

**KONVERSI SELULOSA MENJADI GULA PEREDUKSI
MENGUNAKAN NANOKOMPOSIT $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$ / nHGO**

(Tesis)

Oleh

Arya Rifan Syah



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**KONVERSI SELULOSA MENJADI GULA PEREDUKSI
MENGUNAKAN NANOKOMPOSIT $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$ / nHGO**

Oleh

Arya Rifan Syah

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
MAGISTER SAINS**

Pada

**Program Pascasarjana Magister Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

KONVERSI SELULOSA MENJADI GULA PEREDUKSI MENGUNAKAN NANOKOMPOSIT $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ / nHGO

Oleh

Arya Rifan Syah

Selulosa adalah biopolimer alami yang dapat diperbarui yang berlimpah di Bumi, dan secara luas dianggap sebagai alternatif bahan bakar fosil jangka panjang. Namun, untuk menghasilkan bahan bakar alternatif tersebut selulosa harus dipecah menjadi suatu gula pereduksi. Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh gula pereduksi dari nanoselulosa dengan tingkat kristalinitas lebih rendah dari 40%. Penelitian diawali dengan sintesis grafit yang digunakan untuk mensintesis nHGO. nHGO diimpregnasi dengan katalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ dengan perbandingan berat 0,1:1; 0,3:1; 0,5:1. Nanokomposit disintesis dengan metode sol-gel menggunakan pektin, metode *freeze drying*, metode sonikasi dan kemudian dikarakterisasi dengan FTIR, XRD, SEM-EDX, dan DRS UV-Vis. Hasil analisis XRD menunjukkan adanya fasa kristalin $\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$, LaCrO_3 , dan La_2O_3 serta diperoleh ukuran kristal berdasarkan metode Scherrer berkisar 20,69-20,75 nm. Hasil analisis SEM-EDX menunjukkan bahwa nanokomposit memiliki morfologi bentuk yang tidak beraturan serta nilai energi *band-gap* ketiga nanokomposit berada di kisaran 1,407–1,452 eV. Nanoselulosa kulit pisang kepok diisolasi dan diperoleh ukuran kristal yaitu 35,43 nm dan indeks kristalinitas 28,125%. Konversi nanoselulosa menggunakan nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO dilakukan di bawah radiasi sinar UV dengan variasi waktu 60, 120, 180, 240, dan 360 menit. Hasil konversi menunjukkan bahwa persentase nanoselulosa terkonversi tertinggi yaitu 54,14% dengan nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,1:1) dan konsentrasi glukosa tertinggi sebesar 120,72 ppm dengan menggunakan nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,1:1). Selanjutnya hasil konversi dianalisis dengan HPLC, dan teridentifikasi adanya puncak dari ribosa pada waktu retensi 3,290 dan sorbitol pada waktu retensi 7,490.

Kata Kunci: grafit, GO, nHGO, nanokomposit, nanoselulosa, gula pereduksi, $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO.

ABSTRACT

CONVERSION OF CELLULOSE TO REDUCING SUGAR USING $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$ / nHGO NANOCOMPOSITE

By

Arya Rifan Syah

Cellulose is a natural, renewable biopolymer that is abundant on Earth, and is widely considered a long-term alternative to fossil fuels. However, to produce this alternative fuel, cellulose must be broken down into reducing sugars. The aim of this research is to obtain reducing sugars from nanocellulose with a crystallinity level lower than 40%. The research began with the synthesis of graphite which was used to synthesize nHGO. nHGO was impregnated with $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$ catalyst with a weight ratio of 0.1:1; 0.3:1; 0.5:1. Nanocomposites were synthesized by the sol-gel method using pectin, freeze drying method, sonication method and then characterized by FTIR, XRD, SEM-EDX, and DRS UV-Vis. The results of XRD analysis showed the presence of $\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$, LaCrO_3 , and La_2O_3 crystalline phases and obtained crystal sizes based on the Scherrer method ranging from 20.69 to 20.75 nm. The results of SEM-EDX analysis show that the nanocomposites have an irregular morphology and the band-gap energy values of the three nanocomposites are in the range of 1.407–1.452 eV. Kepok banana peel nanocellulose was isolated and obtained a crystal size of 35.43 nm and a crystallinity index of 28.125%. Nanocellulose conversion using $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$ /nHGO nanocomposite was carried out under UV light radiation with varying times of 60, 120, 180, 240 and 360 minutes. The conversion results show that the highest percentage of converted nanocellulose is 54.14% with the $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$ /nHGO (0.1:1) nanocomposite and the highest glucose concentration is 120.72 ppm using the $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$ /nHGO nanocomposite (0,1:1). Next, the conversion results were analyzed by HPLC, and a peak was identified for ribose at a retention time of 3.290 and sorbitol at a retention time of 7.490.

Keywords: graphite, GO, nHGO, nanocomposite, nanocellulose, reducing sugar, $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$ /nHGO.

Judul Penelitian : **KONVERSI SELULOSA MENJADI GULA
PEREDUKSI MENGGUNAKAN
NANOKOMPOSIT $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$ / nHGO**

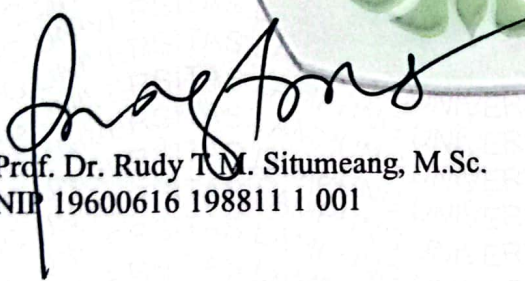
Nama Mahasiswa : **Arya Rifan Syah**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2027011014**

Program Studi : **Magister Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**




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


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

2. Ketua Program Studi Magister Kimia



Dr. Nurhasanah, M.Si.
NIP 19741211 199802 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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

Sekretaris

: Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.

Penguji

Bukan Pembimbing

: Prof. Dr. Tati Suhartati, M.S.

: Dr. Mita Rilyanti, M.Si.

: Dr. Dian Herasari, M.Si.

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

NIP. 19711001 200501 1 002

3. Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Murhadli, M.Si.

NIP. 19640326 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 2 Mei 2024

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arya Rifan Syah
NPM : 2027011014
Program Studi : Magister Kimia

menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul, "**Konversi Selulosa Menjadi Gula Pereduksi Menggunakan Nanokomposit $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3 / \text{nHGO}$** " merupakan hasil penelitian dan pemikiran yang telah dikerjakan oleh saya sendiri dan tidak terdapat karya atau pendapat orang lain dalam hasil penelitian saya, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan kepada Universitas Lampung.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari ditemukan adanya ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Mei 2024

Pembuat Pernyataan



Arya Rifan Syah

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Pengayunan Kabupaten Pesawaran, pada tanggal 1 Juli 1994, sebagai anak sulung dari tiga bersaudara.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 4 Pagelaran pada tahun 2006, dan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Pagelaran pada tahun 2009. Penulis kemudian menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Pagelaran pada tahun 2012.

Pada tahun 2012 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui Jalur Perimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan (PMPAP) dan lulus pada tahun 2016. Pada pendidikan S1, penulis pernah memperoleh Bantuan Biaya Pendidikan Peningkatan Prestasi Akademik (BBP-PPA) pada tahun 2013-2015 serta Bantuan Beastudi Lampung Peduli (BLP) pada tahun 2013-2014.

Pada tahun 2017, penulis bekerja sebagai Tenaga Administrasi Laboratorium SMAN 1 Pagelaran dan Tentor I-Smart Lembaga Bimbingan Belajar Primagama. Pada tahun 2020, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Program Pascasarjana Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bidang ilmu Kimia Fisik. Pada tahun 2022, penulis melanjutkan Pendidikan Profesi Guru Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung dan mendapatkan Sertifikat Pendidik pada tahun 2023.

MOTTO

Boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu, padahal itu baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu tidak baik bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui (Al-Baqarah: 216).

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan (Al-Insyirah: 6).

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Allah SWT, atas segala karunia-Nya yang telah menganugerahkan iman dan islam, sholawat beriring salam teruntuk sang murabbi terbaik pengubah peradaban umat manusia nabi Muhammad SAW. Dengan mengharap keberkahan dari Allah SWT, ku persembahkan karya ini sebagai tanda cinta, kasih sayang dan baktiku kepada:

Ibuku tercinta (Ibu Misyatun)

manusia paling berjasa, penyemangat yang luar biasa, yang selalu berdo'a untuk kesuksesanku.

Adik-adikku dan sahabat-sahabatku

Yang menjadi motivasi dan penyemangat ku

Rasa hormatku kepada

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

Dosen yang telah membantuku dalam belajar untuk mendapatkan ilmu serta memberikan motivasi agar aku menjadi insan yang lebih baik

serta

Almamaterku tercinta

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamiin. Puji syukur kepada Allah SWT, atas segala petunjuk-Nya yang telah menganugerahkan iman, sehat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul “Konversi Selulosa Menjadi Gula Pereduksi Menggunakan Nanokomposit $\text{LaCr}_{0.99}\text{Mo}_{0.01}\text{O}_3$ / nHGO”. Sebagai salah satu syarat dalam meraih gelar Magister Sains pada program studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Teriring doa nan tulus jazaakumullah khaiiran katsir wa jazaakumullah ahsanul jaza, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibundaku Misyatun yang selalu memberikan doa, motivasi, dan juga kasih sayang kepada penulis, sehingga menjadi penyemangat bagi penulis dalam menyelesaikan tesis ini, semoga Allah membalas cintanya dengan jannah-Nya, aamiin yarabbal 'alamin.
2. Prof. Dr. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc. selaku pembimbing I yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, keikhlasan memberikan arahan, memotivasi, dan membantu penulis sehingga dapat menyelesaikan tesis ini. Semoga Allah membalas kebaikan beliau dengan kebaikan yang tak terilai.
3. Prof. Dr. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. selaku pembimbing II yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran, keikhlasan sehingga tesis penulis dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah membalasnya dengan kebaikan.
4. Prof. Dr. Tati Suhartati, M.S., Dr. Dian Herasari, M.Si., dan Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku pembahas dalam penelitian penulis atas semua nasihat, kritik, saran, dan motivasi yang sangat membangun pada penulisan tesis ini. Semoga Allah membalasnya dengan kebaikan.

5. Dr. Nurhasanah, M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung atas arahan, bantuan, dan motivasi untuk menyelesaikan pendidikan Magister ini. Semoga Allah membalasnya dengan kebaikan.
6. Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak dan Ibu dosen dan Staf administrasi jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Semoga Allah SWT melimpahkan keberkahan yang tidak ternilai kepada Bapak dan Ibu.
8. Adik-adikku tersayang Agung Ardian Syah dan Anggi Marsya atas do'a, perhatian dan dukungan selama ini yang tidak pernah berhenti. Semoga Allah memberikan segala yang kalian inginkan.
9. Rekan-rekan dan adik-adikku tim Grafena Oksida di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
10. Teman-teman Magister Kimia 2020: Della, Rinda, Mbak Cindy, Fendi, Nadya, Nafila, Restu, Hanif, Ezra, Mentari, Rosyidatul dan Aisyah untuk dukungan dan kebersamaannya selama ini. Sukses untuk kalian semua.
11. Teman-teman SMAN 1 Pagelaran: Bu Maysaroh, Bu Rusiati, Mbak Tari dan teman-teman lain atas bantuan dan motivasi kepada penulis. Semoga Allah membalasnya dengan kebaikan.
12. Teman-Teman Genza Education (Primagama), Poltekkes Kesuma Bangsa, dan Bimbel Aneras, atas bantuan yang diberikan kepada penulis. Semoga Allah membalasnya dengan kebaikan.
13. Teman-Teman PPG Prajabatan 2022, khususnya Sri Budi Asih dan Duwi Wulandari atas motivasi, kebersamaan dan kekeluargaannya.
14. Ibu Puji, Mbak Anita dan Mbak Luh atas bantuan yang diberikan kepada penulis. Semoga diberikan kebaikan dan kebahagiaan.
15. Seluruh pihak yang belum tersebut, yang sudah membantu dalam penyelesaian penulisan tesis ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan di dalam penyusunan tesis ini dan juga masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan dalam ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang ilmu sains.

Bandar Lampung, 2 Mei 2024

Penulis

Arya Rifan Syah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	4
1.3. Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Limbah Bonggol Jagung	5
2.2. Grafit	6
2.3. Grafena Oksida.....	8
2.4. <i>Nano Hollow</i> Grafena Oksida (nHGO)	9
2.5. Nanokatalis.....	10
2.6. Senyawa <i>Perovskite</i>	11
2.7. Preparasi Katalis.....	12
2.7.1. Sol Gel.....	12
2.7.2. Pengeringan Beku (<i>Lyophilization/Freeze Drying</i>).....	14
2.7.3. Kalsinasi	15
2.8. Karakterisasi Katalis.....	15
2.8.1. Penentuan Gugus Fungsi	15
2.8.2. Penentuan Fasa Kristalis	16
2.8.3. Penentuan Morfologi Katalis	18
2.8.4. Analisis Band-Gap	19
2.9. Reaksi Fotokatalitik.....	20
2.10. Limbah Kulit Pisang Kepok	21
2.11. Selulosa	22
2.12. Gula Pereduksi	24
2.13. Analisis Gula Pereduksi	24
2.13.1. Pereaksi Fehling.....	24
2.13.2. Metode DNS	25
2.14. Sinar <i>Ultraviolet</i> (UV).....	25
2.15. <i>High Performance Liquid Chromatography</i> (HPLC)	26
III. METODE PENELITIAN	
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.2. Alat dan Bahan.....	27

3.3. Prosedur Penelitian.....	28
3.3.1. Sintesis <i>Nano Hollow</i> Grafena Oksida (nHGO)	29
3.3.1.1. Karbonisasi Serbuk Bonggol Jagung.....	29
3.3.1.2. Sintesis Grafit	29
3.3.1.3. Sintesis Nano Garfena Oksida (GO)	29
3.3.1.4. Sintesis <i>Nano Hollow</i> Grafena Oksida (nHGO).....	30
3.3.2. Sintesis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ / nHGO	31
3.3.2.1. Sintesis $\text{LaCr}_{0,99}\text{O}_3$	31
3.3.2.2. Sintesis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$	32
3.3.2.3. Impregnasi $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ / nHGO	32
3.3.3. Karakterisasi nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ / nHGO.....	33
3.3.3.1. <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	33
3.3.3.2. X-ray Diffraction (XRD)	33
3.3.3.3. <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)	34
3.3.3.4. Analisis Energi Celah Pita	34
3.3.4. Isolasi Nanoselulosa.....	34
3.3.4.1. Isolasi Selulosa dari Kulit Pisang	34
3.3.4.2. Sintesis Nanoselulosa	35
3.3.4.3. Karakterisasi Nanoselulosa.....	35
3.3.5. Uji Aktivitas Nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ / nHGO	36
3.3.6. Analisis Hasil Konversi	36
3.3.6.1. Analisis Hasil Konversi dengan Reagen DNS	36
3.3.6.1.1. Pembuatan Reagen DNS	36
3.3.6.1.2. Pembuatan Kurva Standar	37
3.3.6.2. Penentuan Kadar Gula Pereduksi	37
3.3.6.3. Analisis dengan <i>High Performance Liquid Chromatography</i> (HPLC)	37

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karbonisasi Serbuk Bonggol Jagung	38
4.2. Sintesis Grafit.....	39
4.3. Sintesis Grafena Oksida	41
4.4 Sintesis nano <i>Hollow</i> Grafena Oksida (nHGO)	45
4.5 Karakterisasi Grafit, Grafena Oksida dan nano <i>Hollow</i> Grafena Oksida ..	46
4.5.1 <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	46
4.5.2 X-Ray Diffraction (XRD)	47
4.6 Sintesis $\text{LaCr}_{0,99}\text{O}_3$	49
4.7. Sintesis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$	51
4.8 Impregnasi nHGO dengan Katalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$	52
4.9 Karakterisasi $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ dan $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO	53
4.9.1 <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	53
4.9.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	54
4.9.3 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)	57
4.9.4 <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> UV-Vis (DRS UV-Vis)	60
4.10 Sintesis Nanoselulosa.....	62

