

**PEMANFAATAN KARBON DIOKSIDA DALAM SINTESIS MATERIAL
FUNGSIONAL SIKLIK KARBONAT DAN HIDROGEL DENGAN
KATALIS NiO DAN Cu₂O UNTUK REDUKSI EMISI**

SKRIPSI



Oleh:

SAVIRNA ALINA

NIM 08031182126023

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**PEMANFAATAN KARBON DIOKSIDA DALAM SINTESIS MATERIAL
FUNGSIONAL SIKLIK KARBONAT DAN HIDROGEL DENGAN
KATALIS NIO DAN Cu_2O UNTUK REDUKSI EMISI
SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**

Oleh:

SAVIRNA ALINA

08031182126023

Indralaya, 13 Juli 2025

**Menyetujui,
Pembimbing**

Pembimbing I



Dr. Muhammad Said, M.T

NIP. 197407212001121001

Pembimbing II



Prof. Roni Maryana, Ph.D

NIP. 197911072006041003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D

NIP. 197111191997021001



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Savirna Alina (08031182126023) dengan Judul "Pemanfaatan Karbon Dioksida dalam Sintesis Material Fungsional Siklik Karbonat dan Hidrogel dengan Katalis NiO dan Cu₂O untuk Reduksi Emisi" telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 14 Juli 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai dengan masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 13 Juli 2025

Ketua

1. **Dr. Desnelli, M.Si**
NIP. 196912251997022001

()

Anggota

1. **Dr. Muhammad Said, M.T**
NIP. 197407212001121001
2. **Prof. Roni Maryana, Ph.D**
NIP. 197911072006041003
3. **Dr. Nova Yuliasari, M.Si**
NIP. 197307261999032001

()

()

()

Mengetahui,

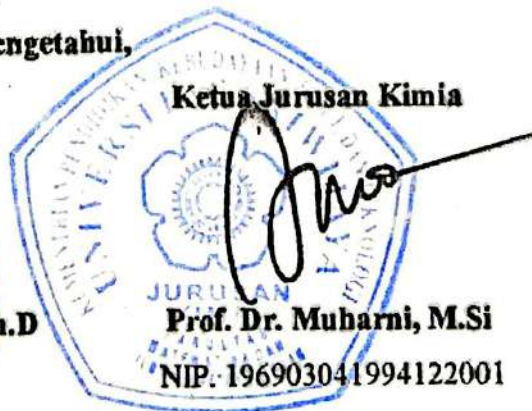
Dekan FMIPA

Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001



Ketua Jurusan Kimia

Prof. Dr. Muharni, M.Si
NIP. 196903041994122001



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Savirna Alina

NIM : 08031182126023

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lebih baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 18 Juli 2025

Yang menyatakan,



Savirna Alina

NIM. 08031182126023

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Savirna Alina

NIM : 08031182126023

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "Pemanfaatan Karbon Dioksida dalam Sintesis Material Fungsional dengan Katalis NiO dan Cu₂O untuk Reduksi Emisi" dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkala data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 18 Juli 2025

Yang menyatakan,



Savirna Alina

NIM. 08031182126023

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui”

(QS. Al-Baqarah 2: 216)

“Sesungguhnya bersama kesulitan pasti ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (Dari suatu urusan) tetaplah engkau bekerja keras (untuk urusan lainnya)”

(QS. Al-Insyirah 94: 6-7)

“Ya Allah, tidak ada kemudahan kecuali sesuatu yang Engkau buat mudah. Dan segala kesedihan dan kesulitan, bila Engkau kehendaki, pasti akan menjadi lebih mudah”

(HR Ibnu Hibban)

“Scary news is you are on your own now but the cool news is you are on your own now”

(Taylor Swift)

“May the odds be ever in your favor”

(Effie Trinket)

Skripsi ini adalah rasa bentuk syukur dan terima kasih kepada Allah SWT dari suri tauladan Rasulullah SAW, dan skripsi ini ku persembahkan untuk:

1. Bapak Rudi Hartono dan Ibu Sri Hastuti tercinta yang menjadi motivasi dan selalu mendukung, mendoakan, menyemangati penulis untuk terus bertahan dan menyelesaikan setiap tugas sampai akhir. Terima kasih telah berjalan bersama hingga akhir dengan penulis.
2. Adik tersayang (Ladreysa Mecca Alexandria, M. Ryuzaki Zufaro Evrard, Aishi Subha Al Saudah, dan Elnara Hafizha) yang selalu ada untuk penulis sebagai teman cerita dan penghibur kala penulis mengalami masa naik turun selama penulisan skripsi. Inshaallah selalu diberikan kemudahan dan kelancaran kalian dalam mengenyam pendidikan.
3. Keluarga besar saya dari pihak mama dan papa yang membantu tanpa pamrih dan mendukung penulis.
4. Dosen pembimbing, Bapak Dr. Muhammad Said, M.T dan Bapak Prof. Roni Maryana, Ph. D
5. Semua orang yang terlibat dalam proses kehidupan studi penulis selama perkuliahan
6. Almamater Universitas Sriwijaya
7. Apresiasi kepada diri sendiri, Savirna Alina

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT dan baginda Nabi Muhammad SAW yang tidak henti-hentinya telah memberikan syafaat, kasih sayang, kesabaran, kekuatan, dan pertolongan kepada penulis sehingga penulis akhirnya dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Pemanfaatan Karbon Dioksida dalam Sintesis Material Fungsional Siklik Karbonat dan Hidrogel dengan Katalis NiO dan Cu₂O Untuk Reduksi Emisi.” Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Penelitian dan penyusunan skripsi ini melalui proses yang tidaklah mudah, penulis menyadari bahwa semua ini dapat terwujud karena bantuan dari berbagai pihak baik materi maupun moril hingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Muhammad Said, M. T. selaku pembimbing I dan Bapak Prof. Roni Maryana, Ph. D selaku pembimbing II atas segala bimbingan, kesabaran dan waktu yang diluangkan kepada penulis selama menjalankan penelitian dan penyusunan skripsi hingga selesai.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW**, karena atas rahmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi dengan lancar.
2. Kedua orang tua tersayang, Papa **Rudi Hartono** dan Mama **Sri Hastuti**, terima kasih atas doa, yang selalu kalian panjatkan untuk ayuk dan terima kasih atas dukungan materi maupun non-materi serta semangat yang selalu kalian berikan. Terima kasih telah memberikan kesempatan untuk ayuk dapat menyelesaikan studi sarjana, terima kasih atas segala perjuangan yang telah diberikan demi kelancaran studi ayuk. Terima kasih sudah percaya dan tetap mendukung ayuk hingga akhir studi ini. Inshaallah mama dan papa selalu diberikan kesehatan, kemudahan dan kelancaran. Aamiin.
3. Adik saya (**Ladreysa Mecca Alexandria, M. Ryuzaki Zufaro Evrard, Aishi Subha Al Saudah dan Elnara Hafizha**) terima kasih sekali atas doa, kasih sayang, dan dukungan selama ini kepada penulis, karena kalian

