

**GREEN-SYNTHESIS NANOPARTIKEL NIKEL OKSIDA  
MENGUNAKAN PAKCOY (*Brassica rapa* L.) DAN  
PEMANFAATANNYA SEBAGAI ADSORBEN LOGAM  
TEMBAGA ( $\text{Cu}^{2+}$ )**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh  
Sebagai Beban Studi Mem peroleh Gelar Sarjana dalam Ilmu  
Teknik Lingkungan**

**Diajukan oleh:**

**SAYED ABDUL JABBAR**

**NIM. 190702082**

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi  
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY  
DARUSSALAM BANDA ACEH  
2023 M/1445 H**

**LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR**

**GREEN-SYNTHESIS NANOPARTIKEL NIKEL OKSIDA  
MENGUNAKAN PAKCOY (*Brassica rapa* L.) DAN  
PEMANFAATANNYA SEBAGAI ADSORBEN LOGAM  
TEMBAGA ( $\text{Cu}^{2+}$ )**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh  
Sebagai salah satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)  
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Diajukan oleh:  
**Sayed Abdul Jabbar**  
**NIM. 190702082**

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi**  
**Program Studi Teknik Lingkungan**

Disetujui untuk dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.

NIDN. 2013128901

Arief Rahman, M.T.

NIDN. 2010038901

Mengetahui,

**Ketua Program Studi Teknik Lingkungan**



Husnawati Yahya, M.Sc.

NIDN. 2009118301

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**GREEN-SYNTHESIS NANOPARTIKEL NIKEL OKSIDA  
MENGUNAKAN PAKCOY (*Brassica rapa* L.) DAN  
PEMANFAATANNYA SEBAGAI ADSORBEN LOGAM  
TEMBAGA (Cu<sup>2+</sup>)**

**TUGAS AKHIR**

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh  
serta Diterima sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)  
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Jumat, 22 Desember 2023  
09 Jumadil Akhir 1445

di Darussalam, Banda Aceh  
Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.  
NIDN. 2013128901

Arief Rahman, M.T.  
NIDN. 2010038901

Penguji I,

Penguji II,

Muslich Hidayat, M.Si.  
(NIDN. 2002037902)

Aulia Rohendi, M.Sc.  
NIDN. 2010048202

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU  
NIP. 196210021988111001

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sayed Abdul Jabbar  
NIM : 190702082  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh  
Judul Skripsi : *Green-Synthesis* Nanopartikel Nikel Oksida menggunakan Pakcoy (*Brassica Rapa* L.) dan Pemanfaatannya sebagai Adsorben Logam Tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ )

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data; dan
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh. R - R A N I R Y

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 22 Desember 2023  
Yang Menyatakan,



Sayed Abdul Jabbar  
190702082

## ABSTRAK

Nama : Sayed Abdul Jabbar  
NIM : 190702082  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul : *Green-Synthesis* Nanopartikel Nikel Oksida menggunakan Pakcoy (*Brassica Rapa L.*) dan Pemanfaatannya sebagai Adsorben Logam Tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ )  
Tanggal Sidang : 22 Desember 2023  
Jumlah : 79 halaman  
Halaman  
Pembimbing I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc  
Pembimbing II : Arief Rahman, M.T  
Kata Kunci : *Green-synthesis*, Nanopartikel, Nikel Oksida, Pakcoy, dan Adsorben

Air limbah yang mengandung logam tembaga (Cu) merupakan isu penting yang memiliki dampak signifikan pada lingkungan dan kesehatan manusia. Sumber pencemaran air oleh logam tembaga di antaranya kegiatan industri, pertambangan, dan penggunaan produk sehari-hari yang mengandung tembaga, seperti pestisida dan fungisida. Salah satu upaya untuk meminimalisir dampak logam tembaga adalah metode adsorpsi menggunakan nanopartikel NiO dengan memanfaatkan tumbuhan pakcoy (*Brassica rapa L.*). Pakcoy diketahui memiliki sifat hiperakumulator yang terbukti memiliki struktur akar yang kuat, dan toleransi yang tinggi terhadap logam berat seperti Cu dan Hg. Adsorben nanopartikel NiO dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX, FTIR, dan XRD. Hasil uji SEM-EDX menunjukkan nanopartikel berbentuk heksagonal berpori, sferikal, dan cenderung teraglomerasi dengan luas permukaan rata-rata pori adsorben adalah 12 nm. Hasil uji FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi NiO pada puncak bilangan gelombang  $530\text{ cm}^{-1}$ , adapun analisis XRD menunjukkan bahwa puncak dominan terbentuk pada sudut  $45^\circ$  dengan intensitas 700 cps, mengindikasikan kurva mineral  $\text{NiO}_2$ . Hasil uji adsorpsi menunjukkan bahwa penurunan kadar logam Cu mencapai 95,056%, dengan variasi pH 7. Konsentrasi awal Cu sebesar 50 ppm mengalami penurunan menjadi 2,472 ppm, dengan menggunakan massa nanopartikel sebanyak 0,7 gram. Berdasarkan uji isoterm, adsorpsi logam Cu menggunakan nanopartikel NiO mengikuti model isoterm Freundlich yaitu  $R^2 = 0,86034$ , dibandingkan dengan linieritas isoterm Langmuir yaitu  $R^2$  sebesar 0,8592.

## ABSTRACT

*Name* : Sayed Abdul Jabbar  
*Student ID Number* : 190702082  
*Department* : Environmental Engineering  
*Title* : Green Synthesis of Nickel Oxide Nanoparticles Using Pakcoy (*Brassica Rapa L.*) and Their Use as a Copper Metal ( $\text{Cu}^{2+}$ ) Adsorbent  
*Date of Session* : 22 December 2023  
*Number of page* : 79 pages  
*Advisor I* : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc  
*Advisor II* : Arief Rahman, M.T  
*Keywords* : Green-synthesis, Nanoparticles, Nickel Oxide, Pakcoy, and Adsorbent

Wastewater containing copper metal (Cu) metal is an important issue that has a significant impact on the environment and human health. Sources of water pollution by copper metal include industrial activities, mining, and the use of daily products that contain copper, such as pesticides and fungicides. One effort to minimize the impact of copper metal is the adsorption method using NiO nanoparticles by utilizing the pak choy plant (*Brassica rapa L.*). Pakcoy is known to have hyperaccumulator properties which are proven to have a strong root structure and high tolerance to heavy metals such as Cu and Hg. The NiO nanoparticle adsorbent was characterized using SEM-EDX, FTIR, and XRD. The SEM-EDX test results show that the nanoparticles are hexagonal in shape, porous, spherical, and tend to agglomerate with an average surface area of the adsorbent pores of 12 nm. FTIR test results show the presence of the NiO functional group at a peak wave number of  $530 \text{ cm}^{-1}$ , while XRD analysis shows that the dominant peak is formed at an angle of  $45^\circ$  with an intensity of 700 cps, indicating a  $\text{NiO}_2$  mineral curve. The results of the adsorption test showed that the reduction in Cu metal content reached 95.056%, with a pH variation of 7. The initial Cu concentration of 50 ppm decreased to 2.472 ppm, using a nanoparticle mass of 0.7 grams. Based on the isotherm test, the adsorption of Cu metal using NiO nanoparticles follows the Freundlich isotherm model, namely  $R^2 = 0.86034$ , compared to the linearity of the Langmuir isotherm, namely  $R^2$  of 0.8592.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis ucapkan kepada Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat dan Karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini. Selawat dan salam penulis mohonkan kepada Allah Swt., semoga disampaikan kepada junjungan kita Nabi Muhammad saw. yang telah memberikan jalan yang terang dan petunjuk kepada kita semua.

Ucapan rasa syukur kepada Allah Swt. karena tugas akhir ini telah dapat penulis selesaikan. Penulis mengangkat judul tugas akhir yaitu “*Green-Synthesis Nanopartikel Nikel Oksida menggunakan Pakcoy (*Brassica rapa* L.) dan Pemanfaatannya sebagai Adsorben Logam Tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ )*”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata I pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Tugas akhir ini telah penulis susun dengan maksimal yang melibatkan bantuan dari berbagai pihak sehingga dapat memperlancar pembuatan tugas akhir dari awal sampai dengan selesai. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada Ayahanda Said Munawar dan Ibunda Syarifah Rohaya selaku kedua orang tua dari penulis yang telah senantiasa mendukung dan memberikan semangat dalam pembuatan tugas akhir ini. Kemudian, penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc. selaku Kepala Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

4. Bapak Mulyadi Abdul Wahid, S.T., M.Sc. selaku dosen Pembimbing Akademik Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
5. Dr. Abd. Mujahid Hamdan, M.Sc. selaku dosen pembimbing I, terima kasih atas segala arahan dan bimbingannya dalam penulisan tugas akhir.
6. Bapak Arief Rahman, M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penulisan tugas akhir dan selaku dosen penguji II penulis dalam pelaksanaan seminar proposal tugas akhir.
7. Ibu Syafrina Sari Lubis, M.Si. dan Dr. Khairun Nisah, S.T., M.Si. selaku dosen penguji penulis dalam pelaksanaan seminar proposal tugas akhir, terima kasih atas segala arahan dan bimbingannya.
8. Seluruh dosen selingkupan Program Studi Teknik Lingkungan yang telah memberikan dan mengajarkan ilmu kepada penulis.
9. Ibu Firda Elvisa, S.E., dan Ibu Nurul Huda, S.Pd. yang telah membantu dalam proses administrasi.
10. Ibu Nurul Huda, S.Pd., selaku laboran Teknik Lingkungan yang telah banyak membantu dalam pengurusan pelaksanaan penelitian di laboratorium.
11. Aisha Shakira, Luthfi, Ama Mullah, Ayu Suriani, Zarifatul Maufunna, Hidayatullah, Asti Farhani Octavianty, dan Maulizul Barzan yang selalu membantu dan memberikan semangat.
12. Kak Zahratul Maulida selaku penyelia penelitian tugas akhir, terima kasih atas segala arahan dan bimbingannya dalam penulisan tugas akhir.
13. Zahrul Bawadi, Munzirin, Dharma Dinamika, Arifan Muammar Alif, M. Farid Ramadhan, Farid Wajdi, M. Syahridha A., Raihan Khairunnisa, Zalva Zanira Amri, Putri Raiyana Fadhila, Annisa Humaira, dan Sarah Nadia yang selalu membantu dan memberikan semangat.
14. Teman seangkatan Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh 2019.
15. Para sahabat dan teman yang selalu membantu dan memberikan semangat.