4.11 Karakterisasi Nanoselulosa	64
4.11.1 <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	64
4.11.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	65
4.12 Uji Aktivitas Katalis	66
4.12.1 Konversi Nanoselulosa	66
4.12.2 Analisis Hasil Konversi	69
4.12.2.1 Analisis dengan Pereaksi Fehling	69
4.12.2.2 Analisis dengan Reagen DNS	70
4.12.2.3. Analisis dengan <i>High Performance Liquid</i> <i>Chromatography</i> (HPLC)	72
 V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	74
5.2. Saran.....	74
 DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi elemen bonggol jagung (% massa)	6
2. Komposisi Kimia Kulit Pisang Kepok	22
3. Analisis Komposisi Limbah Buah Basis Kering.....	23
4. Rendemen arang bonggol jagung (% massa)	39
5. Rendemen Grafit dari Arang Bonggol Jagung	41
6. Puncak-puncak representatif katalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ dan $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{Nhgo}$	56
7. Puncak-puncak representatif standar JCPDF	56
8. Ukuran kristal nanokomposit berdasarkan persamaan Scherrer	57
9. Kandungan persentase unsur katalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$ berdasarkan EDX	60
10. Nilai energi celah pita nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$	61
11. Persentase nanoselulosa terkonversi	68
12. Konsentrasi glukosa pada sampel hasil konversi	71
13. Data Hasil Karbonisasi Bonggol Jagung.....	87
14. Data Hasil Sintesis Grafit dari Arang Bonggol Jagung.....	87
15. Data Hasil Sintesis Nanokomposit.....	88
16. Data perhitungan persentase nanoselulosa terkonversi.....	92
17. Data perhitungan konsentrasi glukosa dengan metode DNS	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Limbah Bonggol Jagung	5
2. Struktur lapisan grafit.....	7
3. Difraktogram XRD grafit dari bonggol jagung.....	7
4. Struktur Grafen Oksida (GO).....	8
5. Contoh hasil difraktogram XRD grafit, grafen oksida dan grafen <i>nano sheets</i>	9
6. Struktur umum <i>perovskite</i> ABO_3	12
7. Ilustrasi difraksi sinar-X pada XRD.....	17
8. <i>Energy band-gap</i>	19
9. Pisang kepok (<i>Musa paradisiaca</i>).....	21
10. Struktur kimia selulosa.....	23
11. Reduksi DNS.....	25
12. Skema Penelitian.....	28
13. Serbuk hasil penggilingan, Serbuk hasil pengeringan dan Serbuk hasil Pembakaran.....	38
14. Persamaan Reaksi Dekomposisi $FeCl_3$ menjadi Fe	40
15. Penambahan $FeCl_3$ dan akuades, penambahan HCl, pemanasan pada suhu $60^\circ C$, pencucian dengan akuades, dan hasil pencucian.....	40
16. Serbuk Grafit.....	41
17. Campuran grafit dengan H_2SO_4 dan Setelah penambahan $KMnO_4$	42
18. Setelah penambahan akuades dan setelah penambahan H_2O_2	43
19. Hasil pencucian menggunakan akuades dan hasil nGO.....	44
20. Reaksi pada tahap sintesis nGO	44
21. Proses perubahan pada sintesis nHGO.....	45
22. Hasil pencucian menggunakan petroleum eter dan nHGO	45
23. Spektrum FTIR Grafit, GO dan nHGO	46
24. Difraktogram Grafit, GO, dan nHGO	48
25. Proses pencampuran prekursor logam dan Pektin, Campuran sebelum pemanasan dan Gel	50

26. Hasil <i>freeze dry</i> dan Hasil Kalsinasi	50
27. Gel Katalis.....	51
28. Katalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$	52
29. Proses Sonikasi dan Hasil $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO	53
30. Spektrum IR $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$, $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,1:1), $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,3:1), dan $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,5:1) ...	54
31. Difraktogram XRD nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$, $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,1:1), $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,3:1), dan $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,5:1)	55
32. Mikrograf SEM $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$, $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,1:1), $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,3:1) dan $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,5:1) 1) perbesaran 500x 2) perbesaran 2.500x.....	58
33. Spektrum EDX $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,1:1), $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,3:1) dan $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,5:1)	59
34. Plot Tauc untuk menentukan nilai energi celah pita $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,1:1), $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,3:1) dan $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,5:1)	61
35. Bubuk pisang setelah penambahan NaOH dan selulosa setelah proses <i>Bleaching</i>	63
36. Nanoselulosa	63
37. Spektrum IR Nanoselulosa.....	65
38. Difraktogram XRD Nanoselulosa	66
39. Uji dalam Reaktor Fotokatalitik dan Proses Penyaringan.....	67
40. Filtrat hasil penyaringan dan Endapan hasil pengeringan.....	67
41. Hasil Analisis Selulosa dengan Reagen Fehling	69
42. Hasil analisis selulosa dengan Reagen DNS	70
43. Kromatogram HPLC hasil konversi variasi waktu 120 menit	72
44. Konversi katalitik selulosa	74
45. Kurva regresi linear perhitungan energi band-gap $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,1:1)	89
46. Kurva regresi linear perhitungan energi band-gap $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,3:1)	90
47. Kurva regresi linear perhitungan energi band-gap $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ /nHGO (0,5:1)	90
48. Difraktogram nanoselulosa kulit pisang kepok	91
49. Kurva standar glukosa	93
50. Kromatogram HPLC Standar Gula	95

51. Kromatogram HPLC larutan hasil konversi.....	96
52. Kurva standar sorbitol.....	97

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Perhitungan Rendemen Arang Bonggol Jagung (% massa).....	87
2. Perhitungan Rendemen Grafit dari Arang Bonggol Jagung.....	87
3. Perhitungan Scherrer untuk nHGO	88
4. Kurva regresi linear perhitungan energi <i>band-gap</i>	89
5. Perhitungan indeks kristalinitas nanoselulosa.....	91
6. Perhitungan persentase nanoselulosa terkonversi	92
7. Perhitungan konsentrasi glukosa dengan metode DNS	93
8. Kromatogram hasil analisis dengan instrumentasi HPLC	95
9. Kurva standar sorbitol	97

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi buah pisang di Indonesia setiap tahunnya menunjukkan peningkatan. Hal tersebut dapat diamati dari semakin banyaknya produk-produk makanan yang bahan utamanya berasal dari pisang. Setiap tahunnya provinsi Lampung dapat menghasilkan sekitar 915.353,84 ton buah pisang, bobot kulit pisang bisa mencapai 40% dari buahnya, dengan demikian kulit pisang menghasilkan limbah yang cukup besar yang dapat menimbulkan dampak negatif yaitu mencemari lingkungan, yang belum dimanfaatkan atau diolah secara optimal oleh masyarakat, kebanyakan hanya untuk pembuatan pakan ternak (Hariani *et al.*, 2015).

Limbah kulit pisang merupakan biomassa yang mengandung berbagai zat, salah satunya adalah selulosa dengan kandungan sebesar 17,36 % yang terdapat pada kulit buahnya (Hernawati dan Aryani, 2007). Selulosa adalah biopolimer alami yang dapat diperbarui yang berlimpah di Bumi, dan secara luas dianggap sebagai alternatif bahan bakar fosil jangka panjang (Aulia dkk., 2013). Namun, untuk menghasilkan bahan bakar alternatif tersebut selulosa harus dipecah menjadi suatu gula pereduksi (Winarno, 2011).

Yuliarni (2020) telah berhasil mengisolasi selulosa dari kulit pisang kepek dalam bentuk molekul nano dengan rendemen sebesar 65,11 %. Selanjutnya hasil analisis XRD menunjukkan nanoselulosa yang diperoleh adalah selulosa tipe I dengan derajat kristalinitas sebesar 46,58 % dan fase amorf 53,42 %. Hasil ini belum optimum karena derajat kristalinitas dari nanoselulosa tersebut masih cukup tinggi, sedangkan reaksi katalisis akan lebih mudah terjadi pada

bagian nanoselulosa yang memiliki struktur amorf karena ikatan kimia intramolekulnya akan lebih mudah diganggu.

Selulosa dapat dikonversi menjadi gula pereduksi melalui beberapa metode, antarlain proses termal, hidrolisis secara enzimatis, *steam explosion* dan juga fotokatalitik. Pada proses konversi secara termal membutuhkan beberapa tahapan proses dan bahan yang lebih banyak, memerlukan suhu tinggi dan waktu yang cukup lama. Pada hidrolisis enzimatis, kelemahannya terletak pada harga enzim yang sangat mahal dan dalam pengembangannya membutuhkan waktu yang lebih lama (Hamelinck *et al.*, 2005). Pada metode *steam explosion* menggunakan larutan asam kuat dan eksploitasi uap yang menghasilkan produk samping seperti fulfural yang dapat menghambat proses fermentasi, mencemari lingkungan karena menghasilkan residu berupa gipsum (Anita *et al.*, 2019).

Proses konversi selulosa menjadi senyawa gula pereduksi menggunakan katalis heterogen dengan radiasi sinar UV pada suhu ruang telah banyak dikembangkan karena sifatnya yang sederhana, efisien, murah, dan menghasilkan limbah yang lebih sedikit. Zhang *et al.* (2016) melakukan konversi selulosa menjadi glukosa dan karbon dioksida yang disertai dengan produksi hidrogen menggunakan radiasi UV pada fotokatalis TiO_2 dengan waktu kontak 6 jam pada suhu 20-40 °C. Glukosa yang dihasilkan terdekomposisi menjadi H_2 sebanyak 80-90 % dan CO_2 sebanyak 70-80 %. Penelitian lain menunjukkan konversi nanoselulosa menjadi gula pereduksi menggunakan nanokatalis LaCrO_3 yang diiradiasi sinar UV menghasilkan sebanyak 620 ppm glukosa dengan waktu kontak 45 menit (Situmeang *et al.*, 2019).

Katalis heterogen berupa campuran logam yang diimbangkan pada suatu padatan pengemban (*support*) dapat membantu katalis bekerja lebih reaktif dan selektif dibandingkan hanya logam yang bekerja sendiri. Metode yang paling mudah dan paling umum digunakan untuk preparasi katalis heterogen

dengan pengemban yaitu dengan impregnasi. Impregnasi ini bertujuan untuk mengisi pori-pori penyangga dengan larutan logam aktif melalui adsorpsi logam. Hasil impregnasi dilakukan pengeringan dan pemanasan pada suhu tinggi (kalsinasi), sehingga terjadi dekomposisi prekursor menjadi spesi aktif. Sebagai contoh, impregnasi digunakan untuk membuat komposit TiO_2 -grafena yang diteliti untuk berbagai aplikasi, termasuk degradasi polutan organik, produksi H_2 melalui pemisahan air, pengurangan CO_2 untuk produksi bahan bakar surya, dan sebagainya (Lee *and* Han., 2012; Kim *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2011).

Material berbasis karbon sangat menarik untuk dikaji lebih lanjut. Bonggol jagung memiliki kandungan unsur utama berupa karbon, hidrogen, dan oksigen. Karbon yang terkandung mencapai 46,8% dari massa bonggol jagung, sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku sintesis Grafena Oksida (GO). GO adalah material karbon yang memiliki beberapa sifat yang baik, antara lain, mobilitas muatan yang tinggi ($230.000 \text{ cm}^2 / \text{V-s}$), konduktivitas termal yang tinggi (3000 W/m-K), dan luas permukaan yang besar ($2600 \text{ m}^2 / \text{g}$) (Singgih dan Ratnawati, 2018). Dengan demikian, diharapkan GO dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi kerja katalis sebagai material pendukung konversi fotokatalitik pada selulosa.

Dalam beberapa tahun terakhir nanomaterials struktur berongga (nano *hollow*) telah menarik minat khusus, karena sifat fisik dan kimia yang unik. Secara khusus, luas permukaan yang tinggi dan permeabilitas yang baik dari nano *hollow* dapat meningkatkan situs aktif katalis. Penelitian terbaru yang dilakukan oleh Li *et al.* (2013) telah melaporkan preparasi bola nano *hollow* grafena oksida (nHGOSs) melalui teknik emulsi air-dalam-minyak (W/O). nHGO banyak diminati karena dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti nanoelektrik, sensor, nanokomposit, baterai, superkapasitor, semikonduktor, dan elektroda transparan (Li *and* Bubeck, 2013).

Berdasarkan informasi tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan preparasi nanokatalis dengan memadukan lanthanum, krom, dan molibdenum untuk

memperoleh katalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ yang kemudian diimbaskan pada nano *hollow* grafena oksida (nHGO) sehingga dihasilkan nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$. Struktur berongga pada grafena oksida yang diimbaskan pada nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$ akan meningkatkan daya adsorpsi katalis dalam proses konversi nanoselulosa menjadi gula pereduksi.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh grafena oksida dengan ukuran nano dan struktur *hollow*.
2. Memperoleh nanoselulosa dengan tingkat kristalinitas lebih rendah dari 40%.
3. Memperoleh nanokatalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ yang terdistribusi pada nano *hollow* grafena oksida (nHGO).
4. Memperoleh gula pereduksi sebagai hasil konversi nanoselulosa

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan nilai ekonomis kulit pisang kepok yang banyak mengandung selulosa untuk diolah menjadi gula pereduksi.
2. Memberikan informasi mengenai kemampuan nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$ pada proses konversi nanoselulosa kulit pisang.
3. Memberikan kontribusi dalam perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang fotokatalisis.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Bonggol Jagung

Jagung (*Zea mays*) adalah jenis tanaman pangan biji-bijian yang termasuk dalam keluarga rumput-rumputan (*plantae*). Limbah bonggol jagung (Gambar 1.) disebut sebagai limbah lignoselulosik, karena komposisi senyawa utama bonggol jagung yaitu terdiri dari lignin (14,7%), selulosa (48,1%), dan hemiselulosa (37,2%) (Hao *et al.*, 2013). Hal ini mengindikasikan kandungan grafit yang cukup tinggi. Kandungan tersebut tidak mudah pecah atau larut dalam air (Muthusamy *et. al.*, 2012).



Gambar 1. Limbah Bonggol Jagung

Untuk mendapatkan grafit yang terkandung dalam selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Maka, senyawa – senyawa tersebut harus terdegradasi terlebih dahulu. Selulosa terdegradasi pada suhu 280-350^oC dan hemiselulosa berada pada suhu dan 200-250^oC, sedangkan lignin pada suhu 300-400^oC (Singgih dan Ratnawati, 2018). Data komposisi elemen bonggol jagung dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi elemen bonggol jagung (% massa)

Elemen	% massa
Karbon	46,8
Nitrogen	0.9
Hidrogen	6.0
Oksigen	46.3

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

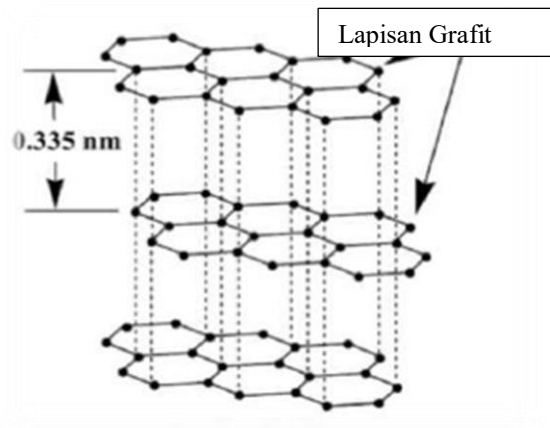
Dari data di atas, dapat dilihat unsur yang paling banyak terkandung dalam bonggol jagung adalah karbon. Material karbon merupakan bahan utama yang dibutuhkan untuk sintesis grafit dan GO. Sehingga, limbah bonggol jagung berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku dalam sintesis grafit dan GO.

