

**KONVERSI NANOSELULOSA DARI LIMBAH KULIT PISANG
KEPOK (*Musa x paradisiaca L.*) MENJADI GULA ALKOHOL
MENGUNAKAN NANOKOMPOSIT $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ DENGAN
RASIO (0,7/1) DI BAWAH IRRADIASI SINAR UV**

(Skripsi)

Oleh

PUTRI AISAH NURCAHYANI



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS LAMPUNG

2024

**KONVERSI NANOSULOSA DARI LIMBAH KULIT PISANG KEPOK
(*Musa x paradisiaca L.*) MENJADI GULA ALKOHOL MENGGUNAKAN
NANOKOMPOSIT $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ DENGAN RASIO (0,7/1) DI
BAWAH IRRADIASI SINAR UV**

Oleh

Putri Aisah Nurcahyani

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

ABSTRAK

KONVERSI NANOSELULOSA DARI LIMBAH KULIT PISANG KEPOK (*Musa x paradisiaca L.*) MENJADI GULA ALKOHOL MENGUNAKAN NANOKOMPOSIT $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ DENGAN RASIO (0,7/1) DI BAWAH IRRADIASI SINAR UV

Oleh

PUTRI AISAH NURCAHYANI

Telah dilakukan penelitian mengenai konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol menggunakan nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ dengan perbandingan berat 0,7/1. Nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ disintesis dengan metode sol-gel menggunakan pektin sebagai agen pengemulsi, metode *freeze drying*, metode sonikasi, dan kemudian dikarakterisasi dengan XRD, DRS UV-Vis, SEM-EDX, dan FTIR. Hasil analisis XRD menunjukkan terbentuknya 2 fase kristal utama yaitu LaCrO_3 dan LaTiO_3 serta diperoleh ukuran kristal $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$ sebesar 33,08 nm dan $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ sebesar 41,35 nm berdasarkan metode *Scherrer*. Hasil analisis DRS UV-Vis menunjukkan energi celah pita sebesar 1,43 eV. Hasil analisis SEM-EDX menunjukkan bahwa nanokomposit memiliki morfologi dengan beragam bentuk. Nanoselulosa dipreparasi melalui tahapan delignifikasi, *bleaching* dan hidrolisis asam, diperoleh ukuran kristal sebesar 18,47 nm dan indeks kristalinitas sebesar 64,33%. Konversi nanoselulosa menggunakan nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ (0,7/1) dilakukan dibawah irradiasi sinar UV dengan variasi waktu 60, 120, 180, 240 dan 360 menit. Hasil konversi menunjukkan bahwa konsentrasi gula pereduksi tertinggi yaitu 207 ppm pada variasi waktu 240 menit.

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

ABSTRACT

CONVERSION OF NANOCELLULOSE FROM BANANA PEEL (*Musa x paradisiaca L.*) INTO SUGAR ALCOHOL USING $\text{LaCr}_{0.96}\text{Ti}_{0.04}\text{O}_3/\text{nGO}$ NANOCOMPOSITES WITH RATION (0.7/1) UNDER UV IRRADIATION

By

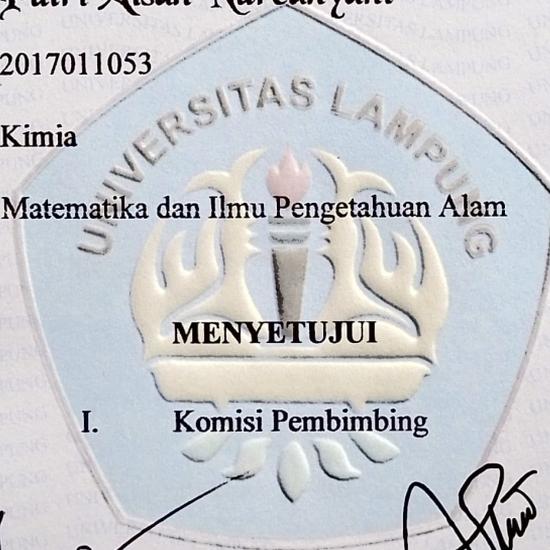
PUTRI AISAH NURCAHYANI

Research has been conducted on the conversion of nanocellulose into sugar alcohol using $\text{LaCr}_{0.96}\text{Ti}_{0.04}\text{O}_3/\text{nGO}$ nanocomposites with a weight ratio of 0.7/1. The $\text{LaCr}_{0.96}\text{Ti}_{0.04}\text{O}_3/\text{nGO}$ nanocomposites were synthesized via the sol-gel method using pectin as an emulsifying agent, followed by freeze-drying, sonication, and characterization using XRD, UV-Vis DRS, SEM-EDX, and FTIR. XRD analysis revealed the formation of two main crystalline phases, LaCrO_3 and LaTiO_3 , with crystal sizes of $\text{LaCr}_{0.96}\text{Ti}_{0.04}\text{O}_3$ and $\text{LaCr}_{0.96}\text{Ti}_{0.04}\text{O}_3/\text{nGO}$ being 33.08 nm and 41.35 nm, respectively, according to the Scherrer method. UV-Vis DRS analysis showed a bandgap energy of 1.43 eV. SEM-EDX analysis indicates that the nanocomposites have a morphology with various shapes. Nanocellulose was prepared through delignification, bleaching, and acid hydrolysis, yielding a crystal size of 18.47 nm and a crystallinity index of 64.33%. The conversion of nanocellulose using $\text{LaCr}_{0.96}\text{Ti}_{0.04}\text{O}_3/\text{nGO}$ (0.7/1) nanocomposites was carried out under UV irradiation with varying times of 60, 120, 180, 240, and 360 minutes. The conversion results showed that the highest concentration of reducing sugars was 207 ppm at a time of 240 minutes.

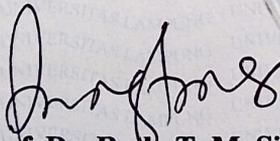
Keywords: nanocomposites, $\text{LaCr}_{0.96}\text{Ti}_{0.04}\text{O}_3/\text{nGO}$, nanocellulose, sugar alcohol.

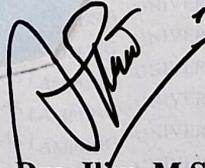
Judul : **KONVERSI NANOSELULOSA DARI LIMBAH KULIT
PISANG KEPOK (*Musa x paradisiaca L.*) MENJADI GULA
ALKOHOL MENGGUNAKAN NANOKOMPOSIT
 $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ DENGAN RASIO (0,7/1) DI BAWAH
IRRADIASI SINAR UV**

Nama : **Putri Aisah Nurcahyani**
NPM : 2017011053
Jurusan : **Kimia**
Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

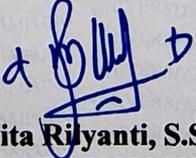


I. **Komisi Pembimbing**


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


Dr. Dra. Ilim, M.S.
NIP. 196505251990032002

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

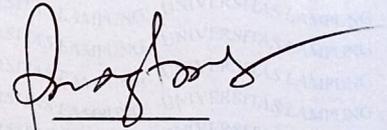

Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si
NIP. 197205302000032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

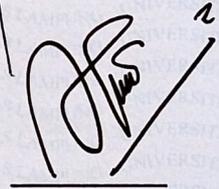
Ketua

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



Sekretaris

: Dr. Dra. Ilim, M.S.

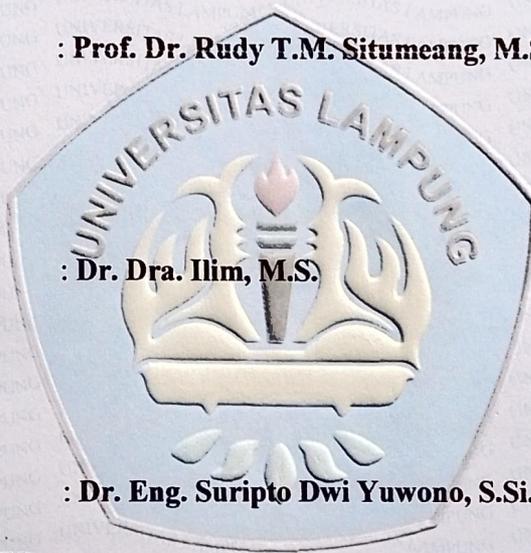


Anggota

: Dr. Eng. Supto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.



Bukan pembimbing



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, M. Si.

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 01 November 2024

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Putri Aisah Nurcahyani
Nomor Pokok Mahasiwa : 2017011053
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul **“Konversi Nanoselulosa dari Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa x paradisiaca* L.) Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ dengan Rasio (0,7/1) di Bawah Irradiasi Sinar UV”** adalah benar karya sendiri dan tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis tercantum dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Saya tidak keberatan jika seluruh data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandar Lampung, 10 November 2024



Putri Aisah Nurcahyani

NPM. 2017011053

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kalianda Rawa Selapan pada tanggal 15 Februari 2002. Sebagai anak pertama, putri dari Bapak Rajab dan Ibu Suherni. Penulis mengawali Pendidikan pada Madrasah Ibtidaiyah (MI) di MI Babussalam Bauh Gunung Sari Kecamatan Sekampung Udik, Lampung Timur yang diselesaikan pada tahun 2014. Kemudian penulis melanjutkan Pendidikan pada Madrasah Tsanawiyah (MTs) Muhammadiyah 1 Sekampung Udik yang diselesaikan pada tahun 2017 dan melanjutkan di SMAN 1 Bandar Sribhawono yang diselesaikan pada tahun 2020. Kemudian pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai Mahasiswi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Pada tahun 2023, penulis melaksanakan Magang Industri Program Kompetisi Kampus Merdeka (PKKM) di PT Indo Energy Solutions dan melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) mandiri di Kota Metro Lampung. Selama menjadi mahasiswa, pengalaman mengikuti organisasi dimulai dari menjadi Anggota Departemen Hubungan Luar dan Pengabdian Masyarakat UKM Penelitian (2021-2022), Anggota Divisi Lingkungan Hidup UKM MAPALA Unila (2020-2021), Koordinator Divisi Lingkungan Hidup UKM MAPALA Unila (2021-2022), dan menjadi Sekretaris Umum UKM MAPALA Unila (2022-2023).

MOTTO

*“Dan sungguh, kelak Tuhanmu pasti memberikan karunia-Nya kepadamu, sehingga engkau menjadi puas”
(QS. Ad-Duha : 5)*

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

*“Maka Apabila engkau telah selesai dari sesuatu urusan, tetaplah bekerja keras untuk urusan yang lain”
(QS. Asy-Syarah : 7)*

*“Menjadi bintangnya mamak bapak dengan versi yang terbaik dan bersinar dimanapun tanpa meredupkan sinar orang lain”
(Putri Aisah)*

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa Syukur dan ucapan terima kasih yang dalam karya ilmiah ini dipersembahkan untuk:

Kedua orang tuaku tersayang, Bapak (Rajab) dan Ibu (Suherni) yang telah mendidik dan membesarkanku dengan penuh kasih sayang, memberikanku dukungan dan Do'a sepanjang hari yang tiada henti serta rela mengorbankan segalanya demi memberikan yang terbaik bagi anak-anaknya.

Kedua adikku tersayang Ahmad Afandi dan Arfan Alby yang telah memberikan Do'a, dukungan dan semangat kepada penulis dalam keadaan apapun sehingga terselesaikan nya karya tulis ilmiah ini.

Dosen-Dosen pembimbing dan pembahas yang selalu sabar membimbingku dan membantuku dalam belajar menuntut ilmu serta memberikan dukungan untuk dapat menjadi manusia lebih baik.

Sahabat serta teman-teman yang selalu menemani, menyemangati, mendukung dan memotivasi.

Dan Almamter tercinta Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin. Segala puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala petunjuk-Nya yang telah menganugerahkan ilmu pengetahuan kepada manusia. Sehingga atas kehendak dan izin-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Konversi Nanoselulosa dari Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa x paradisiaca L.*) Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ dengan Rasio (0,7/1) di Bawah Irradiasi Sinar UV”**. Sebagai salah satu syarat dalam meraih gelas Sarjana Sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Tidak sedikit kendala yang dihadapi penulis selama menyelesaikan skripsi ini, Allah menunjukkan kemurahan-Nya melalui orang-orang yang dipercaya. Sehingga kendala tersebut dapat terlewati dengan baik. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Rajab dan Ibu Suherni yang telah membesarkan dan mendidik penulis dengan kasih sayang dan cinta serta rela berkorban demi memberikan yang terbaik. Semoga Allah mengantikan pengorbanan dan perjuangannya dengan surga, aamiin yarabbal'alamin.
2. Bapak Prof. Rudy T.M Situmeang Ph.D. selaku pembimbing I penulis yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, keikhlasan, dan memberikan banyak ilmu pengetahuan sehingga terselesaikannya skripsi ini. Semoga Allah membalas kebaikan beliau dengan kebaikan-kebaikan lainnya yang tak ternilai.
3. Ibu Dr. Ilim, M.Si. selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dengan sabar dan tulus sehingga terselesaikannya skripsi ini dengan baik. Semoga Allah membalasnya dengan banyak kebaikan.

4. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T. selaku pembahas dalam penelitian sekaligus dosen pembimbing akademik yang telah memberikan saran dan pembelajaran selama penulis menjalani masa kuliah.
5. Ibu Dr. Mita Rilyanti S.Si.,M.Si selaku ketua jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satrian, M. Si. Selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
7. Bapak/Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan serta motivasi yang sangat berguna bagi penulis.
8. Bapak/Ibu staff administrasi di Jurusan Kimia FMIPA yang telah membantu penulis dalam mengurus segala keperluan administrasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Mbak Liza selaku laboran Laboratorium Kimia Anorganik Fisik terima kasih telah membantu penulis selama proses penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.
10. Sabahabat seperjuangan penelitian ku Latifah, Debi dan Misye terima kasih banyak atas kasih sayang, kebersamaan, canda tawa, dukungan dan bantuannya kepada penulis. Semoga dimanapun kalian berada selalu dalam perlindungan Allah dan sukses selalu untuk kedepannya.
11. Kakak-kakak dan adik-adik *Prof Rudy Research* terima kasih banyak telah membersamai, membantu penulis, memberikan saran, arahan dan dukungan pada saat melakukan penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.
12. Sahabat S.Si ku Senna dan Latifah terima kasih telah menemani penulis dalam keadaan apapun selama masa perkuliahan.
13. Besti Bahagia Dunia Akhirat (BDA) Ratih, Riyadi dan Ulfa terima kasih atas kebersamaan, dukungan dan keceriaan yang telah diberikan kepada penulis. Semoga kebahagiaan ini bisa selalu abadi dalam bingkai persahabatan.
14. Sahabat dan juga saudariku yang salihah Umi, mba Sasa, Erika dan Nazmi jazaakumulla khairan katsir wa jazaakumullah ahsanul jazaa atas rangkulannya dan kebersamaan serta dukungan kepada penulis dalam menjalani setiap proses kehidupan demi bisa menjadi manusia lebih baik.

