIB.
- Colmenares, J. C., and A. Magdziarz. 2013. *Room Temperature Versatile Conversion of Biomass-Derived Compounds by Mean of Supported TiO₂ Photocatalysts*. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. Vol. 366 , Pp 156-162.
- Colmenares, J.C., Luque, R., Campelo, J.M., Colmenares, F., Karpinski, Z., and Romero, A.A. 2009. *Nanostructured Photocatalysts and Their Application in the Photocatalytic Transformation of Lignocellulosic Biomass*. *Materials*, Vol. 2, Pp 2228–2258.
- Colmenares, J.C., Magdziarz, A., and Bielejewska, A. 2011. *High – Value Chemicals Obtained from Selective Photo-oxidation of Glucose in the Presence of Nanostructured Titanium Photocatalysts*. *Bioresource Technology*. Vol. 22, Pp 11254–11257.
- Cullity, B.D. 1978. *Element of X-ray Diffraction 2nd edition*. Addison-Wesley Publishing Company Incorporation. Philippines. Pp 397-398.
- Deremince, V. Mathieu, J.B. Nagy, and J.J. Verbist. 1998. *Structure and Catalytic Activity of Mixed Oxides of Perovskite Structure*. *Catalysis and Automotive Pollution Control*. Vol. 96, Pp 393-404.
- Deraz, N. M., M. M. Selim and M. Ramadan. 2009. *Processing and Properties of Nanocrystalline Ni and NiO Catalysts*. *Materials Chemistry and Physics*. Vol. 113, Pp 269 – 275.
- Dickens, J. K., Drisko, R. M., Perey, F. G., & Satchler, G. R. 1965. *Local energy approximation for finite-range in stripping reactions*. *Physics Letters*. Vol. 15(4), Pp 337–339.
- Drbohlavova, J., R. Hrdy., V. Adam., R. Kizek., O. Schneeweiss., and J. Hubalek. 2009. *Preparation and Properties of Various Magnetic Nanoparticles*. *Sensors*. Vol. 9, Pp 2352 – 2362.
- Fengel, D., dan G. Wegener. 1995. *KAYU : Kimia, Ultrastruktur, dan Reaksi-Reaksi*. Terjemahan oleh Sujipto A. Hadikusumo dan Soenardi Prawirohatmodjo. UGM Press. Yogyakarta. Hal 669 – 729.

- Frieder W. Lichtenthaler. 2002. *Unsaturated O- and N-Heterocycles from Carbohydrate Feedstocks. Accounts of Chemical Research*. Vol. 35(9), Pp 728–737.
- Fukuoka, A and Dhepe, P.L. 2006. *Catalytic Conversion of Cellulose into Sugar Alcohols. Angewandte Chemie-international Edition In English*, 45: 5161–5163.
- Fukuoka, A., Y. Kobayashi., T. Ito., Y Komanoya., P.L. Dhepe., K. Kasai., and K. Hara. 2011. *Synthesis of Sugar Alcohols by Hydrolytic Hydrogenation of Cellulose Over Supported Metal Catalysts. Green Chemistry*. Vol. 13, Pp 326 – 333.
- G. Parravano. 1952. *Ferroelectric Transitions and Heterogenous Catalysis. Journal of Chemical Physics*. Vol. 20(2), Pp 342-343.
- Hair, J. F., et. al. 2007. *Multivariate Data Analysis. 7th edition. Prentice Hall, Inc.* New Jersey.
- Han, Y., J. Zhang., and X. Liu. 2013. *Molybdenum-Containing Acidic Catalysts to Convert Cellulosic Biomass to Glycolic Acid. United States Patent Application Publication*. US 2013/0281733 A1. Pp 1–2.
- Hanke, L.D. 2001. *Handbook of Analytical Methods for Materials. Materials Evaluation and Engineering*. Inc. Plymouth. Pp 35–38.