2.2 Grafit

Grafit merupakan salah satu jenis alotrop karbon yang tersusun dengan struktur berupa lembaran-lembaran yang sangat teratur dan kristalin. Grafit tersusun atas lembaran-lembaran *graphene* dengan jarak antar lembarannya adalah 0,335 nm. Struktur kristal grafit menjadikan material tersebut memiliki sifat yang unik, yaitu anisotropik (Ko *et al.*, 2020). Pada setiap lembaran, terdapat elektron dari orbital π atom karbon yang mengalami delokalisasi ke seluruh bagian lembaran. Hal tersebut memicu timbulnya gaya *Van der Waals* yang mengikat antar lembaran agar tetap terhubung (Sengupta *et al.*, 2011). Atom karbon pada grafit membentuk cincin hexagonal planar dan saling terikat kuat secara kovalen dengan jenis hibridisasi sp^2 (Ko *et al.*, 2020). Grafit memiliki gugus karakteristik utama yaitu gugus alkena ($C=C$). Struktur lapisan grafit dapat dilihat pada Gambar 2.

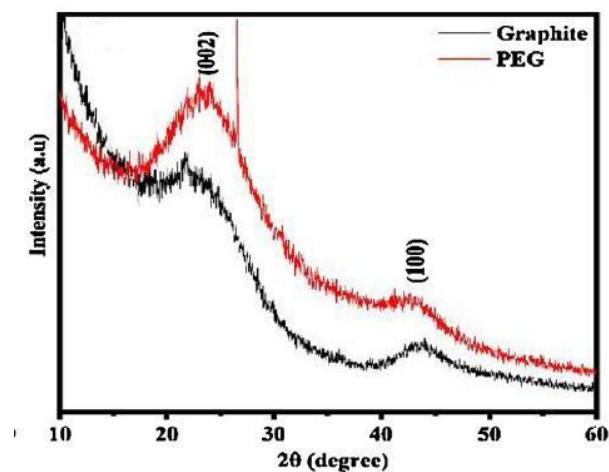
Metode sintesis *graphite* telah banyak dikembangkan yaitu CVD (*Chemical Vapor Deposition*), *direct graphitization*, dan *catalytic graphitization*. Akan tetapi, metode yang paling sering diterapkan adalah metode *catalytic graphitization*. Beberapa kelebihan dari metode *catalytic graphitization* yaitu proses sintesis dapat berlangsung secara mudah, biaya yang dibutuhkan rendah (ekonomis), dan dapat berlangsung pada suhu *moderate* atau relatif rendah. Sehingga, metode ini

dapat diterapkan untuk sintesis skala besar (Thambiliyagodage *et al.*, 2018). Selain itu metode ini dipilih karena tidak bersifat kompleks dan tidak membutuhkan suhu yang tinggi, sedangkan metode lainnya bersifat sebaliknya. Sehingga, prosesnya hanya bisa diterapkan pada skala terbatas dan biaya yang diperlukan jauh lebih besar. (Chaldun *et al.*, 2013).



Gambar 2. Struktur lapisan grafit (Sengupta *et al.*, 2011)

Catalytic graphitization adalah metode sintesis grafit dengan menggunakan katalis (logam transisi). Katalis logam transisi tersebut berfungsi meningkatkan kristalinitas (Oya and Marsh 1982). Pada penelitian ini, logam transisi yang digunakan adalah Fe (*Iron*), berasal dari FeCl_3 . Selain itu, prekursor karbon yang digunakan berasal dari hasil karbonisasi limbah bonggol jagung. Contoh hasil difraktogram XRD grafit dari bonggol jagung (warna hitam) dapat dilihat pada Gambar 3.

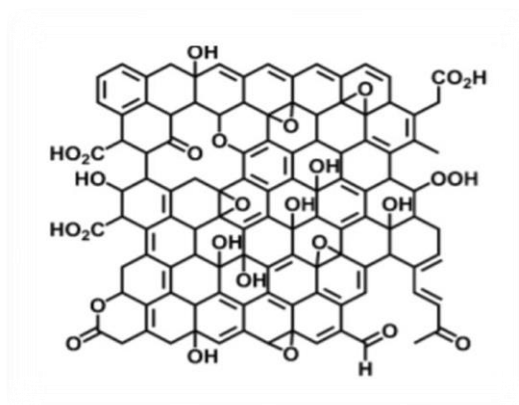


Gambar 3. Difraktogram XRD grafit dari bonggol jagung

Dari gambar contoh difraktogram XRD khas grafit di atas menunjukkan bahwa grafit terdiri dari grafit mikrokristalin dengan struktur heksagonal. Dapat ditunjukkan dengan jelas ada dua puncak lebar pada $21,8^\circ$ dan $43,7^\circ$, sesuai dengan (002) dan (100) bidang grafen masing-masing (Shahriary, 2010).

2.3 Grafena Oksida (GO)

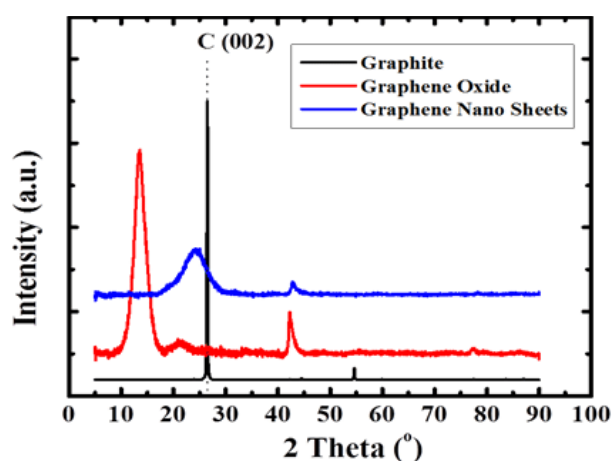
GO merupakan grafit yang terfungsionalisasi. Gugus-gugus fungsional yang terikat pada permukaan grafit menjadikan GO terdiri dari 2 jenis hibridisasi atom karbon yaitu hibridisasi sp^2 yang berasal dari grafit murni (tidak teroksidasi) dan hibridisasi sp^3 yang berasal dari bagian grafit teroksidasi (Dimiev *and* James, 2012). Struktur GO berupa lapisan dengan jarak antar lapisan yaitu $6-7 \text{ \AA}$ dan memiliki lengkungan pada setiap lapisan karena adanya gugus-gugus fungsional pada permukaan akibat proses oksidasi (Lahaye *et al.*, 2009). Beberapa gugus fungsional yang dimiliki GO adalah gugus hidroksil (C-OH), epoksi (C-O-C), asam karboksilat (C(=O)OH), dan karbonil (C=O). Struktur GO dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Grafen Oksida (GO) (Dreyer *et al.*, 2014)

Proses sintesis GO dilakukan dengan mengoksidasi grafit. Beberapa metode yang dapat digunakan yaitu metode *Brodie*, *Staudenmaier*, *Hummers- Offeman*, dan *Tour* (Wang *et al.*, 2013).

Metode yang sering digunakan adalah metode *Hummers-Offeman* karena dikenal efisien dan menguntungkan. Secara konvensional, metode *Hummers-Offeman* melibatkan KMnO_4 dan NaNO_3 dalam H_2SO_4 pekat. Akan tetapi, penggunaan NaNO_3 menghasilkan gas beracun seperti NO_2 atau N_2O_4 yang bersifat eksplosif. Selain itu, residu ionik berupa Na^+ dan NO_3^- sangat sulit untuk dihilangkan saat proses pemurnian GO (Alam *et al.*, 2017). Sehingga, pada penelitian ini metode *Hummers* dikembangkan lebih lanjut (Marcano *et al.*, 2010). Contoh hasil difraktogram XRD grafit, grafen oksida dan grafen *nano sheets* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Contoh hasil difraktogram XRD grafit, grafen oksida dan grafen *nano sheets* (Siburian *et al.*, 2018)

2.4. Nano Hollow Grafen Oksida (nHGO)

nHGO dibuat dari grafena oksida *nanosheets* (GONs) menggunakan teknik emulsi air-dalam-minyak tanpa surfaktan. Pengaruh perlakuan oksidasi dan penghilangan air pada pembentukan dan morfologi nHGO merupakan faktor penting untuk pembentukan dan morfologi nHGO. nHGO yang terbentuk bervariasi dari bentuk tidak beraturan dan kasar hingga seragam dan halus dengan diameter yang semakin berkurang (Peng *et al.*, 2010).

Struktur nano berongga (*hollow*) pada Grafena oksida akan membuat reaksi katalitik lebih baik karena proses pembebasan molekul reaktan dan produk ke sisi aktif akan lebih mudah (Qi *et al.*, 2016). Selain itu adanya peningkatan luas permukaan material yang dapat meningkatkan reaktivitas kimia (Budianto, 2016).

Selain itu, untuk menghindari agregasi, dengan merancang nanopartikel logam yang disematkan ke dalam nano *hollow* grafen oksida (nHGO) telah dianggap sebagai strategi yang efektif untuk mengatasi kelemahan tersebut, karena struktur berongga dapat bertindak sebagai penghalang yang efektif untuk menekan aglomerasi nanopartikel logam selama reaksinya (Hongyang *et al.*, 2015)

2.5 Nanokatalis

Katalis merupakan 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.

Nanokatalis adalah istilah yang umum digunakan untuk menggambarkan katalis berukuran nano. Nanokatalis saat ini dikembangkan sebagai pengganti katalis dalam mempercepat reaksi kimia karena keunggulannya mengkatalisis suatu reaksi yang lebih cepat dari katalis biasa (Latununuwe dkk., 2008). Keunggulan nanokatalis ini disebabkan oleh permukaan yang luas dan rasio-rasio atom yang tersebar secara merata pada permukaannya. Sifat ini menguntungkan untuk transfer massa di dalam pori-pori dan juga menyumbangkan antar muka yang besar untuk reaksi-reaksi adsorpsi dan katalitik (Widegren *et al.*, 2003).

Dua hal yang menyebabkan nanokatalis lebih efektif dibandingkan katalis dengan ukuran besar yaitu: (i) ukurannya yang sangat kecil (kurang dari 100 nm) menghasilkan perbandingan luas permukaan per volume yang sangat besar; (ii) ketika suatu material dibuat dalam ukuran nano, maka material tersebut akan memiliki sifat yang tidak dimiliki oleh ukuran makronya.

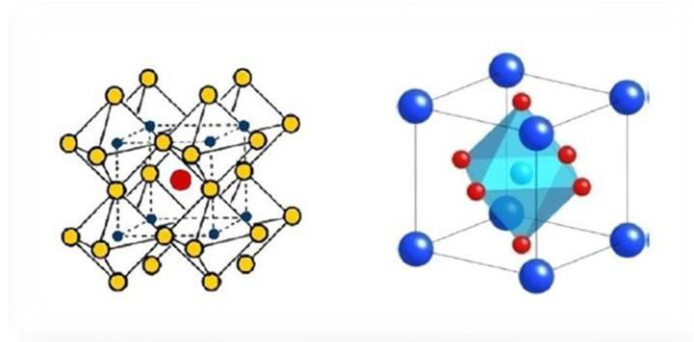
Hal inilah yang mengakibatkan nanokatalis bersifat fleksibel dan efektif (Chaturvedi *et al.*, 2012). Aplikasi nanokatalis semakin luas karena kelebihan yang dimilikinya. Diantaranya adalah untuk remediasi lingkungan (Teh and Mohamed, 2011, Xie *et al.*, 2018), produksi senyawa kimia dari CO₂ (Vesally *et al.*, 2017), dan reduksi zat warna dan senyawa fenol (Maham *et al.*, 2017).

Berbagai metode telah dilakukan untuk memperoleh katalis *perovskite* berukuran nano, seperti metode ko-presipitasi (Anushree *et al.*, 2017), metode sol-gel (Liu *et al.*, 2017, Li and Zhang, 2017), metode pemanasan sederhana dalam larutan polimer, metode sintesis koloid, metode spray, dan metode koloid *templating* (Abdullah dkk., 2008). Dari beberapa metode sintesis tersebut, dalam penelitian ini digunakan metode sol-gel untuk mendapatkan nanokatalis LaCr_(1-x)O₃. 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.

2.6 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, di mana struktur idealnya membentuk kubus dengan kation besar (A) dikelilingi oleh dua anion dan kation yang lebih kecil (B) dikelilingi oleh enam anion. Contoh struktur umum *perovskite* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur umum *perovskite* ABO_3 (Navrotsky *et al.*, 1989).

Perovskite dapat diberikan dengan rumus umum $A_1A_2B_1B_2O_3$ di mana A_1 adalah yang terpilih di antara Lantanida (umumnya La, namun kadang- kadang Ce, Pr atau Nd) dan A_2 adalah diantara logam alkali tanah (Ca, Ba, Sr) posisi B_1 dan B_2 ditempati oleh logam transisi (Co, Mn, Fe, Cr, Cu, V) atau logam mulia. A_2 dan B_2 berhubungan dengan substitusi sebagian dari ion A_1 dan B_1 . 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 *et al*, 1995).

2.7 Preparasi Katalis

Ada berbagai metode preparasi katalis dengan kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Pemilihan metode harus disesuaikan dengan kebutuhan karena akan mempengaruhi karakteristik katalis yang dihasilkan. Tahapan preparasi katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

2.7.1 Sol-Gel

Proses sol-gel adalah teknik *wet-chemical* yang banyak digunakan di bidang pengetahuan bahan dan teknik keramik. Metode ini digunakan terutama untuk pembuatan bahan (biasanya untuk oksida logam) yang dimulai dari larutan yang bertindak sebagai prekursor untuk membentuk jaringan (atau gel) dari partikel

diskrit atau jaringan polimer. Metode sol-gel merupakan teknik yang murah dan menggunakan suhu rendah sehingga dapat mengontrol komposisi kimia produk. Bahkan dopan dalam jumlah kecil, seperti pewarna organik dan *rare earth element*, dapat dimasukkan dalam sol dan tersebar merata di produk akhir. Proses sol-gel dapat diterapkan dalam kondisi operasi normal dan dapat digunakan untuk memperoleh produk dengan berbagai ukuran dan bentuk (misal: serat, film, monolit, dan partikel berukuran nano) (Tseng *et al.*, 2010).

Aplikasi teknologi sol-gel mengalami peningkatan dalam pengembangan material baru untuk katalisis (Chen *et al.*, 2017), biosensor optik (Monton *et al.*, 2012), membran (Xomeritakis *et al.*, 2009), aplikasi fotokromik (Ahmed *et al.*, 2007), biomedis (Owens *et al.*, 2016), dan kromatografi (Warad *et al.*, 2012).

Kelebihan proses sol-gel adalah sebagai berikut (Mackenzie, 2003):

- a. Lebih homogen dan murni.
- b. Suhu preparasi lebih rendah.
- c. Pencampuran yang baik untuk sistem multikomponen.
- d. Pengontrolan ukuran, bentuk, sifat partikel, luas permukaan, volume pori, dan distribusi ukuran pori yang efektif.
- e. Produk gel dengan karakteristik khusus lebih baik.
- f. Memungkinkan untuk mendesain struktur dan sifat material melalui pemilihan prekursor sol-gel yang sesuai dan *building blocks* yang lain.

Figen *et al.* (2014) mempersiapkan katalis dengan struktur *perovskite* LaMoO_3 , $\text{La}_x\text{Sr}_y\text{V}_z\text{O}_3$, dan $\text{La}_x\text{Sr}_y\text{Mo}_z\text{O}_3$ dengan metode sol-gel sitrat dan dikalsinasi pada suhu 1000°C selama 5 jam. Prekursor yang digunakan dalam preparasi katalis adalah nitrat hidrat dan/atau ammonium oksida dari unsur yang dibutuhkan karena memiliki kelarutan dan homogenitas yang tinggi dalam air. Situmeang *et al.* (2017) berhasil mensintesis LaCrO_3 dengan metode sol-gel dengan menggunakan pektin sebagai agen pengemulsi.