menjadi salah satu alasan untuk Ayuk bertahan sampai saat ini. Semangat kalian untuk dapat melewati setiap masa kehidupan ini, selalu ingat bahwa usaha tidak mengkhianati hasil, Inshaallah selalu dimudahkan dan diberi kelancaran dalam menghadapi segala permasalahan yang ada, serta ingat bahwa segala sesuatu sudah takdir Allah SWT.

4. Terima kasih kepada **Bude Santi** dan Keluarga (**Nadin, Naya, Mbah Putri dan Pakde Dodi**), penulis sangat bersyukur atas segala kebaikan yang dirasakan selama penulis merantau kuliah. Terima kasih atas kehangatan yang penulis bisa rasakan selama di perantauan dan jauh dari orang tua, sehingga penulis tetap bisa merasakan dekat dengan keluarga karena kalian lah merupakan keluarga ke-2 penulis. Terima kasih atas segala dukungan dan doa yang diberikan kepada penulis, semoga untuk keluarga diberikan kesehatan dan umur panjang serta untuk Nadin dan Naya diberikan kelancaran dalam studi nya. Aamiin.
5. Terima kasih kepada **Keluarga Besar** saya dari pihak mama dan papa yang tidak dapat disebutkan satu-satu, yang telah memberikan semangat, dukungan selama saya kuliah, serta bantuan yang secara langsung membantu kelancaran kuliah penulis.
6. Bapak **Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph. D.** selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
7. Ibu **Prof. Dr. Muharni, M. Si.** dan Bapak **Dr. Addy Rachmat, M. Si.** selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
8. Bapak **Dr. Muhammad Said, M.T.** dan Bapak **Prof. Roni Maryana, Ph.D** selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu memberi masukan, bimbingan, arahan dan saran kepada penulis disaat pengerjaan penelitian dan penulisan skripsi.
9. Bapak **Dr. Erik Budi Santiko** selaku pembimbing lapangan yang telah memberikan ilmu, masukan, bimbingan, dan saran kepada penulis disaat pengerjaan penelitian dan penulisan skripsi.
10. Ibu **Dr. Desneli, M. Si,** Ibu **Prof. Dr. Miksusanti, M. Si** dan Ibu **Dr. Nova Yuliasari, M.Si** selaku dosen penguji yang telah membantu dan

memberikan saran dalam penyelesaian skripsi serta terima kasih juga atas ilmu yang saya dapatkan dari Ibu sekalian.

11. Bapak **Dr. Muhammad Said, M. T** selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan masukan dan saran selama masa perkuliahan penulis sedari awal hingga akhir.
12. Seluruh **Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya** yang telah mendidik, membimbing serta memberikan ilmu nya selama masa perkuliahan.
13. **Mbak Novi dan Kak Iin** selaku admin jurusan kimia, terima kasih telah banyak membantu dan memberikan informasi kepada penulis, sehingga perkuliahan ini dapat selesai dengan baik.
14. **My lovely Stuff**, terima kasih karena sudah membantu penulis dalam perkuliahan ini, rasanya sangat bersyukur penulis bisa tetap menggunakan kalian hingga akhir, stay strong and longer ya, once again, thank youu:)
15. My Friends in another universe (**RM, Jin, Suga, J-Hope, Jimin, V, JK**) thank you for becoming my motivation up to now, cheer the writer with your content and thank you for making me believe that everything impossible will reverse into possible things. I purple you, Borahae.
16. Crackheads Gang (**Atin, Tiyur, Amel, Bahrul, Yunita, Mona, Rhea**) terima kasih untuk selalu ada kebersamai penulis dikala susah dan senang. Break a leg for all of you, guys! See ya in the future!
17. PKG TEAM!! (**Sodip, Sabil, Widya, Winda, Muti, Adel, Diana, Bigha**), terima kasih atas dukungan semangatnya selama ini, yang telah membantu memberikan saran serta masukan baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pembuatan skripsi ini. Thank you for being my bestt friend ever!
18. Alumni SGC (**Atin dan Lu'lu**), terima kasih karena ada kalian penulis bisa survive selama di perantauan kuliah ini, terima kasih pernah menjadi roommate penulis dan good to know you guys! Berbagi cerita selama kuliah, aku berharap kelancaran dan kemudahan dalam studi kalian, Fightingg yaaa...I knoww you guys can do it:)
19. Teman-teman kajian Nurim (**Kak Mutiara dan Kak Anggy**), terima kasih atas dukungan selama virna magang dan yang telah menemani penulis

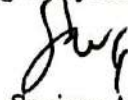
dalam proses hijrah serta penulisan skripsi ini. Sangat bersyukur bertemu dan mengenal kalian, hope we will meet again:)

20. **Lawrenslum 21**, untuk teman-teman angkatan 21 tanpa terkecuali, terima kasih sudah berjuang bersama dari awal hingga akhir.
21. **Team Laboratorium KOICA** (Kak Rini, Kak Aya, Bang Joshua, Rafi, Daffa, Rahul, Mas Ikin, Gilang, Nima, Dinda, Prince, Permata, Tias, Amanda, Dila), terima kasih atas ilmu dan dukungan semangatnya selama ini, sehat terus serta sukses untuk kita semua.
22. Seluruh kakak dan adik tingkat Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya serta semua pihak yang telah membantu memberikan saran dan masukan baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pembuatan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu namanya.
23. **Adeksuh (Risa, Nabila dan Desti)**, semangat terus kuliahnyaa:)
24. Untuk teman aku sejak SMP dan SMA hingga kuliah ini dan selamanya, **Cassandra dan Bahrul**, terima kasih atas dukungan yang kalian berikan selama ini kepada penulis. See you in the future, may Allah gather us in a good way!
25. Last and always! Me! **Savirna Alina**, I give you a huge appreciation for being the strongest and patient person. Thank you for always remember that you are capable to finish this and thank you for always stay here until the last part of this story. I hope, better future will come right to me and all of people. Gracias!

