

**KONVERSI NANOSELULOSA MENJADI GULA ALKOHOL DARI
LIMBAH KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca L*)
MENGUNAKAN NANOKATALIS $\text{LaCr}_{0.96}\text{Ti}_{0.04}\text{O}_3/\text{nGO}$ DENGAN
RASIO (0,5/1)**

(Skripsi)

**Oleh
MISYE CRISTIANY SIAGIAN**



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

ABSTRAK

KONVERSI NANOSULULOSA MENJADI GULA ALKOHOL DARI LIMBAH KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca L*) MENGUNAKAN NANOKATALIS $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ DENGAN RASIO (0,5/1)

Oleh

Misye Cristiany Siagian

Pada penelitian ini telah dilakukan preparasi nanoselulosa menggunakan metode delignifikasi, *bleaching*, dan hidrolisis asam sehingga diperoleh ukuran partikel sebesar 18,4 nm dengan indeks kristalinitas sebesar 64,33%. Nanoselulosa akan dikonversi menjadi gula alkohol menggunakan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ dengan metode sol-gel dan impregnasi perbandingan 0,5/1. Pada preparasi nGO dilakukan dengan menggunakan metode *Hummer's* termodifikasi. Hasil analisis XRD menunjukkan terbentuknya fase kristal utama yaitu LaCrO_3 dan LaTiO_3 . Ukuran partikel $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$ dan $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ (0,5/1) diperoleh sebesar 33,0 dan 27,5 nm. Analisis SEM-EDX menunjukkan terjadinya aglomerasi pada permukaan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ sehingga bentuknya tidak beraturan. Analisis DRS memperoleh nilai energi celah pita sebesar 1,93 eV dan 1,49 eV. Uji konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol menggunakan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ (0,5/1) disertai dengan aliran gas H_2 pada variasi waktu 600, 120, 180, 240, dan 300 menit. Hasil konsentrasi gula pereduksi tertinggi sebesar 240,58 ppm pada variasi waktu 180 menit. Analisis HPLC menunjukkan bahwa puncak dari gula alkohol yang dihasilkan tidak terdeteksi baik mannitol, xylitol maupun sorbitol yang menjadi target pencapaian.

Kata kunci: nanoselulosa, $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$, gula alkohol.

ABSTRACT

CONVERSION OF NANOCELLULOSE TO ALCOHOL SUGAR FROM KEPOK BANANA PEEL WASTE (*Musa paradisiaca L*) USING LaCr_{0.96}Ti_{0.04}O₃/nGO NANOCATALYST WITH RATIO OF (0.5/1)

By

Misye Cristiany Siagian

In this study, nanocellulose preparation was carried out using delignification, bleaching, and acid hydrolysis methods to obtain a particle size of 18.4 nm with a crystallinity index of 64.33%. Nanocellulose will be converted into sugar alcohol using LaCr_{0.96}Ti_{0.04}O₃/nGO nanocatalyst by sol-gel method and impregnation of 0.5/1 ratio. The preparation of nGO was carried out using the modified Hummer's method. The results of XRD analysis showed the formation of the main crystal phases, namely LaCrO₃ and LaTiO₃. The particle sizes of LaCr_{0.96}Ti_{0.04}O₃ and LaCr_{0.96}Ti_{0.04}O₃/nGO (0.5/1) were obtained as 33,0 and 27.5 nm. SEM-EDX analysis showed agglomeration on the surface of LaCr_{0.96}Ti_{0.04}O₃/nGO nanocatalyst so that the shape is irregular. DRS analysis obtained band gap energy values of 1.93 eV and 1.49 eV. Conversion test of nanocellulose to sugar alcohol using LaCr_{0.96}Ti_{0.04}O₃/nGO (0.5/1) nanocatalyst (0.5/1) accompanied by H₂ gas flow at time variations of 600, 120, 180, 240, and 300 minutes. The highest reducing sugar concentration was 240.58 ppm at 180 minutes. HPLC analysis showed that the peaks of sugar alcohols produced were not detected either mannitol, xylitol or sorbitol which became the target achievement.

Keywords: nanocellulose, LaCr_{0.96}Ti_{0.04}O₃/nGO, sugar alcohol

**KONVERSI NANOSELULOSA MENJADI GULA ALKOHOL DARI
LIMBAH KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca L*)
MENGUNAKAN NANOKATALIS $\text{LaCr}_{0.96}\text{Ti}_{0.04}\text{O}_3/\text{nGO}$ DENGAN
RASIO (0,5/1)**

Oleh

Misye Cristiany Siagiann

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



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

Judul Skripsi : **KONVERSI NANOSELULOSA
MENJADI GULA ALKOHOL DARI
LIMBAH KULIT PISANG KEPOK
(*Musa paradisiaca L*) MENGGUNAKAN
NANOKATALIS $\text{LaCr}_{0.96}\text{Ti}_{0.04}\text{O}_3/\text{nGO}$
DENGAN RASIO (0,5/1)**

Nama Mahasiswa : **Misyè Cristiany Siagian**

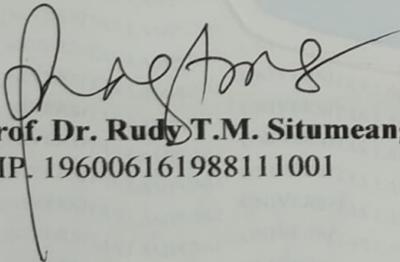
Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011075

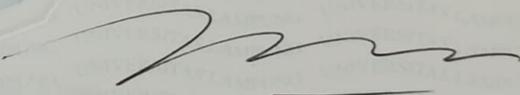
Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

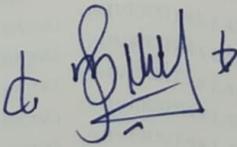
MENYETUJUI :

I. Komisi Pembimbing


Prof. Dr. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc.
NIP. 196006161988111001


Prof. Drs. Posman Manurung, M. Si.
NIP. 195903081991031001

II. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

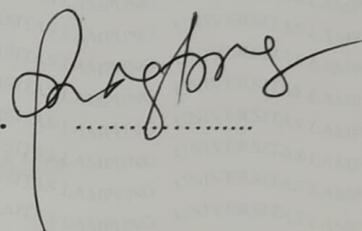

Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.
NIP. 197205302000032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

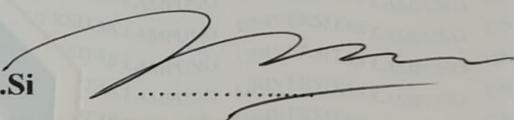
Ketua

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



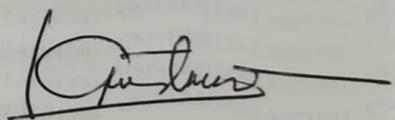
Sekretaris

: Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si



Penguji
Bukan pembimbing

: Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, M. Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **09 Agustus 2024**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Misye Cristiany Siagian
NPM : 2017011075
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini yang berjudul "**Konversi Nanoselulosa Menjadi Gula Alkohol Dari Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca L*) Menggunakan Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ Dengan Rasio (0,5/1)**" adalah hasil penelitian dan karya tulisan saya sendiri dan tidak terdapat karya tulisan yang telah diterbitkan orang lain, kecuali acuan yang secara tertulis dicantumkan pada naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Saya tidak keberatan apabila sebagian maupun keseluruhan data pada naskah ini dipakai oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 13 Agustus 2024



Misye Cristiany Siagian
NPM. 2017011075

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Misye Cristiany Siagian, lahir di Batam pada tanggal 07 Oktober 2001 sebagai anak pertama dari empat bersaudara, yang merupakan buah cinta dari pasangan Bapak Muhammad Siagian dan Ibu Anita Nirwana Saragih. Penulis bertempat tinggal di Perumahan Taman Lestari Blok B 4 No 5, Batu Aji, Batam, Kepulauan Riau. Jenjang pendidikan diawali dari Taman Kanak-Kanak di TK Kasih Karunia yang diselesaikan pada 2008. Sekolah Dasar di SDS Eppata II Genta yang diselesaikan pada tahun 2014. Sekolah Menengah Pertama di SMPN 11 Batam yang diselesaikan pada tahun 2017. Sekolah Menengah Atas di SMAN 5 Batam yang diselesaikan pada tahun 2020. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Pada tahun 2023, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Sri Tunggal, Kec. Buay Bahuga, Kab. Way Kanan dan telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Kimia Anorganik Fisik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung dengan judul **“Preparasi dan Karakterisasi nGO (nano Grafena Oksida) dari Limbah Tonggol Jagung Menggunakan Instrumen FTIR”**. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Organik-Fisik pada tahun 2023 untuk mahasiswa Kimia.

Pengalaman organisasi dimulai sebagai anggota magang dan anggota biasa Paduan Suara Mahasiswa (PSM) Universitas Lampung pada tahun 2020-2021 dan juga sebagai Kader Muda Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI). Selanjutnya, pada

tahun 2022 sebagai anggota Divisi Pemberdayaan Sumber Daya Manusia (PSDM) dan sebagai anggota Kesekretariatan HIMAKI. Pada tahun 2023 sebagai Koordinator Divisi Dana dan Usaha PSM Universitas Lampung dan sebagai koordinator umum Persekutuan Oikumene Mahasiswa MIPA (POM MIPA) serta dan menjadi anggota Humas di Pelayanan Mahasiswa Kristen (PMK) Kota Bandar Lampung yang dinaungi oleh Perkantas Lampung. Selain itu, penulis juga aktif sebagai anggota di Unit Kegiatan Mahasiswa Kristen (UKMK) Universitas Lampung.

MOTTO

“Janganlah takut, sebab Aku menyertai engkau, janganlah bimbang, sebab Aku ini Allahmu; Aku akan meneguhkan, bahkan akan menolong engkau; Aku akan memegang engkau dengan tangan kanan-Ku yang membawa kemenangan” Yesaya 41:10

“Janganlah hendaknya kamu kuatir tentang apa pun juga, tetapi nyatakanlah dalam segala hal keinginanmu kepada Allah dalam doa dan permohonan dengan ucapan syukur”. Filipí 4:6

*“Karena masa depan sungguh ada, dan harapanmu tidak akan hilang. Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada pada-Ku mengenai kamu, demikianlah firman Tuhan, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan, untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan”
Amsal 23:17-18*

*Orang yang meraih kesuksesan tidak selalu orang yang pintar, tetapi orang yang selalu meraih kesuksesan adalah yang gigih dan pantang menyerah
~Susí Pudjiastuti~*

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat, penyertaan dan pertolonganNya yang selalu hadir dalam setiap langkah hidupku sehingga penulis mampu menciptakan karya ini yang ku persembahkan sebagai buktirasa tanggung jawab dan kasih sayangku kepada:

Kedua orang tuaku yang sangat aku sayangi

Bapak Muhammad Siagian dan Ibu Anita Nirwana Saragih yang telah berjuang membesarkanku dengan penuh kesabaran, berkorban untukku, mendidikku, memberikan cinta kasih, mengajarku, dan selalu mendoakanku tiada hentinya sehingga aku bisa menyelesaikan studiku dan meraih gelar yang aku impikan. Semoga dengan pencapaian ini dapat memberikan kebahagiaan.

Adik-adikku yang tersayang

Shinna Marlina Siagian, Eva Novalina Siagian, dan Maxwell Fionathan Siagian yang selalu memberikanku semangat, motivasi, pendengar segala keluh kesaku selama kuliah, penelitian, proses penulisan tugas akhir hingga karya ini dapat terselesaikan dengan baik.

Dosen-dosen pembimbing maupun pembahas

yang selalu sabar mengoreksi, memberikan semangat, memotivasiku, mengajari dan membimbingku dalam menyelesaikan karya ini.

Sahabat dan teman-teman yang aku sayangi

yang selalu membantu, memberikan motivasi, semangat, dan berjuang bersama dalam suka maupun duka.

Almamater tercinta

Universitas Lampung

SANWACANA

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala anugerah dan kebaikannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Konversi Nanoselulosa Menjadi Gula Alkohol Dari Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca L*) Menggunakan Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ Dengan Rasio (0,5/1)”** dapat terselesaikan dengan baik

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan terdapat banyak kesulitan, tantangan, dan kendala, namun atas kasih dan penyertaan Tuhan penulis dapat melewati semuanya karena dukungan semangat dan bantuan dari orang-orang terkasih yang ada disekitar penulis. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak Muhammad Siagian dan Ibu Anita Nirwana Saragih yang selalu menjadi pendengar penulis dalam berkeluh kesah, memberikan semangat, dukungan moral dan materi, berjuang dan berkorban hingga bercucuran keringat demi penulis serta doa-doa yang selalu dipanjatkan demi kelancaran studi penulis.
2. Bapak Prof. Rudy T.M Situmeang, M.Sc, selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan ilmu pengetahuan, kritik dan saran, dukungan materi, dan bimbingan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Prof. Posman Manurung, M.Si, selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, bantuan, kritik dan saran, serta motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

4. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Si, selaku penguji atas ketersediannya memberikan koreksi, arahan, saran dan kritik kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan motivasi, arahan, saran dan kritik dalam pelaksanaan studi maupun penelitian.
6. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si.,M.Si, selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M. Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Bapak/Ibu dosen Jurusan Kimia Universitas Lampung yang telah mendidik dan mengajari ilmu pengetahuan kepada penulis.
9. Bapak/Ibu staff administrasi di Jurusan Kimia dan Fakultas MIPA yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
10. Kepada Mbak Liza selaku laboran Kimia Anorganik-Fisik, terimakasih atas bantuan, saran, motivasi, canda dan tawa selama penelitian hingga penulis menyelesaikan skripsi ini.
11. Saudara-saudariku tersayang Shinna Marlina Siagian, Eva Novalina Siagian, dan Maxwell Fionathan Siagian yang selalu memberikan dukungan, semangat, canda dan tawa, serta doa selama perkuliahan hingga sampai di titik akhir ini.
12. Keluarga besar Saragih dan Siagian yang telah memberikan semangat, dukungan, motivasi, dan saran sehingga penulis menyelesaikan skripsi ini.
13. Teman sepenelitanku Debi Debora Br Sembiring, Latifah Nur Aini, Putri Aisyah, terimakasih untuk kerja sama, dukungan, motivasi, kebersamaan baik suka maupun duka selama penelitian hingga semuanya berjalan lancar, semoga apa yang menjadi harapan kita kedepannya dapat tercapai.
14. Kak Grace Sirait, Kak Iin Sibagariang, Kak Donny Ega, Kak Aniska, terimakasih untuk atas bantuan, dukungan, motivasi yang telah diberikan selama penelitian, mengolah data, hingga penulis menyelesaikan skripsi ini.
15. Teman-temanku Wak Tejo Squad Rusmauli Defana Panjaitan, Debi Debi Debora Br Sembiring, Febrina Damayanti Togatorop, adikku Febriyanti, dan

juga teman kost pondok indah, terimakasih untuk kebersamaan yang telah kita lewati selama perkuliahan, di kosan, penelitian hingga penulis menyelesaikan skripsi ini, semoga tetap menjalin komunikasi kedepannya dan segala harapan kita dapat tercapai.