Penulis berharap Allah Swt. berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu penulisan tugas akhir. Semoga tugas akhir ini dapat menjadi manfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya. Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk kesempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Banda Aceh, 22 Desember 2023

Penulis,

Sayed Abdul Jabbar



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG .....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Penelitian .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Tumbuhan Pakcoy.....	7
2.2 Nanopartikel NiO .....	8
2.3 Green-Synthesis .....	9
2.4 Adsorpsi .....	10
2.4.1 Jenis-Jenis Adsorpsi.....	11
2.4.2 Analisis Kinetika Adsorpsi .....	12
2.4.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Proses Adsorpsi ...	13
2.4.4 Adsorben.....	13
2.5 Logam Berat.....	14
2.6 Karakterisasi Nanopartikel .....	15
2.6.1 XRD (X-Ray Diffraction).....	15

2.6.2 FTIR (Fourier Transform Infra-Red).....	15
2.6.3 SEM-EDX (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray) .....	16
2.7 Penelitian Terdahulu .....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1 Rancangan Penelitian .....	19
3.2 Preparasi Ekstraksi Pakcoy dan Larutan NiO .....	20
3.2.1 Preparasi Ekstraksi Pakcoy .....	20
3.2.2 Preparasi Larutan Logam Ni.....	20
3.3 Alat dan Bahan .....	20
3.4 Prosedur Eksperimen <i>Green-synthesis</i> NiO menggunakan Ekstrak Daun Pakcoy .....	21
3.5 Teknik Karakterisasi Nanopartikel NiO menggunakan Ekstrak Daun Pakcoy.....	22
3.5.1 XRD (X-Ray Diffraction).....	22
3.5.2 FTIR (Fourier Transform Infra-Red).....	23
3.5.3 SEM-EDX (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray) .....	23
3.6 Eksperimen Penyisihan Logam.....	23
3.6.1 Pembuatan Larutan Cu Artifisial .....	23
3.6.2 Preparasi Adsorpsi Limbah Logam Cu menggunakan Nanopartikel NiO.....	24
3.6.3 Alat dan Bahan untuk Eksperimen Adsorpsi.....	25
3.7 Analisis Kinetika Adsorpsi .....	26
3.7.1 Kinetika Adsorpsi Model Langmuir .....	26
3.7.2 Kinetika Adsorpsi Model Freundlich .....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
4.1 Karakterisasi Nanopartikel NiO menggunakan Daun Pakcoy	28
4.1.1 Hasil Analisis Scanning Electron Microscopy dan Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) .....	28
4.1.2 Analisis EDX pada Nanopartikel NiO.....	32

4.1.3 Analisis Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR) pada Nanopartikel NiO .....	33
4.1.4 Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) pada Nanopartikel NiO .....	36
4.2 Efektivitas nanopartikel NiO menggunakan Daun Pakcoy .....	37
4.2.1 Pengaruh pH Larutan terhadap Adsorpsi Kadar Logam.....	37
4.2.2 Pengaruh Massa Nanopartikel terhadap Adsorpsi Kadar Logam.....	38
4.2.3 Pengaruh Konsentrasi Logam Awal terhadap Adsorpsi Kadar Logam.....	39
4.2.4 Isoterm Adsorpsi Logam Cu menggunakan Nanopartikel .....	40
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>42</b>
5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran.....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>44</b>



## DAFTAR GAMBAR

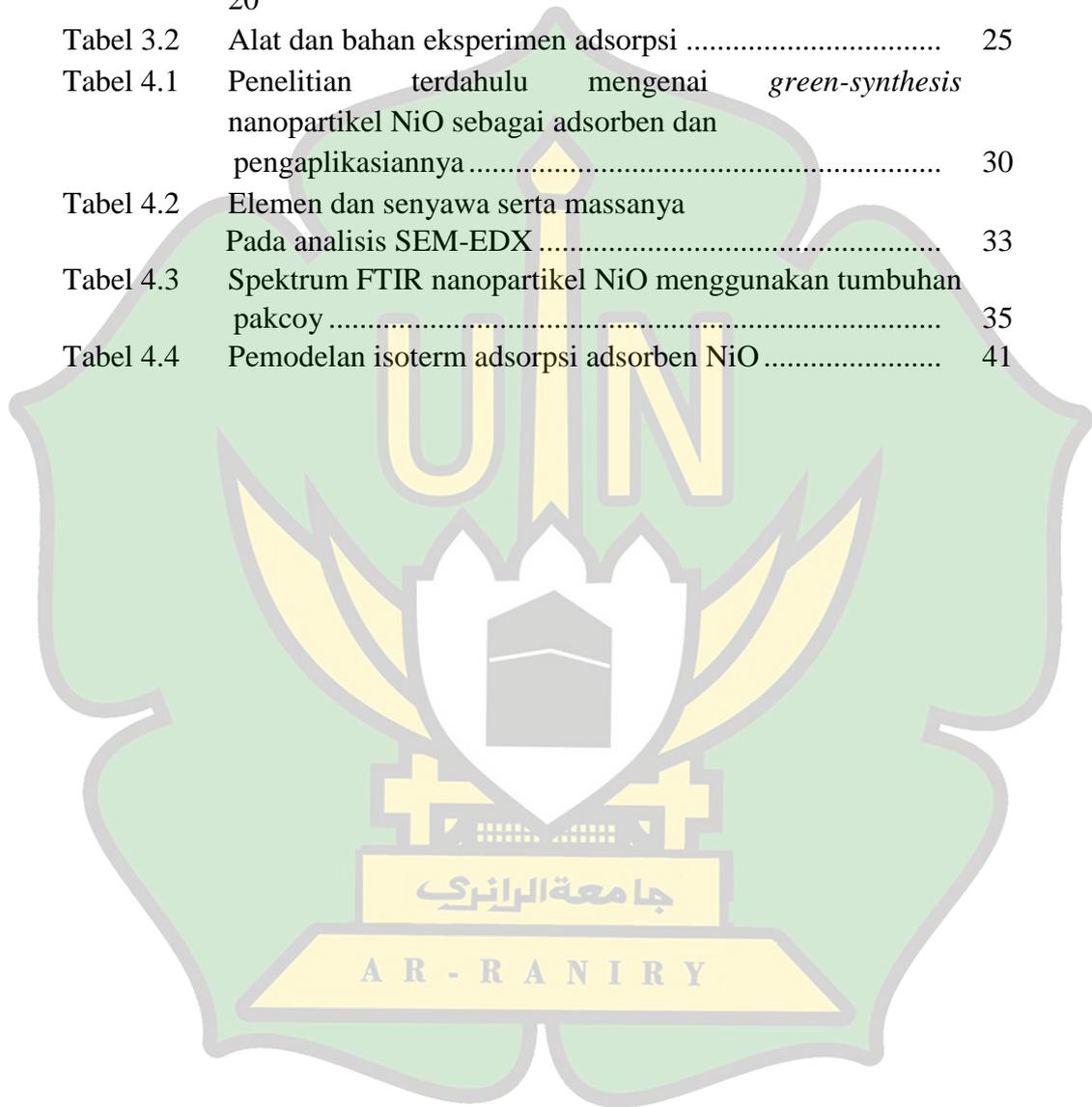
Gambar 3.1	Bagan alir penelitian .....	19
Gambar 3.2	Tumbuhan pakcoy ( <i>Brassica rapa L.</i> ) .....	20
Gambar 4.1	Gambar SEM nanopartikel NiO setelah kalsinasi dengan perbesaran $\times 500$ dan $\times 30.000$ (b) .....	29
Gambar 4.2	Spektrum EDX dari nanopartikel NiO menggunakan tumbuhan pakcoy .....	32
Gambar 4.3	Spektrum FTIR nanopartikel NiO menggunakan tumbuhan pakcoy .....	34
Gambar 4.4	Analisis XRD pada nanopartikel NiO menggunakan tumbuhan pakcoy .....	36
Gambar 4.5	Pengaruh nilai pH larutan terhadap adsorpsi kadar logam Cu .....	37
Gambar 4.6	Pengaruh massa nanopartikel NiO terhadap adsorpsi kadar logam Cu .....	38
Gambar 4.7	Pengaruh konsentrasi logam Cu awal terhadap penurunan adsorpsi logam Cu akhir .....	39
Gambar 4.8	Kurva isoterm adsorpsi Langmuir (a) dan kurva isoterm adsorpsi Freundlich (b) .....	40

جامعة الرانري

AR - RANIRY

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penelitian terdahulu mengenai <i>green-synthesis</i> nanopartikel dan pengaplikasiannya .....	17
Tabel 3.1	Alat dan bahan yang digunakan untuk eksperimen 20	
Tabel 3.2	Alat dan bahan eksperimen adsorpsi .....	25
Tabel 4.1	Penelitian terdahulu mengenai <i>green-synthesis</i> nanopartikel NiO sebagai adsorben dan pengaplikasiannya .....	30
Tabel 4.2	Elemen dan senyawa serta massanya Pada analisis SEM-EDX .....	33
Tabel 4.3	Spektrum FTIR nanopartikel NiO menggunakan tumbuhan pakcoy .....	35
Tabel 4.4	Pemodelan isoterm adsorpsi adsorben NiO .....	41



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Larutan .....	53
Lampiran 2. Data Uji Adsorpsi Logam Cu.....	56
Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian .....	58
Lampiran 4. Hasil Pengukuran Nanopartikel NiO .....	58



## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan/Lambang	Kepanjangan/Makna	Halaman Pertama Digunakan
Cu	Tembaga	1
NiO	Nikel(II) Oksida	3
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>	10
FTIR	<i>Fourier Transform Infra-Red</i>	11
SEM-EDX	<i>Scanning Electron Microscope- Energy Dispersive X-Ray</i>	11
XRF	<i>X-Ray Fluorescence</i>	12
AAS	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i>	18
Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	<i>Nickel nitrate hexahydrate</i>	13
Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Tembaga(II) nitrat	18



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peningkatan populasi dan kegiatan industri berbanding lurus dengan pencemaran air, sehingga menjadi masalah yang menantang bagi para peneliti karena ancaman yang terus meningkat bagi kesehatan manusia maupun lingkungan (Hamdan dkk., 2019). Pencemaran badan air akibat limbah kegiatan industri merupakan salah satu ancaman yang akan berdampak langsung terhadap masyarakat dan lingkungan sekitar. Proses pencemaran badan air menyebabkan terjadinya akumulasi berbagai jenis polutan di lingkungan perairan seperti logam berat, bakteri, patogen dan polutan organik (Monica dkk., 2023). Ancaman utama bagi kesehatan manusia yang berasal dari zat pencemar logam berat air diantaranya yaitu tembaga (Cu), timbal (Pb), kromium (Cr), merkuri (Hg) dan arsenik (As) (Hamdan dkk., 2020).

Logam berat dapat masuk ke badan air melalui berbagai sumber industri, kilang, pembangkit listrik tenaga batu bara, baterai, produksi baja dan *electroplating* (penyepuhan) (Cheng dkk., 2021). Keberadaan logam berat di lingkungan menimbulkan masalah ekologis berupa toksisitas dan efek karsinogenik karena bersifat *non bio-degradable* dan terakumulasi dalam organisme hidup (Sachan dkk., 2021). Proses peleburan logam berat tembaga (Cu) menghasilkan banyak debu, ampas bijih dan larutan limbah yang mengandung logam berat beracun, yang tidak hanya menyebabkan kerusakan jangka panjang pada air tanah dan tanah, tetapi juga memasuki rantai makanan manusia melalui air dan tanaman yang terkontaminasi (Han dkk., 2022).

Pusat pertumbuhan ekonomi di pesisir utara Aceh tepatnya di Kota Lhokseumawe dan Kabupaten Aceh Utara, telah berjalan selama 35 tahun yang diprakarsai oleh PT Arun LNG dan industri turunannya kemudian pemerintah memutuskan untuk merevitalisasi kawasan industri PT. Arun LNG menjadi Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Arun Lhokseumawe (Peraturan Pemerintah Nomor 5, 2017). Di wilayah KEK tersebut akan dikembangkan sebagai kawasan

industri migas, agro industri, serta industri logistik seperti ekspor/impur, pergudangan dan sektor komersil lainnya.