- Hansen, T.S., Boisen, A., Woodley, J.M., Pedersen, S., and Riisager, A. 2006. *Production of HMF from Aqueous Fructose. Microwave Study*, Vol. 8, Pp 1–2.
- Hegedus, L.L., Aris, R., Bell, A.T., Boudart, M., Chen, N.Y., Gates, B.C., Haag, W.O., Somorjai, G.A., Wei, J. 1987. *Catalytic Design, John Willey & Sons Inc.* Canada. Pp 54-61.
- Hofer, F. 2014. *Transmission Electron Microscopy and Nanoanalysis. FELMIZFE: Electron Microscopy and Nanoanalysis*.
portal.tugraz.at/portal/page/portal/felmi/research/TEManNanoanalysis.
Diakses pada tanggal 20 Maret 2020 pukul 19.47 WIB.
- Huber, W., Toedling, J., & Steinmetz, L. M. 2006. *Transcript mapping with high-density oligonucleotide tiling arrays. Bioinformatics*. Vol. 22(16), Pp 1963–1970.

- Ioelovich, M. 2012. *Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles. Nanocrystals and Nanotechnology*. Vol. 2(2), Pp 9–13.
- Irusta, S; M. P. Pinna, M. Menendes & J. Santamaria. 1998. *Catalytic Combustion of Volatil Compounds Over La-Based Perovskites. Journal of Catalysis*. Vol. 179, Pp 400-412.
- Ismunandar. 2006. *Padatan Oksida Logam: Struktur, Sintesis dan Sifat-Sifatnya. Penerbit ITB*. Bandung. Indonesia. Hal 8–23.
- Johnson, E.L., and R. Stevenson. 1991. *Dasar – Dasar Kromatografi Cair. Terjemahan oleh Kosasih Padmawinata. ITB*. Jakarta. Hal 361 – 365.
- Kanade K.G et al. 2006. *Effect Of Solvents On The Synthesis Of Nano-Size Seng Oxide And Its Properties. Materials Research Bulletin*. Vol. 41, Pp 590-600.
- Kawai, T and Sakata, T. 1980. *Conversion of Carbohydrate into Hydrogen Fuel by a Photocatalytic Process. Nature*. Vol. 286, Pp 474–476.
- Kirk, R.E. and Othmer, D. F. 1980. *Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd . John Wiley and Sons*. New York. Pp 62-75.
- Kumar, S and Gupta, R.B. 2008. *Hydrolysis of Microcrystalline Cellulose in Subcritical and Supercritical Water in a Continuous Flow Reactor. Industrial and Engineering Chemistry Research*. Vol. 47, Pp 9321–9329.
- Kupiec, Tom. 2004. *Quality-Control Analytical Methods: High-Performance Liquid Chromatography. International Journal of Pharmaceutical Compounding*. Vol. 8, Pp 223-227.
- Kuusisto, J., Mikkola, J.P., Casal, P.P., Karhu, H., Vayrynen, J., and Salmi, T. 2005. *Kinetics of the Catalytic Hydrogenation of D-Fructose over a CuO-ZnO Catalyst. Journal of Chemical Engineering*. Vol. 115, Pp 93–102.
- Kwon, K.C., Mayfield, H.T., Marolla, B., Nichols and Mashburn, M. 2011. *Catalytic Deoxygenation of Liquid Biomass for Hydrocarbon Fuels. Renewable Energy*. Vol. 36(3), Pp 907–915.
- Labconco. 1996. *Manual Book of Freeze Dry. USA*. Pp 74-88.

- Lambert C.K and Gonzalez, R.D. 1998. *The Importance of Measuring the Metal Content of Supported Metal Catalysts Prepared by the Sol Gel Method. Applied Catalysis A: General*. Vol. 172, Pp 233–239.
- Lecloux A. J., and J. P. Pirard. 1998. *High-Temperature Catalysts Through Sol–Gel Synthesis. Journal of Non-Crystalline Solids*. Vol. 225, Pp 146-52.