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan saran dan masukan yang membangun dari pembaca. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua, Aamiin ya rabbal alamin.

Indralaya, 18 Juli 2025

Yang menyatakan,


Savirna Alina

SUMMARY

UTILIZATION OF CARBON DIOXIDE IN SYNTHESIS OF FUNCTIONAL MATERIALS CYCLIC CARBONATE AND HYDROGEL WITH NiO AND Cu₂O CATALYS FOR EMISSION REDUCTION

Savirna Alina: Supervised by Dr. Muhammad Said, M.T and Roni Maryana, Ph.D
Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University
xviii + 65 pages, 2 tables, 22 figures, 8 appendices

Carbon dioxide is formed during aerobic combustion of carbon-based substances and is one of the gases that cause the greenhouse effect. The level of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere before the industrial revolution was 280 ppm, which has increased to 424 ppm in November 2024. Efforts made to mitigate carbon dioxide gas are in line with the concept of carbon dioxide capture and conversion (CCUS) which is carried out to emphasize the utilization of carbon dioxide. Therefore, the utilization of carbon dioxide gas into cyclic carbonate and hydrogel in carbon dioxide capture applications is carried out.

This study utilizes carbon dioxide in the synthesis of functional materials cyclic carbonates and hydrogels with NiO and Cu₂O as catalysts. In addition, choline chloride was added as a co-catalyst in the reaction mechanism to help the effectiveness of epoxide ring opening and reacting with carbon dioxide. The catalysts and products were characterized using UV-VIS, FTIR, ¹H-NMR spectroscopy XRD, and TEM. Variables of this carbon dioxide utilization include catalyst and solvent.

The successful capture and conversion of carbon dioxide in sample II found signals at 1811 cm⁻¹ and 1736 cm⁻¹ indicating the presence of carbonyl groups (C=O), while the ¹H-NMR spectrum at 4.83 ppm showed a product proton signal with the characteristic formation of cyclic carbonate with a percent conversion value obtained of 3.85%. In addition, success was shown by sample IV with FTIR characterization found signals 3100-3700 cm⁻¹ indicating the presence of hydroxyl groups (-OH) which are aligned with the product formed and hydrogel has new peak overlapping with initial peak around 1550-1750 cm⁻¹ as indicating crosslinked between carboxymethyl cellulose (CMC) and epichlorohydrin.

Keyword : Carbon dioxide, NiO and Cu₂O catalyst, cyclic carbonate, hydrogel

Citation : 67 (2006-2024)

RINGKASAN

PEMANFAATAN KARBON DIOKSIDA DALAM SINTESIS MATERIAL FUNGSIONAL SIKLIK KARBONAT DAN HIDROGEL DENGAN KATALIS NiO DAN Cu₂O UNTUK REDUKSI EMISI

Savirna Alina: Dibimbing oleh Dr. Muhammad Said, M.T dan Roni Maryana, Ph.D Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya xviii + 65 halaman, 2 tabel, 22 gambar, 8 lampiran

Karbon dioksida terbentuk selama pembakaran aerobik zat berbasis karbon, selain itu menjadi salah satu gas penyebab efek rumah kaca. Tingkat karbon dioksida (CO₂) di atmosfer sebelum revolusi industri adalah 280 ppm yang telah meningkat menjadi 424 ppm pada November 2024. Upaya yang dilakukan untuk mitigasi gas karbon dioksida selaras dengan konsep penangkapan dan konversi karbon dioksida (CCUS) untuk menekankan pemanfaatan karbon dioksida. Oleh karena itu, dilakukan pemanfaatan gas karbon dioksida menjadi siklik karbonat dan hidrogel dalam aplikasi penangkapan karbon dioksida.

Penelitian ini melakukan pemanfaatan karbon dioksida dalam sintesis material fungsioanal siklik karbonat dan hidrogel dengan NiO dan Cu₂O sebagai katalis. Selain itu, dalam mekanisme reaksi ditambahkan kolin klorida sebagai ko-katalis pada reaksi untuk membantu efektivitas pembukaan cincin epoksida dan bereaksi dengan karbon dioksida. Katalis dan produk dikarakterisasi menggunakan XRD, TEM, spektroskopi UV-VIS, FTIR dan ¹H-NMR. Variabel pemanfaatan karbon dioksida ini meliputi katalis dan pelarut.

Keberhasilan penangkapan dan konversi karbon dioksida pada sampel II ditemukan sinyal pada 1811 cm⁻¹ dan 1736 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus karbonil (C=O), sedangkan spektrum ¹H-NMR pada 4,83 ppm menunjukkan sinyal proton produk dengan ciri khas pembentukan siklik karbonat dengan nilai persen konversi yang didapat sebesar 3,85%. Selain itu, keberhasilan ditunjukkan oleh sampel IV dengan karakterisasi FTIR ditemukan sinyal 3100-3700 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus hidroksil (-OH) yang selaras dengan produk terbentuk dan hidrogel memiliki puncak baru yang tumpang tindih dengan puncak awal sekitar 1550-1750 cm⁻¹ mengindikasikan ikatan silang epiklorohidrin dengan karboksimetil selulosa.