16. Sebastian Waiz Sinaga, terimakasih atas bantuan, motivasi, semangat, serta waktu yang telah diluangkan untuk membantu penulis dan mempermudah penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
17. Teman-teman PSM Satgas 20, terimakasih atas kerja sama, dukungan, motivasi, dan semangat selama perkuliahan, berorganisasi, penelitian, hingga penulis menyelesaikan skripsi ini.
18. Teman kelompok Kecil yaitu Kak Lenny, Debi, Handyta, dan Ribka. Terimakasih atas kebersamaan yang telah kita lalui selama kelompok kecil dimana kita saling belajar untuk bertumbuh di dalam iman, sharing, dan memotivasi satu sama lain. Semoga kita bisa tetap terus berkelompok kecil serta bertumbuh dalam Kristus.
19. Teman-teman Kimia Angkatan 2020 terutama teman kelas A, terimakasih atas segala dukungan dan motivasi yang diberikan selama perkuliahan hingga sampai akhir ini.
20. Terima kasih buat adik danus PSM, Dea Silmi Atika dan Deanna Loren Siregar yang telah memberikan semangat selalu kepada penulis dalam mengerjakan penelitian hingga skripsi ini dapat terselesaikan, semoga kita bisa sukses bersama ke depannya dan semangat terus buat kalian.
21. Persekutuan Oikumene Mahasiswa MIPA (POM MIPA) yang menjadi rumah dan keluarga bagi penulis, terimakasih untuk semangat, kebersamaan, pelayanan, serta canda tawa. Semoga POM MIPA senantiasa menjadi wadah pelayanan yang baik bagi mahasiswa MIPA generasi berikutnya.
22. Terimakasih buat diriku sendiri yang telah berjuang dan kuat dalam proses perkuliahan hingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan.
23. Seluruh pihak yang telah membantu dan mendoakan penulis penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki penulisan di masa yang sekarang. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat menambah wawasan dan ilmu pengetahuan untuk kita semuanya. Kiranya Tuhan Yesus Kristus selalu memberkati kita disetiap perjalanan dan kehidupan kita semuanya

Bandar Lampung, 13 Agustus 2024
Penulis

Misye Cristiany Siagian

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	5
1.3. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Limbah Kulit Pisang	6
2.2. Selulosa	7
2.3. Nanoselulosa	8
2.4. Tongkol Jagung	9
2.5. Grafit	10
2.6. Grafena Oksida (GO)	12
2.7. Titanium	13
2.8. Senyawa Perovskit	15
2.9. Gula Alkohol	16
2.9.1. Manitol	17
2.9.2. Xylitol	17
2.9.3. Sorbitol	18
2.10. Metode Preparasi Katalis	19
2.10.1. Metode Sol-Gel	19
2.10.2. Metode Impregnasi	20
2.10.3. Sonikasi (Ultrasonik)	21
2.11. Reaksi Fotokatalitik	22
2.12. Hasil Analisis Konversi Selulosa	23
2.12.1. Metode DNS	23
2.12.2. <i>High Performance Liquid Chromatography</i> (HPLC)	24
2.13. Karakterisasi Nanokatalis	26
2.13.1. Analisis Gugus Fungsi Nanokatalis	26

2.13.2.	Analisis Fasa Kristalin Nanokatalis	27
2.13.3.	Analisis Energi <i>Band-Gap</i> Nanokatalis Menggunakan DRS ..	29
2.13.4.	Analisis Morfologi Permukaan Nanokatalis	30
III.	METODE PENELITIAN.....	32
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.2.	Alat dan Bahan	32
3.3.	Prosedur Penelitian	33
3.3.1.	Preparasi Nanoselulosa	34
3.3.2.	Karakterisasi Nanoselulosa.....	35
3.3.3.	Preparasi Nano Grafen Oksida	35
3.3.4.	Sintesis Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$	37
3.3.5.	Karakterisasi Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$	38
3.3.6.	Uji Aktivitas Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$	40
3.3.7.	Analisis Hasil Konversi	40
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1.	Sintesis Nanoselulosa	42
4.1.1.	Karakterisasi Nanoselulosa.....	44
4.2.	Sintesis Nano Grafen Oksida (nGO)	45
4.2.1.	Sintesis Grafit dari Tongkol Jagung.....	45
4.2.2.	Sintesis nano Grafena Oksida	46
4.2.3.	Karakterisasi nano Grafena Oksida (nGO).....	48
4.3.	Sintesis Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$	52
4.3.1.	Karakterisasi Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$	54
4.4.	Uji Aktivitas Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$	62
4.4.1.	Konversi Nanoselulosa	62
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
5.1.	Kesimpulan.....	67
5.2.	Saran	67
	DAFTAR PUSTAKA.....	68
	LAMPIRAN.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi kimia kulit pisang kepok.....	6
2. Komposisi kimia tongkol jagung (Reta. B.R, 2013).....	10
3. Puncak-puncak representatif nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$	55
4. Puncak-puncak representatif difraktogram standar JCPDF	55
5. Ukuran partikel nanokatalis menggunakan Persamaan <i>Scherrer</i>	56
6. Kandungan unsur-unsur nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$	59
7. Persentase nanoselulosa terkonversi	62
8. Konsentrasi glukosa pada larutan hasil konversi	65
9. Hasil pembuatan selulosa.....	77
10. Hasil perhitungan rendemen arang.....	79
11. Hasil perhitungan rendemen sintesis grafit	79
12. Hasil perhitungan rendemen sintesis grafena oksida	79
13. Data perhitungan analisis energi celah pita $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$ (0,5/1).....	82
14. Kurva standar glukosa.....	83
15. Hasil persen konversi nanoselulosa	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur selulosa.....	7
2. Proses hidrolisis asam (Bajpai et al., 2013)	8
3. Limbah tongkol jagung	10
4. Struktur grafit.....	11
5. Struktur grafena oksida	13
6. Struktur kristal TiO ₂ (a) anatase, (b) brookite, dan (c) rutile.....	14
7. Struktur senyawa perovskit CaTiO ₃	15
8. Konversi katalitik selulosa menjadi gula alkohol	16
9. Struktur manitol	17
10. Struktur xylitol	18
11. Struktur sorbitol.....	19
12. Skematis dari proses reaksi fotokatalitik	22
13. Plot absorbansi terhadap konsentrasi untuk hidrolisat sintesis (garis biru) dan campuran gula (garis merah), dengan menjaga konsentrasi gula tetap konstan.	24
14. Proses kerja kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT)	25
15. Analisis arabinosa, fruktosa, manitol, glukosa, sukrosa, dan trehalose menggunakan HPLC	25
16. Spektra FTIR dari (a) grafit, (b) GO dan (c) rGO.....	27
17. Difraksi sinar-X.....	28
18. Pola XRD dari (a) TiO ₂ , (b) TiO ₂ /rGO 3%, (c) TiO ₂ /rGO 5%, dan (d) TiO ₂ /rGO 10%.....	29
19. Spektrum UV-DRS dari TiO ₂ -SiO ₂ /kitosan (Rilda et al., 2017)	30
20. Gambar FESEM menunjukkan morfologi (a) TiO ₂ , (b) TiO ₂ /rGO 3%, (c) TiO ₂ /rGO 5%, dan (d) TiO ₂ /rGO 10%.(AlShammari et al., 2020)	31
21. Skema penelitian	33
22. Serbuk a) kulit pisang kepok b) selulosa c) nanoselulosa.....	43
23. Difraktogram XRD nanoselulosa	44
24. Arang tongkol jagung.....	45
25. Serbuk grafit.....	46
26. Serbuk nGO.....	48
27. Difraktogram XRD a) grafit b) nGO.....	49
28. Spektrum IR a) grafit b) nGO	50

29. Serbuk nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$	53
30. Difraktogram XRD a) $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$ b) $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ (0,5/1)	54
31. Hasil FTIR a) $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$ b) $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ (0,5/1)	56
32. Mikograf SEM nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ (0,5/1)	58
33. Spektrum EDX nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$	59
34. Spektrum absorbansi	60
35. Grafik nilai band-gap $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$	61
36. Grafik nilai band-gap $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ (0,5/1)	61
37. Hasil uji positif reagen Fehling larutan hasil konversi	63
38. Hasil uji larutan konversi menggunakan reagen DNS	64
39. Kurva standar glukosa	64
40. Kromatogram HPLC hasil konversi variasi waktu 180 Menit	66
41. Difraktogram nanoselulosa dari kulit pisang kepok	78
42. Difraktogram LaCrO_3 berdasarkan data JCPDF 24-1016	80
43. Difraktogram LaTiO_3 berdasarkan data JCPDF 34-0596	81
44. Difraktogram TiO_2 berdasarkan data JCPDF 21-1272	81
45. Kurva regresi linear energi celah pita $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$ (0,5/1)	82
46. Kromatogram HPLC hasil konversi	84
47. Kromatogram HPLC standar xylitol	85
48. Kromatogram HPLC standar sorbitol	85

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Provinsi Lampung dikategorikan sebagai salah satu provinsi penghasil komoditas pisang kedua tertinggi di Indonesia (Cahyawati dkk., 2020). Hal ini dapat dibuktikan melalui faktor geografis yang mendukung, sehingga cocok untuk melakukan budidaya buah pisang. Berdasarkan hasil data Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura Provinsi Lampung (2021), provinsi Lampung dapat memproduksi buah pisang hingga 1.123.239,7 ton yang nantinya sebagian akan dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan pisang goreng dan keripik pisang.

Kulit pisang tergolong ke dalam jenis limbah pertanian yang jumlahnya sangat banyak, termasuk kulitnya, yang sering dibuang ke tempat pembuangan akhir dan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Namun, pada saat ini kulit pisang sudah dimanfaatkan secara efisien seperti untuk produksi protein, etanol, metana, pektin, ekstrak dan enzim, sebagai makanan untuk ternak, sebagai biosorben untuk logam berat, pewarna dan penghilangan senyawa fenolik (Albarelli *et al.*, 2011). Selain itu, kulit pisang juga dapat diolah menjadi sebuah materia hijau berupa selulosa. Menurut Tiwari *et al.*, (2019), kulit pisang kaya akan selulosa (35,3%), hemiselulosa (19,5%), dan lignin (6,7%) yang hasilnya akan dikonversikan menjadi nanoselulosa dalam bentuk nanokristal selulosa. Nanoselulosa nantinya akan dipreparasi dari selulosa yang berasal dari bahan serat alami. Nanoselulosa mempunyai dua jenis bentuk yang terdiri dari struktur kristalin dan stuktur amorf. Namun, pada bagian kristalin, setiap molekul tersusun secara teratur yang menghasilkan kekakuan dan kekuatan selulosa yang tinggi.

Pada saat ini, kemajuan teknologi menyebabkan banyaknya perkembangan material kimia dalam berbagai bidang ilmu contohnya dalam bidang nanoteknologi ataupun nanosains sehingga dapat menciptakan inovasi-inovasi baru. Material kimia dalam bidang ini terdapat beragam jenis nanomaterial dua dimensi (2D) yang mempunyai kemiripan dengan grafen, seperti nano grafena oksida (nGO) (Lu *et al.*, 2021). Grafena oksida (GO) terdiri dari bahan dua dimensi yang berasal dari grafena dengan memperkenalkan ikatan kovalen CO. Grafena oksida sebagai turunan dari grafit yang memiliki berbagai gugus fungsional yang terikat pada permukaannya. Kehadiran dari gugus fungsional ini sangat berpengaruh terhadap sifat dan karakteristik GO, salah satunya yaitu memiliki tingkat kelarutan tinggi didalam air (Dewi, 2020). Peningkatan pada GO dipicu oleh tingkat kemajuan dalam penelitian terkait grafena karena kemampuannya untuk tetap terkelupas dalam air sebagai lembaran lapisan atom tunggal.

Grafena oksida tergolong dalam material berbahan dasar karbon, seperti grafena, grafit, *carbon nanotubes*, *fullerene*, dan intan yang mana dalam prosesnya GO ini mudah dilakukan, mudah larut, konduktivitasnya mudah disesuaikan, area permukaan luas (*high surface area*), *biocompatibility*, dan sumber daya materialnya melimpah, dan murah (Dwandaru dkk., 2019). Grafena oksida (GO) diproduksi dari grafit yang mana pada lapisan grafena sangat dekat selaras dan ditumpuk. Untuk menyerang lapisan pada grafena, agen pengoksidasi harus terlebih dahulu menembus di antara lapisan-lapisan tersebut. Pada proses sintesisnya dioksidasi dengan asam kuat menggunakan bubuk grafit. Dalam hal ini digunakanlah metode *Hummers-Offeman* karena dikenal efisien, menguntungkan, dan mendapatkan grafena dengan sifat yang unggul (Taufantri dkk., 2016).

Sejak beberapa tahun lalu proses konversi katalitik selulosa telah menarik minat besar dalam memproduksi bahan kimia maupun bahan bakar terbarukan, karena material ini sungguh melimpah dan selama ini banyak terbuang sia-sia. Konversi selulosa menggunakan katalis heterogen sudah banyak dipelajari dan dapat diketahui bahwa selulosa murni dapat diubah menjadi gula alkohol dengan

memperoleh hasil yang baik dengan menggunakan beragam jenis katalis logam yang didukung di bawah tekanan H₂. Berdasarkan penelitian (Kobayashi *et al.*, 2014) diperoleh hasil konversi katalitik selulosa dengan katalis Pt yang didukung karbon di bawah tekanan H₂. Dalam mekanisme reaksi ini, ditemukan bahwa proses hidrolisis dipromosikan oleh beberapa katalis logam yang didukung selain efek air bertekanan panas, dan hidrogenasi dikatalisis oleh logam transisi sehingga menghasilkan sejumlah kecil sorbitol (2,8%), xilitol (7,3%), dan alkohol gula lainnya. Dalam proses konversi membutuhkan hasil dan kemurnian yang tinggi menggunakan katalis heterogen karena kemampuannya yang sangat mudah dipisahkan dari produk. Degradasi katalitik selulosa menjadi alkohol gula menghasilkan sorbitol dan manitol dengan menggunakan katalis logam yang didukung dalam kondisi hidrogenolisis.

Pada proses fotokatalitik turunan biomassa digunakan sebagai sebuah strategi yang muncul untuk memproduksi gas H₂ terbarukan dengan menggunakan energi matahari. Secara alternatif, proses fotokatalitik yang didukung oleh penerangan matahari mempunyai proses sangat berkelanjutan dan menonjol sebagai strategi yang menjanjikan dan efektif. Sebagian besar penelitian telah menggunakan TiO₂ pemanen sinar ultraviolet (UV) sebagai katalis, dan pemanfaatan cahaya matahari masih terbatas. (Negoi *et al.*, 2014) menemukan reaksi katalitik Ru sebagai yang paling efektif untuk konversi selulosa menjadi sorbitol 40% hasil heksitol, termasuk 36% sorbitol untuk 85% konversi selulosa dari serangkaian katalis berbasis Fe, Co, Ni, Pd, Pt, Rh, Ru, Ir, Ag, dan Au.

Dalam penelitian (Fukuoka *and* Dhepe, 2006) mengeksplorasi beberapa katalis logam mulia yang didukung untuk memproduksi gula alkohol dari berasal dari selulosa. Dalam berbagai jenis logam yang diteliti diantaranya adalah Pt dan Ru yang diketahui paling efektif untuk proses ini. Pt/g-Al₂O₃ nantinya akan mengkatalisis konversi selulosa menghasilkan 25% sorbitol dan 6% mannitol. Selain itu logam Ru yang didukung oleh karbon (Ru/O) termasuk ke dalam sistem katalitik lain yang layak untuk konversi selulosa menjadi poliol. Dalam pemilihan Ru/C didasarkan pada aktivitas dan selektivitasnya yang dilaporkan lebih unggul untuk hidrogenasi glukosa menjadi sorbitol. (Luo *et al.*, 2007)

melaporkan bahwa hasil konversi selulosa sebesar 38% dan hasil alkohol gula sebesar 22% (sorbitol dan manitol pada rasio molar sekitar 3,6:1) diperoleh dalam 5 menit pada suhu 518 K dan 6 MPa H₂ yang meningkat tajam menjadi 85,5% dan 39,3%, masing-masing, setelah memperpanjang waktu reaksi hingga 30 menit yang didapatkan dengan menggunakan katalis Ru/C dalam air panas menggunakan suhu 245 °C. Dalam penelitian tersebut, katalisis heterogen dapat mengeksplorasi degradasi katalitik selulosa dengan bantuan katalis Pt atau Ru yang memberikan aktivitas tinggi untuk mengubah selulosa menjadi alkohol gula.

Dalam penelitian Putri (2022), hasil konversi yang diperoleh memiliki konsentrasi glukosa tinggi yang terdapat pada nilai ppm sebesar 136,73 ppm dengan waktu retensi 240 menit. Namun, dalam hasil ini tidak dideteksi adanya gula alkohol baik sorbitol, manitol, dan xylitol. Selanjutnya, pada penelitian Andini (2023) diperoleh hasil konversi yang lebih baik yang mana teridentifikasi adanya puncak dari sorbitol pada waktu retensi 5,942 menit dan ribosa pada waktu retensi 2,835 menit.