- Lee, H., and J. W. Han. 2012. *Direct Conversion of Cellulose into Sorbitol using Dual Functionalized Catalyst in Neutral Aqueous Solution. Catalysis Communications*. Vol. 19, Pp 115 – 118.
- Li, G., 2005. *FT-IR Studies of Zeolite Material : Characterization and Environmental Applications, Dissertation, Mathematic and Natural Science Faculty, University of Iowa, Iowa*. Pp 36-49.
- Lin, L., J. Zhuang, L. Peng, B. Zhang and Y. Gong. 2010. *Catalytic conversion of cellulose to levulinic acid by metal chlorides. Molecules*. 15. Pp 5258–5272.
- Lindawati. 2017. *Uji Aktivitas Nanofotokatalis $LaCr_{0,98}Mo_{0,02}O_3$ yang Diiradiasi Sinar UV Untuk Konversi Nanoselulosa Menjadi Gula Alkohol. Skripsi. Universitas Lampung. Lampung*. Hal 64.
- Lu, Q., Ye, X.N., Zhang, Z.B., Dong, C.Q., and Zhang, Y. 2014. *Catalytic Fast Pyrolysis of Cellulose and Biomass to Produce Levoglucosenone Using Magnetic $SO_4^{2-}/TiO_2 - Fe_3O_4$. Bioresource Technology*. Vol. 171, Pp 10–15.
- S. Lunell, L.A. Eriksson, T. Fangstrom. 1993. *Theoretical investigation of the structure and dynamics of the cyclopentane radical cation. Department of Quantum Chemrstry, Uppsala Universrty. Sweden*.
- Mahaleh, Y., Bahari, M., Sadrnezhaad, S.K., and Hosseini, D. 2008. *NiO Nanoparticles Synthesis by Chemical Precipitation and Effect of Applied Surfactant on Distribution of Particle Size. Journal of Nanomaterials*. Vol. 2008, Pp 1–4.
- Malvino, A.P. 1989. *Aproksimasi Rangkaian Semi Konduktor (Pengantar Transistor Rangkaian Terpadu). Erlangga. Jakarta*. Hal 487-494.
- Manurung, P., R. Situmeang, E. Ginting and I. Pardede. 2015. *Synthesis and Characterization of Titania-Rice Husk Silica Composites as Photocatalyst. Indonesian Journal Chemistry*. Vol. 15(1), Pp 38-40.

- Marhusari, R. 2009. *Bentonit Terpilair TiO₂ Sebagai Katalis Pembuatan Hidrogen Dalam Pelarut Air Pada Hidrogenasi Glukosa Menjadi Sorbitol Dengan Katalis Nikel*. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara. Medan. Hal 21 – 23.
- Mathieu-Deremince, V., Nagy, J. B., & Verbist, J. J. 1995. *Structure and catalytic activity of mixed oxides of perovskite structure*. *Studies in Surface Science and Catalysis*. Pp 393–404.
- Matveeva, V.G., Manaenkov, O.V., Filatova, A.E., Kislitza, O.V., Doluda, YU., Rebrov, E. V., E. M., Sulman, Sidorov, A. L., and Torozova, A. S. 2016. *Conversion of cellulose with the use of catalysts based on hypercrosslinked polystyrene*. *School of Engineering, University of Warwick*. Vol. 12, Pp 133-140.
- Mohanraj, V. J. and Y. Chen. 2006. *Nanoparticles a Review*. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. Vol. 5, Pp 561 – 573.
- Mota, N., Alvarez-Galvan, C., Navarro, R.M., and Fierro, J.L.G. 2011. *Biogas as a Source of Renewable Syngas Production: Advances and Challenges*. *Biofuels*. Vol. 2(3), Pp 325–343.
- Nathan Mosier, Charles Wyman, Bruce Dale, Richard Elander, Y.Y. Lee, Mark Holtzaple, Michael Ladisch. 2004. *Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass*. *Laboratory of Renewable Resources Engineering, Department of Agricultural and Biological Engineering, Purdue University, Potter Engineering Center*. USA.