Kata kunci : Karbon dioksida, katalis NiO dan Cu₂O, siklik karbonat, hidrogel
Kutipan : 67 (2006-2024)

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	xi
RINGKASAN	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Karbon Dioksida (CO ₂).....	4
2.2. Epoksida.....	4
2.3. Oksida Logam	5
2.3.1. Nikel Oksida (NiO).....	6
2.3.2. Tembaga (I) Oksida (Cu ₂ O)	7
2.4. Karboksimetil Selulosa (CMC).....	8
2.5. Fotokatalisis	9
2.6. Karbonat siklik.....	10
2.7. Hidrogel.....	11
2.8. Karakterisasi.....	12
2.8.1. Spektrofotometri UV-VIS	12

2.8.2.	<i>Proton Nuclear Magnetic Resonance (H-NMR)</i>	13
2.8.3.	<i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	14
2.8.4.	<i>X-Ray Diffractions (XRD)</i>	14
2.8.5.	<i>Transmission Electron Microscope (TEM)</i>	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		16
3.1.	Waktu dan Tempat	16
3.2.	Alat dan Bahan.....	16
3.2.1.	Alat	16
3.2.2.	Bahan	16
3.3.	Cara Kerja	17
3.3.1.	Pembuatan sampel	17
3.3.2.	<i>Bubbling Gas Karbon Dioksida</i>	17
3.3.3.	Fotokatalisis Sampel dengan Sinar UV-A dan Tampak....	18
3.3.4.	Sentrifugasi Sampel.....	18
3.3.5.	Evaporasi pelarut dengan <i>Rotary Evaporator</i>	19
3.3.6.	<i>Freeze-Dryer</i>	19
3.4.	Karakterisasi Katalis	19
3.4.1.	<i>X-Ray Diffractions (XRD)</i>	19
3.4.2.	<i>Transmission Electron Microscope (TEM)</i>	20
3.4.3.	<i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	20
3.5.	Karakterisasi Siklik Karbonat dan Hidrogel	20
3.5.1.	Spektrofotometri UV-VIS	20
3.5.2.	<i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	20
3.5.3.	<i>Proton Nuclear Magnetic Resonance (H-NMR)</i>	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		22
4.1.	Karakterisasi Katalis NiO dan Cu ₂ O.....	22
4.1.1.	Karakterisasi Katalis dengan <i>X-Ray Diffractions (XRD)</i> ..	22
4.1.2.	Karakterisasi Katalis dengan <i>Transmission Electron Microscope (TEM)</i>	24
4.1.3.	Karakterisasi Katalis dengan Spektroskopi FTIR.....	25
4.2.	Aktivitas Fotokatalisis Sampel dan Katalis.....	26
4.3.	Karakterisasi Siklik Karbonat dan Hidrogel	28
4.3.1.	Karakterisasi Produk dengan Spektroskopi UV-Vis	28
4.3.2.	Karakterisasi Produk dengan Spektroskopi FTIR	32

4.3.3. Karakterisasi Produk dengan Spektroskopi ^1H -NMR	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1. Kesimpulan	38
5.2. Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA.....	39
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Struktur Epiklorohidrin (Hussein <i>et al.</i> , 2023).....	5
Gambar 2. Struktur Kristal NiO (Diao <i>et al.</i> , 2020).....	7
Gambar 3. Struktur Kristal Cu ₂ O (Soldemo <i>et al.</i> , 2016).....	7
Gambar 4. Struktur Karboksimetil selulosa (CMC) (Hussein <i>et al.</i> , 2023).....	8
Gambar 5. Dasar reduksi fotokatalisis pada Katalis (Li <i>et al.</i> , 2023).....	9
Gambar 6. Reaksi sikloadisi CO ₂ dengan epoksida (Zhou <i>et al.</i> , 2021).....	10
Gambar 7. Nilai pergeseran kimia pada Spektrum ¹ H-NMR (Jenie <i>et al.</i> , 2014). 13	
Gambar 8. Mekanisme bubbling CO ₂ ke dalam Sampel	18
Gambar 9. Reaktor Fotokatalisis.....	18
Gambar 10. Difraktogram katalis (a) NiO dan (b) Cu ₂ O.....	22
Gambar 11. Karakterisasi TEM katalis (a) NiO dan (b) Cu ₂ O	24
Gambar 12. Karakterisasi spektrum FTIR katalis NiO.....	25
Gambar 13. Karakterisasi spektrum FTIR katalis Cu ₂ O.....	26
Gambar 14. Spektrum UV-Vis Sampel I	29
Gambar 15. Spektrum UV-Vis Sampel II.....	29
Gambar 16. Spektrum UV-Vis Sampel III.....	30
Gambar 17. Spektrum UV-Vis Sampel IV	31
Gambar 18. Spektrum FTIR perbandingan ECH, sampel I dan II.....	32
Gambar 19. Spektrum FTIR perbandingan CMC, sampel III dan IV.....	33
Gambar 20. Spektrum prediksi ¹ H-NMR ECH (kuning) dan produk (biru).....	35
Gambar 21. Prediksi struktur berdasarkan data IR dan ¹ H-NMR.....	35
Gambar 22. Spektrum ¹ H-NMR produk antara CO ₂ dan ECH.....	36

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Komposisi Sampel dengan Jenis Perlakuan.....	17
Tabel 2. Data sudut 2 θ Katalis NiO dan Cu ₂ O.....	23

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	47
Lampiran 2. Reaksi Pemanfaatan Karbon Dioksida	53
Lampiran 3. Karakterisasi XRD Katalis NiO dan Cu ₂ O.....	54
Lampiran 4. Spektrum Karakterisasi FTIR Katalis NiO dan Cu ₂ O	58
Lampiran 5. Percobaan Sampel dengan berbagai Jenis Perlakuan	60
Lampiran 6. Spektrum Karakterisasi FTIR Produk	62
Lampiran 7. Spektrum Karakterisasi ¹ H-NMR.....	64
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian.....	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Inovasi untuk mengurangi gas karbon dioksida (CO_2) di atmosfer sangat penting untuk mencegah dampak buruk pada iklim dikarenakan salah satu gas utama penyebab efek rumah kaca (Claudio-Rizo *et al.*, 2023). Tingkat karbon dioksida di atmosfer sebelum revolusi industri sebesar 280 ppm dan pada awal observatorium Gunung Api Mauna Loa tahun 1957 sebesar 316 ppm (Tyagi *et al.*, 2023), kemudian pada November 2024 meningkat kembali sebesar 424 ppm (NASA). Upaya yang dilakukan untuk mengurangi peningkatan karbon dioksida dengan penggunaan energi terbarukan dan meningkatkan efisiensi energi yang diperkirakan dapat memberikan kontribusi terbesar seperti pada konsep *carbon capture and storage* (CCS) yang telah berkembang menjadi *carbon capture utilization and storage* (CCUS) (Alper and Yuksel Orhan, 2017). Konsep *carbon capture utilization and storage* (CCUS) bertujuan untuk mengatasi peningkatan emisi gas karbon dioksida dan perubahan iklim. Teknologi ini memiliki potensi untuk mengurangi emisi CO_2 , sehingga dijadikan konsep alternatif yang layak untuk pengurangan dan pemanfaatan CO_2 (Madejski *et al.*, 2022).