Semoga kita selalu dapat mengukir perjalanan hebat bersama di bawah naungan ridho-Nya.

15. Sobat sambat Annisa, Lutfi dan Refany terima kasih telah menjadi tempat sambat dari berbagai suka duka penulis dari masa kecil hingga saat ini semoga selalu bisa berbahagia bersama dan saling merayakan.
16. Teman-teman Kimia Angkatan 2020 terima kasih atas rasa kekeluargaan dan kebersamaan yang berharga selama masa perkuliahan.
17. Kiyay Kanjeng Mapala Unila terima kasih atas kebersamaan dan kekeluargaan yang telah diberikan kepada penulis. Terima kasih juga telah mewadahi penulis untuk berproses dan banyak mencoba berbagai petualangan di alam bebas.
18. Anggota grup calon sarjana Viska, Vika, Kursay, Reza, Lia, J Tri dan Maya terima kasih atas kebersamaan dan dukungannya dari bangku SMA hingga bersama-sama mewujudkan do'a untuk dapat menjadi sarjana.
19. Sahabatku Siti Hardiyanti Oktavia terima kasih atas pelukannya dalam keadaan apapun selama penulis menjalani proses pendewasaan.
20. Kepada pasangan dunia akhiratku nanti yang insyaAllah saleh terima kasih telah menjadi sumber semangat menuntut ilmu sebagai bekal menjadi pendamping yang baik.
21. Pihak-pihak lain yang terlibat namun tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan di dalam penyusunan skripsi ini dan juga jauh dari kata sempurna, akan tetapi semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dalam ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang sains serta dapat memberikan saran yang membangun bagi penulis untuk kedepannya.

Bandar Lampung, 10 November 2024

Penulis

Putri Aisah Nurcahyani

2017011053

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Tujuan Penelitian	3
I.3 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kulit Pisang	5
2.2 Selulosa	6
2.3 Nanoselulosa	7
2.4.1 Sorbitol.....	9
2.4.2 Manitol.....	10
2.4.3 Silitol.....	10
2.5 Tongkol Jagung	12
2.7 Grafena Oksida	14
2.8 Sintesis Graphena Oksida	15
2.10 Senyawa Perovskit	17
2.11 Titanium Dioksida.....	18
2.12 Katalis	19
2.13 Metode Preparasi Katalis	20
2.13.1 Metode Impregnasi	21
2.13.2 Metode Sol-Gel.....	21
2.13.3 Metode <i>Freeze Drying</i>	22
2.13.4 Kalsinasi.....	23
2.14 Karakterisasi Nanokatalis	23
2.14.1 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....	24
2.14.2 <i>X-ray Diffraction</i> (XRD).....	25
2.14.3 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	25
2.15 Analisis <i>Band-Gap</i>	26

2.16 Reaksi Fotokatalitik	27
2.17 Sinar UV	28
2.18 Analisis Konversi Selulosa	29
2.18.1 Metode DNS	29
2.18.2 <i>High Performance Liquid Chromatography</i> (HPLC).....	30
III. METODE PENELITIAN	31
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2 Alat dan Bahan	31
3.3 Prosedur Penelitian	32
3.3.1 Preparasi Nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$	32
3.3.2 Karakterisasi Nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$	35
3.3.3 Preparasi Nanoselulosa	36
3.3.3 Karakterisasi Nanoselulosa	37
3.3.5 Analisis Hasil Konversi	38
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Preparasi Nanokomposit	40
4.1.1 Preparasi Grafit dari Tongkol Jagung	40
4.1.2 Preparasi Grafena Oksida	42
4.1.3 Sintesis Nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$	43
4.2 Karakterisasi Nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$	45
4.2.1 Analisis Fase Kristalin Nanokomposit.....	45
4.2.2 Analisis <i>Band-Gap</i>	48
4.2.3 Analisis Morfologi	50
4.2.4 Analisis Gugus Fungsi	51
4.3 Preparasi Nanoselulosa Kulit Pisang Kepok.....	54
4.3.1 Preparasi Nanoselulosa Kulit Pisang Kepok.....	54
4.4 Karakterisasi Nanoselulosa	56
4.4.1 Analisis Fase Kristalin Nanoselulosa.....	56
4.5 Uji Aktivitas Katalis.....	57
4.5.1 Konversi Nanoselulosa	57
4.5.1 Analisis Kualitatif Hasil Konversi	58
4.5.2 Analisis Kuantitatif Hasil Konversi	58
4.5.3 <i>High Performance Liquid Chromatography</i> (HPLC).....	60
V. KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Ukuran partikel nano selulosa.....	8
2. Puncak-puncak representatif nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$	47
3. Puncak-puncak representatif difraktogram standar JCPDF.....	47
4. Ukuran kristal nanokomposit berdasarkan persamaan <i>Scherrer</i>	48
5. Nilai energi celah pita nanokomposit.....	49
6. Kandungan persentase unsur nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$ EDX.....	51
7. Persentase nanoselulosa terkonversi.....	57
8. Konsentrasi glukosa pada sampel hasil konversi.....	59
9. Hasil perhitungan rendemen arang.....	67
10. Hasil perhitungan rendemen sintesis grafit.....	67
11. Hasil perhitungan rendemen sintesis nGO.....	67
12. Data 2 theta dari nilai FWHM nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$	68
13. Hasil pembuatan nanoselulosa.....	71
14. Data perhitungan persentase nanoselulosa terkonversi.....	73
15. Kurva Standar Glukosa.....	73
16. Data perhitungan konsentrasi glukosa dengan metode DNS.....	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kulit pisang	5
2. Struktur selulosa.....	6
3. Mekanisme hidrolisis asam	7
4. Konversi selulosa menjadi gula alkohol	9
5. Struktur sorbitol	9
6. Struktur manitol	10
7. Struktur silitol	11
8. Tongkol jagung	12
9. Struktur grafit.....	13
10. Struktur grafena dan grafena oksida	15
11. Skema pembuatan grafena oksida dari grafit.....	16
12. Struktur umum perovskit ABO_3	18
13. Bentuk kristal TiO_2 a) anatase b) brokit c) rutil	18
14. Proses sintesis nanopartikel oksida logam	22
15. Mekanisme kerja <i>freeze drying</i>	22
16. Skema kerja FTIR	24
17. Prinsip Kerja SEM	26
18. Fotoeksitasi pada permukaan semikonduktor	28
19. Skema ilustrasi sistem dalam instrumen KCKT	30
20. Arang tongkol jagung.....	41
21. Bubuk nano grafena oksida.....	43
22. Bubuk nanokomposit $LaCr_{0,96}Ti_{0,04}O_3/nGO$ (0,7/1)	45
23. Difraktogram a) grafit dan b) nGO	45
24. Difraktogram XRD a) $LaCr_{0,96}Ti_{0,04}O_3/nGO$ (0,7/1) dan b) $LaCr_{0,96}Ti_{0,04}O_3$	46
25. Plot Tauc untuk menentukan energy celah pita $LaCr_{0,96}Ti_{0,04}O_3$	49
26. Plot Tauc untuk menentukan enrgi celah pita $LaCr_{0,96}Ti_{0,04}O_3/nGO$ (0,7/1)..	49
27. Mikrograf SEM nanokomposit $LaCr_{0,96}Ti_{0,04}O_3/nGO$ (0,7/1) a) Perbesaran 10.000 dan b) perbesaran 20.000	50
28. Spektrum EDX nanokomposit $LaCr_{0,96}Ti_{0,04}O_3$	51
29. Spektrum IR a) grafit b) nGO	52
30. Spektrum IR a) $LaCr_{0,96}Ti_{0,04}O_3/nGO$ (0,7/1), b) $LaCr_{0,96}Ti_{0,04}O_3$	53
31. Bubuk nanoselulosa	55
32. Difraktogram XRD nanoselulosa.....	56
33. Hasil uji positif reagen Fehling.....	58
34. Kurva standar glukosa.....	59
35. Kromatogram HPLC hasil konversi waktu 240 menit.....	60
36. Kurva regresi linear perhitungan energi <i>band-gap</i>	69

37. Spektrum EDX nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ (0,7/1)	70
38. Kromatogram standar manitol.....	75
39. Kromatogram standar silitol.....	76
40. Kromatogram standar sorbitol.....	77

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pisang merupakan buah tropis yang sangat populer di seluruh dunia. Menurut Organisasi Pangan dan Pertanian (FAO) Perserikatan Bangsa-Bangsa (2023), sekitar 120 juta ton pisang diproduksi secara global, dan angka ini diperkirakan akan terus meningkat. Di Indonesia, Provinsi Lampung menjadi penghasil komoditas pisang tertinggi kedua dikarenakan faktor geografis yang mendukung sehingga cocok untuk membudidayakan buah pisang. Lampung dikenal dengan oleh-oleh khas berupa keripik pisang dan berbagai produk olahan pisang lainnya. Keripik pisang tersebut pada umumnya terbuat dari pisang kepok (*Musa x paradisiaca L*). Tingginya produksi pisang menyebabkan penumpukan limbah kulit pisang, terutama kulit pisang menyumbang 40% (w/w) dari total berat buah pisang. Komponen utama dari kulit pisang menurut Novianti dan Setyowati (2022) terdiri dari karbohidrat, seperti selulosa (60-65%), hemiselulosa (6-8%), dan lignin (5-10%).

Selulosa merupakan polimer linear glukosa yang terhubung oleh ikatan β -1,4-glikosidik (Situmeang, 2021). Tingginya kandungan selulosa dalam kulit pisang dapat dimanfaatkan menjadi gula alkohol seperti manitol, sorbitol dan silitol. Gula alkohol tergolong senyawa yang memiliki karakteristik mirip gula, tetapi memiliki kalori yang lebih rendah, tidak menyebabkan kerusakan gigi, serta memiliki indeks glikemik dan respons insulin yang rendah. Karena keunggulannya, produksi gula alkohol sebagai pengganti sukrosa dan pemanis buatan lainnya memiliki potensi yang sangat besar dan aman digunakan untuk penderita diabetes (Mahian and Hakimzadeh, 2016). Gula alkohol dapat diproduksi dari selulosa melalui beberapa metode antara lain; proses termal, hidrolisis secara enzimatik, *steam explosion* dan fotokatalitik (Sari *et al.*, 2020). Katalis memiliki peran penting dalam mengonversi selulosa menjadi gula alkohol. Katalis heterogen

banyak digunakan karena keunggulannya dibandingkan dengan katalis homogen, seperti kemudahan pemisahan dari campuran reaksi setelah reaksi selesai serta memiliki efisiensi yang lebih tinggi. Katalis heterogen terdiri dari campuran logam yang ditempatkan pada material pendukung padat, yang dapat meningkatkan reaktivitas dan selektivitas dibandingkan dengan penggunaan logam tunggal. Contohnya adalah metode impregnasi dalam pembuatan komposit TiO₂-grafena, yang telah diteliti dalam berbagai aplikasi. Metode impregnasi melibatkan penyerapan larutan logam aktif ke dalam pori-pori material pendukung (Situmeang, 2021).

Penggunaan grafena oksida (GO) sebagai bahan pendukung dalam konversi selulosa juga menjadi fokus penelitian. Grafena oksida merupakan derivatif dari grafena dengan gugus fungsional yang terikat pada permukaannya. Grafena oksida memiliki sifat mudah larut dalam air, memiliki luas permukaan besar dan telah digunakan dalam berbagai aplikasi. Proses sintesis grafena oksida dilakukan dengan mengoksidasi grafit. Beberapa metode yang dapat digunakan yaitu; metode *Brodie*, *Staudenmaier*, *Hummers-Offeman*, dan *Tour*. Metode yang banyak digunakan adalah metode *Hummers-Offeman*, melibatkan oksidasi grafit dengan mereaksikannya dengan kalium permanganat (KMnO₄) dan natrium nitrat (NaNO₃) dalam larutan asam sulfat (H₂SO₄). Metode *Hummers* dinilai lebih baik daripada metode lainnya karena pada saat proses oksidasi tidak mengeluarkan gas klorin dioksida (ClO₂). Selain itu, proses oksidasi dapat berlangsung lebih cepat dengan suhu lebih rendah. Produk akhir grafena oksida dari metode *Hummers* memiliki tingkat oksidasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan produk akhir dari metode *Staudenmaier* (Syakir *et al.*, 2015). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode *Hummers* untuk sintesis grafena oksida.

Andini (2023) telah berhasil mengkonversi nanoselulosa menggunakan nanokomposit LaCr_{0,99}Ti_{0,01}O₃/nHGO dengan berbagai perbandingan berat. Tahapan untuk mengkonversi nanoselulosa menjadi gula alkohol dengan terlebih dahulu mempreparasi nanoselulosa dari kulit pisang kepok melalui delignifikasi, *bleaching*, dan sonikasi dengan asam nitrat serta diperoleh ukuran kristal 27,55 nm dan indeks kristalinitas 24,13%. Dalam penelitian lain, nanoselulosa dapat

diubah menjadi gula alkohol menggunakan nanokatalis LaCrO_3 yang diradiasi dengan sinar UV, menghasilkan 620 ppm glukosa, 260 ppm silitol, 150 ppm manitol, dan 210 ppm sorbitol, dengan waktu kontak selama 45 menit (Situmeang *et al.*, 2019).