- Nanda K.K., Maisel, F.E., Kruis, H.F., and Strappert, S. 2003. *Higher Surface Energy of Free Nanoparticles*. *Physical Review Letters*. Vol. 91, Pp 102 – 106.
- Navrotsky, A., D. Ziegler., R. Oestrike., P. Manier. 1989. *Calorimetry of Silicate Melts at 1773 K: Measurement of Enthalpies of Fusion and of Mixing in The Systems Diopside-Anorthite-Albite and Anorthite-Forsterite*. *Mineralogy and Petrology*. Vol. 101(1) , Pp 122-130.
- Othmer, D. F., Gilmont, R., & Conti, J. J. 1960. *An Adiabatic Equilibrium Still for More Accurate Vapor-Liquid Equilibrium Data*. *Industrial & Engineering Chemistry*. Vol. 52(7), Pp 625–628.
- P. Zugenmaier. 2008. *Crystalline Cellulose and Derivatives*. *Springer Series in Wood Science*.

- Palkovits, R., K. Tajvidi., A. Ruppert., and J. Procelewska. 2011. *Heteropoly Acids as Efficient Acid Catalysts in The One Step Conversion Cellulose to Sugar Alcohols. Chemical Communication*. Vol. 47, Pp 576 – 578.
- Pena, M.J., Marrero, L.D., Perez, C.D., Ruiz, M.J.C., and Nunez, P. 2007. *Performance of XSCoF (X=Ba, La and Sm) and LSCrX' (X'=Mn, Fe and Al) Perovskite Structure Materials on LSGM Electrolyte for IT-SOFC. Electrochimica Acta*. Vol. 52, Pp 2950 – 2958.
- Peng, B.L., Dhar, N., Liu, H.L., and Tam, K.C. 2011. *Chemistry Applications of Nanocrystalline Cellulose and Its derivate : A Nanotechnology Perspective. Materials Letters*. Vol. 15(8), Pp 5050-5052.
- Pertiwi, E. S. 2017. *Konversi Nanoselulosa Menjadi Gula Alkohol Dengan Menggunakan Nanofotokatalis $LaCr_{0,99}Mo_{0,01}O_3$ Yang Diiradiasi Sinar UV. Skripsi. Universitas Lampung. Lampung. Hal 64.*
- Phariyadi. 2013. *Freeze Drying Technology for Better Quality Flavour of Dried Products. Foodreview Indonesia*. Vol. 8, Pp 52 – 57.
- Pinna, F. 1998. *Supported Metal Catalyst Preparation. Catalysis Today*. Vol. 41, Pp 129 – 137.
- Potthast, A., Rosenau, T., and Kosma, P. 2006. *Analysis of Oxidized Functionaties in Cellulose. Advanced Polymer Science*. Pp 1-48.
- Putera, D.D. 2008. *Sintesis Fotokatalis CuO/ZnO untuk Konversi Metanol Menjadi Hidrogen. Skripsi. Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung. Bandung. Hal 9-10.*
- Puttipat, N., Payormhorm, J., Chiarakorn, S., Laosiripojana, N., and Chuangchote, S. 2014. *Conversion of Sugar to Organic Acids Using TiO_2 Photocatalysts Synthesized by Hydrothermal Process. 3rd International Conference of Environment Energy and Biotechnology, IPCBEE*. Vol. 70, Pp 119–122.
- Qi, W.H., and Wang, M.P. 2002. *Size Effects On The Cohesive Energy of Nanoparticles. Journal of Material Science Letters*. Vol. 21, Pp 1743 – 1745.
- Qodri, A.A. 2011. *Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow FG dengan Fotokatalis Komposit TiO_2/SiO_2 . Skripsi. Universitas Sebelas Maret Surakarta. Hal 77–78.*

- Rao, C.N R., Muller, A., and Cheetham, A.K. 2004. *The Chemistry of Nanomaterials : Synthesis, Properties and Applications*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Germany. Pp 1 – 11.