Secara geografis, wilayah KEK Arun Lhokseumawe berbatasan langsung dengan perairan selat Malaka, ditelusuri garis pantai sepanjang 12 kilometer. Hal ini memperlihatkan bahwa KEK Arun Lhokseumawe merupakan wilayah pesisir. Berdasarkan letak geografis, perairan pesisir ini akan menjadi tujuan akhir dari berbagai limbah cair dari industri dan pemukiman yang ada di sekitar KEK Arun Lhokseumawe. Secara umum konsentrasi tembaga di pesisir Kota Lhokseumawe – Kab. Aceh Utara masih berada di bawah baku mutu Kepmen-LH 51 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut yakni  $< 0,008$  mg/L, namun hasil pengukuran bulan Mei 2015 konsentrasi logam tembaga mencapai nilai maksimum sebesar 0,01 mg/L yang mengisyaratkan bahwa saat itu perairan pesisir Kota Lhokseumawe-Kab. Aceh Utara tercemar oleh tembaga yang diduga berasal dari kawasan industri pesisir ini (Komarawidjaja dkk., 2017).

Air limbah yang mengandung logam tembaga (Cu) merupakan isu serius yang memiliki dampak serius pada lingkungan dan kesehatan manusia. Sumber pencemaran air oleh logam tembaga berasal dari berbagai sektor, seperti industri, pertambangan, dan penggunaan produk sehari-hari yang mengandung tembaga, seperti pestisida dan fungisida (Dewa dkk., 2017). Pencemaran air limbah oleh tembaga dapat menimbulkan dampak berupa toksisitas bagi organisme air, gangguan pada ekosistem air dan kematian massal serta kehilangan keanekaragaman hayati.

Air limbah yang tercemar tembaga dapat membahayakan kesehatan manusia jika digunakan sebagai sumber air minum atau dalam pertanian. Akumulasi logam tembaga dalam tubuh manusia dapat mengakibatkan gangguan pada sistem pencernaan, hati, neurologis, ginjal, sistem reproduksi, serta dapat menyebabkan alergi atau ruam pada tubuh manusia (Sumarlin dan Harsono, 2020). Lebih lanjut, terkumpulnya logam tembaga dalam tubuh manusia juga dapat menyebabkan kerusakan sel dan DNA yang berkontribusi pada risiko perkembangan kanker. Sehingga Cu merupakan logam berat yang umum ditemukan dalam sistem air yang bersifat karsinogenik pada konsentrasi rendah dan

menyebabkan disfungsi ginjal, kanker dan fibrosis paru bahkan kematian (Cheng dkk., 2021).

Air limbah yang terkontaminasi logam beracun membutuhkan bahan pengolahan yang berkualitas baik, selektif, stabil (katalitik, termal, dan mekanik), dapat direproduksi dan dapat digunakan kembali untuk digunakan dalam sistem pengolahan (Sharma dkk., 2021). Beberapa metode pengolahan yaitu teknologi membran, flokulasi, koagulasi/flokulasi, presipitasi kimia, pertukaran ion, metode elektrokimia, fitoremediasi dan metode bioremediasi telah digunakan untuk pengolahan air dan air limbah (Sachan dkk., 2021).

Umumnya metode pengolahan air secara konvensional yaitu koagulasi-flokulasi, sedimentasi dan filtrasi tidak efektif untuk menghilangkan logam beracun di dalam kisaran 1 – 100 mg/L (Panji dkk., 2016). Selain itu, kekurangan metode pengolahan air secara konvensional yang memanfaatkan proses flokulasi-koagulasi, sedimentasi dan filtrasi berupa prosedur pembuangan yang mahal, penggunaan bahan kimia yang tinggi, konsumsi energi yang tinggi, pembentukan lumpur/polutan sekunder yang besar dan kondisi operasi yang sensitif (Siong dkk., 2021). Dalam mengatasi kekurangan tersebut, metode adsorpsi terbukti sebagai pendekatan yang lebih tepat, praktis, dan terampil dalam menghilangkan logam beracun dari air limbah industri. Metode ini dikenal karena kinetika yang cepat, kapasitas serapan yang tinggi, efisiensi, selektivitas, dan mudah dalam pengoperasiannya (Qu, 2018).

Adsorpsi adalah cara mudah yang paling tepat untuk menghilangkan pencemar anorganik ataupun polutan mikro organik (Liliana dkk., 2018). Adapun proses adsorpsi ini didasarkan pada molekul zat terlarut (adsorbat) terakumulasi pada permukaan adsorben padat, dan efisiensi lebih dikaitkan dengan sifat adsorben. Adsorpsi terdiri dari tiga fase: transportasi adsorbat dari fase cair ke permukaan adsorben padat, adsorpsi analit ke permukaan adsorben padat, dan transportasi adsorbat dalam partikel adsorben (Siong dkk., 2021).

Ukuran partikel merupakan tolak ukur utama dari adsorben. Semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar reaktivitasnya karena luas penampang partikel semakin besar. Ukuran kecil memungkinkan partikel dapat lebih optimal

mendegradasi berbagai lingkungan biologis, sehingga bahan dengan ukuran partikel antara 1 – 100 nm didefinisikan sebagai nano (Lee dkk., 2019). Nanopartikel biasanya berukuran <100 nm setidaknya dalam satu dimensi spasial. Karena luas permukaan spesifiknya yang sangat tinggi dan mampu mengurangi ketidaksempurnaan pada permukaan, nanopartikel memiliki karakteristik kimia, fisik, optik, listrik, magnetik dan biologis yang sangat unik (Kumari dkk., 2019). Semua sifat tersebut menjadikan nanopartikel sebagai adsorben yang sangat baik, dan efektif terhadap berbagai macam polutan seperti logam berat pada limbah cair (Yang dkk., 2019).

Salah satu di antara banyaknya oksida logam nanopartikel, yang menarik perhatian para peneliti adalah Nikel (II) Oksida (NiO). Senyawa NiO memiliki banyak manfaat di berbagai bidang, di antaranya untuk sensor gas, superkapasitor, bahan magnet, semikonduktor, katalis, oksida padat dan obat-obatan. NiO dapat diaplikasikan sebagai semikonduktor fotokatalis dalam mendegradasi kadar pencemar limbah cair (Kusumaningrum dkk., 2022). Penelitian terdahulu tentang adsorpsi nano-oksida NiO dalam mengolah timbal, kromium heksavalen, arsenik dan warna dapat menurunkan hingga lebih dari 95%, serta pengurangan COD dilaporkan sekitar 50% (Panji dkk., 2016). Sintesis nanopartikel NiO dengan ukuran 26 nm adalah adsorben yang efektif untuk menghilangkan tembaga, nikel dan kromium dari limbah cair. Efektivitas adsorpsi sangat bergantung pada pH, dosis adsorben dan waktu kontak (Hamdan dkk., 2019).

Nanopartikel NiO menunjukkan keunggulan dibandingkan dengan nanopartikel logam lainnya, terutama dalam hal aktivitas katalitik yang lebih tinggi, struktur permukaan yang lebih reaktif, dan ketersediaan situs adsorpsi yang lebih tinggi untuk logam Cu. Sifat kristal dan energi permukaan nanopartikel NiO memberikan keunggulan dengan struktur yang berpori dan teraglomerasi (Joudeh dan Linke, 2022). Bentuknya yang asimetris dan heksagonal juga memperkuat efektivitasnya dalam merusak jaringan dan sel konsentrasi pencemar, serta kemampuan nanopartikel NiO mengadsorpsi limbah logam tembaga (Uddin dkk., 2021). Di sisi lain, nanopartikel CuO meskipun memiliki situs adsorpsi yang memadai, mungkin tidak seoptimal dalam hal sifat kimia yang diperlukan untuk

berinteraksi secara efektif dengan ion logam Cu. Adapun nanopartikel CuO kestabilannya kurang yang mengakibatkan desorpsi lebih cepat atau kurang efisien dalam mendegradasi limbah logam, namun nanopartikel CuO efektif sebagai antibakteri (Naika dkk., 2018; Tian dan Liu, 2021).

Proses pembuatan nanopartikel seperti NiO dan Ag umumnya berpotensi menimbulkan masalah terhadap ekologi lingkungan. Beberapa penelitian terdahulu menemukan dengan memanfaatkan ekstrak kulit jeruk keprok, tangkai jagung dan kulit buah delima untuk mengurangi logam berat (Kotp dkk., 2019). Namun, belum ada yang memanfaatkan ekstrak daun pakcoy (*Brassica rapa* L.) sebagai sintesis hijau nanopartikel NiO guna mengadsorpsi logam  $\text{Cu}^{2+}$  pada limbah cair industri. Pakcoy diketahui memiliki sifat hiperakumulator karena tergolong dalam family *Brassicaceae* yang terbukti memiliki struktur akar yang kuat, toleransi yang tinggi terhadap logam berat, dan mampu menyerap logam berat seperti Cu dan Hg (Junyo dkk., 2017). Karena mudahnya budidaya tanaman pakcoy dan diasumsikan dapat berpotensi menjadi tanaman akumulator logam berat  $\text{Cu}^{2+}$ , penggunaan pakcoy menjadi alasan utama sebagai adsorben limbah logam berat pada penelitian ini.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian mengenai sintesis hijau nanopartikel NiO menggunakan ekstrak daun pakcoy (*Brassica rapa* L.) sebagai adsorben yang menjadi teknologi baru dalam metode pengolahan air limbah logam berat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana karakteristik nanopartikel NiO dari sintesis hijau menggunakan ekstrak daun pakcoy (*Brassica rapa* L.)?
2. Bagaimana efektivitas nanopartikel NiO dari sintesis hijau menggunakan ekstrak daun pakcoy (*Brassica rapa* L.) sebagai adsorben logam berat tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ ) serta kapasitas adsorpsi melalui pemodelan isoterm Langmuir dan Freundlich?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis karakteristik nanopartikel NiO dari sintesis hijau menggunakan ekstrak daun pakcoy (*Brassica rapa L.*).
2. Untuk menganalisis efektivitas nanopartikel NiO dari sintesis hijau menggunakan ekstrak daun pakcoy (*Brassica rapa L.*) sebagai adsorben logam berat tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ ) serta kapasitas adsorpsi melalui pemodelan isoterm Langmuir dan Freundlich.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Dengan mengetahui tujuan dari penelitian ini maka manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjadi referensi dalam melakukan penelitian sejenis terkait adsorpsi limbah logam berat  $\text{Cu}^{2+}$  menggunakan nanopartikel NiO dari sintesis hijau ekstrak daun pakcoy (*Brassica rapa L.*).
2. Memberikan informasi terhadap pengembangan teknologi pengolahan limbah logam berat  $\text{Cu}^{2+}$  dengan adsorpsi nanopartikel NiO dari sintesis hijau ekstrak daun pakcoy (*Brassica rapa L.*).

### 1.5 Batasan Penelitian

Pada penelitian ini hanya berfokus pada pengukuran penurunan logam berat tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ ) terhadap pengaruh variasi massa adsorben, pH, dan konsentrasi awal logam Cu serta kapasitas adsorpsi nanopartikel NiO melalui pemodelan isoterm Langmuir dan Freundlich.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tumbuhan Pakcoy

Sayuran pakcoy (*Brassica rapa* L.) dikenal memiliki rasa yang manis, memiliki kandungan protein, vitamin dan mineral yang tinggi serta bermanfaat sebagai agen yang potensial melawan kanker. Ada dua variasi pakcoy yang populer yaitu pakcoy dengan daun hijau dan pakcoy dengan daun ungu. Perbedaan utama antara dua varietas ini adalah kandungan pigmen antosianin (Wang dkk., 2015).