Keuntungan penggunaan pektin sebagai prekursor, di antaranya adalah (Proveti *et al.*, 2015):

- a. Rantai polisakarida Panjang
- b. Proses produksi bahan sederhana.
- c. Ketersediaan berlimpah sehingga memungkinkan untuk digunakan pada skala industri.
- d. Biaya murah.

2.7.2 Pengeringan Beku (*Lyophilization/Freeze Drying*)

Pengeringan beku atau *Lyophilization* atau *freeze drying* adalah metode penghilangan air dengan cara sublimasi kristal es dari material beku (Gaidhani *et al.*, 2015). Dengan menggunakan metode ini memungkinkan untuk memperoleh produk dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan metode tradisional. *Freeze drying* diperlukan untuk melindungi bahan yang membutuhkan kadar air rendah (kurang dari 1%) untuk menjaga kestabilan bahan dalam proses penyimpanannya (Searles *et al.*, 2001). Proses *freeze drying* menggunakan kondisi vakum sehingga memungkinkan es langsung berubah wujud dari padat menjadi uap tanpa melalui fase cair sehingga mampu mengeringkan material tanpa merusaknya.

Keuntungan penggunaan metode *freeze drying* (Khairnar *et al.*, 2013):

- a. Zat yang teroksidasi terlindungi dengan baik di bawah kondisi vakum.
- b. Mampu menghilangkan air hingga 95% -99,5% sehingga waktu penyimpanan lebih lama.
- c. Menghasilkan material dengan kuantitas akurat dan konten seragam.
- d. Meminimalkan hilangnya bahan kimia yang mudah menguap.
- e. Konstituen dari bahan kering tetap terdispersi secara homogen.

Dengan proses ini diharapkan akan diperoleh produk dengan karakteristik: berbentuk *cake* utuh, memiliki kekuatan yang cukup, warna seragam, kering, berpori, bebas dari partikulat, dan stabil secara kimiawi.

Menurut Wang (2000) dan Khairnar *et al.* (2013), siklus dalam *freeze drying* meliputi tiga tahap:

- a. Pembekuan, dimana sampel cair didinginkan hingga bagian cairnya membentuk kristal es dan bagian yang lain terkonsentrasi menjadi *glassy state* hingga viskositasnya terlalu tinggi untuk terjadinya kristalisasi lanjut.
- b. Pengerinan utama (primer), di mana es yang terbentuk selama tahap pembekuan dihilangkan dengan sublimasi pada kondisi vakum dan suhu rendah, menghasilkan struktur yang sangat berpori pada solut amorf yang tersisa yang biasanya mengandung 30% air. Tahap ini dilakukan pada tekanan 10⁻⁴ hingga 10⁻⁵ atm dan suhu produk – 45 °C hingga – 20 °C. Sublimasi selama pengerinan utama merupakan hasil dari proses pemanasan dan transfer massa.
- c. Pengerinan sekunder, di mana sebagian besar air yang tersisa didesorpsi saat suhu sampel dinaikkan secara bertahap pada tekanan rendah. Produk akhir yang diperoleh kering dengan kadar air kurang dari 1%.

2.7.3 Kalsinasi

Kalsinasi adalah perlakuan panas lanjutan setelah pengerinan. Kalsinasi biasanya dilakukan dengan adanya udara, dengan suhu yang lebih tinggi daripada reaksi katalitik atau regenerasi katalis. Beberapa proses terjadi selama kalsinasi: hilangnya air atau CO₂ yang terikat secara kimia, modifikasi tekstur melalui sintering (kristal atau partikel kecil yang berubah lebih besar), modifikasi struktur, pembentukan fase aktif dan stabilisasi sifat mekanik (Perego *and* Villa, 1997), penguraian prekursor logam dengan pembentukan oksida, dan penghilangan kation dan anion yang digunakan sebelumnya (Pinna, 1998).

2.8 Karakterisasi Katalis

2.8.1 Penentuan Gugus Fungsi

Fourier Transform Infra Red (FTIR) spektroskopi adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah sampel.

Spektroskopi IR bekerja pada bilangan gelombang $4.000-400\text{ cm}^{-1}$. Prinsip FTIR didasarkan pada interaksi energi dan materi. Radiasi sinar infra merah yang telah didispersikan oleh *grating*, kemudian direkam oleh detektor dan dicetak pada kertas rekorder. Sampel yang mengabsorpsi radiasi akan muncul sebagai puncak-puncak dalam daerah panjang gelombang tertentu.

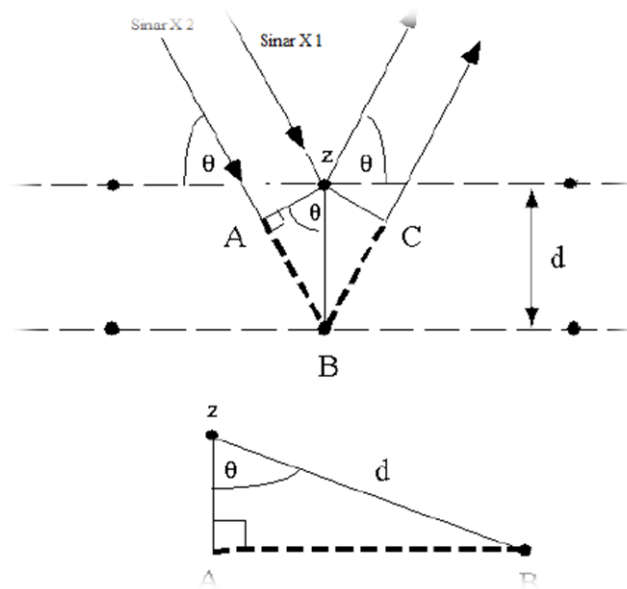
Untuk nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$ yang dapat dideteksi pada spektrum FTIR adalah pita serapan pada bilangan gelombang 600 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi tarik dari ikatan Cr-O-Cr. Pita serapan di daerah 450 cm^{-1} pada ketiga katalis menunjukkan adanya vibrasi ulur dari ikatan Cr-O (Coskun *et al.*, 2019) dan di daerah $900-800\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi dari ikatan metal-oksigen dari MoO_3 (Rocha & Muccillo, 2003). Sementara itu vibrasi tekuk dari La-O-La dan La-O-Cr muncul pada bilangan gelombang $700-830\text{ cm}^{-1}$ dapat dilihat pada spektrum di daerah $727-725\text{ cm}^{-1}$ (Situmeang *et al.*, 2019).

2.8.2 Penentuan Fasa Kristalin

Difraksi sinar-X (*X-ray Diffraction/XRD*) digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Sinar X adalah gelombang elektromagnetik energi tinggi dengan panjang gelombang 10^{-3} -10 nm. Sinar X dihasilkan dari tumbukan elektron berkecepatan tinggi dengan sampel. Difraksi sinar-X dapat digunakan untuk analisis kualitatif karena setiap unsur atau senyawa mempunyai pola difraksi tertentu yang spesifik. Dengan demikian, suatu unsur atau senyawa dapat diidentifikasi jika pola difraksinya cocok dengan pola difraksi unsur atau senyawa yang telah diketahui identitasnya.

Sinar X yang dikenakan pada suatu bahan sebagian akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD. Berkas sinar yang dihamburkan ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasenya sama.

Berkas sinar X yang saling menguatkan disebut sebagai berkas difraksi. Hukum Bragg merumuskan tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi. Ilustrasi difraksi sinar-X pada XRD dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Ilustrasi difraksi sinar-X pada XRD.

Berkas difraksi hanya terjadi saat:

$$n \lambda = AB + BC$$

$$AB = BC$$

$$n \lambda = 2AB$$

$$\sin \theta = AB / d$$

$$AB = d \sin \theta$$

$$n \lambda = 2d \sin \theta$$

Di mana:

λ : Panjang gelombang sinar-X yang digunakan (nm)

d : Jarak antara dua bidang kisi (nm)

θ : Sudut antara sinar datang dengan bidang normal

n : Bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel, maka bidang kristal sampel akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang yang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor dan diterjemahkan sebagai puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang sama dalam sampel, semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkan. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu puncak bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi.

2.8.3 Penentuan Morfologi Katalis

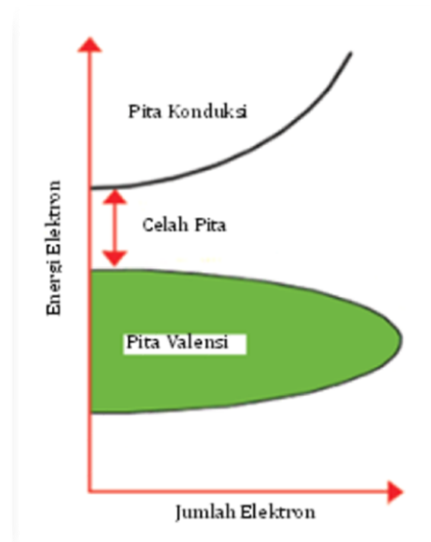
Untuk mempelajari morfologi permukaan katalis dapat menggunakan instrumentasi SEM-EDX. *Scanning electron microscope* (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar sampel dengan cara memindai permukaan dengan berkas elektron energi tinggi. Gambar yang dihasilkan akan menunjukkan topografi permukaan sampel. Sementara untuk mengetahui komposisi permukaan katalis, SEM diintegrasikan dengan EDX. Analisis SEM-EDX dapat dilakukan secara kualitatif dan semi kuantitatif untuk unsur-unsur mulai dari litium (Li) hingga uranium (U).

Analisis SEM-EDX diawali dengan memanfaatkan interaksi antara sumber elektron dengan sampel, sehingga menghasilkan emisi elektron atau foton. Sampel akan ditembakkan dengan sinar elektron yang berenergi tinggi, kemudian terjadi interaksi antara elektron dengan sampel. Interaksi elektron dengan sampel akan direkam oleh detektor dengan menampilkan informasi berupa bentuk morfologi permukaan sampel sesuai perbesaran yang diinginkan pada layar pengamatan. Mikrograf yang dihasilkan dari analisis SEM memberikan beberapa informasi yang berkaitan dengan morfologi permukaan sampel, yakni ukuran butir, distribusi butir, dan porositas permukaan. Dengan menggunakan metode analisa SEM pengamatan akan menampilkan bentuk tiga dimensi pada butiran, selain itu kelebihan lainnya dari pengamatan SEM adalah menampilkan resolusi yang lebih besar dengan rentang pembesaran antara 10x hingga 20.000x (Chandra, 2019).

Selanjutnya proses analisis EDX dilakukan dengan menembakan sinar elektron pada posisi yang ingin diketahui komposisinya. Interaksi antar elektron dapat menyebabkan emisi dari sinar-X yang menampilkan puncak-puncak/grafik unsur-unsur yang terkandung pada sampel. Kemudian perangkat lunak akan secara otomatis mengidentifikasi unsur-unsur tersebut dan dapat menganalisa secara kuantitatif berupa persentase kandungan masing-masing unsur dari sampel.

2.8.4 Analisis *Band-Gap*

Band-gap adalah perbedaan energi antara pita valensi bagian atas dengan pita konduksi bagian bawah. Elektron dapat berpindah dari satu pita ke pita yang lain. Saat elektron berpindah dari pita konduksi ke pita valensi maka akan membebaskan sejumlah energi. Sebaliknya, saat elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi, dibutuhkan jumlah energi minimum yang disebut energi *band-gap*. Diagram yang menggambarkan *band-gap* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. *Energy band-gap.*

Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk menentukan *band-gap*, salah satunya adalah dengan *diffuse reflectance spectroscopy* (DRS). Ketika suatu sampel dikenai cahaya, maka sebagian akan diteruskan (menembus sampel) dan sebagian yang lain akan dipantulkan. Pada metode DRS, cahaya yang menembus sampel akan dikembalikan ke permukaan sampel dan kembali keluar. Radiasi

cahaya inilah yang dianggap sebagai pantulan yang terdifusi. DRS adalah metode yang cocok, tidak merusak bahan, dan sederhana. DRS penting dalam analisis material nanokristalin dan gel yang berpori.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan untuk memperoleh kualitas spektral *diffuse reflectance* tinggi adalah pengenceran sampel dengan matriks nonabsorbing untuk memastikan penetrasi sinar datang yang lebih dalam pada sampel, untuk meningkatkan kontribusi komponen yang tersebar di spektrum dan meminimalkan komponen refleksi spekular; dan partikel yang lebih kecil meningkatkan kualitas spektrum DRS (Nowak *et al.*, 2009).

2.9 Reaksi Fotokatalitik

Reaksi fotokatalitik adalah reaksi yang berlangsung karena pengaruh cahaya dan katalis secara bersamaan. Katalis dalam proses ini disebut sebagai fotokatalis karena memiliki kemampuan dalam menyerap energi foton.

Suatu bahan dapat dijadikan fotokatalis jika memiliki daerah energi kosong yang disebut celah pita energi. Dari pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa fotokatalitik adalah suatu proses transformasi kimia yang melibatkan unsur cahaya dan katalis sekaligus dalam melangsungkan dan mempercepat proses transformasi yang terjadi. Secara umum, fotokatalitik terbagi menjadi dua jenis, yaitu fotokatalik homogen dan fotokatalik heterogen. Fotokatalitik homogen adalah reaksi fotokatalitik dengan bantuan oksidator seperti ozon dan hidrogen peroksida, sedangkan fotokatalitik heterogen merupakan teknologi yang didasarkan pada irradiasi sinar UV pada semikonduktor (Qodri *et al.*, 2011).

Reaksi fotokatalitik umumnya terjadi melalui bantuan bahan semikonduktor. Semikonduktor adalah bahan yang memiliki konduktivitas listrik di antara konduktor dan isolator. Resistivitas semikonduktor berkisar di antara 10^{-6} sampai 10^4 Ohm-m. Pada semikonduktor, terdapat pita energi yang memperbolehkan

keberadaan elektron, yaitu pita valensi berenergi rendah yang terisi penuh oleh elektron dan pita konduksi yang berenergi tinggi yang kosong.

Celah energi yang memisahkan kedua pita tersebut yaitu pita terlarang atau disebut juga sebagai band gap (E_g). Salah satu karakteristik penting semikonduktor adalah memiliki 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). Untuk berlangsungnya proses katalisis, semikonduktor memerlukan serapan energi yang sama atau lebih dari *band gap*.

2.10 Limbah Kulit Pisang Kepok

Pada penelitian kali ini bahan yang digunakan adalah kulit pisang *Musa paradisiaca* di mana buah dan kulit pisang kepok dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pisang kepok (*Musa paradisiaca*)

Kulit pisang kepok tersusun atas polimer seperti lignin, selulosa, hemiselulosa, dan pektin (Klemm *et al.*, 2006). Kandungan selulosa pada kulit pisang yang mencapai 11,45 % (Orozco *et al.*, 2014) dapat dimanfaatkan sehingga memiliki nilai ekonomis tinggi. Kulit pisang yang telah dikalsinasi telah dimanfaatkan sebagai katalis dalam sintesis biodiesel (Fan *et al.*, 2018), penyerap polutan minyak (El-Din *et al.*, 2017), sumber karbon dalam baterai litium sulfur (Xue *et al.*, 2018), adsorben logam Mn(II) dalam air (Ali, 2017), biosorben rhodamin-B

(Singh *et al.*, 2018) dan strontium(II) dalam air (Mahindrakar *et al.*, 2018).

Kandungan selulosa dari kulit pisang digunakan untuk adsorpsi zat warna *procion* (Hariyani *et al.*, 2016), dan senyawa fenol dalam kulit pisang memiliki sifat anti-oksidan dan anti-mikrobia yang bermanfaat bagi kesehatan (Vu *et al.*, 2018). Kulit pisang dapat digunakan sebagai sumber xylose untuk produksi xylitol melalui metode hidrolisis asam (Rehman *et al.*, 2013).