- Ridley, B.L., O'Neill, M.A., and Mohnen, D. 2001. *Pectins: Structure, Biosynthesis and Oligogalacturonide-Related Signaling*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. Vol. 57, Pp 929 – 967.
- Rieke, R.D., Thakur, D., Roberts, B., and White, T. 1997. *Fatty Methyl Ester Hydrogenation to Fatty Alcohol Part II: Process Issues*. *Journal of The American Oil Chemists Society*. Vol. 74(4), Pp 342-345.
- Rinaldi, M., Li, R. W., & Capuco, A. V. 2010. *Mastitis associated transcriptomic disruptions in cattle*. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. Vol. 138(4), Pp 267–279.
- Rodiansono, W., Trisunaryanti and 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*. Vol. 17. Pp, 44–54.
- Rosenauer, A. 2003. *Transmission Electron Microscopy of Semiconductor Nanostructures: Analysis of Composition and Strain State*. Springer. p. 1.
- Rudy Situmeang , Simon Sembiring, Wasinton Simanjuntak, Zipora Sembiring, Suripto Dwi Yuwono. 2019 . *CHARACTERISTICS OF LaCrO3 NANOMATERIAL THE EFFECT OF THE CALCINATION TEMPERATURE*. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. Vol. 54 (4), Pp 715-720.
- Rumondang, D. 2017. *Konversi Nanoselulosa Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanokomposit Ni_{0,9}Cu_{0,1}Fe₂O₄ Yang Diirradiasi Sinar UV*. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. Hal 66.
- S. Lunell, & Nelson. H. F. Beebe. 1977. *Hartree-Fock and Configuration Interaction Calculations of Hyperfine Constants in Quartet States of Three-electron Atoms*. *Physica Scripta*. Vol. 15(4), Pp 268–272.
- Satterfield, C.N. 1980. *Heterogenous Catalysis in Practices*, New York: McGraw-Hill Book Co. Vol. 2, Pp 471-523.
- Seri, K., Sakaki, T., Shibaba, M., Inoue, Y., and Ishida, H. 2002. *Lanthanum (III) – Catalyzed Degradation of Cellulose at 250°C*. *Bioresource Technology*. Vol. 81, Pp 257–260.

- Setiawan. 2007. *Modul Pengantar Kuliah Semikonduktor. Jurusan Pendidikan Fisika. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung. Hal 14–16.*
- Shankar, S., and J. W. Rhim. 2016. *Preparation of Nanocellulose from Microcrystalline Cellulose: The Effect on the Performance and Properties of Agar-Based Composite Films. Carbohydrate Polymers. Vol. 135, Pp 18-26.*
- Sietsma, J. R. A., Meeldijk, J. D., den Breejen, J. P., Versluijs-Helder, M., Dillen, P. E., de Jongh, and de Jong, K. P. 2007. *The Preparation of Supported NiO and Co₃O₄ Nanoparticles by the Nitric Oxide Controlled Thermal Decomposition of Nitrates. Chemistry International. Vol. 24, Pp 4547 - 4549.*
- Sjostrom, E. 1995. *Kimia Kayu, Dasar-dasar dan Penggunaan Edisi Kedua.* http://opac.kaltimprov.go.id/ucs/index.php?p=show_detail&id=55371 diakses pada tanggal 20 Maret 2020 pukul 20.23 WIB. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Skoog, D.A and Leary, J.J. 1996. *Fundamentals of Analytical Chemistry 7th Edition. Saunders College Publishing. USA. Pp 44.*
- Soderlind, F. 2008. *Colloidal Synthesis of Metal Oxide Nanocrystals and Thin Films. Dissertation. Linkoping. Sweden. Linkoping University. Pp 99-105.*
- Sorensen, T.H., Cruys-Bagger, N., Borch, K., and Westh, P. 2015. *Free Energy Diagram for the Heterogeneous Enzymatic Hydrolysis of Glycosidic Bonds in Cellulose. Journal of Biological Chemistry. Vol. 290(36), Pp 22203–22211.*