Pakcoy dengan daun ungu mengandung lebih dari lima belas jenis antosianin dengan total ~3 mg/g berat kering, sedangkan daun hijau hampir tidak mengandung antosianin. Zat antosianin merupakan pigmen flavonoid yang larut dalam air yang berperan menimbulkan warna merah, ungu dan biru yang khas pada tumbuhan (Deng dkk., 2020). Pada penelitian ini jenis sayuran pakcoy yang digunakan merupakan pakcoy hijau, dikarenakan pakcoy dengan varietas ungu memiliki kandungan tembaga (Cu) yang lebih besar daripada pakcoy hijau, sehingga menghambat pertumbuhan pakcoy ungu dan berakibat pada akumulasi unsur hara yang dimiliki oleh pakcoy ungu sangat minim untuk mengadsorpsi logam berat pada penelitian ini (Deng dkk., 2020).

Pakcoy atau *Brassica rapa* var. *chinensis* adalah salah satu tumbuhan yang diketahui memiliki kemampuan hiperakumulasi (Junyo dkk., 2017). Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa pakcoy mengandung beberapa jenis asam amino, termasuk *cysteine*, *methionine*, dan *histidine*. Kandungan asam amino tersebut diyakini berperan dalam mekanisme hiperakumulasi logam-logam berat di dalam jaringan pakcoy (Zhang dkk., 2023).

*Cysteine* dan *methionine*, dua jenis asam amino yang ditemukan dalam pakcoy, memiliki gugus sulfhidril (-SH) yang mampu berinteraksi dengan ion-ion logam, membentuk senyawa kompleks yang lebih stabil, dan memindahkan ion-ion logam dari akar ke daun tumbuhan. *Histidine*, yang juga ditemukan dalam pakcoy, diketahui memiliki gugus imidazolik yang mampu membentuk ikatan dengan ion-ion logam seperti nikel, tembaga, dan seng (Ajsuvakova dkk., 2020).

## 2.2 Nanopartikel NiO

Nikel merupakan salah satu unsur logam transisi yang bermanfaat dalam industri kimia. Unsur ini memiliki beberapa karakteristik penting yang dimanfaatkan dalam pengaplikasiannya, seperti tahan terhadap korosi dan panas, konduktivitas panas dan listrik yang cukup rendah, kekuatan impak (ketahanan terhadap pembebanan cepat) dan keuletan yang tinggi serta dapat membentuk *alloy* dengan unsur logam lain (Wanta dkk., 2019).

NiO adalah senyawa yang menarik perhatian karena memiliki banyak manfaat di berbagai bidang, di antaranya untuk sensor gas, superkapasitor, bahan magnet, semikonduktor, katalis, katoda baterai, anoda sel bahan bakar oksida padat dan obat-obatan. NiO dapat diaplikasikan sebagai semikonduktor fotokatalis dalam mendegradasi limbah logam berat, yang mana limbah tersebut bila dibiarkan berpotensi membahayakan lingkungan dan kesehatan hingga menyebabkan kanker (Kusumaningrum dkk., 2022).

Nanopartikel NiO (nikel oksida) memiliki sifat unggul dalam mengadsorpsi logam berat karena memiliki luas permukaan yang besar, sehingga memungkinkan adanya interaksi yang lebih kuat antara nanopartikel dengan logam berat yang akan diadsorpsi. Luas permukaan yang besar pada nanopartikel NiO disebabkan oleh ukurannya yang sangat kecil, yakni berkisar antara 1 hingga 100 nanometer (Abdassah, 2017). Struktur kristal NiO memiliki kekakuan yang tinggi dan stabil, sehingga memungkinkan adanya ikatan yang kuat antara atom NiO dan logam berat yang diadsorpsi. Hal ini dikarenakan struktur kristal NiO memiliki jumlah ikatan kovalen yang lebih besar daripada logam lain seperti besi atau aluminium. Selain itu, sifat hidrofilik pada permukaan nanopartikel NiO juga memungkinkan adanya interaksi dengan ion logam berat yang bersifat hidrofilik (Uddin dkk., 2021).

Nanopartikel juga bertujuan untuk mengatasi kelarutan zat aktif yang sukar larut, memperbaiki bioavailabilitas yang buruk, memodifikasi sistem penghantaran obat sehingga obat dapat langsung menuju daerah yang spesifik, meningkatkan stabilitas zat aktif dari degradasi lingkungan, memperbaiki absorpsi suatu senyawa makromolekul dan mengurangi efek iritasi zat aktif pada saluran cerna (Abdassah, 2017). Penelitian terbaru mengenai nanopartikel NiO memberikan hasil yang

memuaskan dalam beberapa bidang keilmuan karena memiliki celah pita adsorpsi yang lebar, memiliki ukuran partikel yang kecil dan sifat semikonduktor yang maksimal (Uddin dkk, 2022). Nanopartikel NiO banyak digunakan dalam baterai, superkonduktor, fotokatalitik dan analisis katalitik.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa nanopartikel NiO sangat berguna dalam bidang kimia dan biologi seperti adsorpsi polutan dan warna, sehingga nanopartikel NiO ini dapat bersifat anti-inflamasi, anti mikroba, anti kanker dan berpotensi sitotoksik. (Uddin dkk., 2022). Senyawa sitotoksik merupakan suatu senyawa atau zat yang dapat menghambat pertumbuhan tumor dan kanker (Pratiwi dan Nurlaeni, 2020).

### 2.3 *Green-Synthesis*

Sintesis hijau atau *green synthesis* merupakan salah satu metode dalam sintesis nanopartikel menggunakan mikroba, tanaman, alga, ragi, bakteri, dan jamur (D. Handayani, 2022). Sintesis hijau dinilai mudah dilakukan dan ramah dilakukan, hal ini dikarenakan produk yang dihasilkan rendah toksisitas. Selain itu, metode ini dipengaruhi tiga faktor utama yaitu ketersediaan dan penggunaan pelarut yang ramah lingkungan, zat pereduksi yang baik, dan bahan stabilisasi yang tidak berbahaya. Protein, enzim, gula, flavonoid, fenolat, dan sebagainya umumnya dapat bertindak sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam perlakuan sintesis hijau untuk nanopartikel (Yosri dkk., 2021).

Sintesis nanopartikel melalui metode *green synthesis* memiliki kelebihan berupa metode yang sederhana, murah, mudah dikarakterisasi dan kemungkinan kegagalannya juga lebih rendah. Adapun keuntungan utama dari sintesis hijau adalah menghasilkan produksi nanopartikel dengan toksisitas yang lebih rendah dan dengan demikian menjadi kurang berbahaya bagi alam (Rana dkk., 2020). Manfaat utama dari metode *green synthesis* ini yaitu memaksimalkan penggunaan sumber daya yang tersedia secara alami, mengurangi penggunaan reagen dan pelarut beracun, stabilitas produk, dan produk yang dihasilkan dapat digunakan dan disimpan dengan mudah. Sehingga dapat disimpulkan, *green synthesis* adalah produk sampingan dari pembangunan berkelanjutan yang memenuhi kebutuhan generasi mendatang. Metode ini mengurangi polusi, meningkatkan kualitas

lingkungan dan melibatkan penggunaan sumber daya yang tersedia secara alami dengan menjaga keseimbangan alam (D. Handayani, 2022).

Pada sintesis nanopartikel NiO menggunakan tumbuhan pakcoy, metabolisme sekunder dapat memainkan peran penting dalam proses sintesis. Beberapa senyawa metabolit sekunder pada tumbuhan pakcoy seperti flavonoid, fenolik, alkaloid, dan asam amino dapat berinteraksi dengan ion logam seperti  $\text{Ni}^{2+}$  dan berkontribusi pada proses pengurangan logam menjadi nanopartikel (Ajsuvakova dkk., 2020). Salah satu contoh senyawa metabolit sekunder pada tumbuhan pakcoy yang dapat berinteraksi dengan ion logam  $\text{Ni}^{2+}$  adalah asam amino. Asam amino dapat berperan sebagai agen redoks dalam proses sintesis nanopartikel NiO. Selain itu, asam amino juga dapat membentuk ikatan kompleks dengan ion  $\text{Ni}^{2+}$  sehingga membantu dalam reduksi logam menjadi nanopartikel. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa asam amino seperti histidin, sistein, dan lisin pada tumbuhan dapat mempercepat laju reduksi  $\text{Ni}^{2+}$  menjadi nanopartikel NiO (Rasheed dkk., 2016).

Selain itu, senyawa fenolik juga dapat berperan dalam proses sintesis nanopartikel NiO pada tumbuhan pakcoy. Senyawa fenolik dapat berfungsi sebagai reduktor alami untuk mereduksi ion logam menjadi nanopartikel, sekaligus dapat membentuk ikatan kompleks dengan logam dan stabilisasi nanopartikel yang dihasilkan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa senyawa fenolik seperti asam galat pada tumbuhan dapat berkontribusi dalam sintesis nanopartikel NiO (Iqbal dkk., 2020). Dalam sintesis nanopartikel NiO menggunakan tumbuhan pakcoy, senyawa metabolit sekunder tersebut berperan penting dalam proses reduksi dan stabilisasi nanopartikel yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemilihan tumbuhan dengan kandungan senyawa metabolit sekunder yang tinggi dapat meningkatkan efisiensi sintesis nanopartikel NiO (Iqbal dkk., 2020).

#### **2.4 Adsorpsi**

Adsorpsi merupakan suatu keadaan dimana terjadinya akumulasi suatu spesies terhadap suatu permukaan pada batas permukaan padatan-fluid. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik menarik antar adsorbat dan adsorben secara elektrostatis. Penyebab lainnya adalah gaya tarik menarik yang diperbesar dengan

ikatan koordinasi hidrogen atau ikatan *van der wall*. Jika adsorbat dan permukaan adsorben berikatan hanya dengan gaya *van der walls*, maka yang dibicarakan adalah adsorpsi fisik atau *van der walls*. Molekul yang teradsorpsi terikat secara lemah dipermukaan dan panas adsorpsinya rendah. Adapun tujuan dari proses adsorpsi adalah menghilangkan rasa, warna dan bau yang tidak diinginkan serta material-material organik baik yang beracun maupun tidak dari suatu senyawa (Yustinah dkk., 2019).

Apabila molekul yang teradsorpsi bereaksi secara kimia dengan permukaan, maka fenomena yang terjadi disebut *Chemisorption*. Karena adanya ikatan kimia yang terputus dan terbentuk selama proses, maka panas adsorpsinya mempunyai nilai yang hampir sama dengan panas reaksi kimia (Yustinah dkk., 2019).

Pengaruh suhu sering digunakan dalam membedakan antara kedua fenomena tersebut. Pada suhu ruang ( $25^{\circ}\text{C}$ ) adsorpsi biasanya berlangsung lebih disebabkan oleh gaya intermolekuler oleh pembentukan ikatan kimia baru, atau disebut adsorpsi fisik. Pada temperatur tinggi (antara  $200^{\circ}\text{C}$  –  $400^{\circ}\text{C}$ ) dapat memungkinkan energi aktifitas terbentuk atau adanya ikatan kimia yang pecah, sehingga terjadi reaksi kimia dan fenomena ini disebut *Chemisorption* (Aprilia dkk., 2019).