Komposisi kimia pada kulit pisang kepok dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Komposisi Kimia Kulit Pisang Kepok

Unsur	Komposisi (%)
Kadar Air	11.09
Kadar Abu	4.82
Kadar Lemak	16.47
Kadar Protein	5.99
Kadar Serat Kasar	20.96
Kadar Selulosa	17.04
Kadar Lignin	15.36
Lain-Lain	7.46

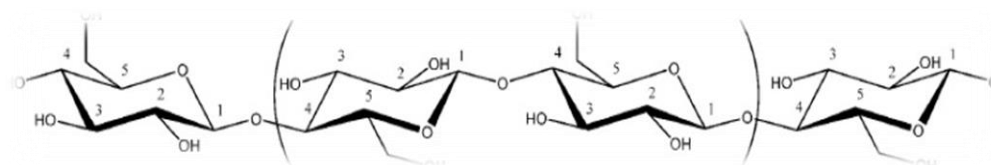
Sumber : Hernawati dan Aryani (2007).

2.11 Selulosa

Selulosa adalah homopolimer yang memiliki rumus $(C_6H_{10}O_5)_n$, sebuah polisakarida yang tersusun atas ratusan hingga ribuan β -D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan β -1,4-glikosidik. Selulosa memiliki struktur semi-kristalin yang tersusun atas daerah kristalin yang sangat teratur dan daerah amorf yang tak beraturan. Pada daerah kristalin, distabilkan oleh jaringan kompleks ikatan hidrogen intra- dan inter-molekuler.

Selulosa banyak ditemukan pada tanaman tingkat tinggi, beberapa hewan laut, dan tanaman tingkat rendah seperti alga dan jamur. Bahkan juga dapat ditemukan dalam bakteri, invertebrata, dan amuba. Secara umum, selulosa adalah zat berserat, keras, tidak larut air yang berperan dalam menjaga struktur dinding sel tanaman. Selulosa ditemukan dan diisolasi pertama kali oleh Anselme Payen pada tahun 1838 (Habibi *et al.*, 2010).

Beberapa biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber selulosa diantaranya adalah kayu (Zhang and Lynd, 2004), bambu (Wahab *et al.*, 2013), kulit jeruk, kulit pisang, kulit mangga (Orozco *et al.*, 2014), tongkol jagung (Liu *et al.*, 2016, Tibolla *et al.*, 2014, dan Singanusong *et al.*, 2013), bagas tebu (Wulandari, 2016), kapas (Udoetok *et al.*, 2017), tandan kosong sawit (TKS) (Sarwono dkk., 2014), jerami (Fatmawati dkk., 2015), dan lainnya. Struktur kimia selulosa ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Struktur kimia selulosa (Habibi *et al.*, 2010).

Selulosa hampir selalu bergabung dengan komponen lain sebagai liginoselulosa (Holtzapple, 2003). Liginoselulosa yang berasal dari kulit buah tersusun atas komponen utama pektin, selulosa, hemiselulosa, dan sejumlah kecil lignin (Oberoi *et al.*, 2010). Tabel 3 berikut menunjukkan komposisi hasil analisis limbah beberapa jenis buah.

Tabel 3. Analisis Komposisi Limbah Buah Basis Kering

Jenis Limbah	Komponen (% berat)					
	Hemiselulosa	Selulosa	Lignin	Protein	Serat detergen netral	Serat detergen asam
Ampas	26.45	9.93	2.81	7.59	39.19	12.74
Kulit Jeruk	14.46	11.93	2.17	5.07	28.56	14.1
Kulit Pisang	25.52	11.45	9.82	5.62	46.79	21.27
Kulit Mangga	14.51	9.19	4.25	7	27.95	13.44

Sumber : Orozco *et al.* (2014).

2.12 Gula Pereduksi

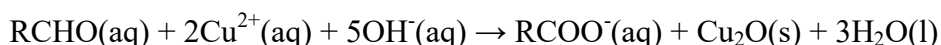
Gula pereduksi adalah semua gula yang memiliki kemampuan untuk mereduksi dikarenakan adanya gugus aldehid atau keton bebas. Aldehid dapat teroksidasi langsung melalui reaksi redoks akibat gula pereduksinya. Gula pereduksi merupakan gula (karbohidrat) yang dapat mereduksi senyawa-senyawa penerima elektron, contohnya adalah glukosa dan fruktosa. Ujung dari gula suatu pereduksi adalah ujung yang mengandung gugus aldehida atau keton bebas, semua monosakarida (glukosa, fruktosa, galaktosa) dan disakarida (laktosa, maltosa), kecuali sukrosa dan pati (polisakarida) yaitu termasuk sebagai gula pereduksi (Lehninger, 1982).

Umumnya gula pereduksi yang dihasilkan berhubungan erat dengan aktivitas enzim, yaitu semakin tinggi aktivitas enzim maka semakin tinggi pula gula yang dihasilkan selama reaksi diukur dengan menggunakan pereaksi asam dinitro salisilat atau *dinitrosalicylic acid* (DNS) pada panjang gelombang 540 mm. Semakin tinggi nilai absorbansi yang dihasilkan, semakin banyak pula gula.

2.13 Analisis Gula Pereduksi

2.13.1 Pereaksi Fehling

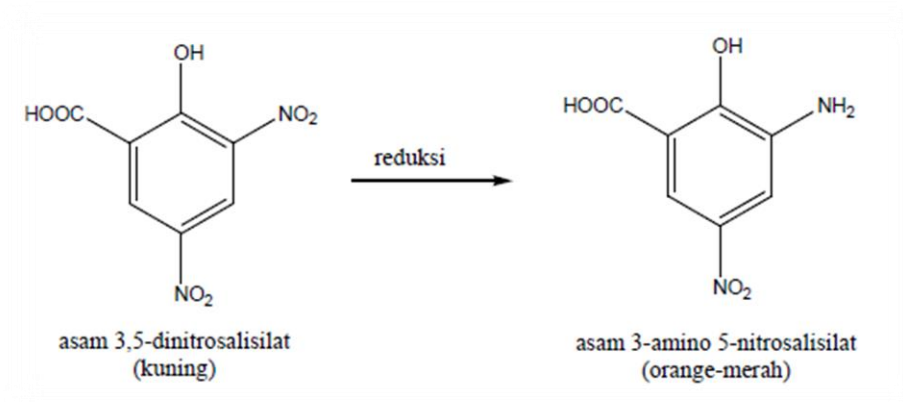
Pereaksi fehling digunakan untuk mendeteksi adanya gula pereduksi. Hal ini didasarkan pada kekuatan reduksi gugus karbonil dari aldehid yang menjadi asam dengan mereduksi garam tembaga (II), dalam medium alkali, menjadi tembaga(I) oksida, membentuk endapan merah seperti pada persamaan reaksi di bawah.



Pada reaksi ini, aldehid dapat dengan mudah dideteksi meskipun jumlahnya sangat kecil.

2.13.2 Metode DNS

Penentuan gula pereduksi umumnya dilakukan dengan metode asam 3,5-dinitrosalisilat (DNS). Metode ini mendeteksi adanya gugus karbonil bebas dari gula pereduksi. DNS adalah senyawa aromatik yang bereaksi dengan gula pereduksi dan molekul pereduksi lainnya. Gugus aldehyd pada gula direduksi dengan DNS untuk membentuk asam 3-amino-5-nitrosalisilat yang berwarna kuning kecoklatan, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 11 (Miller, 1959). Konsentrasi gula pereduksi ditentukan dengan spektrofotometri pada panjang gelombang 540 nm (Keharom *et.al.*, 2016).



Gambar 11. Reduksi DNS

2.14 Sinar *Ultraviolet* (UV)

Sinar *Ultraviolet* (UV) merupakan sinar/cahaya yang menunjukkan pita spektrum elektromagnetik dengan panjang gelombang dari 0 nm hingga 400 nm, lebih pendek dari cahaya tampak tetapi lebih panjang dari sinar-X. Johann Ritter menemukan daerah UV pada cahaya matahari sebelum tahun 1801 dengan menunjukkan adanya reaksi kimia di bagian yang gelap yang diakibatkan oleh beberapa bentuk energi di luar cahaya ungu. Sinar UV dapat dihasilkan dengan pemanasan hingga suhu pijar, seperti halnya dengan UV matahari, atau dengan melewatkan arus listrik melalui gas, biasanya uap merkuri. Atom merkuri tereksitasi oleh tabrakan dengan elektron yang mengalir di antara elektroda lampu. Saat elektron tereksitasi kembali ke keadaan elektronik tertentu dalam atom, maka

akan melepaskan sebagian energi yang telah diserap dalam bentuk radiasi optik, yaitu ultraviolet, cahaya tampak, dan radiasi infra merah.

Sebanyak 10% cahaya matahari merupakan sinar UV dan hanya sepertiganya yang mampu menembus atmosfer. Saat musim panas, 6% dari sinar UV matahari merupakan UVB dan sisanya 94% adalah UVA. Tetapi karena UVB jauh lebih efektif daripada UVA dalam kerusakan biologis, maka UVB berkontribusi sebanyak 80% terhadap efek bahaya paparan sinar matahari, sedangkan UVA berkontribusi sebanyak 20% (Brian, 2002). Yuliarni (2020) melakukan penelitian dengan memanfaatkan sinar UV dan fotokatalis $\text{LaCr}_{(1-x)}\text{Mo}_x\text{O}_3$ untuk melakukan konversi selulosa. Hasil konversi tertinggi diperoleh dari nanoselulosa yang dikonversi dengan katalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ dengan waktu 30 menit yaitu sebesar 22,53 %.

2.15. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

HPLC merupakan suatu teknik pemisahan untuk mengidentifikasi dan menentukan komponen dari suatu campuran. Pemisahannya didasarkan pada pola pergerakan antara fase gerak dan fasa diam (kolom). Kolom HPLC memperbolehkan partikel dengan ukuran yang sangat kecil dengan luas permukaan yang lebih besar sehingga interaksi akan semakin besar. Hal ini akan menyebabkan keseimbangan antar fase menjadi lebih baik dan efisien.

Prinsip HPLC yaitu pemisahan terjadi di dalam kolom dengan adanya interaksi antara analit dengan fase diam. Analit yang interaksinya kurang kuat dengan fase diam akan keluar terlebih dahulu dari kolom. Kemudian setiap komponen yang keluar dari kolom akan direkam berupa kromatogram.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2023 – Juli 2023, bertempat di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung dan proses *freeze-dry*, kalsinasi dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Analisis XRD dan SEM EDX dilakukan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Analisis energi celah pita dengan DRS dilakukan di Laboratorium UI-Chem, Universitas Indonesia. Uji konversi selulosa dilakukan di Laboratorium Botani Jurusan Biologi FMIPA Unila, dan kadar gula alkohol dianalisis dengan HPLC di PT. SIG, Bogor.

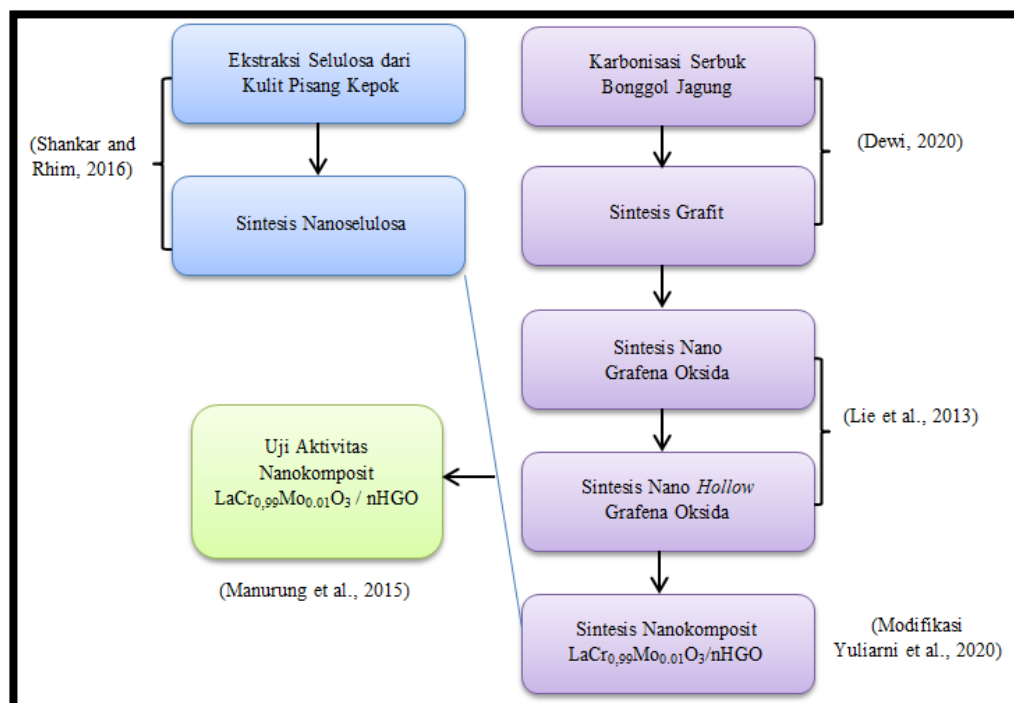
3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain: satu set alat refluks, neraca analitik (Ainsworth AA-160 Denver Instrument Company™), *centrifuge* (17250-10-Centrifuge Cole Parmer™), botol semprot, spatula, kaca arloji, pipet tetes, pH meter (MetroHM™ 827), tabung sentrifugasi (15 mL), aluminium foil, *hot plate stirrer* (CB162 Stuart™) dan *stir bar*, tabung reaksi, rak tabung reaksi, oven (Innotech), kertas saring *Whatman* No. 42, alat *freeze dryer*, *furnace*, desikator, lampu UV, reaktor katalitik, termometer, botol dan selang infuse, corong gelas, labu Erlenmeyer (250 mL), gelas kimia (100 mL), gelas ukur (10 mL - 500 mL), labu ukur (25 mL - 1000 mL), mortar dan alu, spektrofotometer FTIR, difraktometer sinar-X (XRD), SEMEDX, HPLC, spektrofotometer DRS, serta ultrasonik cleaner Bath 120 W 40 khz.

Bahan-bahan yang digunakan adalah lantanum nitrat heksahidrat $[\text{La}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ (Merck™), kromium nitrat nonahidrat $[\text{Cr}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}]$ (Merck™), amonium molibdat $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ (Merck™), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck™), HCl 1 M dan HCl 5 %, H_2SO_4 pekat (Merck™), KMnO_4 (Merck™), H_2O_2 30 %, amonia berair (pH = 12) (Merck™), minyak zaitun, akuades, pektin, kulit pisang kepok, tongkol jagung, *buffer* asetat, pH indikator, gas Hidrogen (BOC 99,99 %), NaOH 4 %, NaClO_2 5,25 %, HNO_3 50 %, reagen Fehling dan reagen DNS.

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu pembuatan nanokatalis, pembuatan nanoselulosa serta uji aktivitas reaksi konversi nanoselulosa dengan fotokatalisis. Adapun untuk skema penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Skema Penelitian

3.3.1 Sintesis *Nano Hollow Grafena Oksida* (nHGO)

3.3.1.1 Karbonisasi Serbuk Bonggol Jagung

Karbonisasi serbuk bonggol jagung dilakukan berdasarkan prosedur Dewi (2020). Tahap karbonisasi dimulai dengan preparasi serbuk bonggol jagung. Pertama, limbah bonggol jagung dikeringkan di bawah sinar matahari, dipotong kecil-kecil, dan digiling hingga teksturnya berubah menjadi serbuk halus. Kemudian, serbuk dikeringkan dalam oven hingga warna serbuk berubah menjadi kuning kecoklatan pada suhu 100 °C selama 1,5 jam. Kemudian *crucible* diisi oleh serbuk yang telah dikeringkan sebanyak 20 gram, lalu dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 350 °C, selama 2 jam. Arang yang diperoleh dari hasil pembakaran ditempatkan dalam desikator selama 15 menit lalu dihaluskan dengan mortar untuk digunakan pada tahap selanjutnya.