Berdasarkan informasi tersebut, dilakukan preparasi nanokatalis dengan memadukan lanthanum, krom, dan titanium untuk memperoleh $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$ yang kemudian diimbangkan pada nGO sehingga dihasilkan nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$. Struktur berongga pada grafena oksida yang diimbangkan dalam nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ akan meningkatkan daya adsorpsi katalis saat proses konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol. Nanoselulosa yang digunakan diisolasi dari kulit pisang kepok (*Musa x paradisiaca L.*). Kemudian karakterisasi nanokomposit dilakukan dengan beberapa teknik, termasuk *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi fasa kristalin, *Fourier Transform Infrared Spectrophotometer* (FTIR) untuk menganalisis jenis gugus fungsi, *Diffuse Reflectance Spectrophotometer UV-Vis* (DRS UV-Vis) untuk menentukan energi *band-gap*, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk melihat morfologi permukaan. Uji aktivitas nanokomposit dilakukan menggunakan sebuah reaktor konversi yang terdiri dari sumber sinar UV dan gas hidrogen. Hasil konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol dianalisis dengan menggunakan teknik *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC), untuk mendapatkan sorbitol, manitol, dan silitol sebagai produk yang ditargetkan.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh selulosa dalam bentuk nano dari limbah kulit pisang kepok.
2. Memperoleh grafena oksida dengan ukuran nano dari tongkol jagung.
3. Memperoleh nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ yang memiliki efisiensi tinggi dalam mengubah nanoselulosa menjadi berbagai jenis gula alkohol, seperti sorbitol, manitol, dan silitol.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan solusi untuk mengurangi limbah kulit pisang kepok dengan mengubahnya menjadi produk bernilai tinggi seperti gula alkohol.
2. Memberikan wawasan tentang aplikasi nanoteknologi dalam menghasilkan nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$ /nGO yang dapat digunakan dalam konversi selulosa menjadi gula alkohol.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kulit Pisang

Pisang adalah tumbuhan buah yang berasal dari wilayah Asia Tenggara, termasuk di Indonesia. Produksi pisang di Indonesia tersebar luas hampir semua wilayah negara ini cocok untuk menanam pisang baik di pekarangan rumah maupun di ladang. Sebagian besar telah dibudidayakan secara komersial sebagai perkebunan. Provinsi Lampung terkenal sebagai salah satu penghasil pisang terbesar di Indonesia, berkat kondisi geografisnya yang mendukung pertumbuhan pisang. Salah satu jenis pisang yang tumbuh di Provinsi Lampung adalah pisang kepok (*Musa paradisiaca Linn*) (Cahyawati dkk., 2020). Bentuk fisik kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca Linn*) ditunjukkan pada Gambar 1.



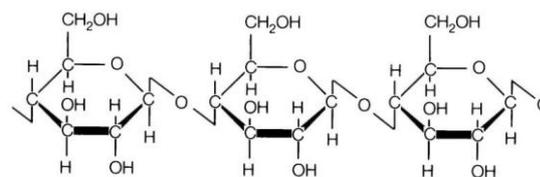
Gambar 1. Kulit pisang

Selain manfaat kandungan gizi dalam buah pisang, kulit pisang juga memiliki potensi manfaat yang dapat diekstraksi dari komposisinya. Kulit pisang sering dianggap sebagai limbah, karena beratnya mencapai sekitar sepertiga dari total

berat buah pisang yang belum dikupas. Komposisi kulit pisang mencakup sekitar 60–70% karbohidrat (berdasarkan berat), protein sekitar 2–3%, serat sekitar 4–5%, lemak sekitar 4–5%, dan kelembaban sekitar 20%. Namun jika kita melihat komposisi dalam bentuk kering kulit pisang mengandung sekitar 7,6–9,6% selulosa, 10–21% pektin, 6,4–9,4% hemiselulosa, 6–12% lignin, dan beberapa senyawa molekul rendah pada basis kering. Kulit pisang dapat dimanfaatkan sebagai sumber selulosa untuk menghasilkan gula alkohol melalui proses fotokatalisis (Situmeang *et al.*, 2019).

2.2 Selulosa

Selulosa adalah polisakarida yang terdapat dalam tumbuhan, memiliki fungsi sebagai bahan pembentuk dinding sel dan serat tumbuhan dengan rumus empiris $(C_6H_{12}O_5)_n$. Kandungan selulosa pada dinding sel tanaman tingkat tinggi berkisar 35%-50% dari berat kering tanaman. Selulosa berupa polimer linear glukosa (β -D-glukosa) yang saling terhubung melalui ikatan β -1,4-glikosidik. Ikatan ini menyebabkan molekul-molekul selulosa membentuk rantai bersisian, kokoh, dan lurus seperti ditunjukkan pada Gambar 2 (Nurjannah dkk., 2020).



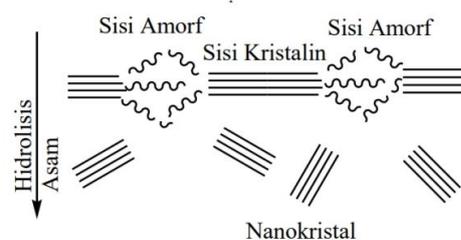
Gambar 2. Struktur selulosa

Sifat fisik selulosa dapat dimodifikasi dengan membentuk derivat-derivat selulosa. Seperti halnya perubahan selulosa menjadi senyawa kimia derivatif lainnya, glukosa, dan gula alkohol yang sangat ditentukan oleh pemilihan jenis selulosa sebagai bahan bakunya. Karena konversi selulosa tergantung pada berbagai faktor seperti indeks kristalin (CrI), derajat polimerisasi (DP), fraksi reduksi gugus ujung (F), dan terikat dengan substrat. Selulosa dapat terdegradasi secara biologis dan terbarukan. Cara yang mudah untuk mendegradasi selulosa

adalah dengan mengubah ukuran molekul selulosa dari mikro menjadi nano dan amorf. Selulosa memiliki berbagai aplikasi yang luas, termasuk dalam pembuatan nanokomposit, industri kertas, teknologi membran, produk kosmetik, bidang biomedis, pengolahan air limbah, serta digunakan dalam berbagai produk makanan (Situmeang, 2021).

2.3 Nanoselulosa

Nanoselulosa merupakan suatu partikel selulosa yang berukuran nano memiliki ukuran kurang dari 100 nm. Pemanfaatan nanoselulosa telah meluas di berbagai sektor, termasuk farmasi, bidang kedokteran, peralatan rumah tangga, elektronik, dan bidang lainnya. Oleh karena itu perkembangan nanoselulosa terus dilakukan dengan produksi dari berbagai sumber bahan baku, seperti kayu, ampas tebu, kulit pisang, dan lain-lain, dengan semuanya merupakan sumber alami yang mengandung selulosa. Morfologi, ukuran, dan karakteristik unik dari berbagai jenis nanoselulosa tergantung pada asal selulosa, proses isolasi, kondisi pemrosesan, serta pada tahap pra atau pasca perawatan yang terlibat dalam prosesnya (Widiastuti dan Marlina, 2020). Salah satu metode untuk menghasilkan nano selulosa adalah hidrolisis asam menggunakan asam kuat. Asam kuat dapat menghilangkan bagian amorf dari suatu rantai selulosa sehingga isolasi pada bagian kristalin selulosa dapat dilakukan. Proses hidrolisis bertujuan untuk menguraikan fasa amorf yang terdapat dalam serat selulosa. Sedangkan perlakuan mekanik untuk memperkecil ukuran dari serat, perlakuan mekanik dilakukan melalui pengadukan dan sonifikasi (Effendi dkk., 2015). Mekanisme hidrolisis asam pada selulosa ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Mekanisme hidrolisis asam

Ukuran nano selulosa yang dihasilkan dari hidrolisis selulosa dengan berbagai asam ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran partikel nano selulosa dari hidrolisis selulosa dengan berbagai asam dan basa

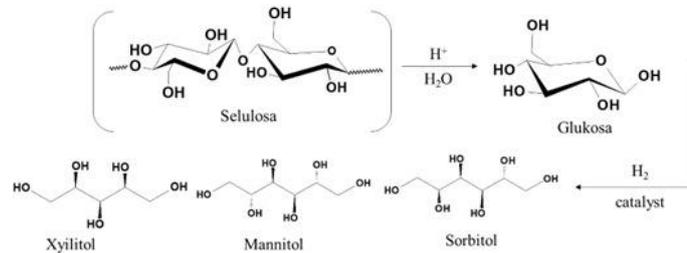
No	Jenis Asam	Ukuran (nm)
1.	H ₂ SO ₄	95,9 L/5 – 20 W
2.	HCl	110 L/5 – 10 W
3.	NaOH	100 to μm L/10 – 100 W
4.	HNO ₃	218 μm L/18,7 μm W

Dari data yang tercantum dalam Tabel 1, terlihat bahwa beberapa molekul selulosa memiliki berat molekul yang jauh lebih kecil daripada selulosa berukuran mikro. Hal ini mengindikasikan bahwa proses konversi dari selulosa berukuran nano menjadi monomer glukosa, serta perubahan selulosa tersebut menjadi senyawa poli-ol lain seperti sorbitol, manitol, dan silitol, memerlukan jumlah energi yang relatif lebih rendah (Situmeang, 2021).

2.4 Gula Alkohol

Gula alkohol merupakan gula yang komposisi kimianya terdiri dari tiga atau lebih kelompok hidroksil. Gula alkohol memiliki struktur kimia yang mirip dengan sukrosa, tetapi memiliki beberapa perbedaan penting. Gula alkohol juga dikenal sebagai poliol atau polialkohol, dan umumnya memiliki rasa manis tetapi memberikan lebih sedikit kalori dari pada gula biasa (Soesilo dkk., 2005). Gula alkohol memiliki tingkat kemanisan yang lebih rendah dibandingkan dengan monosakarida, sehingga sering digunakan sebagai pengganti gula. Biasanya, gula alkohol dicampur dengan pemanis lain untuk mencapai tingkat kemanisan yang diinginkan. Selain berfungsi sebagai pemanis, gula alkohol juga memiliki peran lain dalam produk makanan. Mereka digunakan untuk memberikan tekstur yang tepat, berperan sebagai bahan pengisi, menjaga kelembapan produk, dan memberikan sensasi dingin di mulut. Beberapa contoh gula alkohol yang

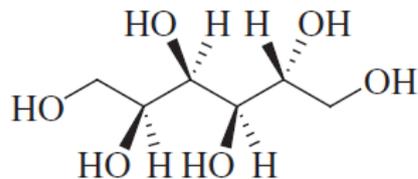
umumnya digunakan termasuk manitol, sorbitol, dan silitol (Situmeang, 2021). Konversi katalitik selulosa menjadi gula alkohol ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Konversi selulosa menjadi gula alkohol

2.4.1 Sorbitol

Sorbitol dikenal sebagai D-glusitol dengan rumus kimia C₆H₁₂O₆, adalah gula alkohol dengan enam atom karbon. Ditemukan oleh ilmuwan perancis pada tahun 1872. Sorbitol dapat diproduksi dari glukosa atau sukrosa dengan cara hidrogenasi katalitik menggunakan gas hidrogen dan katalis Ni pada suhu dan tekanan tinggi. Sorbitol juga dapat diproduksi dengan cara reduksi dekstroza pada kondisi alkali. Struktur sorbitol ditunjukkan pada Gambar 5.

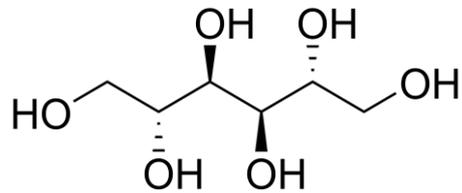


Gambar 5. Struktur sorbitol

Sorbitol memiliki berat molekul sebesar 182,17 g/mol dan memiliki sifat optik berupa rotasi optik dengan nilai antara +4,0 hingga +7,0 serta titik lebur berkisar antara 110 °C hingga 112 °C. Sorbitol sangat mudah larut dalam air, tetapi kurang larut dalam metanol, etanol, dan asam asetat. Selain itu sorbitol hampir tidak larut dalam eter dan kloroform. Sorbitol dapat diidentifikasi sebagai serbuk hablur berwarna putih atau hampir putih yang tidak memiliki bau, bersifat higroskopis (menyerap kelembaban), dan memiliki rasa yang manis (Jap dkk., 2014).

2.4.2 Manitol

Mannitol adalah sejenis gula alkohol yang memiliki enam atom karbon dan merupakan isomer dari sorbitol. Struktur manitol ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur manitol

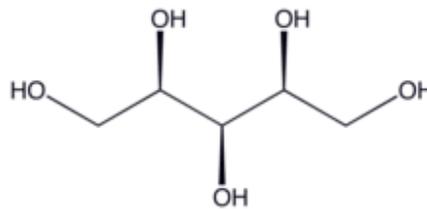
Beberapa organisme seperti bakteri, jamur, alga coklat, dan beberapa tumbuhan tingkat tinggi menggunakan manitol sebagai sumber cadangan karbohidrat. Produksi manitol dapat dilakukan melalui proses hidrogenasi katalitik campuran glukosa dan fruktosa pada suhu dan tekanan tinggi. Namun dalam proses ini rendemen manitol hanya sekitar 25%, sehingga diperlukan tahap pemurnian tambahan. Oleh karena itu dikembangkan metode fermentasi yang melibatkan bakteri untuk mengkonversi seluruh d-fruktosa menjadi d-manitol pada suhu normal. Manitol memiliki tingkat kemanisan sekitar 50% dari sukrosa dan juga memberikan sensasi dingin di mulut. Salah satu keunggulan manitol adalah penyerapannya yang sangat rendah, sehingga menghasilkan peningkatan kadar glukosa dalam darah yang lebih sedikit dan membutuhkan lebih sedikit insulin setelah dikonsumsi dibandingkan dengan glukosa.

2.4.3 Silitol

Silitol adalah sejenis poliol yang memiliki lima atom karbon dan dapat dihasilkan dari D-xilosa. Penemuan silitol terjadi pada tahun 1891, dan sejak tahun 1960-an silitol telah digunakan sebagai pemanis. Bahan utama untuk produksi silitol adalah xilosa, yang biasanya diperoleh dari kayu jenis birch dan kayu keras lainnya. Seperti halnya gula alkohol lainnya, silitol dapat diproduksi melalui proses hidrogenasi dengan menggunakan katalis logam. Proses ini dimulai dengan

isolasi xilan dari kayu, kemudian dilanjutkan dengan hidrolisis menjadi xilosa. Xilosa diolah dan dimurnikan dengan menggunakan kromatografi, setelah itu dilakukan hidrogenasi dengan bantuan katalis nikel. Produk silitol yang dihasilkan secara komersial melalui proses hidrogenasi larutan silosa dan kemudian dimurnikan dengan proses kristalisasi menjadi bentuk orthorombik (Situmeang, 2021).