Kelembaman kinetik dan stabilitas termodinamika karbon dioksida (CO_2) yang kuat menjadi alasan CO_2 berpotensi sebagai bahan baku yang tangguh untuk digunakan dalam pembuatan material baru (Usman *et al.*, 2023). Sintesis siklik karbonat atau polikarbonat melalui reaksi epoksida dengan karbon dioksida menjadi salah satu inovasi penangkapan dan konversi karbon dioksida (Mishra and Peter, 2024). Mengacu pada penelitian Prajapati *et al.*, (2018) aktivitas fotokatalitik sikloadisi CO_2 dengan epoksida menggunakan katalis hibrida CoPC/ TiO_2 di bawah sinar tampak menunjukkan produk berupa siklik karbonat. Reaksi ini sangat menarik dikarenakan mengubah CO_2 menjadi bahan kimia bernilai tambah seperti siklik karbonat, di mana merupakan bahan kimia penting yang banyak digunakan sebagai pelarut aprotik, penghilang lemak, dan elektrolit dalam baterai ion litium (Liang *et al.*, 2021).

Strategi mengurangi dan menangkap karbon dioksida berupa hidrogel telah berkembang menjadi sebuah inovasi dikarenakan kemampuan dan komposisi bahan

ini yang mampu menyerap gas atau bahan lain. Hidrogel tergolong gel yang memiliki matriks polimer ikatan silang tiga dimensi yang telah digunakan dalam berbagai aplikasi (Musliha *et al.*, 2022). Penelitian Han *et al.*, (2015) menjelaskan sintesis hidrogel berbasis polietilenaimin dengan gugus amina yang menghasilkan matriks polimer berpori dan mampu mengurangi konsentrasi CO₂ dalam gas pembakaran dengan kelembapan tinggi. Penelitian ini menggunakan karboksimetil selulosa sebagai polimer yang akan berikatan silang dengan agen pengikat silang seperti epiklorohidrin dengan harapannya menangkap gas CO₂. Sintesis tersebut perlu menambahkan katalis agar dapat melakukan penangkapan dan konversi karbon dioksida.

Oksida logam banyak digunakan sebagai katalis karena kemudahan pembuatan dan stabilitasnya dalam pelarut (Claudio-Rizo *et al.*, 2023). Oksida logam digunakan dalam sintesis siklik karbonat dikarenakan ketersediaan situs asam dan basa, serta karakteristik redoksnya yang memfasilitasi pembentukan kekosongan oksigen dan juga syarat dalam penangkapan karbon dioksida (Mishra and Peter, 2024). Struktur logam oksida semikonduktor, seperti TiO₂, ZnO, CeO₂, ZrO₂ dan SnO₂ telah banyak digunakan karena sifat unik dan potensi aplikasinya dalam katalisis, fotokatalisis, sel surya dan sensor gas (Roy *et al.*, 2016). Penelitian ini menggunakan oksida logam semikonduktor seperti NiO yang telah digunakan secara luas dalam biosensor, katalis dan superkapasitor (Sharma *et al.*, 2021). Selain itu, menggunakan katalis Cu₂O dikarenakan bahan yang ramah lingkungan dan memerlukan biaya sintesis yang rendah sehingga menjadikannya populer untuk digunakan dalam proses fotokatalisis (Lam *et al.*, 2022).

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian pemanfaatan karbon dioksida dalam sintesis material fungsional siklik karbonat dan hidrogel dengan katalis nikel oksida (NiO) dan tembaga (I) oksidasi (Cu₂O) untuk reduksi emisi. Selanjutnya, katalis dan produk dikarakterisasi dengan menggunakan spektrofotometri UV-VIS, *Proton Nuclear Magnetic Resonance* (¹H-NMR), *Fourier Transform Infrared* (FT-IR), *Transmission Electron Microscope* (TEM) dan *X-Ray Diffractions* (XRD).