3.3.1.2. Sintesis Grafit

Sebanyak 5 gram material karbon (arang) hasil karbonisasi dicampur dengan 500 mL aquades dan diaduk dengan *magnetic stirrer*. Selanjutnya, ditambahkan FeCl_3 (4 mL) ditambahkan ke dalam larutan dan kecepatan putaran dinaikkan. pH larutan diubah hingga 2 dengan penambahan HCl 1 M secara perlahan. Pengadukan larutan dilanjutkan pada suhu 60 °C selama 5 jam. Kemudian, larutan disentrifugasi untuk memisahkan supernatan dari endapan grafit. Endapan dicuci dengan aquades hingga pH 7 (netral). Selanjutnya, endapan akhir (sampel grafit) dikeringkan dalam oven pada suhu 50 °C (*overnight*) dan dilanjutkan 110 °C selama 5 jam. Hasil pengeringan berupa serbuk natural grafit ditempatkan dalam desikator selama 15 menit dan digunakan sebagai bahan baku sintesis nanohollow grafen oksida (Dewi, 2020). Grafit yang berhasil disintesis, selanjutnya dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD.

3.3.1.3. Sintesis Nano Grafena Oksida (GO)

GO disintesis berdasarkan prosedur Feng *et al.* (2013). Prosedur diawali dengan memasukkan 1 gram grafit dan ditambahkan asam sulfat 98% (23 mL) dalam gelas kimia kemudian diaduk selama 30 menit dalam penangas es dengan cepat

sampai homogen. Kemudian kalium permanganat (3 g) ditambahkan secara bertahap selama 1 jam dengan pengadukan dan suhu campuran dijaga agar tetap di bawah 10 °C, sehingga potensi ledakan dihindari. Kemudian sistem oksidasi dibiarkan bereaksi selama 30 menit pada suhu kamar untuk mengontrol morfologi dan tingkat oksidasi GO. Reaksi dihentikan dengan menambahkan 46 mL aquades dan dipanaskan pada suhu 98 °C selama 15 menit. Kemudian ditambahkan kembali aquades sebanyak 140 mL dan 10 mL asam peroksida 30%, sambil diaduk selama 10 menit. Suspensi yang terbentuk dicuci berulang kali dalam larutan HCl 5% sampai sulfat menghilang, diuji dengan barium klorida (larutan yang ada disampel diambil dan ditetaskan dengan barium klorida sampai tidak ada endapan putih). Kemudian suspensi dipisahkan ke dalam cairan supernatan dan residu berwarna kuning keemasan dengan sentrifugasi pada 4000 rpm selama 15 menit. Endapan didispersikan dalam 450 mL aquades dan diultrasonikasi selama 2 jam, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C, dengan demikian serbuk GO diperoleh. Serbuk GO yang diperoleh di karakterisasi dengan FTIR dan XRD.

3.3.1.4. Sintesis *Nano Hollow* Grafena Oksida (nHGO)

Selanjutnya, nHGO disiapkan dari GO yang telah berhasil disintesis. Sejumlah GO didispersikan ke dalam amonia (20 mL, pH 12) melalui pengadukan dan diaduk pada suhu 30 °C selama 2 jam untuk mendapatkan suspensi GO. Kemudian, suspensi GO perlahan-lahan dituangkan ke dalam minyak zaitun panas yang dipanaskan hingga 90 °C dan diaduk secara intensif selama 30 menit pada suhu 90 °C. Selanjutnya, dengan pembentukan emulsi air dalam minyak, viskositas emulsi cepat meningkat dengan munculnya busa berwarna kuning keemasan. Setengah jam kemudian, ketika suhu meningkat menjadi 95 °C, viskositas menurun secara bertahap. Dengan pengadukan intensif, air secara bertahap dipisahkan dari minyak. Sementara itu, emulsi menjadi bening seperti minyak zaitun. Akhirnya, sistem emulsi didinginkan sampai suhu kamar disentrifugasi, pencucian dengan petroleum eter dan pengeringan.

3.3.2. Sintesis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$

Pembuatan katalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$ dilakukan dengan metode sol-gel melalui tiga tahap, yaitu sintesis $\text{LaCr}_{0,99}\text{O}_3$, sintesis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$, dilanjutkan dengan Impregnasi $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$

3.3.2.1 Sintesis $\text{LaCr}_{0,99}\text{O}_3$

Delapan gram pektin dilarutkan dalam 400 mL aquades dan diaduk menggunakan pengaduk magnet pada suhu kamar sampai diperoleh larutan yang homogen. Larutan pektin kemudian ditambah dengan ammonia sebanyak 30 mL atau hingga pH menjadi 11 agar pengikatan logam dapat terjadi dengan baik. Kemudian larutan tersebut ditambahkan $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam 250 mL *aquadest* dan $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ sesuai komposisi dalam 200 mL aquades. Penambahan dilakukan setetes demi setetes secara perlahan sampai kedua larutan habis bersamaan sambil diaduk menggunakan pengaduk magnet sampai diperoleh larutan yang homogen. Selanjutnya larutan tersebut dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 70 - 80 °C dan diaduk menggunakan pengaduk magnet hingga volume larutan menyusut dan mengental. Selama proses pemanasan pH dijaga konstan 11 dengan menambahkan ammonia jika diperlukan.

Larutan kental yang diperoleh selanjutnya di *freeze dry* untuk menghilangkan kandungan air yang ada tanpa merusak jaringan yang telah terbentuk sampai diperoleh serbuk kering. Hasil serbuk selanjutnya dikalsinasi secara bertahap dengan laju kenaikan suhu 2 °C/menit sampai suhu 300 °C ditahan selama 2 jam, kemudian pemanasan dilanjutkan dengan laju kenaikan suhu yang sama hingga suhu 600 °C dan ditahan selama 2 jam. Setelah kalsinasi, padatan dibiarkan dingin dalam *furnace* sampai suhu kamar. Bubuk katalis yang diperoleh digerus sampai halus menggunakan mortar *agate* dan dilanjutkan ke tahap selanjutnya (Situmeang *et al.*, 2017).

3.3.2.2 Sintesis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$

Satu gram pektin dilarutkan dalam 50 mL *aquadest* dan diaduk menggunakan pengaduk magnet pada suhu kamar sampai diperoleh larutan yang homogen. Larutan pektin kemudian ditambah dengan ammonia sebanyak 3 mL atau hingga pH menjadi 11. Selanjutnya ditambahkan serbuk katalis yang diperoleh sebelumnya sedikit demi sedikit. Setelah homogen, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dengan 100 mL *aquadest* dan ditambahkan ke dalam campuran setetes demi setetes. Setelah proses penambahan selesai, campuran tersebut dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 70-80 °C dan diaduk menggunakan pengaduk magnet hingga volume campuran menyusut dan membentuk gel. Selama proses pemanasan pH dijaga konstan 11 dengan menambahkan ammonia jika diperlukan.

Gel yang diperoleh selanjutnya di *freeze dry* untuk menghilangkan kandungan air sampai diperoleh serbuk kering. Hasil serbuk selanjutnya dikalsinasi secara bertahap dengan laju kenaikan suhu 2 °C/menit sampai suhu 350 °C ditahan selama 2 jam, kemudian pemanasan dilanjutkan dengan laju kenaikan suhu yang sama hingga suhu 700 °C dan ditahan selama 3 jam. Setelah kalsinasi, padatan dibiarkan dingin dalam *furnace* sampai suhu kamar. Bubuk katalis yang diperoleh digerus sampai halus menggunakan mortar *agate* dan dilanjutkan untuk uji karakterisasi katalis.

3.3.2.3 Impregnasi $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$

Tahap selanjutnya adalah impregnasi $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$ dengan perbandingan berat $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3 : \text{nHGO}$ sebesar 0,1:1; 0,3:1; dan 0,5:1. Impregnasi dilakukan dengan cara mendispersikan nHGO ke dalam akuades. Selanjutnya ditambahkan bubuk nanokatalis $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3$ secara perlahan dan menyebar hingga merata sambil disonikasi selama 90 menit. Hasil impregnasi selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C. Nanokomposit yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan FTIR, XRD, SEM-EDX dan DRS UV-Vis.

3.3.3. Karakterisasi nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$

3.3.3.1. *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Karakterisasi dengan FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi senyawa yang terkandung di dalamnya menggunakan sinar radiasi infra merah. Sampel akan menyerap sejumlah energi yang diperlukan untuk meregangkan suatu ikatan tergantung pada tegangan ikatan dan massa atom yang terikat. Sinar yang tidak diserap akan diteruskan dan ditransmisikan ke detektor.

Spektrum akan muncul pada komputer sebagai rekorder dan dianalisis menggunakan *software* tertentu seperti Opus.

3.3.3.2. *X-ray Diffraction (XRD)*

Penentuan struktur kristal dilakukan menggunakan difraktometer sinar-X dengan tipe alat Rigaku *SmartLab*. Analisis dilakukan menggunakan radiasi $\text{CuK } \alpha$ (1,541862 Å), tabung sinar-X dioperasikan pada 40 kV dan 30 mA. Rentang difraksi diukur (2θ) dalam rentang 10-90°, dengan *scan step size* 0,01°/menit (Maiti *et al.*, 1973). Sampel padat diletakkan pada *sample holder*. Kemudian sumber sinar bergerak mengelilingi sampel sambil menyinari sampel. Sampel akan memantulkan sinar dan ditangkap oleh detektor. Alat perekam akan merekam intensitas pantulan sinar untuk tiap sudut tertentu. Puncak-puncak yang terdapat pada difraktogram kemudian diidentifikasi menggunakan data standar dari JCPDF dalam PCPDF win 1997 dengan mengambil 3-5 puncak yang memiliki intensitas tertinggi. Ukuran partikel dihitung menggunakan persamaan *Scherrer* sebagai berikut:

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

Keterangan:

D = Ukuran kristal

λ = panjang gelombang

k = konstanta *scherrer*

β = radian (FWHM)

θ = sudut difraksi

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

Analisis morfologi dan komposisi dari nanokatalis ditentukan menggunakan SEM-EDX. Sampel yang akan dianalisis dilapisi terlebih dahulu dengan emas, kemudian sampel dianalisis dengan menggunakan analisis area. Sinar elektron yang dihasilkan area dialihkan hingga mengenai sampel. Aliran sinar elektron ini selanjutnya difokuskan menggunakan elektron optik *columb* sebelum sinar elektron tersebut membentuk atau mengenai sampel. Setelah sinar elektron mengenai sampel, akan terjadi beberapa interaksi pada sampel yang disinari. Interaksi-interaksi yang terjadi tersebut selanjutnya akan terdeteksi dan diubah ke dalam sebuah gambar oleh instrumen SEM dan dalam bentuk grafik oleh instrumen EDX. Setiap unsur akan memberikan interaksi yang berbeda dengan elektron yang ditembakkan sehingga dapat ditentukan jenisnya.

3.3.3.4. Analisis Energi Celah Pita

Analisis energi celah pita dilakukan dengan spektrofotometer Shimadzu UV-3600 yang diintegrasikan pada tabung berdiameter 15 cm untuk dapat mengukur *diffuse reflectance*. Sampel yang digunakan untuk pengukuran berupa bubuk dengan ukuran dibawah 100 mesh atau 149 mikron. Absorbansi diukur pada kisaran panjang gelombang 200-800 nm.

3.3.4. Isolasi Nanoselulosa

3.3.4.1 Isolasi Selulosa dari Kulit Pisang

Isolasi selulosa dimulai dengan cara memotong kulit pisang menjadi ukuran yang lebih kecil, kemudian dijemur hingga kering. Proses pengeringan ini dilanjutkan dengan penggilingan sehingga didapatkan serbuk kulit pisang berwarna coklat kehitaman. Bubuk yang diperoleh diambil sebanyak 50 gram dan dimasukkan dalam labu bulat dan ditambahkan larutan NaOH 4%. Campuran tersebut direfluks pada suhu 100-120 °C selama 2 jam. Hasil dari proses refluks tersebut kemudian disaring dan dicuci dengan aquades sebanyak 4 kali untuk memisahkan lignin dan hemiselulosa. Setelah itu, proses *bleaching* dilakukan dengan cara memasukkan bubuk hasil refluks pada labu bulat dan ditambahkan 400 mL

larutan NaClO_2 5,12% dan larutan *buffer* asetat pH 5, lalu direfluks pada temperatur 110-130 °C selama 4 jam. Hasil refluks yang diperoleh kemudian didinginkan dan dicuci dengan aquades hingga padatan putih selulosa diperoleh. Selulosa yang diperoleh kemudian dikeringkan menggunakan *freeze-dryer* selama 24 jam (Zain *et al.*, 2014; Shankar and Jongwhan, 2016).

3.3.4.2 Sintesis Nanoselulosa

Nanoselulosa dibuat dengan cara menyiapkan bubuk selulosa sebanyak 10 gram dan dimasukkan dalam labu bundar bervolume 1 L dan ditambahkan larutan HNO_3 35%. Campuran tersebut kemudian di sonikasi (40 khz) selama 25 jam lalu direfluks selama 45 menit pada suhu 60 °C. Proses selanjutnya yaitu penambahan akuabides sebanyak 200 mL pada larutan yang telah direfluks kemudian didinginkan. Sampel yang sudah didinginkan kemudian disentrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan 3500 rpm. Proses pencucian kemudian diulangi menggunakan akuabides hingga pH cairan mendekati 7. Larutan selulosa dikeringkan kembali dengan *freeze dryer*. Nanoselulosa yang diperoleh disimpan pada suhu 4 °C sebelum digunakan (Zain *et al.*, 2014).

3.3.4.3 Karakterisasi Nanoselulosa

Analisis Derajat Kristalinitas

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

$$\text{Derajat Kristalinitas} = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \times 100\%$$

3.3.5. Uji Aktivitas Nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$

Konversi nanoselulosa menjadi gula pereduksi dilakukan dengan melarutkan sebanyak 0,5 gram nanoselulosa ke dalam 100 mL akuades. Kemudian larutan nanoselulosa ditambahkan dengan nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$ sebanyak 0,1 gram dan dialirkan gas hidrogen dengan laju 10 mL/menit. Setelah itu dipasang lampu sinar UV (100 Watt), dimana posisi lampu sinar UV dengan rentang jarak 10-15 cm ke permukaan reaktor (Manurung *et al*, 2015). Waktu proses iradiasi sinar UV pada konversi selulosa divariasi yaitu 60, 120, 180, 240, dan 300 menit. Hasil konversi nanoselulosa ini dianalisis menggunakan reagen Fehling, reagen DNS dan HPLC.

3.3.6. Analisis Hasil Konversi

3.3.6.1. Analisis Hasil Konversi dengan Reagen Fehling

Analisis kualitatif dilakukan dengan reagen Fehling. Larutan Fehling A dibuat dengan melarutkan 7 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan akuades hingga volume 100 mL. Larutan Fehling B dibuat dengan melarutkan 35 gram $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan 10 gram NaOH dalam akuades hingga volume 100 mL. Setelah dibiarkan semalaman, larutan disaring untuk memisahkan endapannya.

Larutan Fehling A dan B dimasukkan ke dalam tabung reaksi masing-masing sebanyak 1 mL. Kemudian sampel sebanyak 2 mL ditambahkan ke dalam tabung dan dipanaskan dalam penangas air selama 10 menit. Larutan didinginkan dan dilakukan pengamatan. Adanya gula pereduksi ditunjukkan dengan terbentuknya endapan Cu_2O berwarna merah bata. Untuk sampel dengan hasil positif, analisis dilanjutkan secara kuantitatif.

3.3.6.1. Analisis Hasil Konversi dengan Reagen DNS

3.3.6.1.1. Pembuatan Reagen DNS

Larutan DNS dibuat dengan melarutkan 1 gram asam 3,5-dinitrosalisilat dalam 20 mL akuades dalam labu ukur 100 mL. Kemudian ditambahkan 1 gram NaOH, 0,2

gram fenol, 0,05 gram Na_2SO_3 , 1 mL Na-K tartrat 40 %, dan akuades hingga volume 100 mL dan dihomogenkan (Miller, 1959).