#### 2.4.1 Jenis-Jenis Adsorpsi

Berdasarkan sifatnya adsorpsi digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu adsorpsi fisika (fisisorpsi) dan dan adsorpsi kimia (kemisorpsi) (Masruhin dkk., 2018):

a. Adsorpsi kimia

Adsorpsi kimia merupakan proses penyerapan yang melibatkan proses kimia, yaitu pemutusan ikatan sehingga terjadi pembentukan senyawa baru pada permukaan adsorben. Adsorpsi kimia banyak terjadi pada fase antara muka padatan dengan cairan dan antara padatan dengan gas. Pada adsorpsi kimia jumlah zat yang teradsorpsi hanya satu jenis.

b. Adsorpsi fisika

Proses adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya *van der walls*, ikatan hidrogen dan terjadi pada permukaan polar maupun non polar. Molekul yang teradsorpsi

tidak terikat kuat pada permukaan adsorben. Pada adsorpsi fisika jumlah zat yang teradsorpsi biasanya akan mencapai beberapa lapis.

#### 2.4.2 Analisis Kinetika Adsorpsi

Analisis kinetika adsorpsi merupakan analisis yang menggambarkan hubungan antara zat yang teradsorpsi oleh adsorben dengan tekanan atau konsentrasi pada keadaan setimbang dengan temperatur tetap. Ada beberapa jenis kinetika adsorpsi, antara lain (Handayani dan Sulistiyono, 2019):

a. Kinetika adsorpsi model Langmuir

Isoterm adsorpsi Langmuir didasarkan pada asumsi bahwa setiap tempat adsorpsi ekuivalen dan kemampuan partikel untuk berada di suatu permukaan tanpa tergantung bagaimana tempatnya atau tempat yang berdekatan dan proses adsorpsi terjadi saat terbentuk lapisan tunggal (*monolayer adsorption*).

b. Kinetika adsorpsi model Freundlich

Isoterm adsorpsi Freundlich menggambarkan adsorpsi fisik yang terjadi pada beberapa lapisan dan mempunyai ikatan yang tidak kuat. Model adsorpsi Freundlich menggambarkan bahwa adsorben mempunyai permukaan yang heterogen sehingga mengalami beberapa lapisan.

c. Kinetika adsorpsi model BET

Model Brauner, Emmet, dan Teller (BET) pada tahun 1938, mengasumsikan bahwa langkah pertama dalam proses adsorpsi adalah adsorpsi molekuler pertama, di mana gas diadsorpsi oleh permukaan padatan untuk membentuk satu lapisan molekuler. Model ini juga mengasumsikan bahwa ada batasan maksimum pada jumlah molekul gas yang dapat diadsorpsi oleh satu unit permukaan. Selanjutnya, model BET menggambarkan bahwa setelah pembentukan lapisan monomolekuler pertama, adsorpsi gas dapat terus berlanjut membentuk lapisan-lapisan berikutnya (*multilayer*) yang disusun secara berurutan di atas lapisan pertama.

Berdasarkan jenis-jenis isoterm adsorpsi tersebut, pada penelitian ini menggunakan dua jenis pemodelan isoterm yaitu isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich.

### 2.4.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Proses Adsorpsi

Adapun faktor-faktor yang memengaruhi proses adsorpsi adalah sebagai berikut (Wijayanti dkk., 2018):

a. Jenis adsorbat

Tiap adsorben mempunyai karakteristik sendiri, adsorben yang baik untuk mengadsorpsi zat yang satu belum tentu baik untuk zat lain.

b. Jenis zat yang diadsorpsi (adsorbat)

Zat yang bersifat asam akan lebih mudah diadsorpsi dengan adsorpsi basa, begitu pula sebaliknya karena asam dan basa akan saling tarik-menarik

c. Konsentrasi zat adsorbat

Semakin tinggi konsentrasi adsorbat, maka semakin besar solut yang teradsorpsi.

d. Luas permukaan adsorben

Semakin luas permukaan adsorben, maka semakin besar kemampuannya untuk menarik solut (adsorbat).

e. Suhu dan tekanan operasi

f. Daya larut solven terhadap solut

Jika daya larut solven terhadap solut tinggi, maka proses adsorpsi akan terhambat sebab gaya untuk melarutkan solut berlawanan dengan gaya tarik adsorben terhadap solut.

g. Jumlah *stage*

Apabila adsorpsi dilakukan dalam jumlah *stage* yang banyak (*multistage*), akan memberikan jumlah solut yang teradsorpsi lebih besar daripada operasi *single stage*.

### 2.4.4 Adsorben

Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap partikel dalam proses adsorpsi. Adsorben yang sering digunakan dalam proses adsorpsi adalah arang aktif atau karbon aktif. Untuk adsorben dengan luas permukaan dan berat tertentu, zat yang diadsorpsi tergantung pada konsentrasi solut di sekitar solven. Semakin tinggi konsentrasinya, semakin besar pula zat yang diadsorpsi. Proses adsorpsi adalah

keadaan setimbang. Apabila kecepatan suatu zat ditambah atau dikurangi maka akan terjadi keadaan setimbang yang baru (Ali dkk., 2020).

## 2.5 Logam Berat

Logam berat dapat diperoleh dari larutan, erosi batuan tambang dan vulkanis. Proses alam seperti perubahan siklus alami mengakibatkan batuan-batuan dan gunung berapi yang memberikan kontribusi yang sangat besar ke lingkungan. Selain itu masuknya logam berat juga berasal dari aktivitas manusia, seperti pertambangan minyak, emas dan batu bara, pembangkit tenaga listrik, pestisida, keramik, peleburan logam dan pabrik-pabrik pupuk serta kegiatan industri lainnya (Dewa dkk., 2017).

Adanya logam berat di perairan memiliki dampak yang berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat logam berat, yang mana beberapa logam berat berbahaya dan sering mencemari lingkungan salah satu diantaranya adalah logam tembaga (Cu). Logam dalam peranannya memiliki sifat berikut (Dewa dkk., 2017):

1. Memiliki kemampuan yang baik dalam penghantar listrik (konduktor);
2. Memiliki kemampuan yang baik dalam penghantar panas;
3. Memiliki rapatan yang tinggi;
4. Dapat membentuk *alloy* dengan baik;
5. Logam padat dapat ditempa dan dibentuk.

Tembaga termasuk salah satu logam berat yang terkandung dalam limbah industri pelapisan logam. Tembaga dapat menimbulkan ancaman serius di lingkungan karena bersifat *non-biodegradable* dan toksik walaupun dalam konsentrasi rendah yaitu 0,0001 mg/L (Feng dkk., 2010).

Logam tembaga (Cu), mangan (Mn), kromium (Cr), besi (Fe) dan seng (Zn) merupakan unsur hara mikro (mikronutrien), unsur yang dibutuhkan dalam jumlah kecil di dalam tanah atau tanaman yaitu < 50 ppm (Wijayanti dkk., 2018). Jika unsur hara mikro terlalu banyak terdapat di dalam badan lingkungan seperti tanah, sungai dan laut maka badan lingkungan tersebut telah tercemar dan dapat berakibat fatal terhadap kelangsungan hidup dari setiap makhluk hidup. Adapun kelarutan dari

unsur-unsur logam dan logam berat dalam perairan dikontrol oleh (Amal dan Tarakan, 2017):

1. pH badan air
2. Jenis dan konsentrasi logam dan khelat
3. Keadaan komponen mineral teroksidasi dan sistem yang berlingkungan redoks.

## **2.6 Karakterisasi Nanopartikel**

### **2.6.1 XRD (*X-Ray Diffraction*)**

Karakterisasi nanopartikel menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) adalah metode analisis yang umum digunakan dalam ilmu material untuk memahami struktur kristal dan sifat kristallografi suatu materi. Dalam konteks nanopartikel, XRD dapat memberikan informasi tentang ukuran, bentuk, dan orientasi kristal yang terdapat dalam suatu sistem nanopartikel. Beberapa aspek penting yang dapat dikarakterisasi menggunakan XRD untuk nanopartikel diantaranya yaitu pola difraksi, ukuran kristal dan tegangan ketegangan, struktur kristal, identifikasi fasa, analisis struktur pori dan distribusi ukuran kristal, serta orientasi kristal (Minarni dkk., 2018).

Adapun pada penelitian ini berfokus terhadap pola difraksi dan struktur kristal nanopartikel NiO dari *green synthesis* tumbuhan pakcoy untuk melihat posisi dan intensitas puncak-puncak difraksi, serta mengidentifikasi fasa kristalin yang hadir.

### **2.6.2 FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*)**

Karakterisasi nanopartikel menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) adalah metode analisis yang memanfaatkan spektroskopi inframerah untuk memahami sifat kimia dan struktur molekuler dari nanopartikel. FTIR dapat memberikan informasi tentang ikatan kimia, fungsionalitas permukaan, dan keberadaan senyawa tertentu pada nanopartikel. Beberapa aspek yang dapat dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk nanopartikel yaitu identifikasi senyawa, analisis ikatan kimia, fungsionalitas permukaan, kemurnian senyawa, reaksi kimia dan sintesis, serta pemantauan perubahan fase (Bouzekri dkk., 2023).

Adapun pada penelitian ini berfokus pada pengidentifikasian senyawa dan analisis ikatan kimia yang terdapat pada nanopartikel NiO menggunakan green-synthesis tumbuhan pakcoy yang mencakup ikatan rangkap, ikatan hidrogen, ikatan pi, dan ikatan kimia lainnya. Serta perubahan pada spektrum FTIR yang dapat mencerminkan perubahan ikatan kimia selama sintesis atau modifikasi nanopartikel. Pada penelitian ini akan dianalisis gugus fungsi dari bubuk nanopartikel NiO diantaranya yaitu gugus fungsi NiO dengan bilangan gelombang  $1380 - 1350 \text{ cm}^{-1}/840 - 815 \text{ cm}^{-1}$ , asam amino dengan bilangan gelombang  $3200 - 3500 \text{ cm}^{-1}$  dan sulfhidril atau *thiols* (*S-H stretch*) dengan bilangan gelombang  $2600 - 2550 \text{ cm}^{-1}$  (Nandiyanto dkk., 2019).

### **2.6.3 SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray*)**

Karakterisasi nanopartikel menggunakan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray*) adalah teknik yang menggabungkan mikroskopi elektron pencitraan (SEM) dengan analisis spektrum sinar-X (EDX). Ini adalah metode yang umum digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dan distribusi unsur kimia pada sampel nanopartikel. Beberapa aspek yang dapat dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX untuk nanopartikel diantaranya morfologi permukaan, ukuran partikel, analisis elemen, komposisi kimia, analisis permukaan, dan pengukuran ketebalan sampel (Uddin dkk., 2021).

Adapun pada penelitian ini berfokus pada morfologi permukaan dan ukuran nanopartikel NiO yang diukur menggunakan aplikasi ImageJ, kemudian dianalisis elemen dan komposisi kimia yang terdapat pada bubuk nanopartikel, untuk mendapatkan informasi tentang komposisi kimia relatif dari berbagai area pada sampel. Ini dapat berguna untuk memahami distribusi unsur kimia di dalam nanopartikel atau antara partikel yang berbeda (Iqbal dkk., 2020).