Berdasarkan penelitian ini, dilakukan preparasi nanokatalis LaCr_{0.96}Ti_{0.04}O₃ yang dipadukan pada nGO sehingga dihasilkan nanokatalis LaCr_{0.96}Ti_{0.04}O₃/nGO. Kemudian nanokatalis akan di karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk menentukan fasa kristalin, karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectrophotometer* (FTIR) untuk menentukan jenis dan jumlah situs asam, *Diffuse Reflectance Spectrophotometer* UV-Vis (DRS UV-Vis) untuk menentukan energi *band-gap*, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan. Uji aktivitas nanokomposit dilakukan dengan menggunakan reaktor konversi yang terdiri dari sumber sinar UV dan gas H₂. Hasil konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol dilakukan analisis menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) dengan target yang diperoleh adalah sorbitol, manitol dan xylitol.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengekstraksi selulosa menjadi nanoselulosa yang berasal dari limbah kulit pisang kepok.
2. Memperoleh grafena oksida yang berasal dari limbah tongkol jagung.
3. Memperoleh nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ dengan memiliki aktivitas tinggi dalam konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol seperti xylitol, sorbitol, dan mannitol.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan limbah kulit pisang yang dapat digunakan untuk menghasilkan produk yang bernilai ekonomi tinggi.
2. Memberikan informasi mengenai kemampuan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ dalam proses konversi nanoselulosa kulit pisang menjadi gula alkohol.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Kulit Pisang

Pisang (*Musa sapientum*) tergolong ke dalam salah satu buah tropis yang berasal dari tumbuhan *family* Musaceae yang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia. Pisang kepok (*Musa paradisiaca L*) sebagai jenis pisang yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia di mana pisang ini mempunyai komoditas unggulan yang mudah diusahakan, berumur singkat, dan dapat dipanen sepanjang tahun. Pisang kepok (*Musa paradisiaca*) merupakan jenis pisang yang sering diolah sebagai bahan olahan pangan. Kulit pisang sebagai bagian terluar dari buah pisang ini mampu menyumbang sekitar 30-40% dari total berat buah pisang (Albarelli *et al.*, 2011). Pada saat ini, kulit, batang dan daun pisang (80%) hanya dibuang begitu saja tanpa adanya pengolahan yang lebih lanjut padahal limbah kulit pisang kepok ini banyak mengandung senyawa polimer seperti lignin, selulosa, hemiselulosa dan pektin. Menurut Tiwari *et al.*, (2019), kulit pisang kaya akan selulosa (35,3%), hemiselulosa (19,5%), dan lignin (6,7%). Selain itu, dalam kulit pisang terdapat kandungan lain seperti yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia kulit pisang kepok

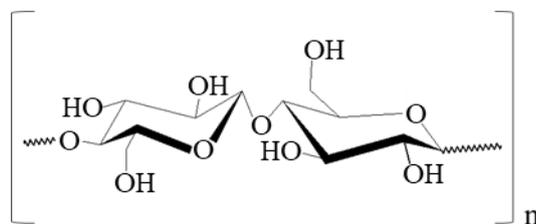
Komposisi Kimia	Kandungan (%)
Air	11,09
Abu	4,82
Lemak	16,47
Protein	5,99
Karbohidrat	40,74

2.2. Selulosa

Selulosa termasuk polimer glukosa alami yang terdiri dari 300 hingga 15.000 D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan β -(1,4) glikosidik dimana n adalah jumlah pengulangan unit gula atau derajat polimerisasi yang harganya mempunyai variasi berdasarkan sumber selulosa dan perlakuan yang diterimanya. Selulosa memiliki keseragaman permukaan dan dapat membentuk lapisan pori seperti serat struktur. Adanya polisakarida linier yang tidak larut dalam air dalam fibril selulosa tunggal dengan beberapa ratus hingga ribuan unit β -1,4-anhydro-d-glucopyranose dihubungkan oleh ikatan β -d-glikosidik.

Selulosa merupakan biomassa yang paling banyak dalam berbagai tumbuhan. Selulosa dapat menghasilkan sekitar 1,5 triliun ton dari total produksi biomassa tahunan dan dianggap sebagai sumber bahan baku yang hampir tidak ada habisnya untuk permintaan yang meningkat akan produk yang ramah lingkungan dan biokompatibel (Moon *et al.*, 2011). Selulosa dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif jika memungkinkan untuk mengubah selulosa secara efisien menjadi gula monomer melalui proses hidrolisis.

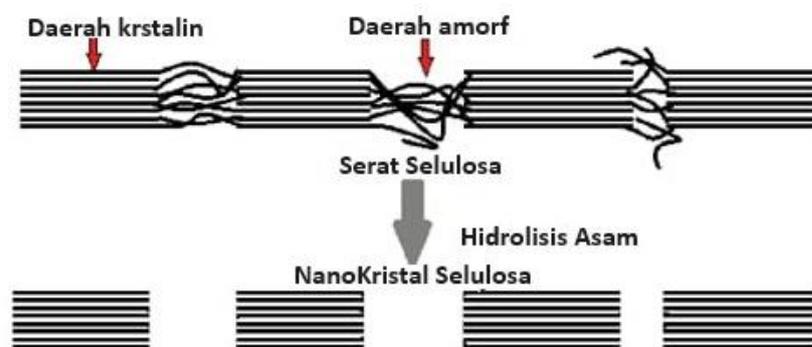
Selulosa dapat dijadikan sebagai adsorben dalam limbah pengolahan air sehingga memiliki keuntungan paling polimer organik yang melimpah, stabil untuk bahan kimia, *biodegradable*, tidak beracun, dan harganya murah. Selain itu, selulosa mempunyai stabilitas termal serta degradasi selulosa dapat menyebabkan hilangnya berat 90% sekitar 393 hingga 723 K (Zhou *et al.*, 2012). Struktur selulosa ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur selulosa

2.3. Nanoselulosa

Nanoselulosa adalah istilah umum untuk bahan yang berbasis selulosa dengan ukuran struktur berupa nano. Nanoselulosa memiliki diameter berukuran 1-100 nm dan panjangnya sekitar 500-2000 nm. Dimensi ukuran yang dimiliki nanoselulosa dapat membuat mempunyai luas permukaan yang tinggi serta jumlah gugus hidroksil yang tinggi sehingga memudahkan jika dilakukan modifikasi permukaan (Ningtyas dkk., 2020). Pada analisis selulosa alami menunjukkan bahwa selulosa ini terdiri dari kristal-kristal dengan rantai paralel yang sangat kristalin dan sangat kohesif sehingga menghasilkan sifat mekanik. Selain itu, selulosa dapat mengandung zona yang berurutan yaitu zona kristal dan amorf, serta tingkat kristalinitas dalam selulosa bisa setinggi 80%. Hal ini tergantung pada beberapa parameter, seperti area pemanenan, dan metode yang digunakan untuk mengekstrak serat dari tanaman, serta perlakuan panas dan kimia diterapkan. Selulosa melalui proses hidrolisis yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses hidrolisis asam (Bajpai *et al.*, 2013)

Produksi nanokristal selulosa sering kali melibatkan prosedur kimia tambahan. Gugus hidroksil (OH) kemungkinan besar terlibat dalam pembentukan ikatan dan ikatan antar-rantai dan memberikan selulosa sifat mekaniknya, yaitu kekakuan dan kekuatan. Kepadatan ikatan hidrogen yang tinggi antara rantai makromolekul memastikan orientasi zona kristal selulosa dan mencegah penetrasi pelarut. Di sisi lain, zona amorf memiliki lebih sedikit ikatan antar-rantai ikatan hidroksil sehingga dapat bereaksi dengan molekul air. Akibatnya, zona kristal memiliki kepadatan yang lebih tinggi daripada zona amorf dan lebih tahan terhadap air. Selulosa adalah bahan yang sensitif terhadap bahan kimia. Faktanya, selulosa

tahan terhadap larutan basa yang kuat, tetapi mudah dihidrolisis oleh larutan asam menjadi gula yang larut dalam air: hidrolisis asam memecah daerah yang tidak teratur (amorf) dan mengisolasi kristal nano. Terlebih lagi, selulosa relatif tahan terhadap zat pengoksidasi (Ng *et al.*, 2015).

2.4. Tongkol Jagung

Tongkol jagung termasuk salah satu bahan baku dalam bidang pertanian yang sangat efisien digunakan untuk industri energi terbarukan. Tongkol jagung juga dapat digunakan untuk menghasilkan panas, listrik, bahan bakar gas/cair, dan beberapa senyawa kimia seperti furfural, xylitol, dan karbon aktif. Tongkol jagung termasuk salah satu limbah biomassa yang sangat menarik untuk diteliti yaitu sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif karena merupakan bagian terbesar dari limbah jagung. Tanaman jagung juga termasuk ke dalam tanaman multifungsi sekaligus komoditi tanaman pangan kedua terpenting setelah padi (Amiruddin dkk., 2016). Berdasarkan urutan bahan makanan pokok di dunia, jagung menduduki urutan ketiga setelah gandum dan padi.

Produksi jagung di Indonesia setiap tahunnya menunjukkan peningkatan. Berdasarkan informasi dari Biro Pusat Statistik (2015), Produksi jagung tahun 2015 (ARAM II) diperkirakan sebanyak 19,61 juta ton pipilan kering atau mengalami kenaikan sebanyak 0,604 juta ton (3,3%) dibandingkan dengan tahun 2014. Kenaikan produksi diperkirakan terjadi karena kenaikan luas panen seluas 58,7 ribu hektar (1,5 persen) dan kenaikan produktivitas sebesar 8 kg/hektar (1,7%). Bukti lainnya dapat diamati dari semakin banyaknya produk-produk makanan yang bahan utamanya berasal dari jagung. Dampak dari banyaknya jagung yang dikonsumsi menyebabkan bertambahnya limbah tongkol jagung yang berpotensi mencemari lingkungan. Gambar limbah tongkol jagung dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Limbah tongkol jagung

Sekitar 40-50% dari berat jagung merupakan tongkol jagung yang beratnya dipengaruhi oleh varietasnya (Wungkana dan Suryanto, 2013). Selain itu, tongkol jagung memiliki kandungan senyawa karbon yang cukup tinggi, misalnya lignin (6%), selulosa (41%), dan hemiselulosa (36%), yang mengindikasikan bahwa tongkol jagung berpotensi sebagai bahan pembuat karbon aktif. Tongkol jagung juga memiliki kandungan kadar abu yang rendah sebesar 0,91% (Meilianti, 2020). Maka, ketiga senyawa tersebut harus terdegradasi terlebih dahulu. Selain itu, tongkol jagung juga memiliki kandungan lain seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi kimia tongkol jagung (Reta. B.R, 2013)

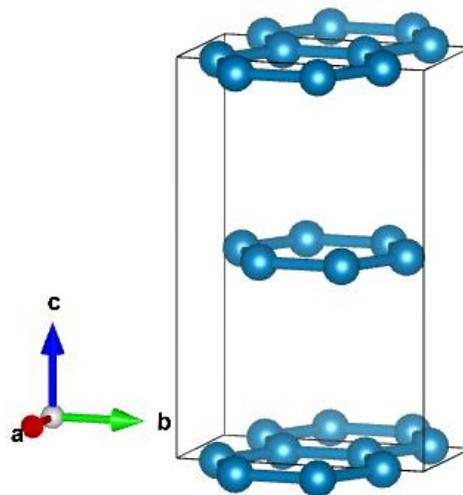
Komponen	% Kandungan
Air	9,6
Abu	1,5
Pektin	3,0
Pati	0,014

2.5. Grafit

Grafit adalah bentuk alotrop karbon yang memiliki sifat penghantar listrik dan panas yang baik. Grafit juga memiliki struktur lapisan dengan cincin atom karbon yang terdiri atas 6 atom yang mempunyai kemiripan seperti benzene dimana nantinya akan terkondensasi tanpa atom hidrogen. Jarak karbon dalam lapisan yaitu sekitar 142 pm, ikatannya mempunyai ikatan rangkap dan berupa senyawa aromatik. Karena jarak antar lapisan adalah 335 pm dan lapisan tersebut diikat oleh ikatan yang relatif lemah yakni gaya Van der Waals. Pada lapisan ini sangat mudah saling menggelincir apabila dikenai gaya. Hal inilah yang merupakan asal mula sifat pelumasan grafit. Adapun beberapa senyawa yang dapat

menginterkalasi lapisan grafit dan membentuk senyawa interkalasi seperti logam alkali, halogen, halida logam, dan senyawa organik. Grafit ini mempunyai sifat semi-logam, dan hantarannya sekitar 100 kali lebih kecil dalam arah gerak lurus lapisan (Aji dkk., 2023).

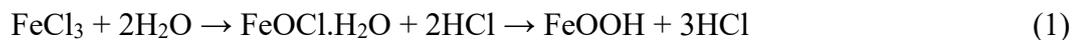
Sifat daya hantar listrik yang dimiliki oleh grafit dipengaruhi oleh elektron-elektron yang tidak digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Elektron-elektron ini tersebar secara merata pada setiap atom C karena terjadi tumpang tindih orbital seperti pada ikatan logam yang membentuk awan elektron. Ketika diberi beda potensial, elektron-elektron yang terdelokalisasi sebagian besar akan mengalir menuju anoda (kutub positif) sehingga aliran elektron inilah yang menyebabkan arus listrik dapat mengalir (Rovaldi, 2020). Grafit memiliki struktur berlapis yang dapat dilihat pada Gambar 4. Struktur grafit dibuat dengan menggunakan model Kukesh.



Gambar 4. Struktur grafit

Dalam penelitian ini, sintesis grafit dilakukan dengan menggunakan metode *catalytic graphitization* yang mempunyai kelebihan seperti proses sintesis yang berlangsung dengan mudah dan biaya yang dibutuhkan relatif rendah (ekonomis). Metode *catalytic graphitization* merupakan metode yang menggunakan katalis (logam transisi) untuk meningkatkan kristalinitas karbon hingga membentuk material grafit dengan melibatkan reaksi kimia antara karbon dan logam transisi (sebagai katalis grafitisasi). Logam transisi yang digunakan ialah Fe (*iron*) yang berasal dari $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Selain itu, sumber karbon yang digunakan berasal dari

hasil karbonisasi limbah tongkol jagung. Reaksi dekomposisi $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ menjadi Fe dapat dilihat pada Persamaan reaksi berikut:

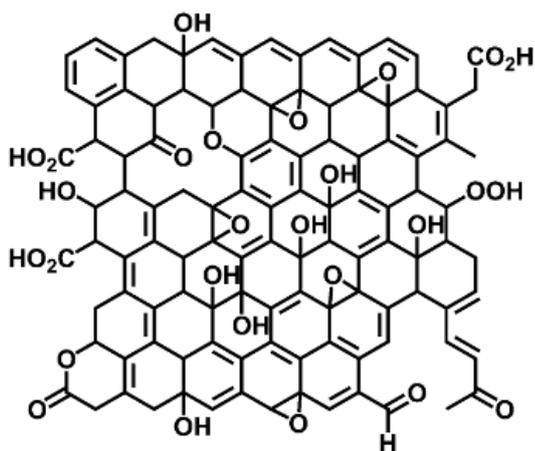


2.6. Grafena Oksida (GO)

Graphite Oxide (GO) merupakan turunan dari grafit dengan berbagai gugus fungsional yang terikat pada permukaannya. Kehadiran gugus fungsional ini sangat berpengaruh terhadap sifat dan karakteristik GO, salah satunya yaitu memiliki tingkat kelarutan tinggi didalam air. GO banyak diminati karena dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti fabrikasi superkapasitor, sensor, dan perangkat elektronik (Ibarra-Hernández *et al.*, 2018).

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* Tour, 2014). Struktur GO berupa lapisan dengan jarak antar lapisan yaitu 6-7 Å dan memiliki lengkungan pada setiap lapisan karena adanya gugus-gugus fungsional pada permukaan akibat proses oksidasi.

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 5.



Gambar 5. Struktur grafena oksida

Metode sintesis grafena oksida yang paling populer adalah oksidasi grafit secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat. Metode ini dikenal sebagai metode *Hummers* yaitu mengoksidasi grafit dengan cara mereaksikan grafit dengan kalium permanganat (KMnO_4) dan natrium nitrat (NaNO_3) dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4) (Dreyer *et al.*, 2014). Metode *Hummers* dinilai lebih baik daripada dua metode sebelumnya karena pada saat proses oksidasi tidak mengeluarkan gas ClO_2 . Produk akhir GO dari metode *Hummers* memiliki tingkat oksidasi yang lebih tinggi, bahan-bahan yang digunakan lebih mudah untuk didapat dan tidak terlalu berbahaya (Syakir dkk., 2015). Oleh karena itu, metode *Hummers* lebih sering digunakan untuk mensintesis GO.