Produksi silitol melalui bioteknologi juga telah dikembangkan, termasuk dari sumber bahan seperti tongkol jagung, ampas tebu, dan serat lainnya. Namun, produksi komersial tidak dilakukan karena biayanya terlalu tinggi. Silitol diserap sekitar 50% dalam usus halus, dan fermentasinya terjadi di usus besar dengan tingkat sekitar 50-75%. Silitol dapat mengalami metabolisme langsung di hati atau melalui proses degradasi fermentasi oleh flora usus. Toleransi tubuh manusia terhadap silitol adalah sekitar 100 gram per hari (Jap dkk., 2014). Struktur dari silitol ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur silitol

Silitol memiliki tingkat kemanisan yang paling tinggi dibandingkan dengan gula alkohol lainnya. Kemanisannya sebanding dengan sukrosa, tetapi dengan kalori yang lebih rendah dan tanpa meninggalkan rasa pahit setelah dikonsumsi. Silitol tidak memerlukan insulin dalam proses metabolismenya, larut dengan mudah dalam air, dan memberikan sensasi dingin di dalam mulut. Penggunaan silitol sangat luas dalam bidang biomedis. Konsumsi secara teratur dapat mengurangi kerusakan gigi, serta memiliki peran dalam menghambat pembentukan plak dan pertumbuhan bakteri *Streptococcus mutans* dan *Streptococcus sobrinus*, yang merupakan penyebab kerusakan gigi dan pembentukan plak gigi (Lee and Park, 2014).

2.5 Tongkol Jagung

Jagung adalah salah satu komoditi utama Indonesia yang mengalami peningkatan produksi dari tahun ke tahun. Selain digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat, jagung juga diekspor ke negara-negara seperti Malaysia dan Singapura sebagai bahan baku untuk berbagai produk seperti maizena, pati jagung, minyak jagung, dan pakan ternak. Limbah yang dihasilkan dari jagung termasuk tongkol jagung sering digunakan sebagai pakan sapi atau sebagai sumber bahan bakar pada tungku tradisional di daerah pedesaan padahal tongkol jagung memiliki potensi lebih dari itu, dapat dijadikan sebagai sumber karbon aktif (Fitriani, 2013). Limbah tongkol jagung ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Tongkol jagung

Tongkol jagung memiliki kandungan senyawa karbon yang cukup tinggi, yaitu selulosa (41%) dan hemiselulosa (36%) mengindikasikan bahwa tongkol jagung berpotensi sebagai bahan pembuat arang aktif. Selain itu tongkol jagung memiliki kandungan kadar abu yang rendah yaitu 0,91%. Arang aktif dari tongkol ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya mempunyai potensi yang baik sebagai adsorben karena kandungan karbonnya lebih besar dari pada kadar abunya, mudah dibuat, murah, bahan bakunya mudah didapat dan melimpah, mudah digunakan, aman, dan tahan lama (Meilianti, 2020).

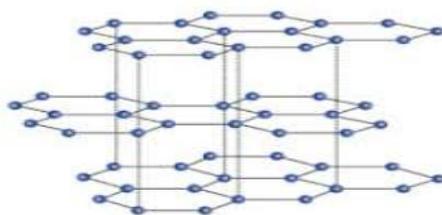
Karbon aktif merupakan senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya adsorbsinya dengan melakukan proses karbonasi dan aktivasi. Pada proses tersebut terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas dan air dari permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Pada umumnya karbon aktif

dibuat melalui proses dengan penambahan bahan-bahan kimia. Jenis-jenis bahan kimia yang digunakan sebagai aktivator adalah hidroksida logam alkali, garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dan logam alkali tanah seperti ZnCl_2 , NaOH , H_3PO_4 , dan uap air pada suhu tinggi. Pembuatan karbon aktif dibagi menjadi dua macam yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Proses aktivasi fisika membutuhkan suhu tinggi $600\text{ }^\circ\text{C} - 900\text{ }^\circ\text{C}$ (Abou-Hadid *et al.*, 2023).

2.6 Grafit

Grafit adalah bentuk alotrop dari karbon yang berwujud kristal serbuk berwarna hitam. Alotropi mengacu pada berbagai bentuk struktur yang dapat ditemukan pada unsur yang sama. Karbon memiliki dua bentuk alotropi utama, yaitu grafit dan intan. Grafit alami ditemukan dalam berbagai endapan dengan tingkat kemurnian, ukuran kristal, dan kualitas yang berbeda-beda (Dwandaru *et al.*, 2019).

Struktur kristal grafit pada Gambar 9 terdiri dari serangkaian lapisan karbon yang disebut grafena, yang teratur mengikuti sumbu vertikal dan berada dalam tumpang tindih sejajar sesuai dengan susunan ABAB. Di sini A merujuk pada lapisan grafena pertama dan B merujuk pada lapisan yang kedua. Jarak antara lapisan ini adalah sekitar $3,35\text{ \AA}$, dan energi ikatan antara lapisan grafena adalah sekitar 17 kJ/mol . Sementara itu, energi ikatan antara atom C-C di dalam satu lapisan graphene adalah sekitar 477 kJ/mol . Data ini menunjukkan bahwa ikatan antar lapisan grafena lebih lemah mengakibatkan sifat permukaan grafit yang halus dan licin karena lapisan grafena satu bisa bergeser relatif terhadap lapisan yang lain (Dwandaru *et al.*, 2019).

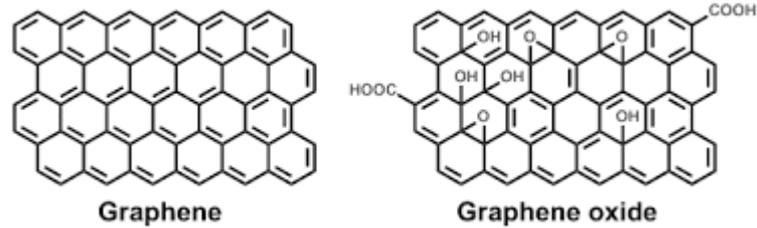


Gambar 9. Struktur grafit

Grafit memiliki gugus utama yaitu gugus alkena (C=C). Secara umum, grafit dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yakni grafit sintetis dan grafit alami. Grafit sintetis diperoleh melalui proses pemanasan karbon pada suhu tinggi, yang mengubah struktur karbon menjadi struktur grafitik. Di sisi lain grafit alami dapat ditemukan dalam lingkungan alam atau dihasilkan dari bahan alami. Ukuran partikel kristal dalam grafit alami bervariasi tergantung pada sumbernya, namun biasanya memiliki ukuran mikro-kristalin dan makro-kristalin (Sengupta *et al.*, 2011). *Natural graphite* memiliki tingkat kristalinitas dan kemurnian yang lebih rendah dibandingkan dengan grafit sintetis. Akibatnya, tingkat konduktivitasnya berada pada tingkat sedang. Oleh karena itu jenis grafit ini tidak cocok untuk digunakan dalam konteks elektrokimia. Namun, grafit alami memiliki potensi untuk dijadikan bahan dasar dalam pengembangan material *graphene oxide* (GO), yang sangat diminati karena memiliki berbagai aplikasi yang luas (Yalcin *et al.*, 2015).

2.7 Grafena Oksida

Grafena oksida (GO) adalah senyawa yang berasal dari grafen dan memiliki karakteristik serupa dengan struktur yang mirip. Perbedaan antara grafen dan grafena oksida biasanya terlihat dalam kehadiran gugus hidroksil dan karbonil pada grafena oksida. Grafena oksida dapat dibuat melalui sintesis dari grafit alami maupun grafit sintetis. Grafena oksida memiliki sifat mekanik, ketahanan termal, dan konduktivitas listrik yang baik. Struktur dan karakteristik grafena oksida ini bervariasi tergantung pada metode sintesis yang digunakan dan tingkat oksidasinya. Secara umum dalam sintesisnya struktur lapisan dasar grafena tetap dipertahankan, tetapi lapisan-lapisan tersebut biasanya melengkung sehingga jarak antar lapisannya menjadi dua kali lebih besar dibandingkan dengan grafit ~0,7 nm (Dwandaru *et al.*, 2019). Perbedaan struktur grafena dan grafena oksida ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Struktur grafena dan grafena oksida

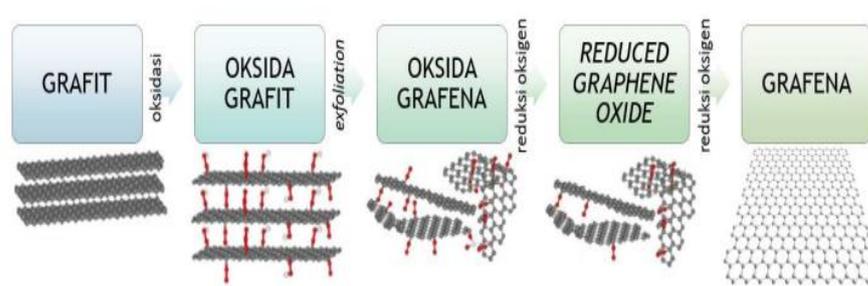
Grafena oksida (GO) dapat diperoleh melalui oksidasi dan eksfoliasi grafit, umumnya dalam larutan air menghasilkan lembaran berbasis karbon yang bersifat hidrofilik dan dihiasi dengan berbagai gugus fungsional yang mengandung oksigen. Penelitian mengenai material ini meningkat setelah penemuan grafen karena grafena oksida dianggap sebagai rute kimia untuk produksi grafen yang dapat diupayakan. Namun GO itu sendiri juga telah menerima perhatian penelitian yang cukup besar karena memiliki luas permukaan yang sama tinggi dengan grafen, dengan kehadiran gugus-gugus yang mengandung oksigen memberikannya keunggulan dalam pemrosesan dan penanganan, seperti kemampuan untuk terdispersi dalam air dan sifat amfiliknya (McCoy *et al.*, 2019).

2.8 Sintesis Graphena Oksida

Graphena oksida (GO) sebagai turunan dari grafen tidak hanya memiliki kinerja pelindungan yang sangat baik, rasio aspek tinggi, kekuatan ultratinggi, konduktivitas termal ultratinggi, aktivitas permukaan tinggi, dan keunggulan lainnya yang semuanya dimiliki oleh grafena. Akan tetapi juga memiliki kelompok karboksil, kelompok hidroksil, kelompok epoksi, dan kelompok fungsional lainnya yang dapat digunakan untuk mempersiapkan derivatif. Mempelajari aplikasinya dalam banyak bidang seperti elektronika, penyimpanan energi, katalisis, plastik, tekstil, dan pelapisan telah menjadi sorotan. Metode oksidasi kimia klasik untuk persiapan graphene oksida termasuk metode oleh *Brodie*, *Staudenmaier*, dan *Hummers*. Semua metode ini menggunakan grafit sebagai bahan baku untuk reaksi oksidasi dengan oksidan kuat yang berbeda dan kemudian mengupasnya untuk menghasilkan GO. Dibandingkan dengan dua

metode persiapan sebelumnya, metode *Hummers* memiliki waktu reaksi yang singkat, efisiensi tinggi, dan tingkat keamanan yang tinggi, yang memberikan harapan untuk persiapan industri GO (Chen *et al.*, 2022).

Hummers *and* Offeman (1958) mengubah cara mereka melakukan sintesis dengan mengombinasikan grafit dan HCl bersama-sama dengan NaNO_3 dan KMnO_4 . KMnO_4 adalah oksidator yang sangat kuat dan dapat membentuk senyawa Mn_2O_7 yang memiliki reaktivitas lebih tinggi. Proses oksidasi grafit dimulai saat grafit bereaksi dengan oksidator ini pada suhu yang rendah. Selama proses oksidasi gugus fenol terbentuk di sekitar tepi grafena oksida karena reaksi dengan KMnO_4 dan H_2SO_4 . Di sisi lain gugus fenol akan berubah menjadi gugus eter akibat kondensasi yang terus-menerus selama proses oksidasi. Gugus fenol di tepi yang berbeda akan mengalami oksidasi dan berubah menjadi gugus keton. Gugus keton yang terbentuk kemudian akan berubah menjadi gugus karboksil dan karbonil. Langkah sintesis grafen oksida berikutnya melibatkan proses ultrasonikasi untuk menghasilkan grafen oksida. Skema pembuatan grafena oksida dari grafit ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Skema pembuatan grafena oksida dari grafit

2.9 Nanokomposit

Nanokomposit adalah struktur padat dengan dimensi yang sangat kecil, biasanya dalam skala nanometer berulang dalam jarak antara dua bahan yang berbeda.

Bahan nanokomposit terutama terdiri dari material padat anorganik yang mencakup unsur-unsur organik atau sebaliknya. Nanokomposit juga dapat berwujud sebagai media berpori, koloid, gel, atau kopolimer. Secara umum materi

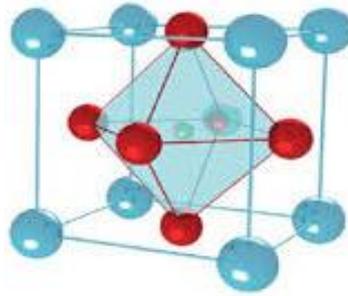
nanokomposit menunjukkan karakteristik mekanik, listrik, optik, elektrokimia, katalitik, dan struktural yang berbeda dari tiap komponen-komponennya (Yalcin *et al.*, 2015).

Nanokomposit adalah bahan yang terdiri dari dua atau lebih komponen yang memiliki ukuran nanometer, di mana setidaknya salah satu komponen memiliki dimensi nanometer. Sifat-sifat unik nanokomposit membuatnya sangat menarik dalam berbagai aplikasi teknologi dan industri. Salah satu keunggulan utama nanokomposit adalah luasnya permukaan relatif terhadap volume. Dengan partikel-partikel yang sangat kecil permukaan kontak antara komponen-komponen tersebut menjadi sangat besar. Hal ini dapat meningkatkan reaktivitas kimia, konduktivitas listrik, dan sifat-sifat mekanis bahan tersebut. Oleh karena itu nanokomposit sering digunakan dalam katalisis, sensor, dan aplikasi elektronik (H. Suryanto, 2020).