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Studi mengenai *green-synthesis* nanopartikel dan pengaplikasiannya telah banyak dilakukan seperti yang terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu mengenai *green-synthesis* nanopartikel dan pengaplikasiannya

Nanopartikel Logam	Bentuk	Ukuran	Material Sintesis	Aplikasi	Referensi
CuO	Monoklinik sferikal	5 – 10 nm	<i>Gloriosasuperba</i> L.	Aktivitas antibakteri	Naika dkk., (2018)
Cu	Sferikal	23 – 94 nm	Daun <i>Thymus vulgaris</i>	Pewarna organik	Issaabadi dkk., (2015)
CuO	Sferikal, monoklinik heksagonal	26,6 nm	Kacang kedelai hitam ( <i>Glycine max</i> )	Sel HeLa	Nagajyothi dkk., (2017)
Cu	Kubik	27,65 – 8,19 nm	Daun <i>Centella asiatica</i>	Fotokatalis degradasi dari metal oranye	Markus dkk., (2016)
Pd	Sferikal	5 nm	Daun <i>Euphorbia granulate</i>	Suzuki-Miyaura coupling	Mohammed Sajadi (2016)
Pd	Batang	21,60 nm	<i>Lithidora hispidula</i>	Hidrogen peroksida	Turunc dkk., (2017)
Pd	Sferikal	2 – 22 nm	<i>Filicium decipiens</i>	Aktivitas antibakterial	Sharmila dkk., (2017)
Fe	Nanokluster	9 – 31 nm	Daun <i>Cupressus sempervirens</i>	Penghilang warna	Ebrahiminezha d dkk., (2018)
Fe	-	-	Daun <i>Spinacia oleracea</i>	Pengurangan BOD dan COD	Turakhia dkk., (2018)
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Sferikal	33 nm	Daun <i>Carica papaya</i>	Penghilang eutrofik air limbah	Hussain dkk., (2016)

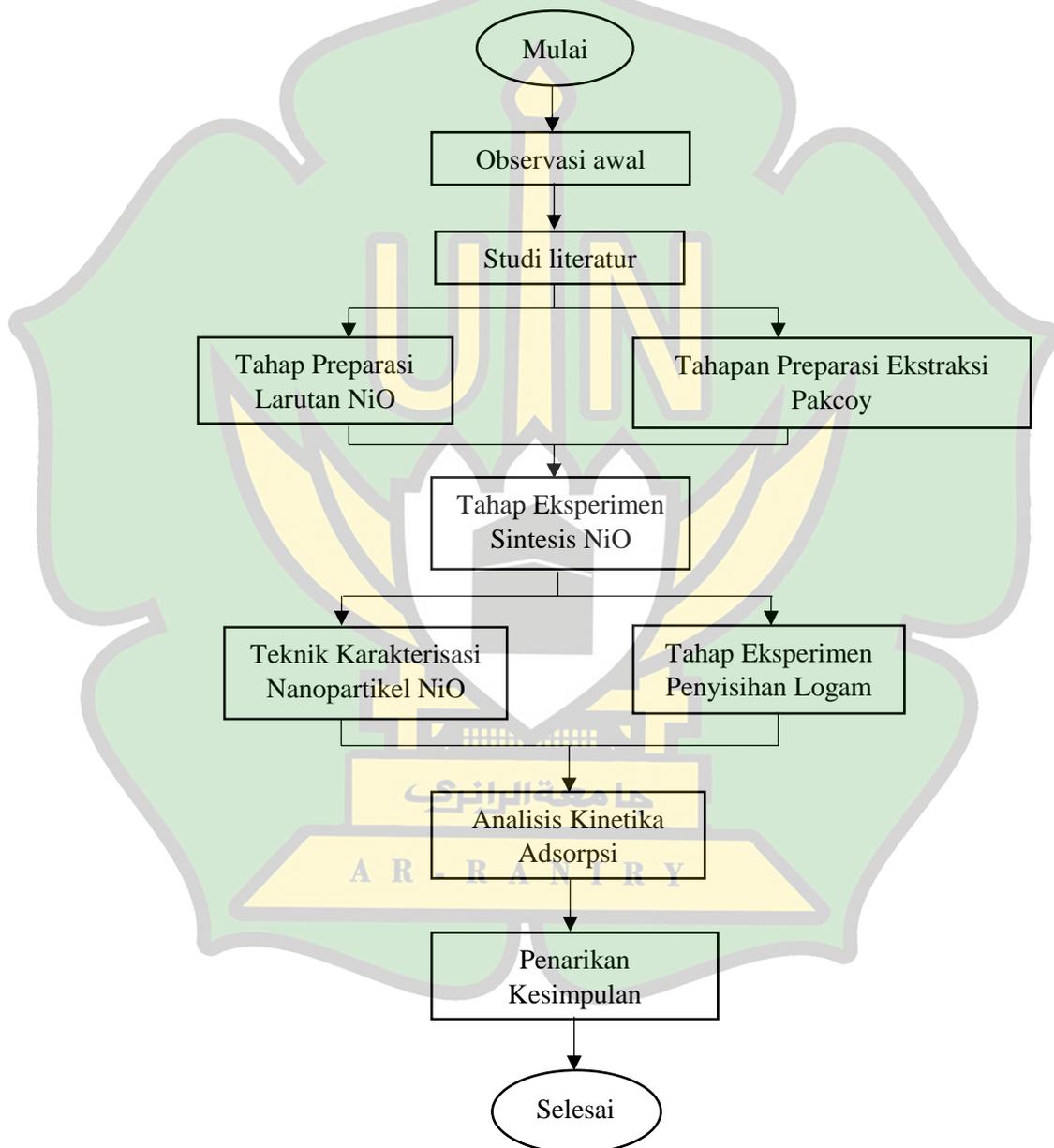
Ag	Sferikal	20 – 50 nm	<i>Lactobacillus casei</i>	Penyaluran obat, pengobatan kanker, pelabelan biologis	Korbekandi dkk., (2012)
Ag	Sferikal	28 – 122 nm	<i>Klebsiella pneumonia</i> , <i>Eschericia coli</i> , <i>Enterobactercloacae</i>	Reseptor optik, listrik baterai, antimikroba	Ahmad dkk., (2010)
ZnO	Sferikal	8 nm	<i>Aspergillus terreus</i>	Katalis, biosensing, penyalur obat, diagram molekuler nostik, sel surya, dan pelabelas sel	Raliya dkk., (2014)
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-	43 – 57 nm	Daun <i>Ficus carica</i>	Antioksidan	Ustun dkk., (2022)
CuO	-	Tidak diukur	Daun <i>Azadirachta indica</i>	Antikanker	Patil dkk., (2022)
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-	85 nm	Daun <i>Peltophorum pterocarpum</i>	Pendegradasi rhodomin	Shah dkk., (2022)
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-	Tidak diukur	Biji <i>Terminalia chebula</i>	Pendegradasi metilen biru	Singh dkk., (2021)
ZnO	-	118,6 nm	Kulit <i>Punica granatum</i>	Antibakterial	Abdelmigid dkk., (2022)
NiO	Sferikal	20 – 65 nm	Biji <i>Lactuca serriols</i>	Pendegradasi warna	Ali dkk., (2021)
CoO	-	Tidak diukur	# Buah <i>Vitis rotundifolia</i>	Pendegradasi pewarna asam biru	Samuel dkk., (2020)

Sumber: (Samuel dkk., 2022; Singh dkk., 2018; Ying dkk., 2022).

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Penelitian

Adapun tahapan umum yang dilakukan pada penelitian ini dibagi dalam beberapa tahapan, yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

## 3.2 Preparasi Ekstraksi Pakcoy dan Larutan NiO

### 3.2.1 Preparasi Ekstraksi Pakcoy

Tumbuhan pakcoy yang digunakan merupakan pakcoy hidroponik siap pakai dengan kualitas nutrisi yang terpenuhi. Tumbuhan pakcoy sebanyak  $\pm 100$  helai dipisah perhelainya, kemudian dicuci dengan air mengalir dan dilanjutkan pencucian daun menggunakan *aquadest*. Selanjutnya daun pakcoy dicuci menggunakan larutan *Hidrogen klorida* (HCl) dan dioven selama 24 jam dengan suhu  $105^{\circ}\text{C}$  kemudian ditimbang (Deng dkk., 2020).



Gambar 3.2 Tumbuhan pakcoy (*Brassica rapa L.*)  
Sumber: Dokumentasi pribadi, (2023)

### 3.2.2 Preparasi Larutan Logam Ni

Pada pembuatan larutan logam Ni, logam bubuk yang akan digunakan yaitu *Nickel nitrate hexahydrate* ( $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) sebanyak 29,1 gram dilarutkan sampai 1000 mL *aquabidest* (Rashid dkk., 2022). Pembuatan larutan Ni dilakukan dengan cara dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Indah dkk., 2017):

$$\text{Massa Nikel} = \text{Massa molar} \times \text{Molar} \times \text{Volume} \quad (3.1)$$

## 3.3 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang dipergunakan dalam proses penelitian ini, ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Alat dan bahan yang digunakan untuk eksperimen

No	Alat dan Bahan	Besar Jumlah Unit	Satuan atau Jumlah
1	<i>Beaker glass</i> 1000 ml	3	buah

2	Erlenmeyer 1000 ml	3	buah
3	Labu ukur 500 ml	3	buah
4	<i>Magnetic stirrer</i> SH-02	1	unit
5	Seperangkat alat titrasi	1	unit
6	Spatula/sudip	1	buah
7	Corong gelas kimia	3	buah
8	<i>Centrifuge</i> merek Magal	1	unit
9	Oven laboratorium merek Universal UN55 Memmert	1	unit
10	Timbangan analitik Kern-Jerman	1	unit
11	Tumbuhan pakcoy	5	kg
12	Kertas saring whatman	1	<i>pack</i>
13	<i>Aquabidest</i>	1	liter
14	padatan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	5	gram
15	HCl 0,1 M	50	mL
16	NaOH 0,1 M	50	mL

### 3.4 Prosedur Eksperimen *Green-synthesis* NiO menggunakan Ekstrak Daun Pakcoy

Langkah kerja dalam penelitian ini menggunakan metode Kotp dkk. (2019) dan Deng dkk. (2020) yang telah dimodifikasi dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Pembuatan Ekstraksi Daun Pakcoy
  1. Daun pakcoy yang sudah kering kemudian dihaluskan menggunakan blender merek *Sharp* sampai menjadi bubuk hingga melewati ayakan berukuran 15 mesh.
  2. Selanjutnya bubuk pakcoy diambil sebanyak 30gram kemudian dilarutkan dengan 300 ml *aquabidest*.
  3. Larutan pakcoy dipanaskan selama 3 jam dengan suhu 60°C sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* SH-2 dan kecepatan pengadukan 750 rpm.
  4. Larutan pakcoy disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 42 sebanyak 3 kali pengulangan hingga menghasilkan ekstrak.
- b. Pembuatan Sintesis Nanopartikel NiO menggunakan Ekstrak Pakcoy

1. Larutan logam  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  sebanyak 100 mL ditambahkan ke dalam 100 mL larutan ekstrak dengan menggunakan buret sambil diaduk dengan kecepatan 750 rpm dan suhu  $60^\circ\text{C}$  selama 3 jam.
2. Selanjutnya dilakukan penyesuaian pH pada larutan sintesis menjadi 7 (netral).
3. Larutan sintesis disentrifugasi selama 25 menit dengan kecepatan 3000 rpm.
4. Pelet hasil sentrifus dicuci dengan *aquabidest* dan alkohol sebanyak 3 kali. Selanjutnya pelet dioven selama 3 jam dengan suhu  $60^\circ\text{C}$ .
5. Partikel yang telah dioven kemudian digerus hingga melewati ayakan 200 mesh.