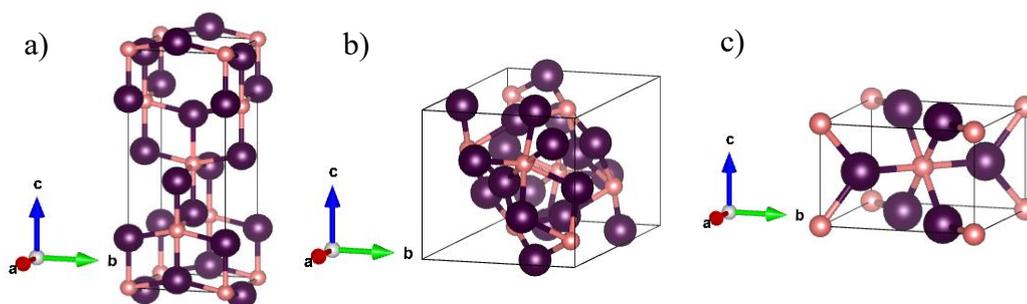
2.7. Titanium

Ti merupakan suatu unsur yang berbentuk logam. Logam ini memiliki sifat kimia yang dapat larut oleh asam pekat dan tidak dapat larut di dalam air. Secara komersil berbentuk serbuk putih. Salah satu senyawa yang dapat dihasilkan dari logam ini adalah senyawa TiO_2 . Titanium dioksida (TiO_2) telah diteliti secara luas sebagai salah satu bahan fungsional yang paling menjanjikan dan diterapkan pada banyak bidang, seperti fotokatalis, sel surya, fotosintesis, dan lain-lain (Santoso dkk., 2019).

Titanium dioksida merupakan salah satu material semikonduktor yang mempunyai sifat redoks. Berdasarkan sifat redoks tersebut, Titanium dioksida telah dianggap sebagai salah satu semikonduktor katalis yang sangat efisien untuk mengoksidasi dan mereduksi. Titanium dioksida memiliki 3 jenis struktur kristal yaitu anatase, rutil dan brokit. Struktur kristal rutil dan anatase cukup stabil dan fasa ini biasa digunakan sebagai bahan fotokatalis. Secara fotokatalitik, struktur anatase menunjukkan aktivitas yang lebih baik dari segi kereaktifan dibandingkan dengan struktur rutil. Struktur anatase memiliki luas permukaan serbuk yang lebih besar serta ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur rutil. Selain itu *band-gap energy* anatase lebih besar daripada rutil sehingga memiliki aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi.

Pada aktivitas titanium dioksida masih terdapat masalah yang membatasi efektivitas katalis TiO_2 , termasuk penyerapan cahaya yang terbatas dimana hanya bersifat responsif terhadap sinar ultraviolet dengan panjang gelombang di bawah 387 nm karena celah pita yang lebar, rekombinasi karier muat cepat, dan laju transfer-muatan antara fotogenerasi karier. Adapun zat kimia nano yang menarik perhatian para peneliti adalah penggunaan material semikonduktor seperti ZnO, TiO_2 , CdS, dan Fe_2O_3 . TiO_2 juga banyak dikenal sebagai fotokatalis karena kemampuannya yang dapat mengabsorpsi sinar UV (Heltina *et al.*, 2023).

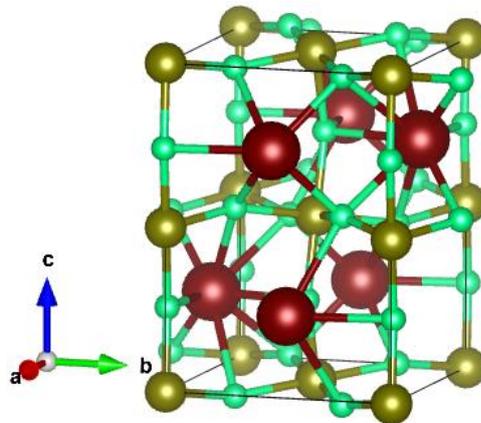
Dalam pembuatan struktur kristal tersebut dibuat dengan menggunakan *Software* VESTA berdasarkan data *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD) dengan sumber : <https://icsd.kisti.re.kr>. Pada struktur kristal TiO_2 anatase dan rutil menggunakan model Howard sedangkan brokit menggunakan model Meagher. Sehingga, bentuk struktur kristal TiO_2 dapat dilihat seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur kristal TiO_2 (a) anatase, (b) brokit, dan (c) rutil

2.8. Senyawa Perovskit

Perovskit merupakan oksida logam yang memiliki rumus umum ABX_3 yang digunakan untuk semua senyawa perovskit. Dimana A adalah ion-ion logam blok s-, d-, atau f- yang berukuran lebih besar sedangkan B merupakan ion-ion logam transisi. Dalam formula ini A dan B adalah dua kation dengan massa yang sangat berbeda. adalah ion oktahedron yang mengelilingi ion B dan X adalah anion yang berikatan dengan keduanya (Assirey, 2019). X sering kali berupa oksigen dan ion-ion besar lainnya seperti halida, sulfida, dan nitrida. Banyak senyawa oksida yang diketahui termasuk dalam beberapa deret homolog berbasis *perovskite*.



Gambar 7. Struktur senyawa perovskit $CaTiO_3$

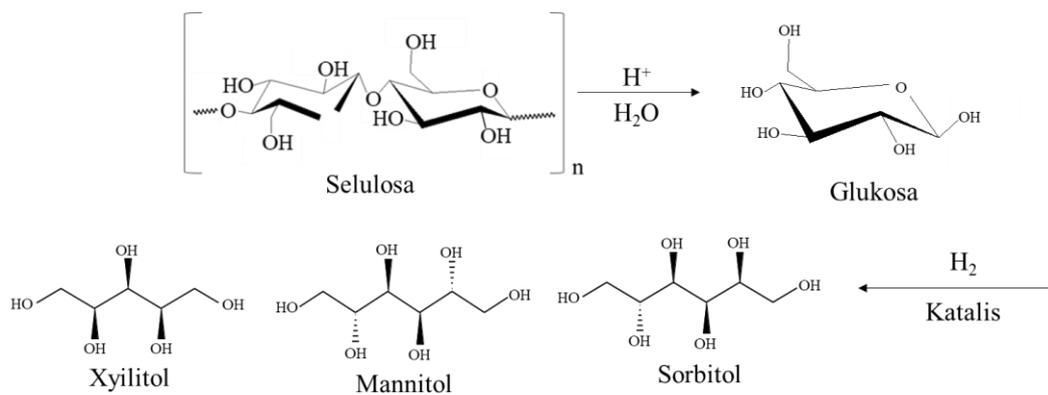
Jenis oksida perovskit (dalam bentuk idealnya) berbentuk kubik atau hampir kubik dalam struktur seperti oksida logam transisi lainnya yang mengandung rumus yang sama (ABO_3). Pada suhu rendah, beberapa transisi fasa dapat terjadi. Kelas senyawa oksida memiliki potensi yang luas untuk banyak kegunaan karena struktur kristalnya yang sederhana dan luar biasa dalam sifat feroelektrik dan dielektriknya. Bahan struktur perovskit ada dalam tiga jenis; yang pertama mengandung elektron terlokalisasi, yang kedua mengandung delokalisasi keadaan pita energi, sedangkan yang ketiga dapat berupa transisi antara kedua jenis ini (Grocholski, 2017). Ada beberapa jenis struktur perovskit yang ada dalam bentuk yang berbeda seperti: A_2BO_4 -perovskit berlapis, ABO_3 -perovskit, $A_2A'B_2B'O_9$ -perovskit rangkap tiga dan $A_2BB'O_6$ Perovskit rangkap dua, dan lain-lain, yang paling banyak ditemukan adalah $MgSiO_3$ dan $FeSiO_3$.

Dalam beberapa aplikasi perovskit terbukti memiliki ketertarikan yang besar karena sifat-sifatnya yang berguna dalam perangkat pemrosesan sinyal gelombang akustik permukaan, elektrokromik, *switching*, penyimpanan gambar, penyaringan, dan fotokromik. Baru-baru ini, perovskit halida telah menarik banyak perhatian di bidang eksplorasi material karena keefektifannya yang tinggi untuk solar *solid-state*.

2.9. Gula Alkohol

Gula alkohol adalah salah satu jenis gula yang komposisi kimianya terdiri dari tiga atau lebih gugus hidroksil. Gula alkohol, umumnya berasal dari gula, mengandung beberapa gugus hidroksil yang melekat pada atom karbon. Gula alkohol memiliki perbedaan panjang rantai yang mana sebagian besar memiliki lima atau enam atom karbon (Zhang *et al.*, 2020). Bentuk gula alkohol antara lain sorbitol, xylitol, manitol, dulcitol, dan inositol.

Gula alkohol merupakan hasil reduksi dari glukosa di mana semua atom oksigen dalam molekul gula alkohol yang sederhana terdapat dalam bentuk kelompok hidroksil, sinonim dengan *polyhidric alcohol* (polyols). Polyols dapat dibagi menjadi dua yaitu polyols asiklik dan polyols siklik. Adapun mekanisme konversi katalitik nanoselulosa dapat dilihat pada Gambar 8 (VandeVyver *et al.*, 2011).

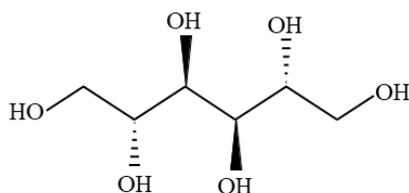


Gambar 8. Konversi katalitik selulosa menjadi gula alkohol

2.9.1. Manitol

Manitol adalah poliol enam karbon, merupakan isomer optik dari sorbitol yang digunakan sebagai karbohidrat cadangan dan paling banyak terdapat di alam misalnya pada bunga, daun manna, buah zaitun, dan alga. Manitol mempunyai enam gugus hidroksil sama seperti sorbitol yaitu dengan rumus molekul $C_6H_{14}O_6$ (Jacobsen *and* Frigaard, 2014). Keduanya tersebut termasuk isomer, namun terdapat perbedaan konfigurasi molekular. Perbedaan antara manitol dengan sorbitol yaitu terdapat pada orientasi planar dari gugus -OH pada atom C nomor 2 dimana perbedaan ini dapat memberikan pengaruh yang besar dan menyebabkan sifat serta karakteristik tersendiri pada masing-masing isomernya. Mannitol memiliki nilai kalori sebesar 1,6 kcal/g, setengah manis dibandingkan dengan gula meja, dengan efek penyejukan yang diinginkan yang efisien dalam menyamarkan rasa pahit.

Manitol bersifat nonhigroskopik sehingga digunakan sebagai agen pengisi dalam lapisan bebas gula dan bubuk penyalut untuk permen karet. Mannitol tidak dimetabolisme oleh manusia sehingga tidak menyebabkan hiperglikemia dan tidak memiliki indeks insulinemik dan glikemik. Struktur mannitol ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Struktur manitol

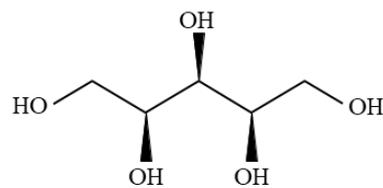
2.9.2. Xylitol

Xylitol adalah gula alkohol atau golongan polialkohol tipe pentitol berantai lima karbon dan bersifat non-kariogenik dengan formula $(CHOH)_3(CH_2OH)_2$ dan merupakan isomer takiral dari pentane-1,2,3,4,5-pentol yang banyak ditemukan pada berbagai produk pertanian. Xylitol memiliki atom karbon yang lebih pendek

dibandingkan pemanis yang lainnya. Xylitol juga mengandung atom karbon asimetris, tetapi tidak bersifat kiral karena secara keseluruhan molekulnya simetris.

Xylitol termasuk salah satu jenis gula alkohol yang digunakan sebagai pemanis. Tingkat kemanisan xylitol sebesar 0,8-1,2 kali dari sukrosa (bergantung pada pH larutannya), namun xylitol ini lebih manis dibandingkan sorbitol maupun mannitol. Xylitol berperan sebagai bahan pengganti gula yang sering digunakan yakni berasal dari bahan alami dan memiliki kalori yang sama dengan glukosa dan sukrosa (Tridiananda dan Wahyuni, 2019). Berbeda dengan pemanis alami atau buatan lainnya, xylitol memiliki manfaat aktif bagi kesehatan gigi dengan mengurangi karies (lubang gigi) hingga sepertiga dari penggunaan secara rutin dan membantu dalam proses remineralisasi.

Xylitol (alkohol gula lima karbon), pemanis buatan, dapat diproduksi dari polisakarida yang melimpah, hemiselulosa kaya xilan yang pada hidrolisis menghasilkan xilosa. Ini adalah pengganti gula digunakan dalam industri makanan, dan farmasi karena sifatnya seperti kandungan energi yang rendah, antikariogenik, pengerasan gigi, pencegahan terhadap otitis, infeksi telinga dan saluran pernapasan bagian atas, dan lain sebagainya. Struktur Xylitol dapat dilihat pada Gambar 10.



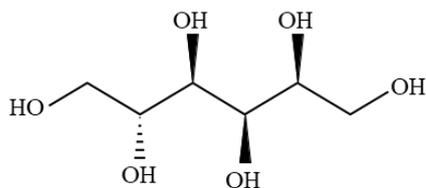
Gambar 10. Struktur xylitol

2.9.3. Sorbitol

Sorbitol ($C_6H_8(OH)_6$) merupakan golongan alkohol polyhidrat yang mempunyai struktur molekul yang mirip dengan glukosa, dimana gugus aldehid yang ada pada glukosa diganti dengan gugus alkohol. Secara komersial, sorbitol termasuk hasil proses dari glukosa yang dihidrogenasi dengan tekanan tinggi atau reduksi

elektrolit melalui proses reaksi kimia. Proses pembentukan sorbitol dari glukosa merupakan reaksi adisi dua unsur hidrogen terhadap aldosa (glukosa) dimana terjadi pemutusan ikatan rangkap C dan O terhadap gugus fungsional aldehid (Sa'diah dkk., 2019).

Sorbitol diproduksi dari glukosa atau sukrosa, dengan hidrogenasi katalitik menggunakan gas hidrogen dan katalis nikel pada suhu tinggi Sorbitol diubah menjadi fruktosa oleh enzim sorbitol-6-fosfat 2-dehidrogenase. Sorbitol merupakan isomer dari manitol, yang mana keduanya hanya berbeda dalam orientasi gugus hidroksil pada karbon 2. Meskipun mirip, dua gula alkohol ini memiliki sumber yang sangat berbeda di alam, seperti titik leleh dan penggunaannya. Struktur Sorbitol dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Struktur sorbitol

2.10. Metode Preparasi Katalis

2.10.1. Metode Sol-Gel

Metode sol-gel adalah salah satu metode yang digunakan untuk produksi dan sintesis nanopartikel. Metode ini melibatkan berbagai reaksi kimia tak terbalik yang mengubah molekul homogen primer (sol) menjadi molekul tiga dimensi yang berat yang disebut gel. Metode ini juga mampu menghasilkan komposit yang sangat homogen dengan tingkat kemurnian yang sangat tinggi (99,99%). Metode ini beroperasi pada suhu yang lebih rendah dibandingkan metode lainnya, sehingga cocok untuk menghasilkan nanomaterial logam dan keramik pada rentang suhu 70 hingga 320 °C (Bokov *et al.*, 2021). Metode sol-gel dilakukan untuk membuat suatu material padat berukuran nano, biasa digunakan untuk sintesis oksida logam seperti contoh silikon (Si) dan titanium (Ti) (Kazantzi *and*

Anthemidis, 2017). Secara keseluruhan, metode sol-gel adalah teknik yang serbaguna dan banyak digunakan di berbagai industri karena sifat uniknya, kemampuannya untuk menghasilkan nanopartikel yang seragam, dan untuk diaplikasikan dalam skala industri.

Proses sol gel melibatkan evolusi jaringan anorganik melalui pembentukan jaringan koloid melalui pembentukan suspensi koloid (sol) dan gelas sol untuk membentuk jaringan dalam fase cair kontinu (gel). Dalam proses sol-gel terdapat banyak tahapan yang melibatkan proses fisika maupun proses kimia yang terdiri atas hidrolisis, polimerisasi, pembentukan gel, kondensasi, pengeringan, dan densifikasi. Tahapan awal yaitu dimulai dengan cara melarutkan suatu logam ataupun garam dengan air bahkan dapat menggunakan pelarut apapun yang sekiranya cocok. Pada proses sol-gel ini juga sangat memperhatikan kondisi pH yang berguna untuk memperoleh endapan yang menghasilkan gel secara homogen dengan menambahkan sedikit zat aditif misalnya larutan asam maupun larutan basa.

Prinsip metode sol-gel berawal dari pembentukan larutan prekursor dari senyawa yang diharapkan dengan menggunakan pelarut organik, lalu terjadi polimerisasi larutan dan diperlukan proses pengeringan (*drying*) dan kalsinasi gel (*annealing*) untuk menghilangkan senyawa organik serta membentuk material anorganik berupa oksida. Metode ini dapat menghasilkan bahan yang halus, seragam, homogen dengan kemurnian yang tinggi (Ningsih, 2016).