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana efektivitas konversi karbon dioksida menjadi siklik karbonat berdasarkan hasil karakterisasi FTIR dan $^1\text{H-NMR}$?
2. Bagaimana keberhasilan dari pemanfaatan karbon dioksida dalam sintesis hidrogel sebagai material penangkap karbon berdasarkan hasil karakterisasi FTIR?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis efektivitas konversi karbon dioksida menjadi produk siklik karbonat berdasarkan hasil karakterisasi FTIR dan $^1\text{H-NMR}$.
2. Melakukan sintesis hidrogel dengan agen pengikat silang dan katalis tembaga (I) oksida (Cu_2O), serta mengkarakterisasi produk menggunakan karakterisasi FTIR.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memanfaatkan gas karbon dioksida untuk mengurangi emisi karbon. Selain itu, memberikan informasi bahwa sintesis siklik karbonat dan hidrogel dijadikan inovasi dalam penangkapan dan konversi gas karbon dioksida. Penelitian ini juga diharapkan dapat memanfaatkan potensi tanaman sawit yang ada di Indonesia yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai salah satu sumber selulosa yang dapat disintesis menjadi turunan selulosa berupa *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) yang digunakan dalam pembuatan hidrogel.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, F., Hidayat, R. K., & Meicahayanti, I. (2021). Pengaruh pH, UV Dan TiO₂ Untuk Mendegradasi Variasi Asam Humat Berbasis Fotokatalis. *Jurnal Teknik Lingkungan UNMUL*, 5(2), 9–16.
- Ahmad, S., Sabir, A., & Khan, S. M. (2023). Synthesis and characterization of pectin/carboxymethyl cellulose-based hybrid hydrogels for heavy metal ions adsorption. *Chemical Papers*, 77(8), 4165–4177. <https://doi.org/10.1007/s11696-023-02767-7>
- Arnaut, L., Formosinho, S., & Burrows, H. (2006). *Chemical Kinetics from Molecular Structure to Chemical Reactivity: Chapter 3 Experimental Methods*. Elsevier science.
- Atul, A. K., Srivastava, S. K., Gupta, A. K., & Srivastava, N. (2022). Synthesis and Characterization of NiO Nanoparticles by Chemical Co-precipitation Method: an Easy and Cost-Effective Approach. *Brazilian Journal of Physics*, 52(1), 2–7. <https://doi.org/10.1007/s13538-021-01006-2>
- Barhoum, A., & García-betancourt, M. L. (2018). Chapter 10 - Physicochemical characterization of nanomaterials: size, morphology, optical, magnetic, and electrical properties. In *Emerging Applications of Nanoparticles and Architecture Nanostructures*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-51254-1/00010-5>
- Błazek, K., Datta, J., & Cichoracka, A. (2019). Sustainable synthesis of cyclic carbonates from bio-based polyether polyol: the structure characterization, rheological behaviour and thermal properties. *Polymer International*, 68(12), 1968–1979. <https://doi.org/10.1002/pi.5908>
- Chowdhury, A. H., Bhanja, P., Salam, N., Bhaumik, A., & Islam, S. M. (2018). Magnesium oxide as an efficient catalyst for CO₂ fixation and N-formylation reactions under ambient conditions. *Molecular Catalysis*, 450(November 2017), 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2018.03.003>
- Claudio-Rizo, J. A., Caldera-Villalobos, M. C., Caberera-Munguia, D. A., & Leon-Campos, M. I. (2023). *Hydrogels for CO₂ Reduction: Chapter 9* (A. Kumar & R. Gupta (eds.); 1st Editio, Issue January 2024). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003351566-11>
- Claver, C., Yeamin, M. Bin, Reguero, M., & Bulto, M. M. (2020). Recent Advances in The Use of Catalysts based on Natural Products for the Conversion of CO₂ into Cyclic Carbonates. *Green Chemistry*, 1–65. <https://doi.org/10.1039/D0GC01870H>
- de Lima, G. F., de Souza, A. G., & Rosa, D. dos S. (2020). Nanocellulose as Reinforcement in Carboxymethylcellulose Superabsorbent Nanocomposite Hydrogels. *Macromolecular Symposia*, 394(1). <https://doi.org/10.1002/masy.202000126>
- Delgado-Marín, J. J., Martín-García, I., Villalgordo-Hernández, D., Alonso, F., Ramos-Fernández, E. V., & Narciso, J. (2022). Valorization of CO₂ through

- the Synthesis of Cyclic Carbonates Catalyzed by ZIFs. *Molecules*, 27(22). <https://doi.org/10.3390/molecules27227791>
- Diao, C. C., Huang, C. Y., Yang, C. F., & Wu, C. C. (2020). Morphological, optical, and electrical properties of p-type nickel oxide thin films by nonvacuum deposition. *Nanomaterials*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/nano10040636>
- Fatiha El, G., Baan, R., Straif, K., Grosse, Y., Group, B. S., Bouvard, V., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Freeman, C., Galichet, L., & Coglianò, V. (2009). *Radiation: A Review of Human Carcinogens* (Vol. 100). the International Agency for Research on Cancer.
- Fattima, N., Zahara, A., Mohamood, T., Hali, A. H. A., & Zainuddin, N. (2021). Carboxymethyl Cellulose Hydrogel from Biomass Waste of Oil Palm Empty Fruit Bunch Using Calcium Chloride as Crosslinking Agent. *Polymers*, 13, 1–16.
- Fu, Z., Yang, Q., Liu, Z., Chen, F., Yao, F., Xie, T., & Zhong, Y. (2019). Photocatalytic conversion of carbon dioxide : From products to design the catalysts. *Journal of CO₂ Utilization*, 34(May), 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2019.05.032>
- Ghorpade, V. S. (2020). Preparation of hydrogels based on natural polymers via chemical reaction and cross-Linking. In *Hydrogels Based on Natural Polymers*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816421-1.00004-5>
- Haider, A. J., Anbari, R. A.-, Sami, H. M., & Haider, M. J. (2019). Photocatalytic Activity of Nickel Oxide. *Integrative Medicine Research*, 8(3), 2802–2808. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.02.018>
- Han, J., Du, Z., Zou, W., Li, H., & Zhang, C. (2015). Moisture-Responsive Hydrogel Impregnated in Porous Polymer Foam as CO₂ Adsorbent in High-Humidity Flue Gas. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 54(31), 7623–7631. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b01305>
- He, J., Jiang, Y., Peng, J., Li, C., Yan, B., & Wang, X. (2016). Fast synthesis of hierarchical cuprous oxide for nonenzymatic glucose biosensors with enhanced sensitivity. *Journal of Materials Science*, 51(21), 9696–9704. <https://doi.org/10.1007/s10853-016-0202-3>
- Hidayat, S., Ardiaksa, P., Riveli, N., & Rahayu, I. (2018). Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose (CMC) from salak-fruit seeds as anode binder for lithium-ion battery. *Journal of Physics: Conference Series*, 1080(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1080/1/012017>
- Hussein, H. M., Al-Timimi, H., & Jawad, Y. M. (2023). The Properties, Preparation and Applications for Carboxymethyl Cellulose (CMC) Polymer: A Review. *Diyala Journal for Pure Science*, 18(4), 147–159. <https://doi.org/10.24237/djps.1804.608C>
- Jain, N., Kejariwal, M., Chowdhury, F. I., Noor, I. M., Savilov, S., Yahya, M. Z. A., Diantoro, M., & Singh, P. K. (2024). Synthesis, characterization and application of hydrogel for cancer treatment. *Chemical Physics Impact*,