Adapun modifikasi pada langkah kerja dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas, efisiensi, dan relevansi penelitian. Modifikasi langkah kerja dalam penelitian juga dilakukan untuk mengoptimalkan hasil penelitian dengan penyesuaian parameter, penambahan kontrol eksperimental, dan perubahan metode analisis.

### **3.5 Teknik Karakterisasi Nanopartikel NiO menggunakan Ekstrak Daun Pakcoy**

#### **3.5.1 XRD (X-Ray Diffraction)**

Pada teknik karakterisasi XRD nanopartikel NiO serbuk akan diidentifikasi dan dianalisis dengan menggunakan difraktometer sinar-X (*PANalytical, Netherland*) yang dilengkapi dengan tabung anoda berbahan Cu (tembaga) dan mampu menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang  $1,5406\text{\AA}$  (Minarni dkk., 2018). Ukuran panjang gelombang yang telah dianalisis akan diidentifikasi dengan persamaan Scherrer. Pengidentifikasian dan analisis XRD dilakukan di Laboratorium Pusat Survei Geologi, Bandung, Jawa Barat.

$$D = k \lambda / \beta \cos \theta \quad (3.2)$$

Dengan “D” adalah ukuran kristal, “k” adalah bentuk konstanta yaitu 0,9, “ $\lambda$ ” adalah panjang gelombang sinar-X yang memiliki nilai  $1,5 \times 10^{-10}$  m (Uddin

dkk., 2021). Adapun mesin XRD ini bekerja dalam tegangan dan arus yang tinggi yaitu 40kV dan 30mA.

### 3.5.2 FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*)

Karakterisasi nanopartikel NiO menggunakan Spektrometer Bruker (Vertex 70 FTIR-FT Raman) yaitu dengan rentang rekaman bervariasi antara 400 – 4000  $\text{cm}^{-1}$  menggunakan teknik pelet (Bouzekri dkk., 2023). Bubuk nanopartikel NiO diambil sebanyak 1 gram menggunakan spatula kemudian dibubuhkan ke atas sensor spektrometer FTIR untuk dianalisis gugus fungsi pada bubuk secara kualitatif, dan digunakan untuk analisa kuantitatif dengan menggunakan data intensitas pada panjang gelombang tertentu untuk perhitungannya menggunakan aplikasi Origin-Lab. Pengidentifikasian dan analisis FTIR dilakukan di Laboratorium Multifungsi UIN Ar-Raniry, Banda Aceh.

Pada penelitian ini dianalisis gugus fungsi dari bubuk nanopartikel NiO diantaranya yaitu gugus fungsi NiO dengan bilangan gelombang 1380 – 1350  $\text{cm}^{-1}$  / 840 – 815  $\text{cm}^{-1}$ , asam amino dengan bilangan gelombang 3200 – 3500  $\text{cm}^{-1}$  dan sulfhidril atau *thiols* (*S-H stretch*) dengan bilangan gelombang 2600 – 2550  $\text{cm}^{-1}$  (Nandiyanto dkk., 2019).

### 3.5.3 SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray*)

Pada tahapan karakterisasi ini, nanopartikel NiO akan diidentifikasi secara morfologi dan distribusi ukuran partikelnya menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) yang dilengkapi dengan mesin EDX (EM (NOVA FEISEM-450 diaplikasikan dengan detector EDX) (Uddin dkk., 2021). Pengidentifikasian dan analisis SEM-EDX dilakukan di Laboratorium Pusat Survei Geologi, Bandung, Jawa Barat.

## 3.6 Eksperimen Penyisihan Logam

### 3.6.1 Pembuatan Larutan Cu Artifisial

Sebelum dilakukannya penyisihan logam Cu oleh nanopartikel NiO, terlebih dahulu dilakukan pembuatan limbah logam Cu artifisial menggunakan larutan tembaga(II) nitrat ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ) dengan konsentrasi 50 ppm dari larutan baku  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  1000 ppm (Fajriah dkk., 2017), dengan rumus sebagai berikut:

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2 \quad (3.3)$$

### 3.6.2 Preparasi Adsorpsi Limbah Logam Cu menggunakan Nanopartikel NiO

Pada tahap ini, eksperimen adsorpsi terhadap logam berat Cu dilakukan dengan metode *batch* pada suhu ruang (20°C - 25°C) (Kotp dkk., 2019). Larutan limbah artifisial disiapkan sebanyak 100 mL dalam erlenmeyer 250 mL, kemudian ditambahkan nanopartikel. Larutan tersebut diaduk menggunakan *waterbatch shaker* bersama beberapa parameter yang divariasikan dengan kecepatan 150 rpm selama 60 menit. Variasi yang dibedakan pada eksperimen adsorpsi ini yaitu parameter dengan variasi pH (5, 7 dan 9), dosis adsorben nanopartikel NiO (0,05, 0,1, 0,3 dan 0,7 gram), konsentrasi logam Cu awal (50, 100 dan 200 ppm) serta waktu kontak selama 60 menit (Deng dkk., 2020). Adapun pemilihan waktu yang cukup lama yaitu selama 60 menit memberikan waktu yang cukup bagi nanopartikel NiO untuk berinteraksi dengan logam Cu dalam larutan. Selain itu beberapa nanopartikel mungkin lebih efektif dalam kondisi asam, netral, atau basa. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan variasi nilai pH yang berbeda agar dapat mengetahui bagaimana pH mempengaruhi proses adsorpsi. Selanjutnya, eksperimen dengan dosis yang berbeda dapat membantu menentukan dosis yang optimal untuk mencapai tingkat adsorpsi maksimal.

Logam berat Cu akan diadsorpsi oleh nanopartikel NiO yang telah disintesis dan akan dievaluasi berdasarkan berbagai faktor, diantaranya waktu kontak, pH dan massa adsorben (Bouzekri dkk., 2023). Adapun penyesuaian pH diatur dengan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M, kemudian diperiksa kadar pH. Pada penelitian ini dilakukan variasi pH dengan *range* yang mewakili pH asam, netral dan basa. Karena kadar pH dapat mempengaruhi muatan permukaan substrat padat dan muatan dari molekul atau ion yang akan diadsorpsi, dalam hal ini yaitu logam Cu. Pada pH tertentu, muatan permukaan substrat padat dapat optimal sehingga dapat menarik molekul atau ion yang diinginkan secara efektif. Di sisi lain, pada pH yang berbeda, muatan permukaan substrat padat bisa terlalu positif atau terlalu negatif sehingga tidak dapat menarik molekul atau ion yang diinginkan dengan baik.

Selain itu, pH juga dapat mempengaruhi sifat kimia dari molekul atau ion yang akan diadsorpsi. Beberapa molekul atau ion memiliki sifat kimia yang lebih cocok dengan substrat padat pada pH tertentu sehingga dapat diadsorpsi secara optimal pada pH tersebut. Oleh karena itu, kadar pH tertentu dapat memberikan kondisi yang optimal untuk adsorpsi molekul atau ion tertentu pada substrat padat. Namun, optimum pH adsorpsi dapat bervariasi tergantung pada jenis substrat padat dan molekul atau ion yang akan diadsorpsi.

Selanjutnya, larutan campuran limbah Cu dan nanopartikel disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 42. Setelah itu konsentrasi Cu dikuantifikasi menggunakan AAS (model ZEISS-AA55). Persentase penghilangan jumlah Cu yang diserap oleh nanopartikel NiO menggunakan pakcoy dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Kotp dkk., 2019):

$$\text{Efektivitas penyisihan (\%)} = \frac{C_o - C_{eq}}{C_o} \times 100 \quad (3.4)$$

$$q_e = \frac{(C_o - C_{eq})V}{m} \quad (3.5)$$

Di mana  $C_o$  dan  $C_{eq}$  masing-masing merupakan konsentrasi awal dan kesetimbangan.  $q_e$  (mg/g) adalah jumlah yang diserap.  $V$  (liter) adalah volume larutan  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $m$  (g) adalah massa adsorben.

### 3.6.3 Alat dan Bahan untuk Eksperimen Adsorpsi

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam eksperimen adsorpsi ini ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Alat dan bahan eksperimen adsorpsi

No	Alat dan Bahan	Besar	Satuan	Kegunaan
1	<i>Magnetic stirrer</i>	1	unit	untuk menghomogenkan sampel
2	Erlenmeyer	5	buah	wadah sampel yang akan diuji
3	AAS ( <i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i> ) merek Rayleigh WFX-130A	1	unit	untuk menentukan kandungan logam dengan kategori logam berat maupun logam ringan
4	padatan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	1	gram	untuk pembuatan larutan limbah logam Cu artifisial

5	Nanopartikel NiO	1	gram	adsorben logam Cu <sup>2+</sup>
6	HCl 0,1 M	50	mL	penyesuaian pH
7	NaOH 0,1 M	50	mL	penyesuaian pH

### 3.7 Analisis Kinetika Adsorpsi

#### 3.7.1 Kinetika Adsorpsi Model Langmuir

Model adsorpsi yang paling umum digunakan adalah model Langmuir dan Freundlich, kedua model ini digunakan untuk mencocokkan data adsorpsi eksperimental yang diperoleh dari variasi dosis adsorben. Model Langmuir mengasumsikan adsorpsi *monolayer* dominan, yaitu lapisan yang teradsorpsi adalah satu molekul dengan ketebalan setara dan tidak ada interaksi lateral. Selain itu, permukaan adsorben mengacu pada adsorpsi homogen (Kotp dkk., 2019).

Penentuan model isoterm Langmuir diperoleh dengan membuat kurva isoterm hubungan antara  $1/C_e$  terhadap  $1/q_e$  (Özacar, 2003). Persamaan isoterm yang sesuai untuk penelitian ini dapat diketahui berdasarkan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang diperoleh pada masing-masing persamaan isoterm, dimana nilai korelasi yang mendekati 1 ( $R^2 > 0,9$ ) dapat dikatakan jenis isoterm adsorpsi mengikuti persamaan isoterm tersebut. Di bawah ini merupakan persamaan Langmuir yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q} + \frac{1}{bQ} \frac{1}{C_e} \quad (3.6)$$

Dimana:

$q_e$  = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

$Q$  = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

$b$  = Konstanta adsorpsi Langmuir (L/mg)

$C_e$  = Konsentrasi adsorbat dalam larutan (mg/L)

#### 3.7.2 Kinetika Adsorpsi Model Freundlich

Adapun model Freundlich adalah model teoritis lain yang diterapkan secara luas, dan sebaliknya tepat untuk menggambarkan beberapa adsorpsi senyawa ke permukaan heterogen dan termasuk dalam adsorpsi *multilayer* dan jumlah yang teradsorpsi meningkat seiring meningkatnya konsentrasi larutan (Kotp dkk., 2019).