2.10.2. Metode Impregnasi

Impregnasi merupakan metode yang paling mudah dan paling umum digunakan untuk menyiapkan katalis. Impregnasi secara luas memiliki pengertian proses penjenjuran zat tertentu secara total. Penjenjuran ini dilakukan dengan mengisi pori-pori *support* dengan larutan logam aktif melalui adsorpsi logam, yaitu dengan merendam *support* dalam larutan yang mengandung logam aktif (Permana dkk., 2020). Dalam hal ini, *support* memiliki fungsi sebagai penyedia permukaan yang luas agar lebih mudah menebarkan situs aktif, sehingga permukaan

kontakannya lebih luas dan efisien. Tujuan dari metode ini adalah untuk memenuhi pori dengan larutan garam logam dengan konsentrasi yang cukup untuk memberikan *loading* yang tepat. Selain itu, terdapat pula kelebihan metode impregnasi basah adalah dapatnya diatur pengontrolan banyak logam yang akan diimpregnasikan (Ginting dkk., 2017).

Prinsip impregnasi adalah memasukkan katalis logam secara paksa ke dalam rongga-rongga *support* dengan cara merendam *support* ke dalam prekursor logam aktif disertai dengan pengadukan dan pemanasan. Impregnasi juga merupakan prosedur yang umum untuk membuat katalis bimetal. Katalis bimetal dapat dibuat dengan ko-impregnasi yaitu kedua garam logam dimasukkan dalam waktu yang sama atau dengan impregnasi terpisah yaitu garam logam pertama dimasukkan kemudian diikuti garam logam kedua. Dalam ko-impregnasi, letak dan sifat logam dalam pengemban tergantung pada jenis garam prekursor yang digunakan serta kecenderungan untuk membentuk paduan dua komponen (Munnik *et al.*, 2015).

2.10.3. Sonikasi (Ultrasonik)

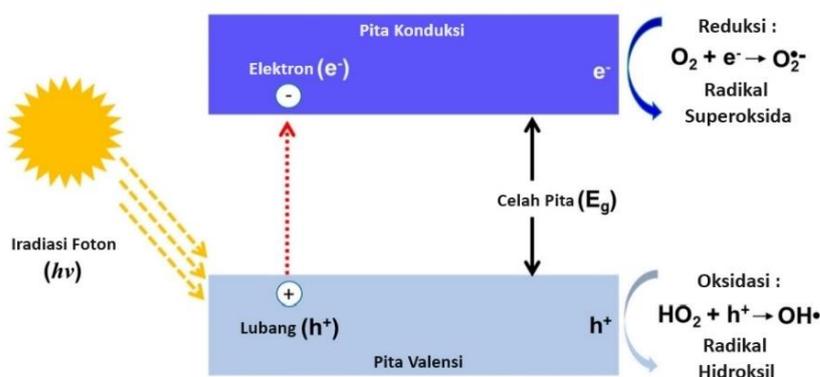
Sonikasi termasuk jenis aplikasi dari penggunaan energi gelombang ultrasonik (energi suara) yang dapat dipakai dalam berbagai aplikasi. Metode Sonikasi atau ultrasonik ini melibatkan gelombang ultrasonik yang dapat memecah partikel selulosa sehingga menghasilkan suspensi nanoselulosa. Gelombang yang digunakan akan ditembakkan ke dalam medium cair sehingga menghasilkan gelembung kavitasi yang menyebabkan partikel-partikel dalam medium cair memiliki diameter dalam skala nano. Dalam metode sonikasi terdapat kelebihan diantaranya adalah dispersi nanopartikel yang lebih seragam, luas permukaan yang lebih tinggi, stabilitas termal yang lebih baik, dan kemurnian fasa (Colmenares *et al.*, 2013).

Beberapa pemanfaatan ultrasonik pada industri antara lain adalah *thermoplastic welding*, ekstraksi, kristalisasi, floatasi, pengeringan, *degassing*, *defoaming*, *cutting*, *drilling*, *soldering*, filtrasi, homogenisasi (pengadukan atau

pencampuran), desolusi, dan deagregasi serbuk. Sonikasi berarti memberi perlakuan ultrasonik pada suatu bahan dengan kondisi tertentu, sehingga bahan tersebut mengalami reaksi kimia akibat perlakuan tersebut. Proses sonikasi dilakukan dengan cara menggunakan gelombang ultrasonik dengan rentang frekuensi 20 kHz sampai 10 MHz ke dalam medium. Energi yang diberikan gelombang ultrasonik akan menggetarkan partikel dalam medium hingga bisa memecah ikatan antar molekul (Hassanjani-Roshan *et al.*, 2011).

2.11. Reaksi Fotokatalitik

Reaksi fotokatalitik adalah reaksi kimia yang dipercepat oleh adanya material fotokatalis dengan bantuan dari foton. Foton dengan energi yang sesuai dengan celah pita energi mengeksitasi elektron pada material fotokatalis dari tingkat energi valensi menuju ke tingkat energi konduksi dan membentuk *hole* pada tingkat pita valensi. Ilustrasi skematis dari proses reaksi fotokatalitik pada Gambar 12.



Gambar 12. Skematis dari proses reaksi fotokatalitik

Reaksi fotokatalitik dimulai dari pembentukan pasangan elektron-*hole* pada saat penyinaran cahaya. Reaksi fotokatalisis mengacu pada proses di mana fotokatalis itu sendiri tidak berubah ketika disinari dengan cahaya. Sebaliknya, fotokatalis akan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia untuk meningkatkan produksi atau penguraian senyawa. Fotokatalis yang paling banyak dipelajari dan diterapkan adalah yang berbasis semikonduktor. Semikonduktor adalah bahan yang konduktivitasnya berada di antara konduktor dan isolator. Tingkat energi

terendah yang ditempati oleh elektron valensi dalam struktur pita energi elektronik semikonduktor disebut sebagai "pita valensi", dan tingkat energi terendah yang tidak terisi disebut sebagai "pita konduksi". Wilayah energi antara pita konduksi dan valensi disebut sebagai "pita terlarang", yang merupakan wilayah terputus-putus yang lebarnya bergantung pada struktur kristal dan hubungan antaratom dan merupakan parameter karakteristik bahan semikonduktor.

Struktur pita energi semikonduktor mempengaruhi penyerapan cahaya dan kinerja fotokatalitik material. Ketika fotokatalis disinari dengan foton dengan energi yang lebih besar dari lebar pita terlarang semikonduktor, elektron (e^-) pada pita valensi tereksitasi dan berpindah ke pita konduksi, dengan lubang (h^+) secara bersamaan tercipta pada pita valensi (Yang *et al.*, 2022).

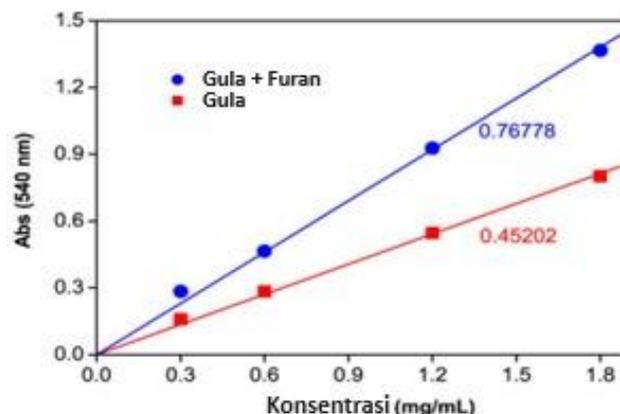
2.12. Hasil Analisis Konversi Selulosa

2.12.1. Metode DNS

Metode DNS merupakan metode umum yang digunakan dalam pengujian gula reduksi yang memiliki tingkat ketelitian tinggi sehingga dapat diaplikasikan pada gula dengan kadar yang sangat kecil. Metode DNS telah menjadi metode paling banyak digunakan untuk estimasi gula pereduksi karena mudah dilakukan dan dengan cepat mengkuantifikasi sejumlah besar sampel dalam waktu yang lebih singkat. Selain itu, metode DNS juga telah diadopsi untuk mengukur campuran gula pereduksi (pentosa, heksosa, dan oligosakarida) yang merupakan produk umum dari hidrolisis selulosa. Namun, masalah utama yang menghalangi penggunaan metode DNS adalah ketidakakuratan, di mana gula pereduksi yang berbeda menghasilkan intensitas warna yang berbeda (Deshavath *et al.*, 2020).

DNS merupakan senyawa aromatis yang akan bereaksi dengan gugus karbonil bebas dari gula pereduksi di bawah kondisi alkalin kemudian akan membentuk 3-amino-5-nitrosalisilat. Senyawa aromatik dengan penyerapan maksimum pada

panjang gelombang 540 nm sehingga menyebabkan serapan optik ini berbanding lurus dengan jumlah gula pereduksi (Başkan *et al.*, 2016). Difraktogram pada analisis DNS terdapat pada Gambar 13.



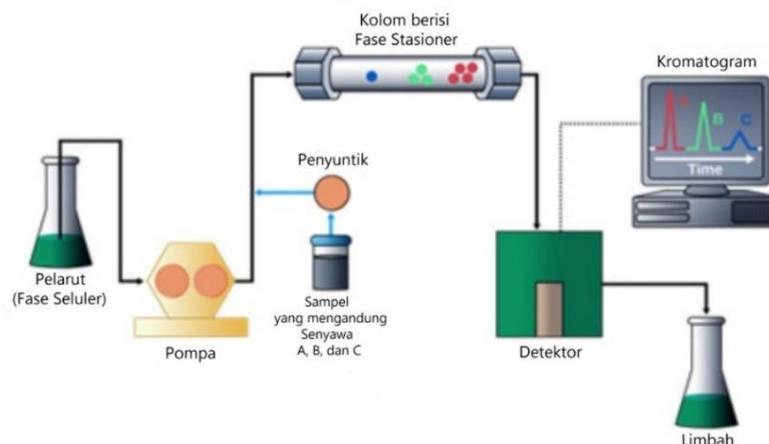
Gambar 13. Plot absorbansi terhadap konsentrasi untuk hidrolisat sintesis (garis biru) dan campuran gula (garis merah), dengan menjaga konsentrasi gula tetap konstan.

2.12.2. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

Kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT) atau biasa disebut juga dengan HPLC adalah teknik kromatografi yang menggunakan pelarut di bawah tekanan untuk memisahkan, mengidentifikasi, atau mengukur zat dalam campuran. Pemisahan campuran menjadi komponen-komponennya bergantung pada tingkat retensi yang berbeda dari setiap komponen dalam kolom. Dalam HPLC, partisi ini dipengaruhi oleh interaksi fase diam/fase gerak dan fase gerak/zat terlarut relatif (Hussen, 2022).

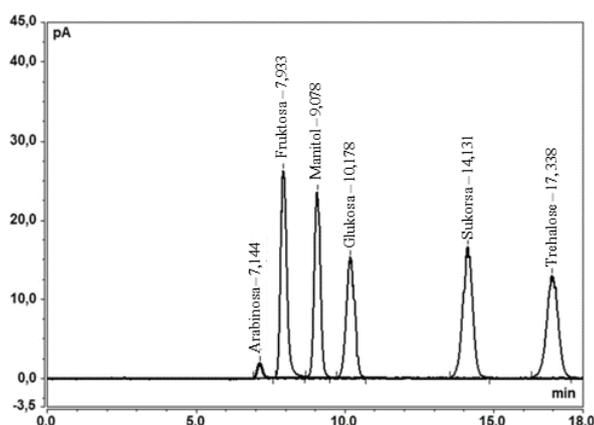
HPLC adalah teknik pemisahan yang melibatkan injeksi pada sejumlah kecil sampel cair ke dalam tabung yang dikemas dengan partikel kecil (berdiameter 3 hingga 5 mikron (μm) yang disebut fase diam) di mana masing-masing komponen sampel dipindahkan ke dalam tabung yang dikemas (kolom) dengan cairan (fase gerak) yang dipaksa melalui kolom dengan tekanan tinggi yang dialirkan oleh pompa. Komponen-komponen ini dipisahkan satu sama lain oleh kemasan kolom yang melibatkan berbagai interaksi kimia atau fisika antara molekul mereka dan partikel kemasan. Jika kekuatan interaksi masing-masing senyawa berbeda-beda

maka senyawa tersebut akan terpisah menjadi puncak-puncak tersendiri. Perkembangan dari pemisahan kromatografi ini akan dimonitor oleh suatu detektor yang sesuai yang terletak pada ujung kolom. Hasil yang diperoleh akan berbentuk suatu kromatogram yang terdiri atas puncak untuk masing-masing senyawa yang terpisah (Kredy, 2020). Skema proses kerja kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT) pada Gambar 14.



Gambar 14. Proses kerja kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT)

Dalam penelitian Situmeang et al., (2019) diperoleh hasil analisis gula alkohol yaitu xylitol 4,874 min, sorbitol 5,991 min, dan mannitol 10,840 min. Untuk menentukan pembentukan sorbitol, manitol, dan xylitol setelah proses fotokatalitik, sampel cairan kemudian dianalisis menggunakan kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Analisis arabinosa, fruktosa, manitol, glukosa, sukrosa, dan trehalose menggunakan HPLC

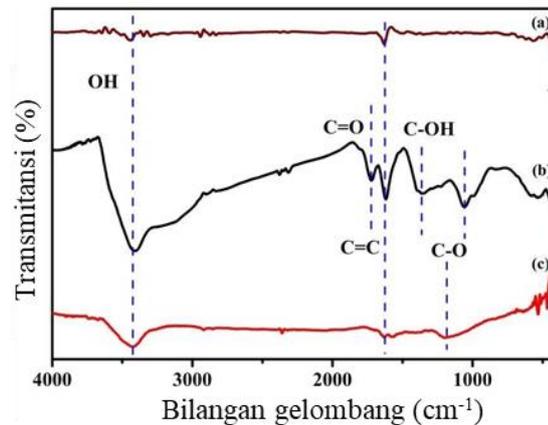
2.13. Karakterisasi Nanokatalis

2.13.1. Analisis Gugus Fungsi Nanokatalis

Analisis gugus fungsi nanokatalis menggunakan FTIR. Spektroskopi FTIR merupakan salah satu teknik analitik yang sangat baik dalam proses identifikasi struktur molekul suatu senyawa. FTIR merupakan salah satu instrumen yang menggunakan prinsip spektroskopi. Spektroskopi adalah spektroskopi infra merah yang dilengkapi dengan transformasi *fourier* untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Daerah infra merah pada spektrum gelombang elektromagnetik dimulai dari panjang gelombang 14000 cm^{-1} hingga 10^{-1} .

Berdasarkan panjang gelombang tersebut daerah inframerah dibagi menjadi tiga daerah, yaitu IR dekat ($14000\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$) yang peka terhadap vibrasi *overtone*, IR sedang ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) berkaitan dengan transisi energi vibrasi dari molekul yang memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut, dan IR jauh ($400\text{-}10\text{ cm}^{-1}$) untuk menganalisis molekul yang mengandung atom-atom berat seperti senyawa anorganik tapi butuh teknik khusus. Biasanya analisis senyawa dilakukan pada daerah IR sedang.

Prinsip kerja FTIR adalah interaksi antara energi dan materi. Infra merah yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Kemudian beberapa infra merah diserap oleh sampel dan yang lainnya di transmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar infra merah lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer dan direkam dalam bentuk puncak-puncak (Sari dkk., 2018).



Gambar 16. Spektra FTIR dari (a) grafit, (b) GO dan (c) rGO.

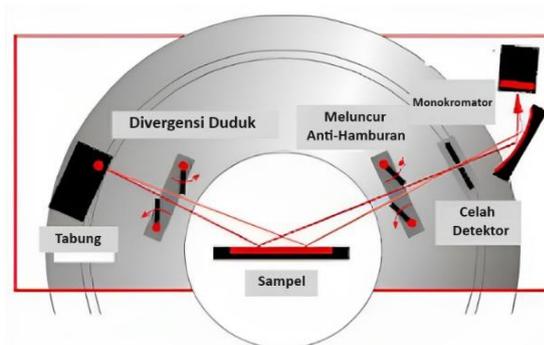
Pada gambar diatas menunjukkan hasil Karakterisasi FTIR grafit, GO, dan rGO. Spektra FTIR grafit, GO, dan rGO menunjukkan serapan beberapa gugus fungsi pada material grafit, GO, dan rGO. Material grafit memiliki gugus fungsi OH (3441 cm^{-1}) dan C=C (1632 cm^{-1}). Material GO juga memiliki gugus fungsi OH (3415 cm^{-1}) dan C=C (1618 cm^{-1}) serta muncul serapan baru berupa C=O (1722 cm^{-1}), C-OH (1361 cm^{-1}), dan C-O (1057 cm^{-1}) yang mengindikasikan bahwa GO telah terbentuk dari grafit. Sementara pada rGO memiliki gugus OH (3426 cm^{-1}), C=C (1631 cm^{-1}), dan C-O (1198 cm^{-1}) dengan mengalami penurunan intensitas puncak apabila dibandingkan dengan GO.