- 9(June), 100737. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2024.100737>
- Jampi, A. L. W., Chin, S. F., Wasli, M. E., & Chia, C. H. (2021). Preparation of Cellulose Hydrogel from Sago Pith Waste as a Medium for Seed Germination. *Journal of Physical Science*, 32(1), 13–26. <https://doi.org/10.21315/JPS2021.32.1.2>
- Jenie, U. A., Kardono, L. B. S., Hanafi, M., Rumampuk, R. J., & Darmawan, A. (2014). Teknik Modern Spektroskopi NMR : Teori dan Aplikasi dalam Elusidasi Struktur Molekul Organik. In *LIPI Press*. <http://penerbit.lipi.go.id/data/naskah1431501339.pdf>
- Karame, I., Shaya, J., & Srour, H. (2018). *Carbon Dioxide Chemistry, Capture and Oil Recovery*. IntechOpen: London.
- Ku, Y., Yan, L., & Luong, G. K. T. (2020). Reduction of dissolved carbon dioxide in aqueous solution by UV-LED / TiO₂ process under periodic illumination. *Journal of CO₂ Utilization*, 41(April), 101283. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101283>
- Kumar, B. R., Hymavathi, B., & Rao, T. S. (2017). Structural and Optical Properties of Nanostructured Cu₂O Thin Films for Optoelectronic Devices. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 3903–3910. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.289>
- Lam, N. H., Smith, R. P., Le, N., Thuy, C. T. T., Tamboli, M. S., Tamboli, A. M., Alshehri, S., Ghoneim, M. M., Truong, N. T. N., & Jung, J. H. (2022). Evaluation of the Structural Deviation of Cu/Cu₂O Nanocomposite Using the X-ray Diffraction Analysis Methods. *Crystals*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/cryst12040566>
- Lan, D., Wang, H., Chen, L., Au, C., & Yin, S. (2016). Phosphorus-modified Bulk Graphitic Carbon Nitride: Facile Preparation and Application as an Acid-Base Bifunctional and Efficient Catalyst for CO₂ Cycloaddition with Epoxides. *Carbon*, 100(1), 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2015.12.098>
- Li, X., Xiong, J., Tang, Z., He, W., Wang, Y., Wang, X., Zhao, Z., & Wei, Y. (2023). Recent Progress in Metal Oxide-Based Photocatalysts for CO₂ Reduction to Solar Fuels: A Review. *Molecules*, 28(4), 1–33.
- Liang, J., Wu, Q., Huang, Y. B., & Cao, R. (2021). Reticular frameworks and their derived materials for CO₂ conversion by thermo-catalysis. *EnergyChem*, 3(6). <https://doi.org/10.1016/j.enchem.2021.100064>
- Lin, Q., Chang, J., Gao, M., & Ma, H. (2017). Synthesis of magnetic epichlorohydrin cross-linked carboxymethyl cellulose microspheres and their adsorption behavior for methylene blue. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 52(2), 106–116. <https://doi.org/10.1080/10934529.2016.1237117>
- Liu, F., Gu, Y., Xin, H., Zhao, P., Gao, J., & Liu, M. (2019). Multifunctional Phosphonium-Based Deep Eutectic Ionic Liquids: Insights into Simultaneous

- Activation of CO₂ and Epoxide and Their Subsequent Cycloaddition. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(19), 16674–16681. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b04090>
- Lu, X.-B. (2016). *Carbon Dioxide and Organometallic*. Springer International Publishing: China.
- Lu, Q., Li, Y., Shi, S., Zhao, J., Ji, Y., Wang, H., Chen, T., Zhao, Y., Liu, L., & Li, L. (2018). First-principles Study on Photocatalytic Properties of Cu₂O with Different Co Doped Concentrations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 189(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/189/3/032056>
- Madejski, P., Chmiel, K., Subramanian, N., & Kus, T. (2022). Methods and Techniques for CO₂ Capture : Review of Potential. *Energies*, 15(887), 1–21.
- Maryana, R., Bardant, T. B., Ihsan, D. M., Das, A. K., Irawan, Y., Rizal, W. A., Triwahyuni, E., Muryanto, Utami, A. R. I., & Sudiyani, Y. (2024). Reducing sugars and bioethanol production from oil palm empty fruit bunch by applying a batch and continuous pretreatment process with low temperature and pressure. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(10), 11155–11164. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03138-0>
- Maryana, R., Eka, M., Oktaviani, T., Hafiizh, O., Atanu, P., & Das, K. (2022). Extraction of Cellulose Acetate from Cajuput (*Melaleuca leucadendron*) Twigs and Sugarcane (*Saccharum officinarum*) Bagasse by Environmentally Friendly Approach. *Waste and Biomass Valorization*, 13(3), 1535–1545. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01610-y>
- Mishra, V., & Peter, S. C. (2024). A comprehensive overview of the catalytic pathway for CO₂ utilization with epoxide to cyclic carbonate. *Chem Catalysis*, 4(1), 100796. <https://doi.org/10.1016/j.checat.2023.100796>
- Moavi, J., Buazar, F., & Sayahi, M. H. (2021). Algal magnetic nickel oxide nanocatalyst in accelerated synthesis of pyridopyrimidine derivatives. *Scientific Reports*, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85832-z>
- Mota, L. O., & Gimenez, I. F. (2023). Cellulose-Based Materials Crosslinked with Epichlorohydrin: A Mini Review. *Revista Virtual de Quimica*, 15(1), 159–170. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20220071>
- Musliha, S., Ghani, M., Enna, X., Kumeressan, R., & Ekmi, N. (2022). Improved Hydrogel as Potential Carbon Dioxide Adsorbent. *Chemical Engineering Transactions*, 97, 457–462. <https://doi.org/10.3303/CET2297077>
- Mustafa, F., Aslam, S., Jamil, A., & Ahmad, M. A. (2017). Synthesis and characterization of wide band gap nickel oxide (NiO) powder via a facile route. *Optik*, 140, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.04.029>
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science & Technology*, 4(1), 97–118.