2.10 Senyawa Perovskit

Senyawa perovskit dengan rumus umum ABO_3 , dimana A berupa kation logam alkali, alkali tanah atau lantanida. B berupa kation logam transisi yang memiliki sifat kimia dan sifat fisika seperti oksidatif, magnetik, konduktif, refraktif, luminescent, dan katalitik. Dengan berbagai sifat tersebut, senyawa ini telah diterapkan secara luas sebagai komponen pada perangkat elektronik, sensor, bahan magnetik, bahan photoluminiscence, katalis, sel bahan bakar oksida padat dan fotokatalis. Struktural perovskite dapat disintesis dengan mencampurkan oksida unsur-unsur utama ditunjukkan ada lantanida atau elemen utama ketiga dengan oksida elemen transisi. Kation dapat masuk kedalam kedua lokasi A dan B dalam struktur kristal yang sama. Komposisi ABO_3 memenuhi batasan toleransi, $t = 0,71 (r_A + r_o)/(r_B + r_o)$ nilai t menyebabkan terbentuknya struktur kristal bentuk kubik, ortorombik, dan heksagonal. Spinel lanthanum khromit ($LaCrO_3$) adalah salah satu bahan perovskite. Senyawa perovskite telah dibuat dengan menggunakan berbagai metode seperti hidrotermal, presipitasi, co-presipitasi,

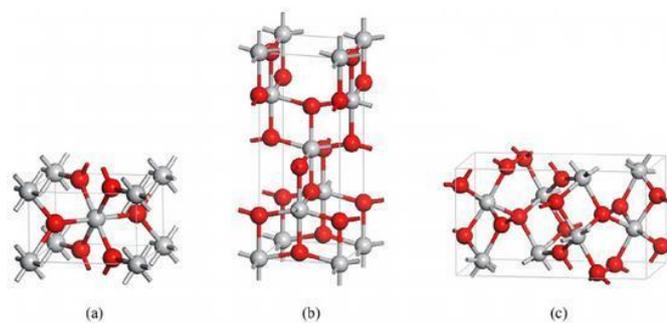
auto-combustion, dan sol-gel (Situmeang, 2021). Struktur umum perovskit ABO_3 ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Struktur umum perovskit ABO_3

2.11 Titanium Dioksida

Titanium dioksida yang juga dikenal sebagai TiO_2 merupakan semikonduktor yang memiliki celah pita yang luas, celah pita energi rutil adalah 3,00 eV sedangkan celah pita energi anatas adalah 3,23 eV. TiO_2 tipe anatas biasa digunakan dalam fotokatalis karena dapat menunjukkan aktivitas fotokatalik yang tinggi. Keterbatasan semikonduktor sebagai fotokatalis dapat diatasi dengan memodifikasi permukaan semikonduktor dengan penambahan logam misalnya dengan penambahan perak ke permukaan TiO_2 dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis (Santoso dkk, 2019)



Gambar 13. Bentuk kristal TiO_2 a) anatase b) brukit c) rutil

Dari Gambar 13 bentuk kristal TiO_2 pada umumnya berbentuk anatase, brokit dan rutil. Bentuk rutil dan anatas memiliki struktur tetragonal yang secara termodinamika fase anatas lebih stabil dibandingkan fase rutil.

Orbital molekul pada ikatan TiO_2 dapat dipahami sebagai hibridisasi dari orbital 2p, atom O bertindak sebagai pita valensi, pita konduksi dan besarnya E_g di antara keduanya akan berbeda. Lingkungan atom Ti dan O di dalam kristal TiO_2 berbeda seperti pada anatas ($E_g = 3,2$ eV) dan rutil ($E_g = 3,1$ eV). Besar energi celah (E_g), posisi energi pita valensi, dan pita konduksi akan menentukan karakter fotokatalisis dalam hal kebutuhan energi foton yang dibutuhkan untuk mengaktifkan dan beberapa kekuatan oksidasi/reduksi setelah diaktifkan. Serbuk TiO_2 dengan struktur rutil paling luas penggunaannya karena indeks biasnya yang tinggi, warna yang kuat, dan sifat kimianya yang inert. Struktur anatas lebih baik untuk aplikasi fotokatalisis pada lapis tipis TiO_2 . Dalam reaksi fotokatalisis dengan titanium dioksida, anatas TiO_2 sebagai komponen aktif sedangkan rutil kurang menunjukkan aktivitas. Titanium dioksida dengan bentuk anatas dan rutil jika dikenai sinar UV dengan $\lambda < 385$ nm untuk anatas dan $\lambda > 405$ nm untuk rutil akan menghasilkan spesies oksidator pada permukaan. Oleh karena itu penggunaan titanium dioksida anatas perlu diefisienkan penggunaannya sebagai fotokatalis dalam pengolahan limbah yang membutuhkan energi yang cukup.

2.12 Katalis

Katalis adalah substansi yang dapat meningkatkan kecepatan reaksi kimia dengan menurunkan energi aktivasi pada suhu tertentu tanpa mengalami perubahan. Secara umum ada dua jenis katalis yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen memiliki fase yang sama dengan reaktan, sementara katalis heterogen memiliki fase yang berbeda. Contoh umum katalis homogen adalah katalis asam seperti HCl, H_2SO_4 , dan HNO_3 , sedangkan katalis heterogen umumnya diwakili oleh zeolit. Katalis homogen memiliki keuntungan karena tidak mudah terkontaminasi oleh zat-zat asing dan setiap molekul katalis berperan aktif dalam reaksi. Namun kelemahan katalis homogen termasuk kesulitan dalam

pemisahan dari campuran reaksi serta kerentanannya terhadap degradasi pada suhu tinggi. Di sisi lain katalis heterogen dapat dipisahkan dari campuran reaksi dengan mudah, biasanya dengan penyaringan sehingga dapat diregenerasi. Namun satu kekurangan yang dapat dihadapi adalah kejenuhan permukaan katalis oleh molekul reaktan yang dapat menghentikan reaksi. Kejenuhan ini dapat diatasi melalui proses regenerasi (Praputri *et al.*, 2018).

Nanokatalis adalah katalis yang terdiri dari nanopartikel atau struktur nano lainnya seperti nano-foam. Struktur nano adalah struktur yang telah dirancang dengan fitur pada skala nanometer yaitu antara satu hingga 100 nanometer. Keuntungan yang jelas dari nanokatalis dibandingkan dengan bahan konvensional adalah luas permukaannya yang jauh lebih besar meningkatkan area di mana reaksi dapat dikatalisasi. Penggunaan nanostruktur juga dapat memungkinkan pengendalian regangan permukaan dan susunan atom permukaan. Nanokatalis saat ini sedang banyak diteliti dan diterapkan sebagai elektrokatalis. Sebagai contoh yakni sel bahan bakar Membran Pertukaran Proton (PEM) yang umum menggunakan membran polimer yang diisi dengan nanopartikel platinum. Nanotube karbon dan *graphene* memiliki banyak aplikasi sebagai elektrokatalis karena kombinasi luas permukaan yang sangat tinggi dan konduktivitas listrik yang tinggi (Saikia *and* Ramakrishnan, 2022).

2.13 Metode Preparasi Katalis

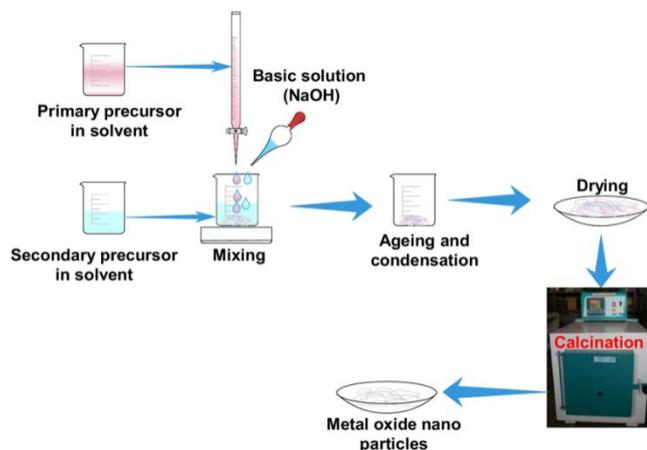
Metode preparasi katalis dapat bervariasi tergantung pada jenis katalis yang dibutuhkan dan aplikasinya. Tujuan utama dari metode preparasi katalis adalah mendapatkan struktur definit, stabil, mempunyai luas permukaan yang tinggi dan situs aktif yang lebih terbuka. Berikut adalah beberapa metode umum yang digunakan dalam preparasi katalis.

2.13.1 Metode Impregnasi

Metode ini melibatkan penyerapan larutan yang mengandung logam katalis ke dalam bahan pendukung yang porous. Setelah penyerapan bahan pendukung dikeringkan dan kemudian dioksidasi atau direduksi sesuai kebutuhan. Metode impregnasi digunakan secara luas dalam pembuatan katalis logam berat seperti; platina, paladium dan nikel pada karbon atau alumina (Suryanto dan Wahyuni, 2021). Metode ini dapat dibagi lagi menjadi dua kategori yaitu impregnasi kering dan basah. Apabila volume larutan senyawa awal logam katalis yang digunakan tidak melebihi volume pori penyangga maka disebut impregnasi kering. Pada metode ini larutan senyawa awal logam katalis disemprotkan pada penyangga secara terus-menerus disertai dengan pengadukan. Penetrasi senyawa awal logam katalis yang lebih dalam lagi ke bagian dalam pori dapat dicapai dengan mengeluarkan air yang terperangkap dalam pori, sehingga diperoleh distribusi logam prekursor yang lebih seragam dan merata. Impregnasi basah dilaksanakan ketika kuantitas larutan senyawa awal logam katalis yang digunakan lebih besar daripada kapasitas pori penyangga. Campuran ini dibiarkan untuk beberapa waktu sambil diaduk terus, hingga seluruh pelarut habis dan proses pengeringan selesai (Ismunandar, 2016).

2.13.2 Metode Sol-Gel

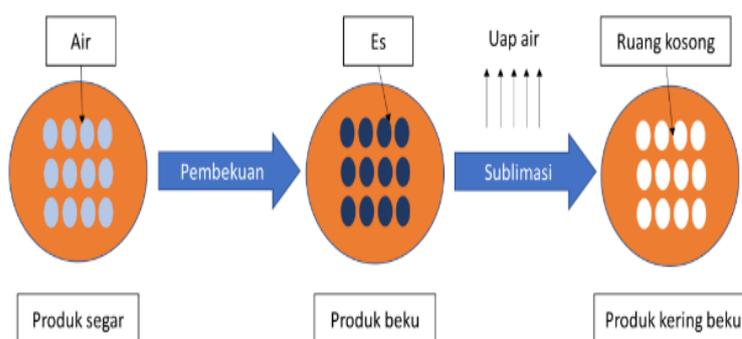
Metode sol-gel adalah cara untuk menyiapkan oksida anorganik menggunakan proses kimia basah yang mencakup langkah-langkah kimia dan fisika seperti hidrolisis, polimerisasi, pengeringan, dan pengompakan. Dalam proses ini koloid menjadi lebih kental dan berubah menjadi sol pada tahap awal, kemudian viskositasnya naik dengan cepat hingga membentuk gel yang memiliki tekstur kental. Keunggulan penggunaan metode sol-gel mencakup tingkat homogenitas yang tinggi, tingkat kemurnian yang lebih tinggi, distribusi fasa yang lebih merata, dan luas permukaan spesifik yang lebih besar (Khan, *et al.*, 2022). Skema pembuatan katalis menggunakan metode sol gel dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Proses sintesis nanopartikel oksida logam

2.13.3 Metode *Freeze Drying*

Dalam proses sintesis katalis molekul-molekul pelarut dapat masuk ke dalam pori-pori katalis. Oleh karena itu pelarut harus dihilangkan dari materi padat katalis hingga kadar airnya rendah dengan melakukan proses pengeringan. Secara umum pengeringan dapat dilakukan dengan memanaskan katalis pada suhu $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Namun pemanasan pada suhu ini dapat menyebabkan ketidakseragaman warna katalis, merusak situs aktif katalis dan dapat mengurangi aktivitas katalis. Kenaikan suhu yang lebih tinggi juga berpotensi menyebabkan kerusakan pada struktur kristal katalis dan luas permukaannya (Situmeang, 2007). Mekanisme kerja *freeze drying* ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Mekanisme kerja *freeze drying*

2.13.4 Kalsinasi

Kalsinasi adalah suatu proses yang melibatkan pemanasan dan pemurnian bahan padat dengan menggunakan suhu tinggi untuk menghilangkan zat yang mudah menguap dan mengoksidasi sebagian dari bahan tersebut. Metode ini memiliki dampak yang besar pada pembentukan kristal, perubahan fase, ukuran kristal, dan luas permukaan. Proses kalsinasi melibatkan beberapa tahap seperti pemanasan, pendinginan, dan penggilingan. Kalsinasi dapat meningkatkan aktivitas katalitik katalis dan menghasilkan katalis yang lebih stabil (Lestari, 2019).

Menurut Pinna (1998) peristiwa yang terjadi selama proses kalsinasi yang digunakan dalam pembuatan katalis sebagai berikut:

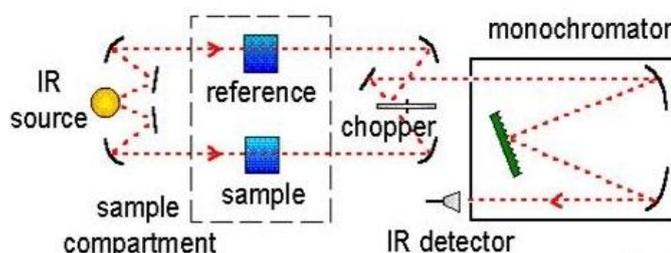
- a) Pada tahap awal, komponen prekursor mengalami dekomposisi menjadi spesi oksida. Pada suhu antara 100 °C dan 300 °C, air baik yang terikat maupun yang bebas dilepaskan.
- b) Pada suhu sekitar 600 °C, terjadi pelepasan gas CO₂ yang mengakibatkan penurunan berat yang signifikan. Selama tahap ini, terjadi reaksi antara oksida yang terbentuk dengan penyangga.
- c) Terjadi sintering komponen prekursor. Pada proses ini, struktur kristal telah terbentuk tetapi ikatan antara partikel-partikel serbuk masih lemah dan rentan terlepas.

2.14 Karakterisasi Nanokatalis

Karakterisasi katalis digunakan untuk mendapatkan informasi tentang sifat kimia dan sifat fisika dari katalis yang telah disiapkan. Dalam karakterisasi kimia tujuannya adalah untuk mengukur jumlah logam yang terkandung dalam katalis, menganalisis ikatan kimia yang ada, dan menilai kristalinitasnya. Sementara dalam karakterisasi fisika fokusnya adalah untuk menentukan luas permukaan, diameter pori, volume pori, kekerasan, dan distribusi logam dalam struktur katalis.