3.3.6.1.2. Pembuatan Kurva Standar

Kurva standar dibuat dari larutan glukosa pada berbagai konsentrasi. Kisaran konsentrasi glukosa yang digunakan harus mencakup konsentrasi sampel yang diuji. Absorbansi larutan kemudian diukur dengan spektrofotometer pada kisaran panjang gelombang 540 nm. Selanjutnya nilai absorbansi dibuat plot terhadap konsentrasi sehingga diperoleh persamaan garis yang menghubungkan keduanya.

3.3.6.2. Penentuan Kadar Gula Pereduksi

Sebanyak 0,5 mL sampel hasil uji konversi ditambahkan 1 mL pereaksi asam dinitrosalisilat, dididihkan selama 10 menit dalam penangas air dan didinginkan. Setelah dingin, serapannya diukur pada kisaran panjang gelombang 540 nm (Keharom *et al.*, 2016). Kadar glukosa yang terbentuk ditentukan dengan menggunakan kurva standar glukosa.

3.3.6.3. Analisis dengan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC)

Hasil uji katalitik dianalisis dengan menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) Shimadzu dengan parameter fase gerak air, kolom Shimp-Pack SCR 101 C (7,8 x 250 mm) detektor indeks bias, laju air 0,6 mL/menit, dan suhu kolom 80 °C (Shimadzu, 2015). Hal ini bertujuan untuk mengetahui kandungan gula pereduksi yang terbentuk dari hasil konversi nanoselulosa.

Analisis kualitatif dilakukan dengan membandingkan waktu retensi puncak yang muncul dari sampel dengan puncak gula pereduksi standar yang digunakan.

Analisis kuantitatif dilakukan dengan membuat kurva standar hubungan antara luas area dengan konsentrasi deret standar, kemudian memasukan nilai luas area yang didapat dari sampel ke dalam kurva standar tersebut, hingga diperoleh konsentrasi gula pereduksi dalam sampel.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan hasil dari penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nano *hollow* grafena oksida (nHGO) telah berhasil disintesis dengan ukuran 17,90 nm.
2. Nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$ yang disintesis menunjukkan adanya fasa kristalin $\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$, LaCrO_3 , dan La_2O_3 serta memiliki ukuran partikel 20,69-20,75 nm.
3. Energi celah pita nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$ berkisar pada 0,76-1,62 eV.
4. Nanoselulosa dari kulit pisang kepok menghasilkan selulosa berukuran nano dengan ukuran kristal 35,43 nm dengan indeks kristalinitas 28,125%.
5. Hasil uji aktivitas menunjukkan bahwa persentase nanoselulosa terkonversi tertinggi yaitu 54,14% dengan nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3/\text{nHGO}$ (0,1:1) dan konsentrasi glukosa tertinggi sebesar 120,72 ppm.
6. Pengaruh waktu konversi setiap perbandingan nanokomposit memiliki hasil yang berbeda terhadap hasil uji aktivitas, hasil konversi dengan waktu optimum pada 120 menit dengan perbandingan $\text{LaCr}_{0,99}\text{Mo}_{0,01}\text{O}_3:\text{nHGO}$ (0,1:1)

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang diperoleh, maka disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai aktivitas fotokatalis agar dapat mengetahui pengaruh penambahan senyawa *perovskite* terhadap ukuran, struktur, morfologi, gugus fungsi, dan energi celah pita nanokatalis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Virgus, Y., Nirmin dan Khairurrijal. 2008. Sintesis nanomaterial. *JNN*. Vol. 1 No. 2: 33-36.
- Ahmed, G., Gutzov, S. and Petkov, I. 2007. Preparation and optical properties of sol-gel materials doped with coumarin. *Int. Sci. Conf.*. 4 pp: 23-24
- Alam, S. N., Nidhi, S., and Kumar, L. 2017. Synthesis of Graphene Oxide (GO) by Modified Hummers Method and Its Thermal Reduction to Obtain Reduced Graphene Oxide (RGO). *Graphene* 6(01):1–18.
- Ali, A. 2017. Removal of Mn (II) from water using chemically modified banana peels as efficient adsorbent. *Environ. Eng.* 7(1):89-96
- Amhadin, F.A. 2020. *Sintetis Komposit Grafena Oksida Tereduksi (rGO) dan Seng Oksida (ZnO) dari Arang Tempurung Kemiri (Aleuritas moluccana)*. UIN Alauddin Makassar.
- Andini, D. M. 2023. *Konversi Nanoselulosa dari Kulit Pisang Kepok (Musa paradisiaca L.) Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanokomposit $LaCr_{0,99}Ti_{0,01}O_3/NHGO$* . Universitas Lampung
- Anita S. H., Fitria, Solihat N. N., Sari F. P., Risanto, L., Fatriasari, W. dan Hermiati, E. 2019. Optimization of Microwave-Assisted Oxalic Acid Pretreatment of Oil Palm Empty Fruit Bunch for Production of Fermentable Sugars. *OUCI*. No. 6, p. 2673-2687
- Anushree, Kumar S., and Sharma, C. 2017. Synthesis, characterization and application of CuO-CeO₂ nanocatalysts in wet air oxidation of industrial wastewater. *J. Environ. Chem. Eng.*. 5(4): 3914- 3921.
- Aulia, F., Marpongahtun, dan Gea, S. 2013. Studi Penyediaan Nanokristal Selulosa dari Tandan Kosong Sawit (TKS). *Jurnal Saintia Kimia*. 1(2): 23.
- Badan Pusat Statistik. 2019. *Produksi Pisang di Indonesiapada Tahun 2017-2019*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Bradder, P., Ling, S. K., Wang, S., and Liu, S. 2011. Dye Adsorption on Layered Graphite Oxide. *J. Chem. Eng. Data*. 56(1): 138–41.
- Bolotin, K. I., Sikes, K. J., Jiang, Z. Ultrahigh Electron Mobility In Suspended Graphene. *Condens. Matter*, vol. 146, no. 9, 2008, pp. 351–355.

- Brian, L. D. 2002. Sources and measurement of ultraviolet radiation. *Methods*. 28: 4-13.
- Budianto. 2016. *Pengembangan Material Nano: Indonesia sebagai Potensi*. Tempo. Indonesia.
- Campanati, M., Fornasari, G., and Vaccari, A. 2003. Fundamentals in the preparation of heterogenous catalyst. *Catal. Today*. 77: 299-314.
- Chaldun, E. R., Karina, M. and Purwasasmita, B. S. 2013. Synthesis and Characterization of Bacterial Cellulose-Based Carbon Nanotube by Catalytic Graphitization. *Adv. Mat. Res.* 789:232–36.
- Chandra, H. 2019. *Studi Karakteristik Geokimia Batulempung berdasarkan Analisa Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energy Dispersive Xray (EDX), Daerah Merapi dan Sekitarnya Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan*. *Phys.* pp 1001-1004.
- Chaturvedi, S., Dave, P. N. and Shah, N. K. 2012. Applications of nano-catalyst in new era. *J. Saudi Chem. Soc.* 16: 307–325.
- Chen, J., He, Z., Li, G., An, T., Shi, H. and Li, Y. 2017. Visible-light-enhanced photothermocatalytic activity of ABO₃-type perovskites for the decontamination of gaseous styrene. *Appl. Catal. B*. 209: 146-154.
- Coskun, M., O., Polat, F.M., Coskun, Z., Durmus, M., Caglar, and A., Turut. 2019. Synthesis, characterization and wide range frequency and temperature dependent electrical modulus study of LaCrO₃ and cobalt (Co) doped LaCrO₃ perovskite compounds. *Mater. Sci. Eng. B*. 248: 114410.
- Deremince, V., Mathieu, J. E. Nagy, B. and Verbist, J. J. 1998. Structure and Catalytic Activity of Mixed Oxides of Perovskite Structure. *CAPoC III*. 96: 393-404.
- Dewi, K. 2020. *Sintesis dan Karakterisasi Natural Graphite dan Graphite Oxide (GO) dari Limbah Tongkol Jagung*. Univeristas Pertamina. Jakarta
- Dhepe, P.L. and Fukuoka, A. 2008. Cellulose conversion under heterogeneous catalysis. *ChemSusChem*. 1: 969–975.
- Dimiev, A. M. and James M. T. 2014. Mechanism of Graphene Oxide Formation. *ACS Nano* 8(3):3060–68.
- Dreyer, D. R., Alexander D. T. and Christopher W. B. 2014. Harnessing the Chemistry of Graphene Oxide. *Chem Soc Rev*. 43(15):5288– 5301.
- El-Din, G.A., A.A., Amer, G., Malsh, and M., Hussein. 2017. Study on the use of banana peels for oil spill removal. *Alex. Eng. J.* 57: 2061–2068.

- Fan, H., Li G., Yang F., Yang L. and Zhang S. 2018. Photodegradation of cellulose under UV light catalysed by TiO_2 . *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 86: 1107-1112.
- Fatmawati, A., N., Soeseno, N., Chiptadi, dan S., Natalia. 2015. Hidrolisis batang padi dengan menggunakan asam sulfat encer. *J. Tek. Kim.* 3(1): 187-191.
- Feng, L., Dong, Z., Li, B. and Dong, Z. 2013. Nano Hollow Graphene Oxide Sphere Fabrication via Water-in-oil Emulsion. *Appl. Mech. Mater.* Vol. 320 (2013): 540-543.
- Figen, H. E., Guldal, N. O. and Baykara, S. Z. 2014. Preparation and characterization of LaMoO_3 , $\text{La}_x\text{Sr}_y\text{V}_z\text{O}_3$ and $\text{La}_x\text{Sr}_y\text{Mo}_z\text{O}_3$ perovskite type oxides by the sol-gel citrate method. *AP MAS.* 125: 278-280.
- Gaidhani, K. A., Harwalkar, M., Bhambere, D. and Nirgude, P. S. 2015. Lyophilization / freeze drying – A review. *World J. Pharm. Res.* 4(8): 516-543.
- Habibi, Y., Lucia, L. A. and Rojas, O. J. 2010. Cellulose nanocrystals: Chemistry, self-assembly, and applications. *Chem Rev.* 110: 3479–3500.
- Hamelinck, C.N., Geertje V.H., and Andre P.F. 2005. Ethanol from Lignocellulosic Biomass: Techno-Economic Performance in Short-, Middle- and Long-Term. *Biomass Bioenergy.* Volume 28, Issue 4, 384-410.
- Hao, F., Zhao, X., Ouyang, W., Lin, C., Chen, S., Shan, Y. and Lai, X. 2013. Molecular Structure of Corncob-Derived Biochars and the Mechanism of Atrazine Sorption. *ASA.* 105(3):773–82.
- Hariani, P.L., Riyanti, F., and Asmara, R.D. 2016. Extraction of cellulose from kepok banana peel (*musa parasidiaca l.*) for adsorption procion dye. *Molekul.* 11(1): 135 – 142.
- Hartanto, S., dan Ratnawati, R. 2018. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia. *JUSAMI.* 12(1): 12–16.
- Hernawati, H. dan Aryani, A. 2007. *Potensi tepung kulit pisang sebagai pakan alternatif pada ransum ternak unggas. Laporan Penelitian Hibah Bersaing.* Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Holtzapple, M. T. 2003. *Cellulose.* Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition). 2: 998-1007.

- Hongyang L., Wang, J., Feng, Z., Lin, Y., Zhang, L. and Su, D. 2015. *Facile Synthesis of Au Nanoparticles Embedded in an Ultrathin Hollow Graphene Nanoshell with Robust Catalytic Performance. Nanomicro Lett.* Volume 11 Issue 38
- Irusta, S., Pinna, M. P., Menendes M. and Santamaria, J. 1998. Catalytic Combustion of Volatil Compounds Over La-Based Perovskites. *J. Catal.* 179: 400-412.
- Ismael, M. and Wark, M. 2019. Perovskite-type LaFeO₃: Photoelectrochemical properties and photocatalytic degradation of organic pollutants under visible light irradiation. *Catalyst.* 9: 342.
- Keharom, S., Mahachai, R. and Chanthai, S. 2016. The optimization study of α -amylase activity based on central composite design-response surface methodology by dinitrosalicylic acid method. *Int. Food Res. J.* 23(1): 10-17.
- Khaimar, S., Kini, R., Harwalkar, M., Salunkhe, K. and Chaudhari, S.R. 2013. A review on freeze drying process of pharmaceuticals. *Int. J. Res. Pharm. Sci.* 4(1): 76–94.
- Khawas, P. and Deka, S. C. 2016. Isolation and Characterization of Cellulose Nanofibers From Culinary Banana Peel using High-Intensity Ultrasonication Combined with Chemical Treatment. *Carbohydr Polym.* 137: 608-616.
- Kim, H., Moon, G., Monllor-Satoca, D., Park, Y., and Choi, W. 2012. Solar Photoconversion Using Graphene/TiO₂ Composites: Nanographene Shell on TiO₂ Core versus TiO₂ Nanoparticles on Graphene Sheet. *J. Phys. Chem. C.* 116(1): 1535–1543.
- Klemm, D., Schmauder, H.P. and Heinze, T. 2006. Cellulose, Polysaccharides II. *Journal Poly Eukaryot.* 6: 275-320.
- Ko, S., Kwon, Y. J., Lee, J. U. and Jeon, Y. 2020. Preparation of Synthetic Graphite from Waste PET Plastic. *J. Ind. Eng. Chem.* 83:449–58.
- Lahaye, R., Jeong, H., Park, C. and Lee, Y. H. 2009. Density Functional Theory Study of Graphite Oxide for Different Oxidation Levels. *PHYS REV B* 79.
- Lambert C. K. and Gonzalez R. D. 1998. The importance of measuring the metal content of supported metal catalysts prepared by the sol gel method. *APPL CATAL A-GEN.* 172: 233-239.
- Latununuwe, A., Setiawan, A., Lubis, P., Yulkifli, W. T., dan Sukirno. 2008. *Penumbuhan Nanokatalis Co-Fe dengan Metode Sputtering.* UPI. Jakarta.

- Lecloux A. J. and Pirard, J. P. 1998. High-Temperature Catalysts Through Sol–Gel Synthesis. *J Non Cryst Solids*. 225: 146-52.
- Lee, H. and Han. J. W. 2012. Direct Conversion of Cellulose into Sorbitol using Dual Functionalized Catalyst in Neutral Aqueous Solution. *Catal. Commun.* **19**: 115 – 118.
- Lehninger, A. L. 1982. *Dasar-Dasar Biokimia, Jilid 1*. Erlangga, Jakarta.
- Li, C., Shi, Y., Chen, X., He, D., Shen, L., and Bao, N. 2018. “Controlled Synthesis of Graphite Oxide: Formation Process, Oxidation Kinetics, and Optimized Conditions. *Chem. Eng. Sci.* 176: 319–28.
- Li, F. L. and Zhang, H. J. 2017. Synthesis of hollow sphere and 1D structural materials by sol-gel process. *Mater.* 10: 17.
- Li, F., Zhao, D. L., Bai, L. Z., and Zhang, D. D. 2013. Fabrication of Nano Hollow Graphene Oxide Spheres via Water-in-Oil Emulsion. *Appl. Mech. Mater.* 320: 540–543.
- Li, H., and Bubeck, C. 2013. Photoreduction processes of graphene oxide and related applications. *Macromol. Res.* **21**(3): 290–297.
- Liu, C., B., Li, H., Du, D., Lv, Y., Zhang, G., Yu, X., Mu, and H., Peng. 2016. Properties of nanocellulose isolated from corncob residue using sulfuric acid, formic acid, oxidative and mechanical methods. *Carbohydr. Polym.* 151: 716-724.
- Liu, G., He, D., Yao, R., Zhao, Y. and Li, J. 2017. Enhancing the water oxidation activity of Ni₂P nanocatalysts by iron-doping and electrochemical activation. *Electrochim. Acta.* 253: 498-505.
- Mackenzie, J. D. 2003. Sol-gel research – achievements since 1981 and prospects for the Future. *J Solgel Sci Technol.* 26: 23–27.
- Maham, M., Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S.M. and Nekoei, M. 2017. Biosynthesis of Ag/reduced graphene oxide/Fe₃O₄ using lotus garcinii leaf extract and its application as a recyclable nanocatalyst for the reduction of 4-nitrophenol and organic dyes. *J. Colloid Interface Sci.* 497: 33-42.
- Mahardika, M., Abrial, H., Kasim, A., Arief, S. and Asrofi, M. 2018. Production of nanocellulose from pineapple leaf fibers via high-shear homogenization and ultrasonication. *Fibers.* **6**(2): 28
- Mahindrakar, K.V. and V.K., Rathod. 2018. Utilization of banana peels for removal of strontium (II) from water. *Environ. Technol. Innov.* 11: 371-383.