2.13.2. Analisis Fasa Kristalin Nanokatalis

Analisis fasa kristalin nanokatalis menggunakan instrument XRD. XRD merupakan analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Selain itu, juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal.

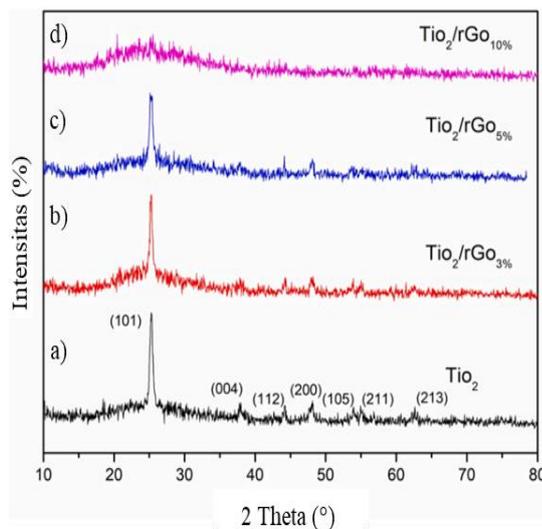
Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar

atom, yaitu sekitar 1 \AA . Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X merupakan foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0.5 sampai $2,5\text{ \AA}$. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Hukum Bragg merumuskan tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi (Hakim dkk., 2019). Difraksi sinar X dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Difraksi sinar-X

Pada pola XRD TiO_2 di bawah menunjukkan adanya puncak-puncak pada nilai 2θ $2,53^\circ$; $37,7^\circ$; $38,5^\circ$; $48,0^\circ$; $52,8^\circ$; $55,0^\circ$, dan $62,6^\circ$, yang diatribusikan pada (101), (004), (112), (200), (105), (211), dan (211), yang diatribusikan pada (101), (004), (112), (200), (105), (211), dan (213) bidang kristal anatase tetragonal, masing-masing. Pola difraksi dibandingkan dengan ICDD (*International Centre for Diffraction Data*) yang berisi File Difraksi Serbuk (PDF) dengan nomor Ref. 01-071-1166 (AlShammari *et al.*, 2020).

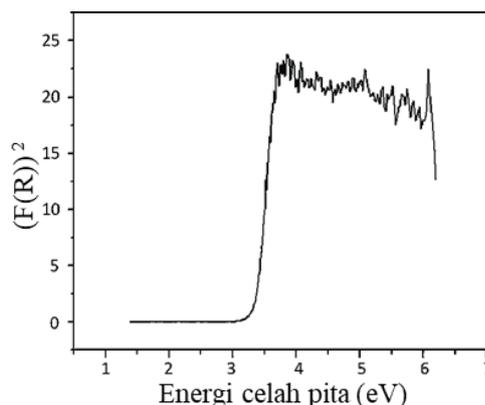


Gambar 18. Pola XRD dari (a) TiO_2 , (b) TiO_2/rGO 3%, (c) TiO_2/rGO 5%, dan (d) TiO_2/rGO 10%

2.13.3. Analisis Energi *Band-Gap* Nanokatalis Menggunakan DRS

Energi *Band-Gap* dianalisis menggunakan instrument DRS. *Band gap* adalah rentang energi antara bagian bawah pita konduksi dan bagian atas pita valensi dalam suatu semikonduktor atau isolator rentang energi di mana tidak ada keadaan elektron yang ada. Energi *band gap* dari semikonduktor menggambarkan energi yang diperlukan untuk mengexcite sebuah elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Penentuan akurat dari energi *band gap* sangat penting untuk memprediksi sifat fotofisika dan fotokimia dari semikonduktor. Secara khusus, parameter ini sering disebut ketika membahas sifat fotokatalitik dari semikonduktor.

Perbedaan energi *gap* (E_g) dipengaruhi oleh lingkungan kristal masing-masing atom penyusun kristalnya, yaitu penyusunan atom Ti dan O dalam kristal TiO_2 yang orientasinya berbeda satu sama lain, misalnya struktur anatase memiliki energi *band gap* (E_g) sebesar 3,2 eV dan rutil sebesar 3,0 eV. Spektrum UV-DRS dari $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2/\text{kitosan}$ dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Spektrum UV-DRS dari $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2/\text{kitosan}$ (Rilda *et al.*, 2017)

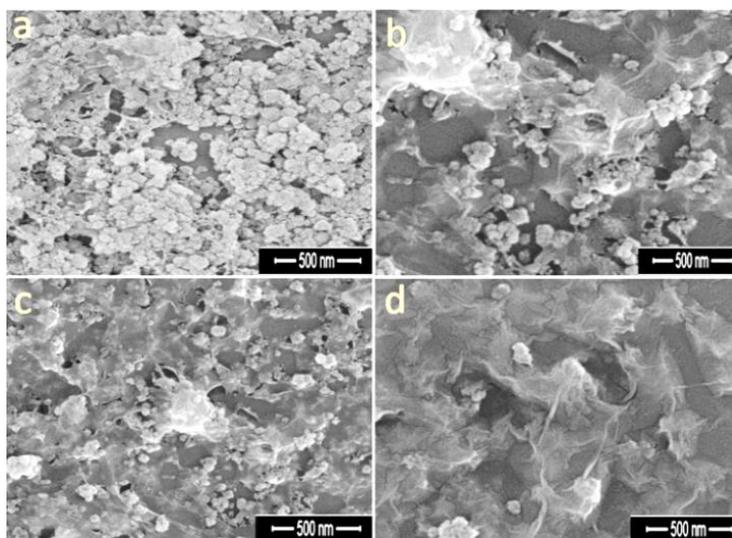
Dari gambar tersebut, terlihat bahwa $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2/\text{kitosan}$ memiliki celah energi $\sim 3,03$ eV. Karena senyawa ini memiliki celah energi berkisar antara 3,0 hingga 3,4 eV, bahan ini cenderung menyerap sinar UV untuk fotokatalisis.

2.13.4. Analisis Morfologi Permukaan Nanokatalis

Analisis morfologi atau dikenal dengan SEM adalah sebuah instrumen yang menggunakan berkas elektron pancaran tinggi untuk memindai sebuah objek yang mampu menghasilkan sejumlah resolusi tinggi yang berasal dari gambaran permukaan suatu sampel. Prinsip kerja alat SEM yaitu memanfaatkan hamburan balik elektron (*electron beam*) pada permukaan objek dan mengambil gambar dengan cara mendeteksi elektron yang muncul di sekitar permukaan objek. Proses penggunaan mikroskop SEM memungkinkan terjadinya pemindaian area yang luas dan mengumpulkan sejumlah besar data untuk memperoleh karakteristik sampel, diantaranya adalah menghitung objek dan mengumpulkan statistik objek tersebut, salah satunya mendapatkan citra morfologi ukuran untuk menentukan distribusi ukuran. Pengujian SEM memungkinkan mendapatkan hasil citra morfologi dan konsentrasi dari campuran bahan (Septiano *et al.*, 2021).

SEM menggunakan sinar terfokus elektron berenergi tinggi untuk menghasilkan berbagai sinyal pada permukaan spesimen padat. Sinyal yang berasal dari interaksi elektron-sampel mengungkapkan informasi tentang sampel termasuk morfologi eksternal (tekstur), komposisi kimia, dan struktur kristal dan orientasi

bahan yang membentuk sampel. Area mulai dari sekitar 1 cm hingga 5 mikron dapat dicitrakan dalam mode pemindaian menggunakan teknik SEM konvensional (pembesaran mulai dari 20X hingga sekitar 30.000X, resolusi spasial 50 hingga 100 nm (Swapp, 2017).



Gambar 20. Gambar FESEM menunjukkan morfologi (a) TiO_2 , (b) TiO_2/rGO 3%, (c) TiO_2/rGO 5%, dan (d) TiO_2/rGO 10%. (AlShammari *et al.*, 2020)

Pada gambar diatas gambar a mengungkapkan bahwa TiO_2 yang telah disiapkan dicirikan oleh partikel berbentuk bola yang terkondensasi. Pada pada gambar b-d menunjukkan morfologi yang serupa fitur anatase TiO_2 , meskipun dengan ukuran kristalit yang lebih kecil dari sampel TiO_2 murni. Morfologi ini sesuai dengan temuan saat ini dari penelitian lain juga. Gambar b-d juga menunjukkan bahwa nanokomposit TiO_2/rGO digabungkan secara intens, menunjukkan TiO_2 terikat ke dalam rGO. Sebagian besar partikel TiO_2 berbentuk bulat (AlShammari *et al.*, 2020).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2023 – April 2024 yang bertempat di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Proses *freeze-dry* dilakukan di Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) dan UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Analisis struktur kristal menggunakan XRD dilakukan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Tanjung Bintang dan Universitas Negeri Padang (UNP). Analisis gugus fungsi menggunakan FTIR di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung dan Universitas Negeri Padang (UNP). Analisis energi *band-gap* menggunakan DRS dilakukan di Laboratorium Kimia Analisis Universitas Indonesia (UI). Analisis morfologi permukaan menggunakan SEM dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Analisis hasil konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol menggunakan HPLC dilakukan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong.

3.2. Alat dan Bahan

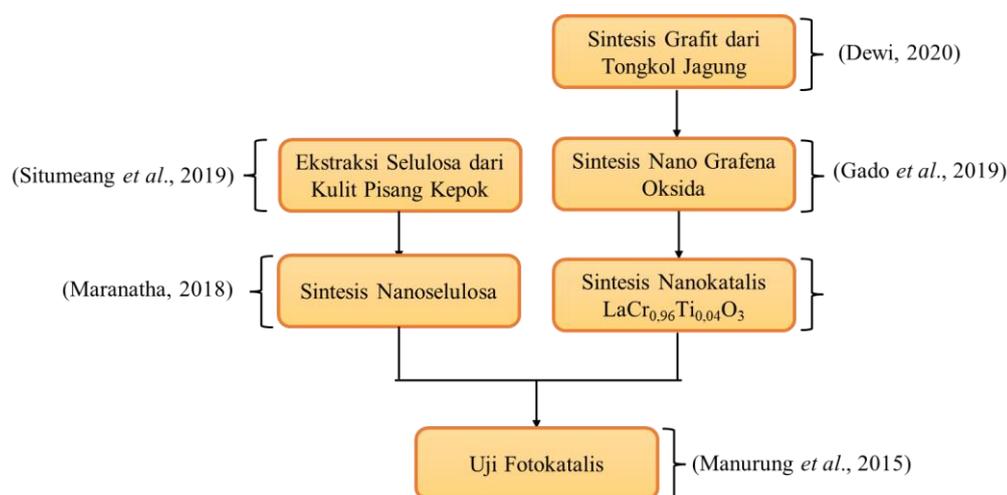
Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah FTIR Agilent Carry 630 USA (United State), XRD tipe *Xpert Pro PAN Analytical* UK (United Kingdom), SEM EDX tipe Zeiss Evo MA 10, DRS UV-Vis tipe Agilent Cary 60, HPLC tipe Shimadzu LC-2030C 3D Plus, alat ultrasonikasi tipe Bandelin Sonorex Technik, *heat magnetic stirrer*, *freeze dryer* tipe ModulyoD, lampu UV 125 watt merek

Solar Glo, oven *Herraeus* 150-B, freezer, neraca analitik (*Kern&Sohn* GmbH ABT 449-35A), aluminium pH meter, sentrifus, mortar agate, desikator, reaktor uji katalitik, termometer, spatula, serta peralatan gelas.

Bahan-bahan yang digunakan adalah kulit pisang kepok, tongkol jagung, minyak zaitun, akuades, pektin, buffer asetat, pH indikator, gas Hidrogen (BOC 99,99 %), $[\text{La}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ (Merck™), kromium nitrat nonahidrat $[\text{Cr}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}]$ (Merck™), Titanium (IV) isopropoksida $[\text{Ti}\{\text{OCH}(\text{CH}_3)_2\}_4]$ (Merck™) 97%, amonia berair (pH = 12) (Merck™), 2-propanol (Merck™), besi III klorida $[\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ (Merck™), hidrogen klorida $[\text{HCl}]$ 1M dan HCl 5 %, asam sulfat $[\text{H}_2\text{SO}_4]$ pekat (Merck™), kalium permanganat $[\text{KMnO}_4]$ (Merck™), hidrogen peroksida $[\text{H}_2\text{O}_2]$ 30 %, natrium hidroksida $[\text{NaOH}]$ 4 %, natrium klorit $[\text{NaClO}_2]$ 5,25 % , asam nitrat $[\text{HNO}_3]$ 50 %, dan reagen asam 3,5-dinitrosalisilat [DNS].

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahap prosedur yang dimulai dengan ekstraksi selulosa dari kulit pisang kepok, pembuatan nanoselulosa, preparasi grafit dan grafena oksida, sintesis nanokatalis yang dilanjutkan dengan karakterisasinya, konversi nanoselulosa dengan reaksi fotokatalisis serta analisis hasil konversi. Adapun skema penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Skema penelitian

3.3.1. Preparasi Nanoselulosa

3.3.1.1. Ekstraksi Selulosa dari Kulit Pisang Kepok

Selulosa diekstraksi dengan cara mencuci kulit pisang kepok kuning dengan menggunakan air mengalir hingga bersih, lalu dipotong menjadi ukuran yang lebih kecil, kemudian dijemur dibawah sinar matahari. Kulit pisang yang telah kering, selanjutnya digiling hingga memperoleh bubuk halus berwarna coklat kehitaman. Kemudian dimasukkan bubuk sebanyak 50 g ke dalam labu bundar dan ditambahkan larutan NaOH 4% hingga homogen untuk delignifikasi kandungan lignin. Kemudian larutan campuran direfluks selama 2 jam pada suhu 100–120 °C. Setelah itu, hasil refluks disaring dan dicuci dengan akuades hingga beberapa kali untuk memisahkan lignin dan hemiselulosa yang ditunjukkan dengan adanya warna hitam pada larutan NaOH 4% saat proses pencucian. Selanjutnya, proses *bleaching* dilakukan dengan cara memasukkan selulosa yang telah dicuci ke dalam labu bundar lalu ditambahkan 400 mL larutan NaClO₂ 5,12% untuk menghilangkan sisa lignin dan hemiselulosa dari proses sebelumnya dan 5 mL larutan buffer pH 5 untuk menjaga kondisi pH. Setelah direfluks selama 4 jam pada suhu 110–130 °C. Hasil refluks yang diperoleh kemudian didinginkan dan dicuci dengan akuades hingga endapan selulosa pH netral. Selulosa yang diperoleh kemudian dikeringkan menggunakan *freeze-dryer* selama 24 jam (Situmeang *et al.*, 2019).

3.3.1.2. Pembuatan Nanoselulosa

Nanoselulosa dibuat dengan cara menyiapkan sebanyak 10 g bubuk selulosa yang dimasukkan ke dalam labu bundar bervolume 1 L dan ditambahkan 200 mL larutan HNO₃ 50%. Kemudian larutan tersebut disonikasi selama 25 jam lalu direfluks selama 45 menit pada suhu 60 °C. Proses selanjutnya ditambahkan akuabides sebanyak 200 mL pada larutan yang telah direfluks kemudian didinginkan. Sampel yang telah didinginkan kemudian disentrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan 3500 rpm. Selanjutnya dilakukan pencucian secara

berulang menggunakan akuabides hingga pH mendekati 7. Setelah itu, larutan selulosa dikeringkan dengan menggunakan *freeze dryer*. Nanoselulosa yang telah diperoleh disimpan pada suhu 4 °C sebelum digunakan (Maranatha, 2018).