2.14.1 *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Fourier Transformed Infrared (FTIR) adalah sebuah perangkat atau instrumen yang dapat digunakan untuk mendeteksi gugus fungsional, menganalisis senyawa, dan mengidentifikasi campuran dalam sampel yang diamati tanpa harus merusak sampel itu sendiri. Rentang inframerah dalam spektrum gelombang elektromagnetik berkisar dari 14000 cm^{-1} hingga 10^1 cm^{-1} . Berdasarkan panjang gelombang tersebut daerah inframerah dibagi menjadi tiga bagian. Pertama terdapat daerah inframerah dekat ($14000\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$), sensitif terhadap getaran *overtone* molekul. Daerah kedua inframerah menengah ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) berkaitan dengan transisi energi getaran molekul yang memberikan informasi tentang gugus-gugus fungsional dalam molekul tersebut. Daerah ketiga inframerah jauh ($400\text{-}10\text{ cm}^{-1}$) digunakan untuk menganalisis molekul yang mengandung atom-atom berat seperti senyawa anorganik, tetapi memerlukan teknik khusus untuk melakukannya (N. W. Sari et al., 2018). Skema kerja ftir ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Skema kerja FTIR

Prinsip kerja FTIR melibatkan interaksi antara energi dan materi. Sinar inframerah yang melewati celah ke sampel berfungsi untuk mengatur jumlah energi yang diteruskan ke sampel. Sebagian sinar inframerah diserap oleh sampel sementara yang lainnya dilewatkan melalui permukaan sampel. Akibatnya sinar inframerah mencapai detektor, dan sinyal yang diukur kemudian dikirim ke komputer dan direkam dalam bentuk puncak-puncak.

2.14.2 *X-ray Diffraction (XRD)*

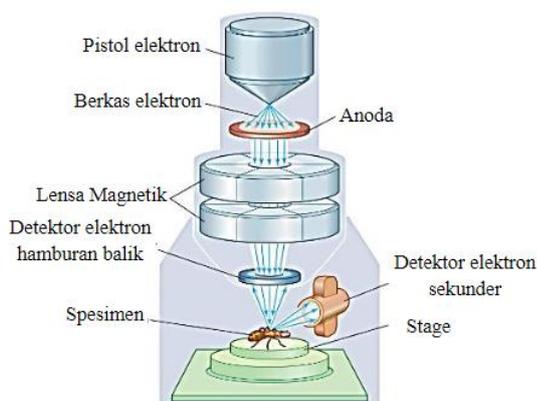
X-Ray Diffraction (XRD) adalah sebuah teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi kristalinitas suatu materi, termasuk kualitatif dan kuantitatif struktur kristalit dan fase dalam bahan dengan menggunakan radiasi sinar-X dalam spektrum gelombang elektromagnetik. XRD juga digunakan untuk menentukan susunan atom-atom dalam kristal, mendeteksi keberadaan cacat, orientasi, dan cacat kristal. Metode difraksi digunakan untuk menentukan struktur Kristal. Difraksi adalah suatu proses hamburan elastis di mana transfer atau perubahan energi diabaikan.

Informasi penting yang diperoleh dari metode difraksi ini adalah data koordinat atom dalam kristal, yang merupakan dasar dari sifat dan karakteristik bahan secara umum. Prinsip dasar XRD melibatkan difraksi cahaya melalui kisi-kisi kristal, terutama jika panjang gelombang cahaya tersebut setara dengan jarak antara atom dalam kristal (sekitar 1 Ångström). Radiasi sinar-X, elektron, dan neutron digunakan dalam XRD tetapi sinar-X adalah yang paling umum. Ketika sinar-X berinteraksi dengan materi sebagian diserap, sebagian ditransmisikan dan sebagian lainnya terdifraksi. Difraksi inilah yang dideteksi dalam XRD. Dalam hukum *Bragg*, persyaratan yang harus dipenuhi agar terjadi difraksi adalah bahwa dua berkas sinar-X yang terdifraksi harus memiliki fase yang cocok yang menghasilkan berkas difraksi (Hakim dkk., 2019).

2.14.3 *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah jenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai sumber cahaya memungkinkannya memiliki resolusi tinggi. Pengujian ini digunakan untuk memahami morfologi, ukuran partikel, porositas, dan bentuk partikel dalam materi. Prinsip kerja SEM seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 18 melibatkan sebuah pistol elektron yang menghasilkan sinar elektron. Sinar elektron ini kemudian dipercepat oleh anoda dan lensa magnetik digunakan untuk memfokuskan elektron ke sampel yang diamati. Elektron yang telah difokuskan ini kemudian melakukan pemindaian pada seluruh sampel,

diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron bersentuhan dengan sampel, sampel akan melepaskan elektron tambahan yang selanjutnya akan dideteksi dan ditampilkan pada monitor (Pambudi dkk.,2017).



Gambar 17 Prinsip Kerja SEM

2.15 Analisis *Band-Gap*

Band gap adalah perbedaan energi antara pita valensi yang berada di bagian atas dan pita konduksi yang berada di bagian bawah dalam suatu bahan. Elektron memiliki kemampuan untuk berpindah dari satu pita ke pita yang lain. Saat elektron berpindah dari pita konduksi ke pita valensi, ini akan menghasilkan pelepasan energi tertentu. Sebaliknya, ketika elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi, diperlukan jumlah energi minimum yang disebut sebagai energi *band-gap*. Pengukuran *band-gap* memiliki signifikansi penting dalam industri semikonduktor dan nanomaterial.

Energi *band-gap* digunakan untuk memprediksi sifat kekuatan dan stabilitas logam transisi kompleks serta warna yang akan dihasilkan oleh larutan tersebut. Nilai energi *band-gap* bervariasi dengan isolator memiliki nilai yang tinggi (> 4 eV), sedangkan semikonduktor memiliki nilai yang lebih rendah (< 3 eV). Sifat-sifat *band-gap* pada semikonduktor dapat diatur dengan menggunakan berbagai jenis paduan semikonduktor yang berbeda. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur *band-gap* salah satunya adalah menggunakan teknik spektroskopi reflektansi difus (DRS). DRS adalah metode yang cocok, non-

destruktif, dan sederhana dalam analisis material nanokristalin dan bahan berpori (Nowak, *et al.*, 2009).

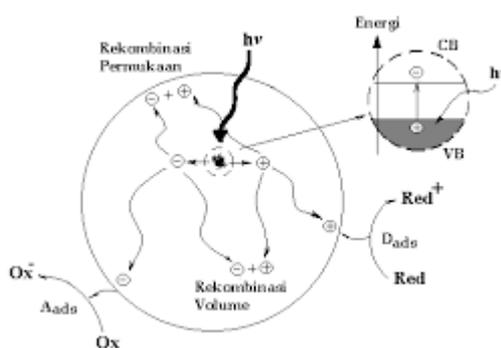
2.16 Reaksi Fotokatalitik

Reaksi fotokatalitik adalah proses kimia di mana reaksi berlangsung di bawah pengaruh sinar matahari atau cahaya ultraviolet (UV) dengan bantuan katalis fotokimia. Dalam reaksi ini katalis fotokimia menggunakan energi cahaya yang diserapnya untuk merangsang atau mempercepat reaksi kimia yang mungkin tidak terjadi atau berlangsung lambat dalam kondisi tanpa cahaya. Katalis fotokimia biasanya terdiri dari material semikonduktor, seperti titanium dioksida (TiO_2) atau seng oksida (ZnO) yang memiliki sifat khusus yang memungkinkannya menyerap cahaya dengan energi yang cukup untuk memicu reaksi kimia. Ketika materi semikonduktor ini terkena cahaya elektron-elektronnya dapat terangkat ke tingkat energi yang lebih tinggi, menciptakan pasangan elektron-hol yang dapat berpartisipasi dalam reaksi kimia.

Proses fotokatalitik terbagi menjadi dua jenis, yaitu fotokatalitik homogen dan fotokatalitik heterogen. Fotokatalitik homogen adalah jenis proses fotokatalitik yang terjadi dalam satu fase sistem dan sering melibatkan zat pengoksidasi seperti ozon dan hidrogen peroksida. Sedangkan fotokatalitik heterogen adalah jenis proses fotokatalitik yang memanfaatkan bahan semikonduktor dalam bentuk serbuk atau partikel yang digunakan sebagai fotokatalis dalam suspensi. Dalam proses fotokatalitik heterogen semikonduktor yang digunakan termasuk bahan semikonduktor tipe *chalconide* seperti; TiO_2 , ZnO , ZrO , CeO_2 , atau sulfida ZnS . Semikonduktor ini berguna sebagai fotokatalis karena memiliki celah pita (*band-gap energy*) yang memisahkan pita konduksi dan pita valensi, sehingga tidak memungkinkan terjadinya rekombinasi elektron dan hole yang dihasilkan oleh aktivasi fotokimia dalam semikonduktor tersebut (Situmeang, 2021).

2.17 Sinar UV

Sinar UV secara ilmiah ada dalam sinar matahari, ternyata mempunyai energi yang cukup untuk mempromosikan elektron dari pita valensi ke pita konduksi sehingga elektron tersebut dapat menginduksi terjadinya reaksi kimia dari bahan yang diinginkan. Secara umum, fenomena fotokatalitik pada permukaan semikonduktor dapat dipahami dengan penjelasan seperti ditunjukkan oleh Gambar 18.



Gambar 18. Fotoeksitasi pada permukaan semikonduktor

Ketika suatu semikonduktor tipe n dikenai cahaya ($h\nu$) dengan energi yang tepat maka elektron (e^-) pada pita valensi akan pindah ke pita konduksi dan meninggalkan lubang positif (*hole*, disingkat sebagai h^+) pada pita valensi. Sebagian besar pasangan e^- dan h^+ ini akan berekombinasi kembali, baik dipermukaan atau didalam *bulk* partikel. Sementara itu sebagian pasangan e^- dan h^+ dapat bertahan sampai pada permukaan semikonduktor. Dimana h^+ dapat menginisiasi reaksi oksidasi dan di lain pihak e^- akan menginisiasi reaksi reduksi zat kimia yang ada di sekitar permukaan semikonduktor. Fotokatalisis telah berhasil digunakan untuk mengoksidasi banyak polutan-polutan organik menunjukkan dapat terdegradasi dan akhirnya dimineralisasi secara lengkap dibawah penyinaran dengan sinar UV pada katalis TiO_2 . Sumber radiasi UV buatan manusia pada dasarnya terdiri dari 3 jenis yaitu *incandescent*, seperti lampu halogen tungsten, lampu neon, seperti lampu intensitas tinggi yang digunakan pada industri untuk fotopolimerisasi dan lampu germisidal untuk

sterilisasi dan untuk mengelas metal dan lampu UV seperti *excimer laser* (Situmeang, 2021).

2.18 Analisis Konversi Selulosa

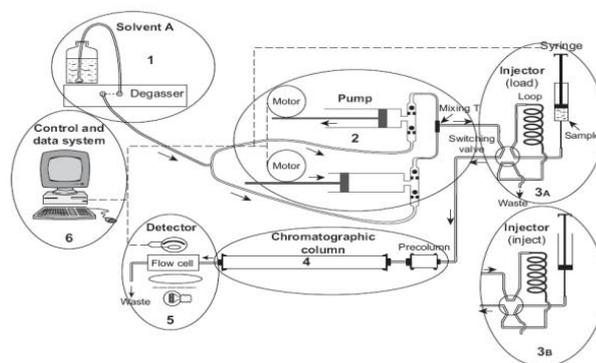
2.18.1 Metode DNS

Metode Dinitrosalisilat (DNS) adalah teknik kolorimetri yang digunakan untuk mengukur jumlah gula pereduksi dalam suatu sampel. Metode ini melibatkan oksidasi gugus aldehid pada sampel dengan asam, diikuti oleh pemanasan dalam suasana basa pada suhu 90-100 °C. Proses ini menghasilkan amino salisilat yang kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm. Penggunaan metode DNS dengan pereaksi DNS untuk mengukur gula reduksi yang dihasilkan oleh mikroba memiliki tingkat ketelitian yang tinggi, sehingga cocok digunakan untuk sampel dengan kadar gula yang sangat kecil. Keunggulan metode DNS ini adalah kemudahan pelaksanaannya dalam pengukuran sampel (Başkan *et al.*, 2016).

DNS sendiri merupakan senyawa aromatis yang akan bereaksi dengan gula reduksi untuk membentuk asam-3-amino-5-dinitrosalisilat yang memiliki kemampuan menyerap radiasi pada panjang gelombang 540 nm. Untuk mendukung kerja DNS, pereaksi DNS memerlukan komponen pendukung seperti KNa-Tartarat, fenol, sodium bisulfit (Na_2SO_3), dan natrium hidroksida (NaOH). Prinsip dasar metode DNS adalah gula pereduksi akan berinteraksi dengan reagen DNS untuk membentuk senyawa asam-3-amino-nitrosalisilat yang memiliki warna kuning hingga kecoklatan. Metode DNS memiliki tingkat ketelitian yang tinggi, sehingga untuk mengukur gula pereduksi dalam konsentrasi yang kecil (Puspitasari dan Ibrahim, 2020).

2.18.2 High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

High-Performance Liquid Chromatography atau Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT) adalah bentuk kromatografi kolom yang digunakan untuk memisahkan, mengidentifikasi, dan mengukur konsentrasi senyawa-senyawa berdasarkan interaksi mereka dengan fase diam dalam kolom berdasarkan polaritas yang khas. KCKT menggunakan berbagai jenis fase diam, terutama yang berbasis rantai karbon yang bersifat hidrofobik.



Gambar 19. Skema ilustrasi sistem dalam instrumen KCKT

Pada Gambar 19 proses Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT) melibatkan penggunaan pompa untuk mengalirkan fase diam dan sampel analit melalui kolom. Ketika sampel melewati kolom, analit akan berinteraksi dengan fase diam, yang dapat menghasilkan pemisahan berdasarkan sifat-sifat kimia mereka. Sistem KCKT dilengkapi dengan detektor yang mengukur waktu retensi khas dari setiap analit. Detektor ini juga mampu memberikan informasi tambahan, seperti data spektroskopi UV/VIS, yang membantu dalam mengidentifikasi senyawa-senyawa tersebut. Waktu retensi dari masing-masing analit dapat bervariasi tergantung pada seberapa kuat interaksi mereka dengan fase diam, komposisi pelarut yang digunakan, dan kecepatan aliran fase gerak dalam kolom. KCKT adalah salah satu teknik analisis kimia yang sangat efektif karena dapat menghasilkan pemisahan yang sangat baik antara senyawa-senyawa dalam sampel memungkinkan identifikasi dan pengukuran konsentrasi dengan tingkat ketelitian yang tinggi (Pilaniya, *et al.*, 2010).

I. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Oktober 2023 hingga April 2024 di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Analisis XRD dan proses *freeze-dry* dilakukan di Institut Teknologi Sepuluh November, sementara analisis SEM, FTIR dan proses kalsinasi dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Analisis DRS dilakukan di Laboratorium UI-Chem, Universitas Indonesia. Pengujian konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol dianalisis dengan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT) di Badan Riset dan Inovasi Nasional Cibinong, Bogor.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini mencakup seperangkat peralatan refluks, timbangan analitik (Ainsworth AA-160 Denver Instrument CompanyTM), sentrifuge (17250-10 Centrifuge Cole ParmerTM), botol semprot, spatula, kaca arloji, pipet tetes, pH meter (MetroHMTM 827), tabung sentrifugasi (15 mL), aluminium foil, hot plate stirrer (CB162 StuartTM) dan batang pengaduk, tabung reaksi, rak tabung reaksi, oven (Innotech), kertas saring Whatman No. 42, *freeze dryer*, *furnace*, desikator, lampu UV, reaktor katalitik, termometer, botol dan selang infus, corong gelas, labu Erlenmeyer (250 mL), gelas kimia (100 mL - 1000 mL), gelas ukur (10 mL - 500 mL), labu ukur (25 mL - 1000 mL), mortar

dan alu, botol vial (20 mL), difraktometer sinar-X (XRD), spektrofotometer DRS, peralatan kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT), dan ultrasonik (D68H).

Sementara itu, bahan-bahan yang digunakan mencakup; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck™), HCl 1 M, *Ti-isopropoxide*, HCl 5%, H_2SO_4 pekat (Merck™), KMnO_4 (Merck™), NaNO_3 , H_2O_2 30%, amonia berair (pH = 12) (Merck™), minyak zaitun, akuades, pektin, kulit pisang kepok, tongkol jagung, buffer asetat, pH indikator, gas hidrogen (BOC 99,99%), NaOH 4%, NaClO_2 1,7%, HNO_3 35%, reagen Fehling, dan asam 2-hidroksi-3,5-dinitrosalisilat/DNS (SigmaAldrich™).

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini melibatkan beberapa langkah, yang mencakup pembuatan nanokatalis, pembuatan nanoselulosa, dan pengujian aktivitas reaksi konversi nanoselulosa menggunakan fotokatalisis.

3.3.1 Preparasi Nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$

Preparasi nanokomposit dilakukan melalui beberapa tahapan yakni :

3.3.1.1 Preparasi grafit dari tongkol jagung

Pembuatan grafit dari tongkol jagung melibatkan dua langkah utama : persiapan serbuk tongkol jagung dan proses karbonisasi. Pertama, tongkol jagung dicuci dengan air mengalir lalu dipotong menjadi potongan kecil-kecil dan dijemur di bawah sinar matahari. Setelah itu potongan tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu $100\text{ }^\circ\text{C}$ selama 1,5 jam dan dihaluskan menjadi serbuk. Sekitar 40 gram serbuk yang sudah dikeringkan diambil dan ditempatkan dalam crucible kemudian ditutup. Selanjutnya, serbuk ini dipanaskan dalam furnace pada suhu $350\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam dengan laju pemanasan sebesar $10\text{ }^\circ\text{C}$ per menit. Setelah proses karbonisasi selesai, serbuk grafit didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan dihaluskan menggunakan mortar untuk digunakan dalam tahap selanjutnya.

Selanjutnya, sebanyak 5 gram arang dimasukkan ke dalam 500 mL air dan diaduk dengan kecepatan putaran sebesar 600 rpm. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kemudian ditambahkan ke dalam larutan, dan kecepatan pengadukan dinaikkan menjadi 900 rpm pada suhu ruang. pH larutan diatur hingga mencapai sekitar 2 dengan pelan-pelan menambahkan HCl (1 M). Larutan tersebut terus diaduk pada suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam. Setelah itu, larutan dipisahkan dengan sentrifugasi untuk memisahkan supernatan dari endapan grafit alami. Endapan ini kemudian dicuci dengan air hingga mencapai pH sekitar 7. Selanjutnya, endapan grafit akhir dikeringkan dalam oven pada suhu $50\text{ }^\circ\text{C}$ (*overnight*) dan kemudian dipanaskan pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam. Hasil dari proses pengeringan ini berupa serbuk grafit yang ditempatkan dalam desikator selama 15 menit. Serbuk grafit ini kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD dan FTIR serta digunakan sebagai bahan baku untuk sintesis grafena oksida (GO).

3.3.1.2 Preparasi nanografena oksida (GO)

Grafena oksida (GO) disiapkan melalui modifikasi metode *Hummer*. Mula-mula 5 gram grafit dan 2,5 gram NaNO_3 dicampur dalam 120 mL H_2SO_4 pekat (95%) dan diaduk menggunakan pengaduk magnetik dengan pemanasan selama 10 menit dalam penangas es pada suhu $0\text{ }^\circ\text{C}$. Selanjutnya, secara perlahan, ditambahkan 15 gram serbuk KMnO_4 dengan menjaga suhu campuran di bawah $5\text{ }^\circ\text{C}$. Suspensi ini kemudian diaduk selama 60 menit sambil dipanaskan selama 2 jam hingga mencapai suhu $98\text{ }^\circ\text{C}$. Selama proses ini, ditambahkan air demi mencapai volume suspensi sebesar 400 mL. Setelah itu, 15 mL H_2O_2 30% ditambahkan ke dalam larutan dan diaduk selama 5 menit. Larutan yang terbentuk kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 4 jam, dan endapannya dicuci dengan larutan HCl 5% dan air demi menghilangkan ion sulfat.

Endapan yang dihasilkan kemudian diresuspensikan dalam 450 mL air dan disonikasi selama 2 jam. Kemudian, suspensi ini dibagi menjadi cairan supernatan dan residu berwarna keemasan dengan sentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Supernatan kemudian disentrifugasi kembali untuk

menghilangkan zat tersuspensi. Endapan akhirnya diultrasonikasi dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga terbentuk nano grafena oksida yang kemudian dianalisis menggunakan XRD.

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

Proses pembuatan nanokatalis dimulai dengan melarutkan 20 gram pektin dalam 400 mL air demi menciptakan larutan homogen menggunakan magnetic stirrer pada suhu kamar, dan ini memakan waktu sekitar 4 jam. Untuk memastikan ikatan logam berlangsung dengan baik, diperlukan penambahan amonia hingga mencapai pH 11 (sifat basa) sebanyak 25-30 mL.

Selanjutnya, 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) ditambahkan secara perlahan dan bersamaan ke dalam larutan pektin, menggunakan selang infus. Proses ini dilakukan sambil terus diaduk dan dipanaskan menggunakan heating *magnetic stirrer* pada suhu 80 °C. Sehingga diperoleh larutan homogen berbentuk gel. Kemudian di freezer-drying untuk menghilangkan uap air dan dikalsinasi secara bertahap sampai suhu 550 °C. $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$ digerus hingga halus menggunakan mortal dan ditimbang untuk digunakan pada tahap selanjutnya.

Tahap berikutnya adalah impregnasi logam. Larutkan 0,0401 gram Ti-isopropoxide dalam 50 mL larutan 2-propanol. Secara perlahan ditambahkan bubuk nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$ kedalam larutan sambil diaduk dan dipanaskan pada suhu 50 °C menggunakan *heating magnetic strrer* hingga homogen dan volume larutan tersebut menyusut. Kemudian dilakukan pengeringan dengan *freezer-dryer* selama 24-48 jam. Selanjutnya, dikalsinasi secara bertahap dengan suhu awal kalsinasi 25 °C. Dinaikkan suhu dengan laju alir 2 °C / menit hingga 250 °C dan tahan selama 2 jam. Kemudian suhu dinaikkan kembali hingga 550 °C dan tahan selama 2 jam. Tahap terakhir, naikkan seuhu kembali hingga mencapai 700 °C dan tahan selama 2 jam. Setelah mencapai suhu yang maksimal, pemanasan

dihentikan dan dibiarkan sampai suhu kamar. Bubuk katalis yang dihasilkan kemudian digerus hingga halus menggunakan mortal agate

Tahap terakhir yaitu imregnasi nGO dengan perbandingan berat $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ (0,7:1). Impregnasi dilakukan dengan cara mendispersikan nGO kedalam akuades. Selanjutnya, ditambahkan katalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3$ secara perlahan menyebar hingga merata sambil disonikasi selama 90 menit. Hasil impregnasi selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C.

3.3.2 Karakterisasi Nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$

3.3.2.1. Analisis fasa kristalin

Penentuan struktur kristal dilakukan menggunakan difraktometer sinar-X tipe Xpret Pro Analytical PW 3040/60. Analisis dilakukan dengan menggunakan radiasi CuK (panjang gelombang 1,541862 Å). Tabung sinar-X dioperasikan pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA. Rentang difraksi diukur dalam rentang sudut 2θ dari 10 hingga 90 derajat, dengan ukuran langkah pemindaian (*scan step size*) sebesar 0,02° /menit. Sampel padat ditempatkan pada penyangga sampel. Kemudian, sumber sinar digerakkan mengelilingi sampel dan menyinari sampel tersebut. Sampel akan memantulkan sinar, yang kemudian ditangkap oleh detektor. Alat perekam mencatat intensitas pantulan sinar pada setiap sudut tertentu. Puncak-puncak yang muncul dalam difraktogram dikenali dengan menggunakan metode pencocokan pencarian (*Search Match*) dengan standar data yang terdapat dalam program *Match Crystal Impact* dan data standar yang ada di JCPDF. Ukuran partikel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Scherrer (Persamaan 1)

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

Keterangan :

D = Ukuran Kristal

λ = Panjang gelombang

k = Konstanta Scherrer

β = Radian (FWHM)

Θ = Sudut difraksi

3.3.2.2. Analisis morfologi

Analisis morfologi katalis dilakukan menggunakan Mikroskop Elektron Terpancarkan (SEM). Sebelumnya, sampel yang akan dianalisis dilapisi dengan lapisan emas, dan kemudian sampel dianalisis dalam mode analisis area. Pada tahap ini, sampel ditembak dengan elektron, dan berkas elektron yang menembus sampel akan dideteksi dan diproses menjadi gambar.

3.3.2.3. Analisis energi *band-gap*

Analisis *band gap* energi dilakukan menggunakan spektrofotometer Shimadzu UV-3600 yang telah diintegrasikan ke dalam tabung dengan diameter 15 cm agar dapat mengukur reflektansi difusi. Sampel yang digunakan untuk pengukuran adalah dalam bentuk serbuk dengan ukuran kurang dari 100 mesh atau sekitar 149 mikron. Absorbansi diukur dalam rentang panjang gelombang 200-800 nm.

3.3.3 Preparasi Nanoselulosa

3.3.3.1. Ekstraksi selulosa dari kulit pisang kepok

Ekstraksi selulosa dimulai dengan memotong kulit pisang kepok kuning menjadi potongan yang lebih kecil, kemudian dicuci hingga bersih dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Kulit pisang yang telah kering kemudian dihaluskan dengan menggunakan blender. Selanjutnya, sebanyak 50 gram bubuk kulit pisang yang dihasilkan dimasukkan ke dalam labu bulat dan dicampurkan dengan larutan NaOH 4%. Campuran ini kemudian direfluks pada suhu antara 100 hingga 120°C selama 2 jam. Hasil dari proses refluks tersebut selanjutnya disaring dan dicuci beberapa kali dengan air demi memisahkan lignin dan hemiselulosa.

Proses selanjutnya adalah proses pemutihan (*bleaching*), yang dilakukan dengan memasukkan selulosa ke dalam labu bundar dan menambahkan 400 mL larutan

NaClO₂ 5,25% serta buffer asetat dengan pH 5. Kemudian, campuran ini direfluks pada suhu antara 110 hingga 130 °C selama 4 jam. Padatan putih yang terbentuk didinginkan dan dicuci dengan air. Selulosa yang diperoleh selanjutnya dikeringkan menggunakan *freeze-dryer* pada suhu -39 °C selama 24 jam (Situmeang, 2021).

3.3.3.2 Pembuatan nanoselulosa

Nanoselulosa disiapkan dengan cara mengambil 10 gram bubuk selulosa dan menemukannya dalam labu bundar berukuran 1 liter. Kemudian, ditambahkan 200 mL larutan HNO₃ 50% ke dalam labu. Larutan ini kemudian diolah dengan proses sonikasi selama 25 jam dan direfluks selama 45 menit pada suhu 60 °C sambil diaduk. Selanjutnya, 200 mL akuabides ditambahkan ke dalam larutan yang telah direfluks, dan kemudian larutan ini didinginkan. Sampel yang telah didinginkan selanjutnya disentrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan 3500 rpm dan dicuci hingga pH mendekati 7. Kemudian, sampel dikeringkan menggunakan *freeze-dryer*. Nanoselulosa yang telah dihasilkan disimpan pada suhu 4 °C sebelum digunakan.

3.3.3 Karakterisasi Nanoselulosa

3.3.3.1. Analisis derajat kristalinitas

Analisis tingkat kristalinitas dilakukan menggunakan alat difraktometer sinar-X (XRD). Sampel nanoselulosa dipindai menggunakan radiasi Cu-K ($\lambda = 1,54186 \text{ \AA}$) dengan sudut 2θ berkisar antara 10 hingga 50°, dengan langkah pemindaian (*scan step size*) sebesar 0,04 dan waktu pemindaian selama 5 menit. Indeks kristalinitas dihitung berdasarkan puncak pada sudut 2θ 200 (I_{002} , $2\theta = 22,6^\circ$) dan intensitas minimum di antara puncak 200 dan 110 (I_{am} , $2\theta = 18^\circ$) dengan menggunakan metode Segal pada persamaan 2. Nilai I_{002} mengindikasikan material yang memiliki sifat kristalin, sedangkan nilai I_{am} mengindikasikan material yang bersifat amorf.