- Nasrollahzadeh, M., Atarod, M., Sajjadi, M., Sajadi, S. M., & Issaabadi, Z. (2019). Plant-Mediated Green Synthesis of Nanostructures: Mechanisms, Characterization, and Applications. In *Interface Science and Technology* (1st ed., Vol. 28). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00006-7>
- Padmanabhan, S. K., Lamanna, L., Friuli, M., Sannino, A., Demitri, C., & Licciulli, A. (2023). Carboxymethylcellulose-Based Hydrogel Obtained from Bacterial Cellulose. *Molecules*, 28(2). <https://doi.org/10.3390/molecules28020829>
- Parid, D. M., Aliaa, N., Rahman, A., Baharuddin, A. S., & Mohammed, M. A. P. (2018). Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Cellulose from Oil Palm Empty Fruit Bunch Stalk Fibres. *Bioresources*, 13(1), 2018. <https://doi.org/10.15376/biores.13.1.535-554>
- Pescarmona, P. P. (2021). Cyclic carbonates synthesised from CO₂: Applications, challenges and recent research trends. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 29, 100457. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100457>
- Pitaloka, A. B., Rukmana, A. S., & Nur'afiani, T. Y. (2021). Synthesis and Characterization of Carboxy Methyl Cellulose-Based Hydrogel Cross-linked with Citric Acid. *World Chemical Engineering Journal*, 5(1), 7. <https://doi.org/10.48181/wcej.v5i1.12082>
- Prajapati, P. K., Kumar, A., & Jain, S. L. (2018). First photocatalytic synthesis of cyclic carbonates from CO₂ and epoxides using CoPc/TiO₂ hybrid under mild conditions. *Sustainable Chemistry and Engineering*, 6(6), 1–35. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b00755>
- Ramos, M. I. T., Martín-Camacho, U. de J., Sánchez-Burgos, J. A., Ghotekar, S., González-Vargas, O. A., Fellah, M., & Pérez-Larios, A. (2024). Cu₂O Nanoparticles as Nanocarriers and Its Antibacterial Efficacy. *Pharmaceuticals*, 17(9), 1124. <https://doi.org/10.3390/ph17091124>
- Rehman, A., Eze, V. C., Resul, M. F. M. G., & Harvey, A. (2019). Kinetics and mechanistic investigation of epoxide/CO₂ cycloaddition by a synergistic catalytic effect of pyrrolidinopyridinium iodide and zinc halides. *Journal of Energy Chemistry*, 37, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2018.11.017>
- Roy, S., Banerjee, B., & Bhaumik, A. (2016). CO₂ fixation at atmospheric pressure : porous ZnSnO₃ nanocrystals as a highly efficient catalyst for the synthesis of cyclic carbonates. 31153–31160. <https://doi.org/10.1039/c6ra02969h>
- Sabouri, Z., Fereydouni, N., Akbari, A., Hosseini, H. A., Hashemzadeh, A., Amiri, M. S., Kazemi Oskuee, R., & Darroudi, M. (2020). Plant-based synthesis of NiO nanoparticles using salvia macrosiphon Boiss extract and examination of their water treatment. *Rare Metals*, 39(10), 1134–1144. <https://doi.org/10.1007/s12598-019-01333-z>
- Saputra, A. H., Hapsari, M., Pitaloka, A. B., Wulan, P. P. D. K., & Indonesia, U.

- (2015). Synthesis And Characterization Of Hydrogel From Cellulose Derivatives Of Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) Through Chemical Cross-Linking Method By Using Citric Acid. *Journal of Engineering Science and Technology*, 21, 75–86.
- Shang, G., Tang, L., Wu, G., Yuan, S., Jia, M., Guo, X., Zheng, X., Wang, W., Yue, B., & Teng, K. S. (2023). High-Performance NiO/TiO₂/ZnO Photovoltaic UV Detector. *Sensors*, 23(2741), 1–7.
- Sharma, P. K., Singh, M. K., Sharma, G. D., & Agrawal, A. (2021). NiO nanoparticles : Facile route synthesis , characterization and potential towards third generation solar cell. *Materials Today: Proceedings*, 43, 3061–3065. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.400>
- Siddig, L. A., Alzard, R. H., Nguyen, H. L., & Alzamly, A. (2022). Cyclic carbonate formation from cycloaddition of CO₂ to epoxides over bismuth subgallate photocatalyst. *Inorganic Chemistry Communications*, 142(June), 109672. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.109672>
- Soldemo, M., Stenlid, J. H., Besharat, Z., Ghadami Yazdi, M., Önsten, A., Leygraf, C., Göthelid, M., Brinck, T., & Weissenrieder, J. (2016). The Surface Structure of Cu₂O(100). *Journal of Physical Chemistry C*, 120(8), 4373–4381. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b11350>
- Speight, J. G. (2017). Sources and Types of Inorganic Pollutants. In *Environmental Inorganic Chemistry for Engineers*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-849891-0.00005-9>
- Tyagi, P., Singh, D., Malik, N., Kumar, S., & Malik, R. S. (2023). Metal catalyst for CO₂ capture and conversion into cyclic carbonate : Progress and challenges. *Materials Today*, 65(May), 133–165. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2023.02.029>
- Usman, M., Rehman, A., Saleem, F., Abbas, A., Eze, V. C., & Harvey, A. (2023). Synthesis of cyclic carbonates from CO₂ cycloaddition to bio-based epoxides and glycerol: an overview of recent development. *RSC Advances*, 13(33), 22717–22743. <https://doi.org/10.1039/d3ra03028h>
- Wang, M., Jia, X., Liu, W., & Lin, X. (2021). Water insoluble and flexible transparent film based on carboxymethyl cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 255(October 2020), 117353. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117353>
- Yadav, P. V. K., Ajitha, B., Annapureddy, V., Reddy, Y. A. K., & Sreedhar, A. (2021). Improved UV photodetector performance of NiO films by substitutional incorporation of Li. *Materials Letters*, 301(March), 130296. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.130296>
- Yudono, B. (2017). *Spektrofotometri*. SIMETRI: Palembang.
- Zaid, A. A. A., Ahmed, L. M., & Mohammad, R. (2022). Synthesis of Inverse Spinel Nickel Ferrite Like-Broccoli Nanoparticle and Thermodynamic Study of Photo-decolorization of Alkali Blue 4B dye. *Journal Nanostruct*, 12(3), 697–710. <https://doi.org/10.22052/JNS.2022.03.022>

Zhou, L., Sun, W., Yang, N., Li, P., Gong, T., Sun, W., & Sui, Q. (2021). A Facile and Versatile “ Click ” Approach Toward Multifunctional Ionic Metal – organic Frameworks for Efficient Conversion of CO₂. *ChemPubSoc Europe*, 12(1), 2202–2210. <https://doi.org/10.1002/cssc.201802990>