- Maiti, G. C., Kundu, M. L., Ghosh, S. K. and Banerjee, B. K. 1973. Crystallite size measurements and phase transformation of Fe_2O_3 , Cr_2O_3 and Fe_2O_3 - Cr_2O_3 system by X-Ray Diffraction method. *Physical Research Wing. Fertilizer Corporation of India Limited*. 496–505.
- Malvino, A. P. 1989. *Aproksimasi Rangkaian Semi Konduktor (Pengantar Transistor Rangkaian Terpadu)*. Erlangga. Jakarta. 487-494.
- Manurung, P., Situmeang, R., Ginting, E., and Pardede, I. 2015. Synthesis and Characterization of Titania-Rice Husk Silica Composites as Photocatalyst. *Indones. J. Chem.* **15**(1): 38-40.
- Marcano, D. C., Dmitry, V. K., Jacob, M. B., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., Lawrence, B. A., Lu, W. and James M. T. 2010. Improved Synthesis of Graphene Oxide. *ACS Nano* 4(8):4806–14.
- Mathusamy, P., Murugan, and Manathi. 2012. Removal of Nickel Ion From Industrial Waste Water Using Maize Cob. *Int. res. j. biol. sci.* 1(2): 7-11.
- Miller, G. L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.* 31(3): 426-428.
- Mohanraj, J., Durgalakshmi, D., Balakumar, S., Aruna, P., Ganesan, S., Rajendran, S., and Naushad, M. 2019. Low cost and quick time absorption of organic dye pollutants under ambient condition using partially exfoliated graphite. *J. Water Process. Eng.* 10:1078.
- Monton, M. R. N., Forsberg, E. M. and Brennan, J. D. 2012. Tailoring sol-gel-derived silica materials for optical biosensing. *Chem. Mater.* 24: 796–811.
- Navrotsky, A., Ziegler, D., Oestrike, R. and Manier, P. 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. *Mineral. Petrol.* 101(1): 122-130.
- Nowak, M., Kauch, B. and Szperlich, P. 2009. Determination of energy band gap of nanocrystalline SbSI using diffuse reflectance spectroscopy. *Rev. Sci. Instrum.* 80: 1-4.
- Oberoi, H. S., Vadlani, P. V., Madl, R. L., Saida, L. and Abeykon, J. P. 2010. Ethanol production from orange peels: Two-stage hydrolysis and fermentation studies using optimized parameters through experimental design. *J. Agric. Food Chem.* 58(6): 3422-3429.
- Orozco, R. S., Hernández, P. B., Morales, G. R., Núñez, F.U., Villafuerte, J. O., Lugo, V. L., Ramírez, N.F., Díaz, C. E. B. and Vázquez, P. C. 2014. Characterization of lignocellulosic fruit waste as an alternative feedstock for bioethanol production. *Bioresources.* 9(2): 1873-1885.

- Owens, G. J., Singh, R. K., Foroutan, F., Alqaysi, M., Han, C. M., Mahapatra, C., Kim, H. W. and Knowles J. C. 2016. Sol–gel based materials for biomedical applications. *Prog. Mater. Sci.* 77: 1–79.
- Öya, A. and Marsh, H. 1982. Phenomena of Catalytic Graphitization. *J. Mater. \ Sci.* 17(2):309–22.
- Peng G., Lagu, H. dan Xiaohong, C. 2010. Hollow graphene oxide spheres self assembled by W/O emulsion. *J. Mater. Chem.* Issue 23
- Perego, C. and Villa, P. 1997. Catalyst preparation methods. *Catal. Today.* 34: 281-305.
- Pinna, F. 1998. Supported metal catalysts preparation. *Catal. Today.* 41: 129-137.
- Polat, O., Durmus, Z., Coskun, F. M., Coskun, M., and Turut, A. 2018. Engineering the band gap of LaCrO_3 doping with transition metals (Co, Pd, and Ir). *J. Mater. Sci.* 53(5): 3544–3556.
- Proveti, J. R. C., Porto, P. S. S., Muniz, E.P., Pereira, R. D., Araujo, D. R. and Silveira M.B. 2015. Sol–gel proteic method using orange albedo pectin for obtaining cobalt ferrite particles. *J. Solgel Sci Technol.* 75(1): 31–37.
- Putri, R. M. 2022. 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.* Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Qi, J. L., Wang X., Lin J.H., Zhang F., Feng J. C., Fei W.D. 2016. Vertically oriented few-layer graphene-nanocup hybrid structured electrodes for high- performance supercapacitors. *J. Mater. Chem. A.* 12396-12403.
- Qodri, A., Patiha, A. and Purnawarman. 2011. Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow FG dengan Fotokatalis Komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$. *Journal Ekosains.* 3: 17 – 24.
- Rehman, S., M., Nadeem, F., Ahmad, and Z., Mushtaq. 2013. Biotechnological production of xylitol from banana peel and its impact on physicochemical properties of rusks. *J. Agricultural Sci Technol.* 15: 747–56.
- Rocha, R.A. and E.N.S., Muccillo. 2003. Synthesis and thermal decomposition of a polymeric precursor of the $\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$ compound. *Chem. Mater.* 15: 4268-4272.
- Ruan, B., and Jacobi, A. M. 2012. Ultrasonication effects on thermal and rheological properties of carbon nanotube suspensions. *Nanoscale Res. Lett.* 7(1): 127.

- Sarwono, R., E., Triwahyuni, Y., Aristiawan, H.H., Kurniawan, dan T., Anindyawati. 2014. Konversi selulosa tandan kosong sawit (TKS) menjadi etanol. *JSel.* 4(1): 1-6.
- Searles, J.A., Carpenter, J.F. and Randolph, T.W. 2001. The ice nucleation temperature determines the primary drying rate of lyophilization for samples frozen on a temperature-controlled shelf. *J. Pharm. Sci.* 90(7): 860–71.
- Sengupta, R., Bhattacharya, M., Bandyopadhyay S. and Anil K. B. 2011. A Review on the Mechanical and Electrical Properties of Graphite and Modified Graphite Reinforced Polymer Composites. *Prog. Polym Sci.* 36(5):638–70.
- Shahriary, L. and Athawale, A. 2014. Graphene Oxide Synthesized by Using Modified Hummers Approach. *Renew. Energ. Environ. Eng.* 2.
- Shankar, S. and Rhim J.W. 2016. Preparation of nanocellulose from micro-crystalline cellulose: The effect on the performance and properties of agar-based composite films. *Carbohydr. Polym.* 135: 18–26.
- Shimadzu. 2015. *Analysis of sugar alcohol in energy drink y prominence-I with differential refractive-index detextor*. Application News. L481. Shimadzu Corporation.
- Shrotri, A., Kobayashi, H. and Fukuoka, A. 2018. Cellulose depolymerization over heterogeneous catalysts. *Acc. Chem. Res.* 51(3): 761-768
- Siburian, R., Crystina S., and Hotmaulina, S. 2018. New Route to Synthesize of Graphene Nano Sheets. *Orient. J. Chem.* 34(1) :182-187
- Singanusong, R., W., Tochampa, T., Kongbangkerd, and C., Sodchit. 2013. Extraction and properties of cellulose from banana peels. *SJST.* 21(3): 201-213.
- Singgih, H., dan Ratnawati. 2018. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia.* 12(1):12–16.
- Singh, S., N., Parveen, and H., Gupta. 2018. Adsorptive decontamination of rhodamine-B from water using banana peel powder: A biosorbent. *Environ. Technol. Innov.* 12: 189-195.
- Situmeang, R., Tamba, M., Simarmata E., Yuliarni T., Simanjuntak W., Sembiring Z., and Sembiring S. 2019. LaCrO₃ nano photocatalyst: the effect of calcination temperature on its cellulose conversion activity under UV-ray irradiation. *ANSN.* 10: 8.

- Situmeang, R., Supryanto, R., Kahar, L. N. A., Simanjuntak, W. and Sembiring, S. 2017. Characteristics of nano-size LaCrO_3 prepared through sol-gel route using pectin as emulsifying agent. *Orient. J. Chem.* 33(4): 1705-1713.
- Song, S., Wan, M., Feng, W., Zhang, J., Mo, H., Jiang, X., Shen, H., and Shen, J. 2021. Graphene Oxide as the Potential Vector of Hydrophobic Pesticides: Ultrahigh Pesticide Loading Capacity and Improved Antipest Activity. *ACS Agric. Sci. Technol.* 1(3): 182–191.
- Teh, C.M. and Mohamed, A.R. 2011. Roles of titanium dioxide and ion-doped titanium dioxide on photocatalytic degradation of organic pollutants (phenolic compounds and dyes) in aqueous solutions: A review. *J. Alloys. Compd.* 509: 1648–1660.
- Thambiliyagodage, C. J., Ulrich, S., Araujo P. T. and Martin G. B. 2018. Catalytic Graphitization in Nanocast Carbon Monoliths by Iron, Cobalt and Nickel Nanoparticles. *Carbon.* 134:452–63.
- Tibolla, H., F.M., Pelissari, and F.C., Menegalli. 2014. Cellulose nanofibers produced from banana peel by chemical and enzymatic treatment. *LWT - Food Sci. Technol.* 59: 1311-1318.
- Tsai, W. T., Chang, C. Y., Wang, S. Y., Chang, C. F., Chien, S. F. and Sun, H. F. 2001. Cleaner Production of Carbon Adsorbents by Utilizing Agricultural Waste Corn Cob. *Resour Conserv Recycl.* 32(1):43–53.
- Tseng, T.K., Lin, Y.S., Chen, Y.J. and Chu, H. 2010. A review of photocatalysts prepared by sol-gel method for VOCs removal. *Int. J. Mol. Sci.* 11: 2336-2361.
- Udoetok, I.A., L.D., Wilson, and J.V., Headley. 2017. Ultra-sonication assisted cross-linking of cellulose polymers. *Ultrason Sonochem.* 42: 567-576.
- Vessally, E., Babazadeh, M., Hosseini, A., Arshadi, S. and Edjlali, L. 2017. Nanocatalysts for chemical transformation of carbon dioxide. *J. CO₂ Util.* 21: 491–502.
- Vu, H.T., C.J., Scarlett, and Q.V., Vuong. 2018. Phenolic compounds within banana peel and their potential uses: A review. *J. Funct. Foods.* 40: 238–248.
- Wahab, R., M.T., Mustafa, M., Sudin, A., Mohamed, S., Rahman, H.W., Samsi, and I., Khalid. 2013. Extractives, holocellulose, α -cellulose, lignin and ash contents in cultivated tropical. *Curr. Res. J. Biol. Sci.* 5(6): 266-272.

- Wang, S., Hongqi, S., Ang, H. M. and Tadé, M. O. 2013. Adsorptive Remediation of Environmental Pollutants Using Novel Graphene-Based Nanomaterials. *Chem. Eng. J.* 226:336–47.
- Wang, W. 2000. Lyophilization and development of solid protein pharmaceuticals. *Int. J. Pharm.* 203: 1-60.
- Warad, I., Abd-Elkader, H.O., Al-Resayes, S., Husein, A., Al-Nuri, M., Boshala, A., Al-Zaqri, N. and Hadda, T.B. 2012. Synthesis and characterization of hybrid materials consisting of n-octadecyltriethoxysilane by using n-hexadecylamine as surfactant and q^0 and t^0 cross-linkers. *Int. J. Mol. Sci.* 13: 6279–6291.
- Ward, D.A. and E.I., Ko. 1995. Preparing catalytic materials by the sol-gel method. *Ind. Eng. Chem. Res.* 34: 421-433.
- Widegren, J. A., Finke, R. G., and Mol, J. 2003. Preparation of a multifunctional core-shell nanocatalyst and its characterization by HRTEM. *Catal A Chem.* 191: 187.
- Winarno, J. 2011. Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Bioetanol pada Bahan Bakar Pertamina terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin. *J. Tek. Vol 1 No 1*. Janabadra.
- Wulandari, W.T. 2016. Nanocellulose prepared by acid hydrolysis of isolated cellulose from sugarcane bagasse. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 107. 8 pp.
- Wu, R. L., Wang, X. L., Li, F., Li, H. Z. and Wang, Y. Z. 2009. Green composite films prepared from cellulose, starch, and lignin in room-temperature ionic liquid. *Bioresour. Technol.* **100**: 259-2574.
- Xie, H., Wang, T., Liang, J., Li, Q. and Sun, S. 2018. Cu-based nanocatalysts for electrochemical reduction of CO₂. *Nano Today.* 21: 41-54.
- Xomeritakis, G., Tsai, C.Y., Jiang, Y.B. and Brinker, C.J. 2009. Tubular ceramic-supported sol-gel silica-based membranes for flue gas carbon dioxide capture and sequestration. *J. Membr. Sci.* 341: 30– 36.
- Xue, M., W., Lu, C., Chen, Y., Tan, B., Li, and C., Zhang. 2018. Optimized synthesis of banana peel derived porous carbon and its application in lithium sulfur batteries. *Mater. Res. Bull.* 112: 269-280.
- Xu, Z., Zhou, Y., Sun, Z., Zhang, D., Huang, Y., Gu, S., and Chen, W. 2020. Understanding Reactions and Pore-Forming Mechanisms between Waste Cotton Woven and FeCl₃ during the Synthesis of Magnetic Activated Carbon. *Chemosphere.* **24**: 125120.

- Yuliarni, T. 2020. *Konversi Nanoselulosa dari Kulit Pisang Kepok Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanokatalis $\text{LaCr}_{(1-x)}\text{Mo}_x\text{O}_3$ dengan Bantuan Radiasi Sinar UV*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Zain, N.F.M., Yusop S.M. and Ahmad I. 2014. Preparation and characterization of cellulose and nanocellulose from pomelo (citrus grandis) albedo. *J. Nutr. Food Sci.* 5: 1-4.
- Zhang, G., Ni, C., Huang, X., Welgamage, A., Lawton, L. A., Robertson, P. K. J., and Irvine, J. T. S. 2016. Simultaneous cellulose conversion and hydrogen production assisted by cellulose decomposition under UV-light photocatalysis. *Chem Comm.* 52: 1673-1676.
- Zhang, J., Lin, L., Zhang, J., and Shi, J. 2011. Efficient conversion of Dglucose into D-sorbitol over MCM-41 supported Ru catalyst prepared by a formaldehyde reduction process. *Carbohydr. Res.* 346: 1327–1332.
- Zhang, Y. H. P. and Lynd, L.R. 2004. Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: Noncomplexed cellulose systems. *Biotechnol. Bioeng.* **88**(7): 797-824.
- Zhong, S., B., Deng, A., Xu, and S., Wang. 2011. Preparation and characterization of 3D flower-like La_2O_3 nanostructures. *Curr. Nanosci.* 7: 407-414.
- Zielinski, A.F., Braga, C. M., Demiate, I. M., Beltrame, F. L., Nogueira, A., and Wosiacki, G. 2014. Development and optimization of a HPLC-RI method for the determination of major sugars in apple juice and evaluation of the effect of the ripening stage. *Food Sci. Technol.* **34**(1): 38-43.