- Stoltze, P. 2000. *Introduction to Heterogeneous Catalysis. Department of Chemistry and Applied Engineering Science. Aalborg University. Vol. 2, Pp 6-7.*
- Sun, Y and Cheng, J. 2002. *Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production: a Review. Bioresource Technology. Vol. 83, Pp 1–11.*
- Supriyadi, L.E. 2018. *Konversi Nanoselulosa Dari Limbah Kulit Pisang Kepok Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanokatalis Ni_{0,75}Cu_{0,25}Fe₂O₄ Dengan Bantuan Sinar UV. Skripsi. Universitas Lampung. Lampung. Hal 31.*
- Suri, A., Yuniarti, Y., dan Rumondang, B. 2013. *Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Kadar Bioetanol Dari Fermentasi Glukosa Hasil Hidrolisis Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jack) Dengan HCl 30% Menggunakan Ragi Roti. Jurnal Sainia Kimia. Vol. 1, Hal 20-34.*

- Susanti, R. 2017. *Uji Aktivitas Katalis Nanokomposit $Ni_{0.5}Cu_{0.5}Fe_2O_4$ Dalam Mengkonversi Nanoselulosa Menjadi Gula Alkohol yang Diiradiasi Sinar UV*. Skripsi. Universitas Lampung. Lampung. Hal 69.
- Tatarchuk, A., Bououdina, M., Macyk, W., Shyichuk, O., Paliychuk, N., Yaremiy, I., Al-Najar, B., and Michal Pacia. 2017. *Structural, Optical, and Magnetic Properties of Zn-Doped $CoFe_2O_4$ Nanoparticles*. *Nanoscale Research Letter*. Vol. 12, Pp 141.
- 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*. Vol. 44, Pp 9370–9375.
- Trahanovsky, W.S., Holtan, R.C., Quasdorf, K.W., Olson, N.K., Hurd, A.A., and Marshall, J.A. 2013. *Method for the Conversion of Cellulose and Related Carbohydrate Materials to Low-Molecular-Weight Compounds*. US Patent no. US8383864 B2 www.USPTO.gov. Pp 1–18.
- Tria Yuliarni. 2020. *Konversi Nanoselulosa Dari Kulit Pisang Kepok Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanokatalis $LaCr_{(1-x)}Mo_xO_3$ Dengan Bantuan Radiasi Sinar UV*. Tesis. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Twardowski, T.E. 2007. *Introduction to Nanocomposite Material*. DEStech Publication, Inc. Denmark. Hal 55.
- Ummiyil. D. 2012. *Konversi Selulosa dari Biomassa Batang Pisang Menjadi Asam Levulinat Melalui Reaksi Katalitik Dengan Katalis Kromium Klorida*. Thesis. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung. Hal 65-67.
- V.S.Shinde, K.H. Kapadnis, C.P.Sawant, A.N.Ahirrao. 2018. *Synthesis and Characterization of $LaCrO_3$ By Sol-Gel Method*. *International Journal of Chemical and Physical Sciences*. Vol. 7, Pp 311-316.
- Widegren, J., Finke, R., and Mol, J. 2003. *Preparation of a Multifunctional Core-Shell Nanocatalyst and Its Characterization by HRTEM*. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. Vol. 191, Pp 187.
- Widya Fatriasari, Nanang Masruchin, dan Euis Hermiati. 2019. *Selulosa Karakteristik dan Pemanfaatannya*. LIPI Press. Jakarta.
- Wijanto, S. H. 2008. *Structural Equation Modeling dengan Liserel 8.8: Konsep dan Tutorial*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

Yamamoto, S., Sumita, T., Sugiharuto., Miyashita, A., and Naramoto, H. 2001. *Preparation of Epitaxial TiO₂ Films by Pulsed Laser Deposition Technique. Thin Solid Films. Vol. 401, Pp 88–93.*

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. Vol. 2014, Pp 11-20.*