3.3.2. Karakterisasi Nanoselulosa

3.3.2.1. Analisis Fasa Kristalinitas

Analisis Fasa Kristalinitas dapat dianalisis menggunakan XRD. Sampel nanoselulosa dipindai menggunakan monokromator sumber radiasi Cu-K α ($\lambda = 1,54186 \text{ \AA}$) pada sudut 2θ dari 10–100° dengan menggunakan *scan step size* 0,05°/menit. Indeks kristalinitas dihitung dengan membandingkan intensitas minimum (I_{am} , $2\theta = 18^\circ$) dan intensitas maksimum (I_{002} , $2\theta = 22,5^\circ$) menggunakan metode Segal (Tibolla *et al.*, 2014) pada Persamaan rumus 1 dan 2.

$$\text{Derajat Kristalinitas} = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \times 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ CrI} = \frac{I_{002}}{I_{am} + I_{002}} \times 100 \quad (2)$$

Keterangan:

I_{002} : material kristalin

I_{am} : material amorf

3.3.3. Preparasi Nano Grafen Oksida

Preparasi nano grafena oksida terdiri dari beberapa tahap diantaranya adalah sebagai berikut:

3.3.3.1. Preparasi Grafit dari Tongkol Jagung

Proses preparasi grafit dari arang tongkol jagung dilakukan dengan cara preparasi serbuk tongkol jagung dan karbonisasi. Pertama, limbah tongkol jagung dicuci hingga bersih, lalu dipotong kecil-kecil dan dijemur dibawah sinar matahari. Selanjutnya, dikeringkan pada suhu 100 °C dalam oven selama 1,5 jam dan

dihaluskan untuk memperoleh berupa serbuk. Setelah itu, serbuk dimasukkan ke dalam *crucible* dan ditutup. Kemudian di *furnace* pada suhu 350 °C selama 2 jam dengan *heating rate* 10 °C/menit. Arang yang telah diperoleh didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan dihaluskan dengan mortar. Selanjutnya, arang yang telah dihaluskan ditimbang sebanyak 5 g arang tongkol jagung, lalu dicampurkan dengan 500 mL akuades di dalam gelas kimia 1000 mL dan diaduk menggunakan *heat magnetic stirrer* selama 30 menit. Kemudian, ditambahkan 4 ml $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ secara perlahan ke dalam larutan selama 15 menit pada suhu ruang. Lalu, ditambahkan larutan HCl 1M ke dalam larutan hingga pH = 2. Pengadukan larutan dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 60 °C selama 5 jam. Setelah itu, larutan disentrifugasi untuk memisahkan filtrat dari endapan natural grafit. Endapan yang telah didapatkan dicuci dengan akuades hingga pH menjadi netral. Lalu, endapan akhir dikeringkan dalam oven pada suhu 50 °C (*overnight*) dan dilanjutkan suhu 110 °C selama 5 jam. Hasil pengeringan berupa serbuk natural grafit didinginkan dalam desikator selama 15 menit, lalu dikarakterisasi dengan XRD yang akan digunakan sebagai bahan baku sintesis grafena oksida (GO).

3.3.3.2. Preparasi Grafena Oksida (GO)

Preparasi grafena oksida (GO) disintesis dengan menggunakan metode Hummer yang termodifikasi dengan bahan baku grafit pada disintesis sebelumnya. Pertama, sebanyak 5 g grafit dan 2,5 g NaNO_3 dicampurkan ke dalam 120 mL H_2SO_4 pekat (95%) yang diaduk menggunakan *heat magnetic stirrer* selama 10 menit dalam penangas es (0 °C) dengan tujuan untuk membuat grafit yang lebih reaktif sehingga mempermudah proses oksidasi. Setelah itu, ditambahkan 15 g serbuk KMnO_4 secara perlahan untuk mengoksidasi larutan dengan menjaga suhu campuran tetap dibawah 5 °C dengan pengadukan selama 60 menit. Selanjutnya, ditambahkan akuades hingga volume suspensi mencapai 400 mL dengan pemanasan hingga mencapai suhu 98 °C selama 2 jam.

Kemudian ditambahkan 15 mL H_2O_2 30% dan diaduk selama 5 menit untuk menghentikan reaksi oksidasi. Larutan yang telah didapatkan disentrifugasi lalu

endapan dicuci dengan larutan HCl 5% yang kemudian di tes menggunakan barium klorida (BaCl_2). Selanjutnya di sentrifus kembali menggunakan akuades hingga netral untuk menghilangkan ion sulfat pada campuran hingga netral (Gado *et al.*, 2019). Selanjutnya, endapan dicampurkan ke dalam 450 mL akuades dan disonikasi selama 2 jam. Setelah itu, campuran disentrifugasi untuk memisahkan cairan supernatan dan endapan berwarna keemasan selama 10 menit. Lalu, supernatan disentrifugasi kembali untuk menghilangkan zat yang tersuspensi. Kemudian, endapan diultrasonikasi dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 60 °C sampai membentuk *nanosheet* grafena oksida dan dilakukan analisis menggunakan XRD dan FTIR.

3.3.4. Sintesis Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$

Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ dipreparasi dengan metode sol-gel (Situmeang *et al.*, 2019) dan dilakukan dengan tiga tahap yaitu pembuatan $\text{LaCr}_{0,96}\text{O}_3$, impregnasi logam Ti dan impregnasi nGO. Pembuatan $\text{LaCr}_{0,96}\text{O}_3$ diawali dengan cara melarutkan 20 gram pektin dalam 400 mL akuades menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu kamar hingga larutan menjadi homogen (± 4 jam). Selanjutnya, ditambahkan ammonia sebanyak 25-30 mL hingga pH = 11. Lalu, dimasukkan larutan La-nitrat (9,0688 gram $\text{La}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam 400 mL akuades) dan larutan Cr-nitrat (8,0449 gram $\text{Cr}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dalam 200 mL akuades) secara perlahan dan bersamaan dengan menggunakan selang infus, sambil terus diaduk. Setelah larutan logam tersebut habis, campuran dipanaskan menggunakan *heating magnetic stirrer* pada suhu 80 °C hingga larutan menjadi homogen dan terbentuk gel. Setelah itu, dilakukan *freezer-drying* untuk menghilangkan uap air dan dikalsinasi secara bertahap sampai suhu 550 °C. $\text{LaCr}_{0,96}\text{O}_3$ kemudian digerus hingga halus menggunakan mortar agate dan ditimbang untuk digunakan pada tahap selanjutnya.

Tahap kedua yakni impregnasi logam Ti yang dilakukan dengan cara melarutkan sebanyak 0,0401 gram Ti-*isopropoxide* ke dalam 50 mL larutan 2-propanol. Selanjutnya, ditambahkan bubuk nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{O}_3$ secara perlahan agar

menyebar hingga merata sambil diaduk dan dipanaskan pada suhu 50 °C menggunakan *heating magnetic stirrer* sehingga diperoleh larutan yang homogen serta volumenya menjadi menyusut. Setelah itu, dikeringkan dengan *freeze dryer* selama 24–48 jam. Selanjutnya, dikalsinasi secara bertahap pada suhu 700 °C, dengan suhu awal kalsinasi 25 °C kemudian suhu dinaikkan dengan laju alir 2 °C/menit hingga mencapai 250 °C dan ditahan selama 2 jam, lalu dinaikkan kembali hingga mencapai 500 °C dan ditahan selama 2 jam kemudian suhu dinaikkan kembali hingga mencapai 700 °C dan ditahan selama 2 jam. Setelah mencapai suhu maksimal, pemanasan dihentikan dan didiamkan hingga mencapai suhu kamar. Bubuk katalis yang diperoleh kemudian digerus hingga halus menggunakan mortar agate.

Tahap yang ketiga adalah impregnasi NGO dengan perbandingan berat $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$:NGO sebesar 0,5:1. Impregnasi dilakukan dengan cara mendispersikan NGO ke dalam akuades. Selanjutnya ditambahkan bubuk nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$ secara perlahan dan menyebar hingga merata sambil disonikasi selama 90 menit. Hasil impregnasi selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C. Nanokatalis yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan FTIR, XRD, SEM-EDX dan DRS UV-Vis.

3.3.5. Karakterisasi Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$

3.3.5.1. Analisis Gugus Fungsi Nanokatalis

Analisis gugus fungsi katalis dalam penelitian ini dilakukan secara kualitatif dengan menggunakan spektrofotometer FTIR. Sampel akan menyerap sejumlah energi yang diperlukan untuk meregangkan suatu ikatan yang mana 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.

3.3.5.2. Analisis Fasa Kristalin Nanokatalis

Analisis fasa kristalin dilakukan menggunakan XRD. 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 10–100°, dengan scan *step size* 0,05°/menit. Sampel padat diletakkan pada *sample holder*. Kemudian sumber sinar bergerak mengelilingi sampel sambil menyinari sampel. Sampel akan memantulkan sinar dan ditangkap oleh detektor. Alat perekam merekam intensitas pantulan sinar untuk tiap sudut tertentu. Puncak-puncak yang terdapat pada difraktogram kemudian diidentifikasi menggunakan metode *Search Match* dengan standar file data yang terdapat dalam program *Match Crystal Impact* dan data standar JCPDF. Ukuran partikel dihitung menggunakan Persamaan rumus 3 yaitu *Scherrer*.

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \quad (3)$$

Keterangan:

D = Ukuran partikel

λ = Panjang gelombang

k = Konstanta *Scherrer*

β = Radian (FWHM)

θ = Sudut difraksi

3.3.5.3. Analisis Morfologi Permukaan Nanokatalis

Analisis morfologi permukaan dilakukan menggunakan alat SEM. Sampel nanokatalis dipersiapkan terlebih dahulu dilapisi dengan emas, kemudian sampel dianalisis area. Selanjutnya sinar elektron ditembak mengenai sampel. Setelah sinar elektron mengenai sampel, akan terjadi interaksi yang dapat disajikan dalam sebuah gambar oleh analisis SEM.

3.3.5.4. Analisis *Band-Gap* Nanokatalis

Analisis *band-gap* atau celah pita energi yang diperlukan suatu elektron untuk dapat tereksitasi dilakukan menggunakan spektrum DRS UV-Vis yang direkam dengan spektrofotometer *Agilent Cary 60* lalu diintegrasikan dengan tabung dengan diameter 15 cm untuk mengukur *diffuse reflectance*. Sampel yang digunakan untuk pengukuran berupa bubuk dengan ukuran bawah 100 mesh atau 149 mikron. Absorbansi diukur dengan kisaran panjang gelombang 200–800 nm.

3.3.6. Uji Aktivitas Nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$

Konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol dilakukan dengan melarutkan sebanyak 0,5 gram nanoselulosa ke dalam 100 mL akuades. Kemudian ditambahkan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ sebanyak 0,1 gram dan dialirkan gas hidrogen dengan laju 10 mL/menit. Setelah itu dipasangkan lampu sinar UV (100 Watt), dimana posisi lampu sinar UV berada pada rentang jarak 10–15 cm ke permukaan reaktor (Manurung *et al.*, 2015). Waktu proses irradiasi sinar UV pada konversi nanoselulosa divariasikan yaitu 60, 120, 180, 240, dan 300 menit. Hasil konversi nanoselulosa ini dianalisis menggunakan reagen DNS dan HPLC.

3.3.7. Analisis Hasil Konversi

3.3.7.1. Analisis Hasil Konversi dengan Reagen DNS

Analisis hasil konversi dilakukan menggunakan reagen DNS (asam 3,5-dinitrosalisilat) dan diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Sebanyak 1 mL sampel hasil konversi dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian ditambahkan 1 mL reagen DNS dan dipanaskan dalam penangas air pada suhu 100 °C selama 10 menit. Uji positif akan memberikan warna jingga hingga merah. Kemudian diukur serapan dari larutan menggunakan

spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm dan ditentukan kadar glukosa menggunakan kurva standar glukosa.

3.3.7.2. Analisis Hasil Uji Katalitik Menggunakan HPLC

Hasil uji katalitik dianalisis dengan menggunakan HPLC Shimadzu dengan parameter fase gerak 5mM H₂SO₄, kolom Coregel 87H3 (7,8 x 250 mm) detektor RID, laju air 0,6 mL/menit, dan suhu kolom 80 °C (Shimadzu, 2015). Hal ini bertujuan untuk mengetahui kandungan gula alkohol yang terbentuk dari hasil konversi nanoselulosa.

Analisis kualitatif dilakukan dengan membandingkan waktu retensi puncak yang muncul dari sampel dengan puncak gula alkohol standar yang digunakan (sorbitol, manitol, dan xylitol). 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 alkohol dalam sampel.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Nanoselulosa yang berasal dari limbah kulit pisang kepok telah berhasil disintesis namun lebih dominan campuran fasa kristalin dengan indeks kristalin sebesar 64,33% dan ukuran kristal sebesar 18,4 nm.
2. Nano grafena oksida yang berasal dari limbah tongkol jagung telah berhasil disintesis dengan menghasilkan rendemen sebesar 31%.
3. Hasil analisis HPLC larutan konversi belum optimal untuk menghasilkan gula alkohol seperti sorbitol, manitol, dan xylitol.

5.2. Saran

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

1. Dalam melakukan preparasi nanoselulosa membutuhkan pengembangan metode penetralan yaitu pemisahan supensi antara nanoselulosa dan akuades sehingga mendapatkan hasil rendemen yang lebih optimal.
2. Ketika melakukan analisis HPLC, peneliti harus terlebih dahulu melakukan pemekatan pada sampel yang akan dianalisis menggunakan pemanasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, I. B., Rosi, M., dan Andiani, L. 2023. *Sintesis Grafit Tereksfoliasi dengan Larutan Garam K_2SO_4 Menggunakan Metode Elektrokimia*. 10(1), 155–161.
- Albarelli, J. Q., Rabelo, R. B., Santos, D. T., Beppu, M. M., and Meireles, M. A. A. 2011. Effects of Supercritical Carbon Dioxide on Waste Banana Peels for Heavy Metal Removal. *Journal of Supercritical Fluids*. 58(3), 343–351.
- Ali, H., Dixit, S., Almutairi, B. O., and Yadav, N. 2023. Synthesis and Characterization of Eco-Friendly TiO_2 Nanoparticle from Combine Extract of Onion and Garlic Peel. *Journal of King Saud University - Science*. 35(8), 10–18.
- AlShammari, A. S., Halim, M. M., Yam, F. K., and Kaus, N. H. M. 2020. Synthesis of Titanium Dioxide (TiO_2)/Reduced Graphene Oxide (rGO) Thin Film Composite by Spray Pyrolysis Technique and Its Physical Properties. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 116 (2), 105–140.
- Amiruddin, H., Zakir, M., dan Taba, P. 2016. Modifikasi Permukaan Karbon Aktif Tongkol Jagung (*Zea Mays*) dengan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 Sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor. Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Andini, D. M. 2023. Konversi Nanoselulosa dari Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca L*) Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanokomposit $LaCr_{0,99}Ti_{0,01}O_3/nHGO$. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Assirey, E. A. R. 2019. Perovskite Synthesis, Properties and Their Related Biochemical and Industrial Application. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 27(6), 817–829.
- Bai, H., Li, J., Yao, J., Chen, Z., Wu, W., Zheng, S., and Zhang, P. 2024. Synthesis and Characterization of Zinc Oxide Graphene Oxide Nanocomposites for Electrocatalytic Detection of Rutin. *Alexandria Engineering Journal*. 9(1), 486–493.
- Baskan, K. S., Tutem, E., Akyuz, E., Ozen, S., and Apak, R. 2016. Spectrophotometric Total Reducing Sugars Assay Based on Cupric Reduction. *Talanta*. 147, 162–168.