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

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

Konversi nanoselulosa menjadi gula alkohol dilakukan dengan melarutkan sebanyak 0,5 gram nanoselulosa ke dalam 100 mL akuades. Kemudian larutan nanoselulosa di tambahkan dengan 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 dipasang lampu sinar UV (100 Watt), dimana posisi lampu sinar UV dengan rentang jarak 10-15 cm ke permukaan reaktor. Waktu proses iradiasi sinar UV pada konversi selulosa divariasikan yaitu 60, 120, 180, 240, dan 300 menit. Perlakuan yang sama dilakukan untuk uji blanko menggunakan dua larutan nanoselulosa. Larutan nanoselulosa pertama dikonversi dengan iradiasi sinar UV tanpa ditambahkan dengan nanokatalis dan larutan nanoselulosa kedua ditambahkan nanokatalis kemudian dikonversi tanpa menggunakan iradiasi sinar UV. Hal ini dilakukan sebagai pembandingan dari hasil uji katalitik nanoselulosa menggunakan nanokatalis $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ dan iradiasi sinar UV. Hasil konversi nanoselulosa ini dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif

3.3.5 Analisis Hasil Konversi

3.3.5.1 Analisis kualitatif hasil konversi

Analisis kualitatif untuk hasil konversi dilakukan menggunakan reagen Fehling. Sebanyak 1 mL sampel hasil konversi dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Kemudian ditambahkan 1 mL reagen Fehling dan dipanaskan selama 10 menit pada suhu 100°C . Adanya gula pereduksi ditunjukkan dengan terbentuknya endapan Cu_2O berwarna merah bata. Untuk sampel dengan hasil positif, analisis dilanjutkan secara kuantitatif.

3.3.5.2. Analisis kuantitatif hasil konversi

Analisis kuantitatif terhadap hasil konversi dilakukan dengan menggunakan reagen DNS, dan nilai absorbansinya diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Caranya adalah dengan mengambil 1 mL sampel hasil konversi dan

menempatkannya ke dalam tabung reaksi. Selanjutnya, 1 mL reagen DNS ditambahkan ke dalam tabung reaksi, dan campuran dipanaskan dalam penangas air pada suhu 100 °C selama 10 menit. Setelah itu, campuran didinginkan dan diencerkan dengan menambahkan 2 mL akuades. Kemudian, absorbansi larutan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm, dan kadar glukosa ditentukan dengan menggunakan kurva standar glukosa.

3.3.5.3 Analisis dengan kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT)

Hasil uji katalitik dianalisis menggunakan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT) Shimadzu dengan menggunakan air sebagai fase gerak, kolom Shimp-Pack SCR 101 C (7,8 x 250 mm), detektor indeks bias, laju aliran fase gerak sebesar 0,6 mL per menit, dan suhu kolom diatur pada 80 °C (Shimadzu, 2015). Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan jumlah gula alkohol yang dihasilkan dari konversi nanoselulosa. Analisis kualitatif dilakukan dengan membandingkan waktu retensi puncak yang muncul pada sampel dengan waktu retensi puncak gula alkohol standar yang digunakan sebagai pembanding, seperti sorbitol, manitol, dan silitol.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nanoselulosa pada penelitian ini berhasil di preparasi dengan indeks kristalin sebesar 63,33 % dan memiliki ukuran partikel sebesar 18,47 nm.
2. Nano grafena oksida (nGO) telah berhasil disintesis dari tongkol jagung dengan ukuran partikel sebesar 19,6 nm.
3. Nanokomposit $\text{LaCr}_{0,96}\text{Ti}_{0,04}\text{O}_3/\text{nGO}$ (0,7/1) berhasil disintesis dengan metode sol-gel dan dihasilkan ukuran partikel sebesar 41,35 nm, namun belum efektif untuk mengubah nanoselulosa menjadi gula alkohol baik sorbitol, manitol, dan silitol.

5.2. Saran

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

1. Pengembangan metode penetralan pada preparasi nanoselulosa sehingga mendapatkan rendemen yang optimal.
2. Sebelum melakukan analisis HPLC terlebih dahulu dilakukan pemekatan menggunakan pemanasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abou-Hadid, A. F., El-Beairy, U. A., Elmalih, M. M., Amdeha, E., Naggar, A. M. A. E., Taha, M. H., and Hussein, A. E. M. 2023. Conversion of corn shell as biomass solid waste into carbon species for efficient decontamination of wastewater via heavy metals adsorption. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 14(14):1-15.
- Andini, D. M. 2023. Konversi nanoselulosa dari kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.) menjadi gula alkohol menggunakan nanokomposit $\text{LaCr}_{0,99}\text{Ti}_{0,01}\text{O}_3/\text{NHGO}$. Thesis.
- Ariswan, J. U. 2015. Struktur Dan Komposisi Kimia Lapis Tipis Bahan Semikonduktor Aplikasi Sel Surya. *Prepared Using Evaporation Method For Solar Cell Application*. 4(2):198–203.
- Baskan, K. S., Tutem, E., Akyuz, E., Ozen, S., and Apak, R. 2016. Spectrophotometric total reducing sugars assay based on cupric reduction. *Talanta*. 14:162–168.
- 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.
- Chen, X., Qu, Z., Liu, Z., and Ren, G. 2022. Mechanism of Oxidization of Graphite to Graphene Oxide by the Hummers Method. *ACS Omega*. 7(27):23503–23510.
- Dimiev, A. M., Shukhina, K., and Khannanov, A. 2020. Mechanism of the graphene oxide formation. The role of water, “reversibility” of the oxidation, and mobility of the C–O bonds. *Carbon*. 166:1–14.
- Dwandaru, W. S. B., Wijaya, R. I. W., and Parwati, L. D. 2019. Nanomaterial Graphene Oxide Sintesis dan Karakterisasinya. *UNY Press*. 1–156.
- Effendi, D. B., Rosyid, N. H. R., Nandiyanto, A. B. D., dan Mudzakir, A. 2015. Review : Sintesis Nanoselulosa. *Jurnal Integrasi Proses*. 5(2):61–74.
- Fatmawati, D., dan Aritonang, A. B. 2019. Sintesis dan karakterisasi TiO_2 -kaolin menggunakan metode sol gel. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. 8(2):15–21.
- Fitriani, Bahri, S., dan Nurhaeni. 2013. Produksi Bioetanol Tongkol Jagung (*Zea Mays*) dari Hasil Proses Delignifikasi. *Journal of Nature Science*. 2(3):66–74.

- Hakim, L., Dirgantara, M., dan Nawir, M. 2019. Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*. 1(1): 44–51.
- Hartanto, S., dan Ratnawati. 2010. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12(1):12–16.
- Husnah, M., Fakhri, H. A., Rohman, F., Aimon, A. H., and Iskandar, F. 2017. A modified Marcano method for improving electrical properties of reduced graphene oxide (rGO). *Materials Research Express*. 4(6).
- Indriani, D., Fahyuan, H. D., dan Ngatijo, N. 2018. Uji uv-vis lapisan TiO_2/N_2 untuk menentukan band gap energy. *Journal Online of Physics*. 3(2):6–10.
- Jap, J. W., Harmita, dan Suryadi, H. 2014. Optimasi Analisis Campuran Manitol, Sorbitol, dan Xylitol Kromatografi Cair Kinerja Tinggi. *Jurnal Universitas Indonesia*. 1–15.
- Jiang, C. 2014. Hydrolytic hydrogenation of cellulose to sugar alcohols by nickel salts. *Cellulose Chemistry and Technology*. 48(1–2):75–78.
- Kabir, H., Nandyala, S. H., Rahman, M. M., Kabir, M. A., and Stamboulis, A. 2018. Influence of calcination on the sol–gel synthesis of lanthanum oxide nanoparticles. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 124(12).
- Lee, B. D., and Park, M. K. 2014. Effects and safety of xylitol on middle ear epithelial cells. *Journal of International Advanced Otolaryngology*. 10(1):19–24.
- Lestari, P. P. 2019. Biodiesel Dari Sawit Dengan Katalis Kalsinasi Cangkang Kerang Darah. *Ready Star*. 2(1):37–43.
- Mahian, R. A., and Hakimzadeh, V. 2016. Sugar alcohols: A review. *International Journal of PharmTech Research*. 9(7):407–413.
- McCoy, T. M., Turpin, G., Teo, B. M., and Tabor, R. F. 2019. Graphene oxide: a surfactant or particle. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*. 39:98–109.
- Meilianti. 2020. Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tongkol Jagung dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Natrium Karbonat. *Distilasi*. 5(1):14–20.
- Mohanraj, J., Durgalakshmi, D., Balakumar, S., Aruna, P., Ganesan, S., Rajendran, S., and Naushad, M. 2020. Low cost and quick time absorption of organic dye pollutants under ambient condition using partially exfoliated graphite. *Journal of Water Process Engineering*. 34.
- Nam, S., French, A. D., Condon, B. D., and Concha, M. 2016. Segal crystallinity index revisited by the simulation of X-ray diffraction patterns of cotton cellulose I β and cellulose II. *Carbohydrate Polymers*. 135:1–9.

- Novianti, P., dan Setyowati, W. A. eko. 2022. Pemanfaatan Limbah kulit Pisang Sebagai Bahan Baku Pembuatan Kertas Alami Dengan Metode Pemisahan Alkalisasi. *Seminar Nasional Pendidikan Sains*. 459–466.
- Nurjannah, N. R., Sudiarti, T., dan Rahmidar, L. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Termetilasi sebagai Biokomposit Hidrogel. *Al-Kimiya*, 7(1):19–27.
- Oktavian, D., Arifvianto, B., dan Mahardika, M. 2021. Ekstruksi Dan Karakterisasi Filamen Komposit Polylactid Acid (Pla) / Carbon Nano Tube (Cnt). *Jurnal Material Teknologi Proses*. 2(2):12.
- Parapat, R. Y., Saputra, O. H. I., Ang, A. P., Schwarze, M., and Schomäcker, R. 2014. Support effect in the preparation of supported metal catalysts via microemulsion. *RSC Advances*. 4(92).
- Parashar, M., Shukla, V. K., and Singh, R. 2020. Metal oxides nanoparticles via sol–gel method: a review on synthesis, characterization and applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 31(5):3729–3749.
- Praputri, E., Sundari, E., Firdaus, F., dan Sofyan, S. 2018. Penggunaan katalis homogen dan heterogen pada proses hidrolisis pati umbi singkong karet menjadi glukosa. *Jurnal Litbang Industri*. 105–110.
- Puspitasari, D., and Ibrahim, M. 2020. Optimization of EExtracellular Cellulase Activity of Isolate Bacterial EG 2 Isolated from Palm Oilcake (*Elaeis guineensis* jacq.). *LenteraBio*. 9(1):42–50.
- Ratih, D., Siburian, R., and Andriyani. 2018. The performance of graphite/n-graphene and graphene/n-graphene as electrode in primary cell batteries. *Rasayan Journal of Chemistry*. 11(4):1649–1656.
- Raturandang, R., Wenas, D. R., Mongan, S., dan Bujung, C. 2022. Analisis Spektroskopi Ftir Untuk Karakterisasi Kimia Fisik Fluida Mata Air Panas Di Kawasan Wisata Hutan Pinus Tomohon Sulawesi Utara. *Jurnal FisTa : Fisika Dan Terapannya*. 3(1):28–33.
- Sari, F. P., Falah, F., Anita, S. H., Ramadhan, K. P., Laksana, R. P. B., Fatriasari, W., and Hermiati, E. 2020. Pretreatment of oil palm empty fruit bunch (Opefb) at bench-scale high temperature-pressure steam reactor for enhancement of enzymatic saccharification. *International Journal of Renewable Energy Development*. 10(2):157–169.
- Sari, N. W., Fajri, M. Y., dan W, A. 2018. Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa acuminata* (L)). *Ijobb*. 2(1):31.
- Sengupta, R., Bhattacharya, M., Bandyopadhyay, S., and Bhowmick, A. K. 2011. A review on the mechanical and electrical properties of graphite and modified graphite reinforced polymer composites. *Progress in Polymer Science (Oxford)*. 36(5):638–670.

- Sibirian, R., Sihotang, H., Lumban Raja, S., Supeno, M., and Simanjuntak, C. 2018. New route to synthesize of graphene nano sheets. *Oriental Journal of Chemistry*. 34(1):182–187.
- Situmeang, R. 2007. *NiO / LaCrO₃ Prepared By Citric Acid Freeze Drying Method For NO₂ Conversion*. 13(2):144–148.
- Situmeang, R., Tamba, M., Simarmata, E., Yuliarni, T., Simanjuntak, W., Sembiring, Z., and Sembiring, S. 2011. 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).
- Soesilo, D., Santoso, R. E., dan Diyatri, I. 2005. Peranan sorbitol dalam mempertahankan kestabilan pH saliva pada proses pencegahan karies. *Majalah Kedokteran Gigi (Dent. J)*. 38(1):25–28.
- Song, S., Wan, M., Feng, W., Zhang, J., Mo, H., Jiang, X., Shen, H., and Shen, J. 2021. Graphene Oxide as the Potential Vector of Hydrophobic Pesticides: Ultrahigh Pesticide Loading Capacity and Improved Antipest Activity. *ACS Agricultural Science and Technology*. 1(3):182–191.
- Suryanto, A., dan Wahyuni. 2021. Proses Produksi Katalis CaO/ γ -Al₂O₃ Dengan Metode Impregnasi Dalam Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*. 1–8.
- Suryanto, H. 2020. Biokomposit Starch-Nanoclay : Sintesis Dan Karakterisasi. Universitas Negeri Malang. Malang.
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., Hidayat, S., danFitrilawati. 2015. Norman Syakir / 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.
- Velasco-Hernández, A., Esparza-Muñoz, R. A., de Moure-Flores, F. J., Santos-Cruz, J., and Mayén-Hernández, S. A. 2020. Synthesis and characterization of graphene oxide - TiO₂ thin films by sol-gel for photocatalytic applications. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 114.
- Widiastuti, E., dan Marlina, A. 2020. Optimasi Pembuatan Nanoselulosa dari Rumput Alang-Alang. *Fluida*. 13(2):59–64.
- 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.
- Yalcin, S., Galande, C., Kappera, R., Yamaguchi, H., Martinez, U., Velizhanin, A., Doorn, S., Dattelbaum, M., Chhowalla, M., Ajayan, P., Gupta, G., and Mohite, D. 2015. Direct imaging of charge transport in progressively reduced graphene oxide using electrostatic force microscopy. *ACS Nano*. 9(3):