- Bajpai, S. K., Pathak, V., Chand, N., and Soni, B. 2013. Cellulose Nano Whiskers (CNWs) Loaded-Poly (Sodium Acrylate) Hydrogels. Part-I. Effect of Low Concentration of CNWs on Water Uptake. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*. 50(5), 466–477.
- Bayal, N., and Jeevanandam, P. 2014. Synthesis of TiO₂/MgO Mixed Metal Oxide Nanoparticles Via A Sol-Gel Method and Studies on Their Optical Properties. *Ceramics International*. 4(7),1–15.
- Bokov, D., Turki Jalil, A., Chupradit, S., Suksatan, W., Javed Ansari, M., Shewael, I. H., Valiev, G. H., and Kianfar, E. 2021. Nanomaterial by Sol-Gel Method: Synthesis and Application. *Advances in Materials Science and Engineering*. 5(2) 15–19.
- Bradder, P., Ling, S.K., Wang, S. and Liu, S. 2011. Dye Adsorption on Layered Graphite Oxide. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 56(1), 138–141.
- Bradha, M., Hussain, S., Chakravarty, S., Amarendra, G., and Ashok, A. 2015. Synthesis, Structure and Total Conductivity of A-Site Doped LaTiO_{3-δ} Perovskites. *Journal of Alloys and Compounds*. 626, 245–251.
- Cahyawati, N., Arifin, B., dan Indriani, Y. 2020. Analisis Nilai Tambah Keripik Pisang Kepok dan Sistem Pemasaran Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca*) di Kabupaten Pesawaran. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*, 8(1), 101.
- Casbeer, E., Sharma, V.K. and Li, X.Z. 2012. Synthesis and Photocatalytic Activity of Ferrites Under Visible Light: A Review. *Separation and Purification Technology*. 87(1), 1–14.
- Colmenares, J. C., Magdziarz, A., Chernyayeva, O., Lisovytskiy, D., Kurzydłowski, K., and Grzonka, J. 2013. Sonication-Assisted Low-Temperature Routes for the Synthesis of Supported Fe-TiO₂ Ecomaterials: Partial Photooxidation of Glucose and Phenol Aqueous Degradation. *ChemCatChem*. 5(8), 2270–2277.
- Da Silva, A. L. A., Da Conceição, L., Rocco, A. M., and Souza, V. M. 2012. Synthesis of Sr-doped LaMnO₃ and LaCrO₃ Powders by Combustion Method: Structural, Characterization and Thermodynamic Evaluation. *Ceramica*. 58(348), 521–528.
- Deshavath, N. N., Mukherjee, G., Goud, V. V., Veeranki, V. D., and Sastri, C. V. 2020. Pitfalls in the 3, 5-dinitrosalicylic acid (DNS) Assay for the Reducing Sugars: Interference of Furfural and 5-Hydroxymethylfurfural. *International Journal of Biological Macromolecules*. 156, 180–185.
- Dewi, K. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Natural Graphite dan Graphite Oxide (GO) dari Limbah Tongkol Jagung. *Skripsi*. Universitas Pertamina. Jakarta Selatan.

- Dimiev, A. M., and Tour, J. M. 2014. Mechanism of Graphene Oxide Formation. *ACS Nano*. 8(3), 3060–3068.
- Dreyer, D. R., Todd, A. D., and Bielawski, C. W. 2014. Harnessing the Chemistry of Graphene Oxide. *Chemical Society Reviews*. 43(15), 5288–5301.
- Dwandaru, W. S. B., Wijaya, R. I. W., dan Parwati, L. D. 2019. Nanomaterial Graphene Oxide Sintesis dan Karakterisasinya. *UNY Press*, 1–156.
- Enhessari, M., Salehabadi, A., Khoobi, A., and Amiri, R. 2017. Kinetic Properties and Structural Analysis of LaCrO₃ Nanoparticles. *Materials Science-Poland*. 35(2), 368–373.
- Fukuoka, A., and Dhepe, P. L. 2006. Catalytic Conversion of Cellulose into Sugar Alcohols. *Angewandte Chemie - International Edition*. 45(31), 5161–5163.
- Gado, M., Atia, B., and Morcy, A. 2019. The Role of Graphene Oxide Anchored 1-amino-2-naphthol-4-sulphonic Acid on the Adsorption of Uranyl Ions from Aqueous Solution: Kinetic and Thermodynamic Features. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 99(10), 996–1015.
- Ginting, S. O. B., Tarigan, D., dan Hindryawati, N. 2017. Impregnasi Natrium Hidroksida pada Karbon Aktif Cangkang Jengkol sebagai Katalis dalam Pembuatan Biodiesel. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*. 143–147.
- Grocholski, P. S. B. 2017. Natural and Engineered 732 10. *Science*. 358(6364), 732–734.
- Hakim, L., Dirgantara, M., dan Nawir, M. 2019. Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C dengan Menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*. 1(1), 44–51.
- Hassanjani-Roshan, A., Kazemzadeh, S. M., Vaezi, M. R., and Shokuhfar, A. 2011. The Effect of Sonication Power on The Sonochemical Synthesis of Titania Nanoparticles. *Journal of Ceramic Processing Research*. 12(3), 299–303.
- Heltina, D., Imamatul Mastura, D., Amri, A., Peratenta Sembiring, M., and Komalasari. 2023. Comparison of Synthesis Methods On TiO₂-Graphene Composites for Photodegradation of Compound Waste. *Materials Today: Proceedings*. 87, 293–298.
- Huang, H., Ying, Y., and Peng, X. 2014. Graphene Oxide Nanosheet: An Emerging Star Material for Novel Separation Membranes. *Journal of Materials Chemistry A*. 2(34), 13772–13782.
- Hussen, A. 2022. *High-Performance Liquid Chromatography* (HPLC): A review. *Annals of Advances in Chemistry*. 6(1), 10–20.

- Ibarra-Hernández, A., Vega-Rios, A., and Osuna, V. 2018. Synthesis of Graphite Oxide with Different Surface Oxygen Contents Assisted Microwave Radiation. *Nanomaterials*. 8(2), 5–9.
- Injilia, W dan Edi, S. L. 2013. Aktivitas Antioksidan dan Tabir Surya Fraksi Fenolik dari Limbah Tongkol Jagung (*Zea mays L.*). *Pharmakon Jurnal Ilmiah Farmasi*. 2(4), 149–155.
- Irawan, D., dan Z. Arifin. 2012. Sintesa Gula dari Sampah Organik dengan Proses Hidrolisis Menggunakan Katalis Asam. *Reactor*. 14(6), 118–122.
- Jacobsen, J. H., and Frigaard, N. U. 2014. Engineering of Photosynthetic Mannitol Biosynthesis from CO₂ in A Cyanobacterium. *Metabolic Engineering*. 21, 60–70.
- Jiang, C. 2014. Cellulose Chemistry and Technology Hydrolytic Hydrogenation of Cellulose to Sugar Alcohols by Nickel Salts. *Cellulose Chemistry and Technology*. 48(1), 75–78.
- Kazantzi, V., and Anthemidis, A. 2017. Fabric Sol-Gel Phase Sorptive Extraction Technique: A review. *Separations*. 4(2).
- Khannam, M., Sharma, S., Dolui, S., and Dolui, S. K. 2016. A Graphene Oxide Incorporated TiO₂ Photoanode for High Efficiency Quasi Solid State Dye Sensitized Solar Cells Based on A Poly-Vinyl Alcohol Gel Electrolyte. *RSC Advances*. 6(60), 55406–55414
- Kobayashi, H., Yamakoshi, Y., Hosaka, Y., Yabushita, M., and Fukuoka, A. 2014. Production of Sugar Alcohols from Real Biomass by Supported Platinum Catalyst. *Catalysis Today*. 226(11), 204–209.
- Kredy, H. M. 2020. *Journal of Global Pharma Technology Derivatives*. 5(4), 103–106.
- Liou, T. H., and Lin, M. H. 2020. Characterization of Graphene Oxide Supported Porous Silica for Effectively Enhancing Adsorption of Dyes. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*. 55(3), 431–443.
- Legia, A. 2023. Sintesis dan Karakterisasi S/CuO/nGO dari Limbah Bonggol Jagung yang Diradiasi Sinar Tampak Sebagai Antibakteri. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Lu, T., Wei, L., Huang, X., Li, Y., Li, G., Qin, Q., Pan, M., Tang, B., Pan, X., Wei, M., Nong, Z., Meng, F., and Li, X. 2021. A Potentially Valuable Nano Graphene Oxide/USPIO Tumor Diagnosis and Treatment System. *Materials Science and Engineering C*. 128(6), 112–293.
- Luo, C., Wang, S., and Liu, H. 2007. Cellulose Conversion into Polyols Catalyzed by Reversibly Formed Acids and Supported Ruthenium Clusters in Hot Water. *Angewandte Chemie-International Edition*. 46(40), 7636–7639.

- Mahmoodi, N. M., and Bagherzadeh, S. B. 2024. Synthesis of Binary and Ternary MOF/Carbon Based Composites (MOF/Carbon Nitride/Graphene Oxide) for The Visible-Light Assisted Destruction of Tetracycline and Textile Dye. *Nano Materials Science*. 2(4), 3–7.
- Manurung, P., Situmeang, R., Ginting, E., and Pardede, I. 2015. Synthesis and Characterization of Titania-Rice Husk Silica Composites As Photocatalyst. *Indonesian Journal of Chemistry*. 15(1), 36–42.
- Meilianti, M. 2020. Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tongkol Jagung dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Natrium Karbonat (Na_2CO_3). *Jurnal Distilasi*. 5(1), 14.
- Mokoena, L. S., and Mofokeng, J. P. 2024. Synthesis and Characterization of Graphene Oxide (GO) for The Removal of Lead Ions in Water. *Carbon Trends*. 15(3), 100–339.
- Moo, J. G. S., Khezri, B., Webster, R. D., and Pumera, M. 2014. Graphene Oxides Prepared by Hummers', Hofmann's, and Staudenmaier's Methods: Dramatic Influences on Heavy-Metal-Ion Adsorption. *ChemPhysChem*. 15(14), 2922–2929.
- Moon, R. J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J., and Youngblood, J. 2011. Cellulose Nanomaterials Review: Structure, Properties and Nanocomposites. *Chemical Society Reviews*. 40(7), 233–245.
- Munnik, P., Jong, D. P. E., and Jong, D. K. P. 2015. Recent Developments in the Synthesis of Supported Catalysts. *Chemical Reviews*. 115(14), 6687–6718.
- Negoi, A., Triantafyllidis, K., Parvulescu, V. I., and Coman, S. M. 2014. The Hydrolytic Hydrogenation of Cellulose to Sorbitol Over M (Ru, Ir, Pd, Rh)-BEA-Zeolite Catalysts. *Catalysis Today*. 223, 122–128.
- Ng, H. M., Sin, L. T., Tee, T. T., Bee, S. T., Hui, D., Low, C. Y., and Rahmat, A. R. 2015. Extraction of Cellulose Nanocrystals from Plant Sources for Application As Reinforcing Agent in Polymers. *Composites Part B: Engineering*. 75, 176–200.
- Ningsih, S. K. W. 2016. Sintesis Anorganik. *Sintesis Anorganik*.
- Ningtyas, K., Muslihudin, M., dan Sari, I. N. 2020. Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Hasil Pertanian dengan Menggunakan Variasi Konsentrasi Asam. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 20(2), 142–147.
- Permana, E., Cristine, I., Murti, S. D. S., dan Yanti, F. M. 2020. Preparasi dan Karakterisasi Katalis Cu/ZnO dengan Support Karbon Aktif Menggunakan Aktivator H_3PO_4 dan ZnCl_2 . *Jurnal Teknologi*. 13(1), 6–15.
- Pinna, F. 1998. Supported Metal Catalysts Preparation. *Catalysis Today*. 41(3), 129–137.

- Premathilake, D. S., Colombi, F., Botelho, A. B., Soares, J. A., Espinosa, D. C. R., and Vaccari, M. 2024. Recycling Lithium-Ion Battery Graphite: Synthesis of Adsorbent Materials for Highly Efficient Removal of Dye and Metal Ions From Wastewater. *Results in Engineering*. 22(5), 102–232.
- 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 Diirradiasi Menggunakan Sinar UV. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Qiu, T., Yang, J. G., Bai, X. J., and Wang, Y. L. 2019. The Preparation of Synthetic Graphite Materials With Hierarchical Pores from Lignite By One-Step Impregnation and Their Characterization As Dye Absorbents. *RSC Advances*. 9(22), 12737–12746.
- Reta, B.R. 2013. *Pembuatan Asap Cair dari Tempurung Kelapa, Tongkol Jagung, dan Bambu Menggunakan Proses Slow Pyrolysis*. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang. 1–13.
- Rovaldi, A. 2020. *Pengaruh Komposisi Karbon Grafit sebagai Bahan Pengisi dan Damar sebagai Bahan Pengikat terhadap Pellet Conducting Polymer Composite*.
- Sa'diah, S., Ahmad, J., dan Km, Y. 2019. Prarancangan Pabrik Sorbitol dari Glukosa melalui Proses Hidrogenasi Katalitik Kapasitas 10.000 Ton/Tahun. *Jurnal Tugas Akhir Teknik Kimia*. 1(2), 1–7.
- Santoso, J. S., Yesaya, R. N., Lestari, W. C., dan Choir, A. 2019. Review: Pengaruh Variasi Suhu Kalsinasi C-TiO₂, Zn-TiO₂, dan La-TiO₂ Terhadap Kristalinitas pada Metode Sol-Gel. *Jurnal Sains*. 2(6), 1–6.
- Sari, N. W., Fajri, M., dan W, A. 2018. Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa acuminata* L). *Ijobb*. 2(1), 31.
- Septiano, A. F., Sutanto, H., dan Susilo. 2021. Synthesis and Characterization of Resin Lead Acetate Composites and Ability Test of X-Ray Protection. *Journal of Physics:Conference Series*. 1918(2).
- Septiningrum, F., Yuwono, A. H., Maulana, F. A., Nurhidayah, E., Dhaneswara, D., Sofyan, N., Hermansyah, H., and Purwanto, W. 2024. Mangosteen Pericarp Extract Mediated Synthesis of Ag/TiO₂ Nanocomposite. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 8(9), 100–394.
- Shinde, V. S., and Kapadnis, K. 2019. *Synthesis, Structural, and Characterization of LaCrO₃ Nanostructure and It's Gas Sensing Application*. 6(3), 12–19.
- Sibagariang, I.I. 2023. Konversi Nanoselulosa Menjadi Gula Alkohol dari Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca* L) Menggunakan Nanokomposit NiFe₂O₄/nGO Diirradiasi di bawah Sinar UV. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.

- 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. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. 10(1).
- Supriyanto, G., Rukman, N. K., Khoiron Nisa, A., Jannatin, M., Piere, B., Zakki Fahmi, M., and Septya Kusuma, H. 2018. Biomass Graphene Oxide. *BioResources*. 13(3), 4832–4840.
- Swapp, S. 2017. What is *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. 1(1), 1–4.
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., Hidayat, S., dan Fitrilawati. 2015. Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar. *Jurnal Fisika Indonesia*. 19(55), 26–29.
- Taufantri, Y., Irdhawati, I., dan Asih, I. 2016. Sintesis dan Karakterisasi Grafena dengan Metode Reduksi Grafit Oksida Menggunakan Pereduksi Zn. *Jurnal Kimia Valensi*. 2(1), 17–23.
- Tibolla, H., Pelissari, F. M., and Menegalli, F. C. 2014. Cellulose Nanofibers Produced from Banana Peel by Chemical and Enzymatic Treatment. *Lwt*. 59(2), 1311–1318.
- Tiwari, G., Sharma, A., Kumar, A., and Sharma, S. 2019. Assessment of Microwave-Assisted Alkali Pretreatment for The Production of Sugars from Banana Fruit Peel Waste. *Biofuels*. 10(1), 3–10.
- Tridiananda, R., dan Wahyuni, S. 2019. Pengaruh Mengunyah Permen Karet BerXylitol Terhadap pH Saliva. *Jurnal Kesehatan Gigi dan Mulut*. 1(2), 36–39.
- Ulfa, M., Pertiwi, Y. E., Saraswati, T. E., Bahruji, H., and Holilah, H. 2023. Synthesis of Iron Triad Metals-Modified Graphitic Mesoporous Carbon for Methylene Blue Photodegradation. *South African Journal of Chemical Engineering*. 45(11), 149–161.
- VandeVyver, S., Geboers, J., Jacobs, P. A., and Sels, B. F. 2011. Recent Advances in The Catalytic Conversion of Cellulose. *ChemCatChem*. 3(1), 82–94.
- Wang, D., Niu, W., Tan, M., Wu, M., Zheng, X., Li, Y., and Tsubaki, N. 2014. Pt Nanocatalysts Supported on Reduced Graphene Oxide for Selective Conversion of Cellulose or Cellobiose to Sorbitol. *ChemSusChem*. 7(5), 1398–1406.

- Wu, R.L., Wang, X.L., Li, F., Li, H.Z., and Wang, Y.Z. 2009. Green Composite Films Prepared from Cellulose, Starch and Lignin in Room-Temperature Ionic Liquid. *Bioresource Technology*. 100(9). 2569–2574.
- Xie, D., Zhang, K., Li, W., Luo, B., and Zhang, H. 2020. Self-Propagating Rapid Synthesis and Characterization of LaCrO₃ Powder. *Materials Letters*. 259, 126–133.
- Yang, H., Yang, B., Chen, W., and Yang, J. 2022. Preparation and Photocatalytic Activities of TiO₂-Based Composite Catalysts. *Catalysts*, 12(10), 10–12.
- Zhang, B., Yao, H., Qi, H., and Ying, X. 2020. Cryoprotective Characteristics of Different Sugar Alcohols on Peeled Pacific White Shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) During Frozen Storage and Their Possible Mechanisms of Action. *International Journal of Food Properties*. 23(1), 95–107.