Penentuan model isoterm Freundlich diperoleh dengan membuat kurva isoterm hubungan antara  $\log C_e$  dengan  $\log q_e$ . Dari konsep tersebut dapat diturunkan persamaan sebagai berikut (Özacar, 2003):

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3.7)$$

Dimana:

$C_e$  = Konsentrasi adsorbat dalam larutan (mg/L)

$q_e$  = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

$K_F$  = Konstanta adsorpsi Freundlich (L/mg)

$n$  = Intensitas adsorpsi

Untuk menghitung kapasitas adsorpsi logam berat tembaga, maka dilakukan adsorpsi pada kondisi optimum yang telah diperoleh. Berdasarkan data yang telah diperoleh, kapasitas adsorpsi dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Zhao dkk., 2013):

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)v}{m} \quad (3.8)$$

Dimana:

$q_e$  = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

$m$  = Massa adsorben yang digunakan (g)

$v$  = volume larutan tembaga (liter)

$C_o$  = Konsentrasi awal tembaga (mg/L)

جامعة الرانري

AR - RANIRY

## BAB IV

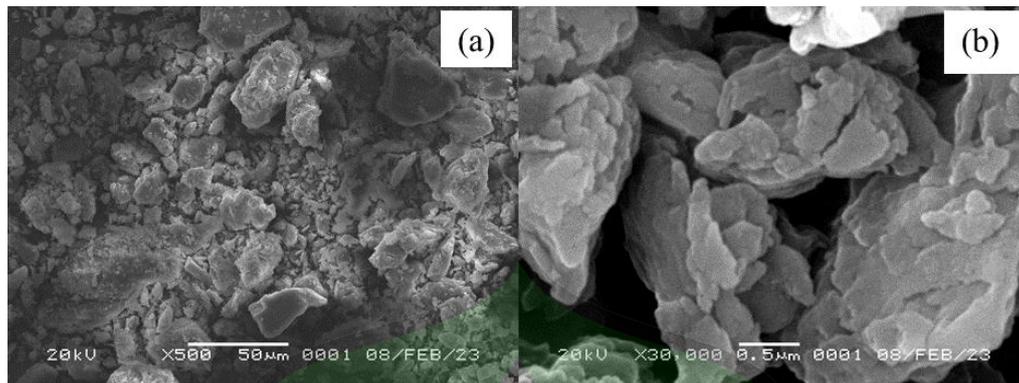
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakterisasi Nanopartikel NiO menggunakan Daun Pakcoy

##### 4.1.1 Hasil Analisis *Scanning Electron Microscopy* dan *Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX)

Gambar 4.1. menunjukkan gambar SEM-EDX nanopartikel NiO yang telah dianalisis dengan perbesaran 500× dan 30.000×. Gambar tersebut menunjukkan bahwa nanopartikel NiO mempunyai bentuk lapisan tipis atau agregat dan sangat kristalin serta sangat teraglomerasi atau cenderung berkelompok. Nanopartikel NiO pada Gambar 4.1 tampak sebagai gugusan nanopartikel dengan rentang ukuran 0,7 hingga 62 nm dengan ukuran kristal rata-rata sekitar 12 nm. Penyebab variasi ukuran nanopartikel dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk parameter proses seperti suhu, tekanan, laju aliran reaktan, dan waktu reaksi. Peningkatan suhu dan reaksi yang lebih lama cenderung menghasilkan partikel yang lebih besar (Khan dkk., 2019).

Variasi ukuran antar nanopartikel dapat disebabkan oleh kemungkinan terjadinya kontaminasi dalam reagen atau peralatan laboratorium, serta aglomerasi dan proses kristalisasi (Ashraf dkk., 2018). Adapun terdapat dua faktor yang berperan dalam aglomerasi nanopartikel NiO. Pertama, aglomerasi dapat disebabkan oleh paparan partikel terhadap suhu tinggi selama proses kalsinasi, seperti yang telah dicatat dalam penelitian sebelumnya (Srihasam dkk., 2020). Kedua, kemungkinan faktor lain adalah tegangan permukaan yang tinggi pada nanopartikel NiO yang sangat halus, serta energi permukaan yang tinggi, seperti yang dijelaskan dalam penelitian (Kamiya dkk., 2018).



Gambar 4.1 Gambar SEM nanopartikel NiO setelah kalsinasi dengan perbesaran  $\times 500$  (a) dan  $\times 30.000$  (b)

Gambar 4.1 juga menunjukkan bahwa nanopartikel NiO memiliki bentuk yang bervariasi dan cenderung bergumpal. Adapun antara nanopartikel memiliki rongga pori sehingga terjadi proses adsorpsi antara partikel dan logam. Berdasarkan analisis SEM terlihat bahwa struktur nanopartikel NiO memiliki bentuk heksagonal, monoklinik, sferis, dan asimetris. Perbedaan bentuk pada nanopartikel NiO dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya suhu dan waktu reaksi dapat mempengaruhi struktur kristal yang terbentuk, menghasilkan bentuk heksagonal atau monoklinik (Ningsih dan Khair, 2017). Selanjutnya selama pertumbuhan nanopartikel NiO, adanya laju nukleasi, laju pertumbuhan, dan pengaruh zat tambahan dapat membentuk struktur bola atau asimetris. Kandungan senyawa yang terdapat pada daun pakcoy dapat berinteraksi dengan nanopartikel sehingga mempengaruhi struktur akhir nanopartikel (Berhe dan Gebreslassie, 2023).

Berdasarkan variasi bentuk nanopartikel NiO yang terlihat pada Gambar 4.1, diasumsikan nanopartikel NiO memiliki tingkat toksisitas yang berbeda. Nanopartikel berbentuk sferis cenderung memiliki tingkat toksisitas yang lebih rendah karena kontak permukaannya yang lebih terbatas dengan jaringan biologisnya. Sementara itu, tingkat toksisitas nanopartikel heksagonal bergantung pada ukuran dan interaksi kimia, serupa dengan nanopartikel asimetris yang menunjukkan potensi toksisitas yang bervariasi sesuai dengan sifat asimetrisnya. Apabila nanopartikel asimetris berbentuk batang atau serat, potensi toksisitasnya

lebih tinggi, karena partikel yang panjang cenderung menyebabkan iritasi atau merusak jaringan dan sel dengan lebih efektif (Egbuna dkk., 2021).

Adapun perbandingan studi mengenai *green-synthesis* nanopartikel NiO sebagai adsorben pada penelitian ini dan penelitian terdahulu yang telah banyak dilakukan seperti yang terdapat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Penelitian terdahulu mengenai green-synthesis nanopartikel NiO sebagai adsorben dan pengaplikasiannya

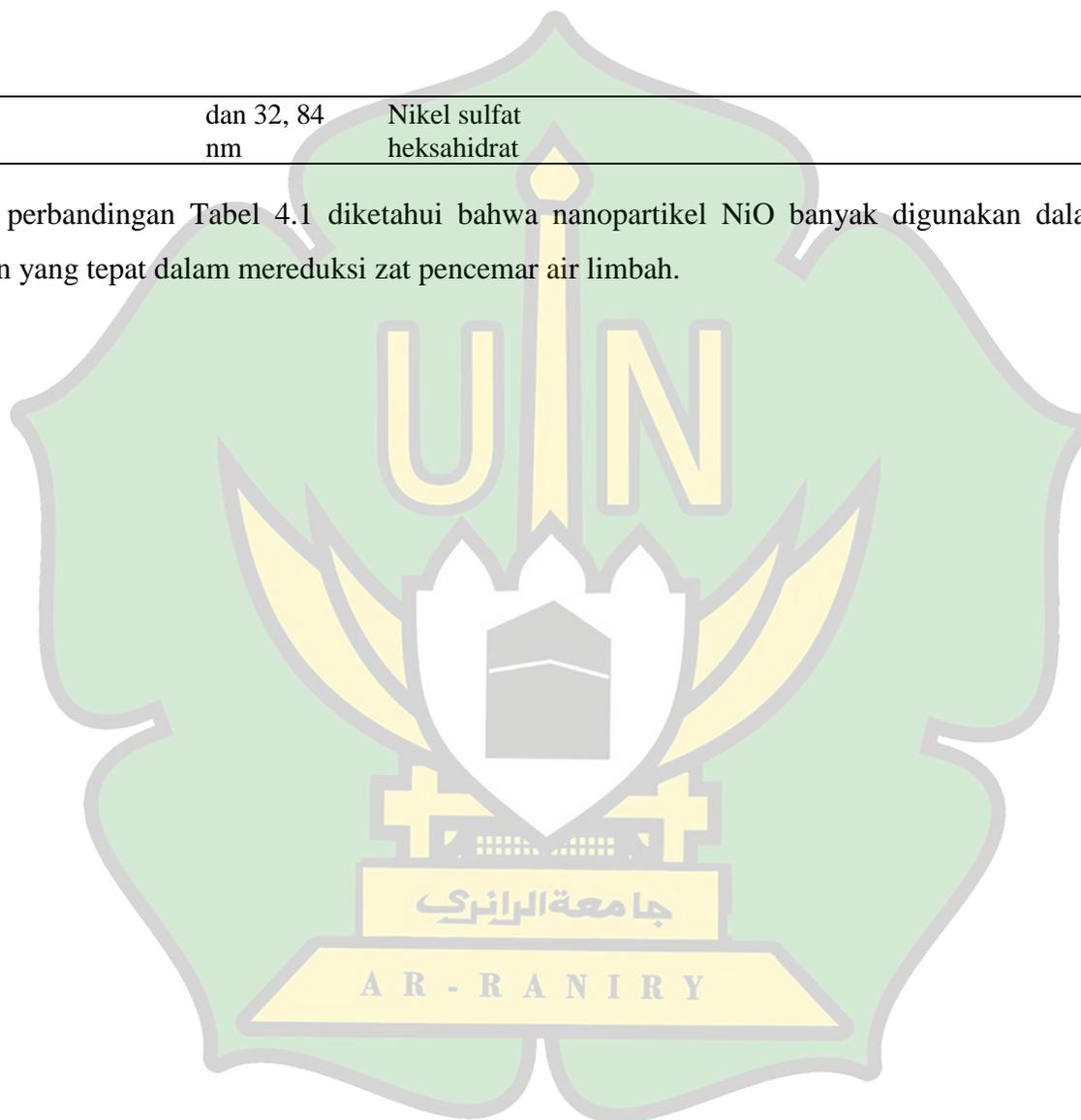
Bentuk	Ukuran	Material Sintesis	Aplikasi	Referensi
Heksagonal, berpori, sferikal teraglomerasi	0,7 – 62 nm	Ekstrak <i>Brassica rapa</i> L.	Adsorben logam Cu <sup>2+</sup>	Penelitian ini
Kristal dan sferikal teraglomerasi	30 – 60 nm	Daun pokok zaitun	Zat pereduksi warna dan sorbitol D sebagai zat penutup	Rashid dkk., (2022)
Sferikal dan berpori	1,9 nm	Daun <i>Azadirachta indica</i>	Penghilangan logam Cd(II)	Rani, (2021)
Sferikal, polihedral	15 – 36 nm	Ekstrak daun <i>Ocimum sanctum</i>	Penghilangan warna seperti kristal violet (CV), eosin Y (EY), orange II (OR) dan poltan nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Pandian dkk., (2015)
Pori-pori teraglomerasi	180 – 200 nm	Ekstrak daun <i>Coccinia grandis</i>	Penghilang warna dan pereduksi Fe <sup>3+</sup>	Padma dkk., (2022)
Sferikal kecil dengan kerapatan tinggi	30 – 45 nm	Daun Arhabi-Khat	Pereduksi logam Pb(II) dan Cd(II)	Hashem dkk., (2022)
Sferikal	20 – 65 nm	Biji <i>Lactuca serriols</i>	Pendegradasi warna	Ali dkk., (2021)
Sferikal, batang, dan heksagonal berongga	72,16 nm, 38,63 nm,	Nikel nitrat heksahidrat, Nikel asetat tetrahidrat, dan	Nikel sulfat heksahidrat merupakan prekursor terbaik	Ningsih dan Khair, (2017)

---

dan 32, 84 nm	Nikel sulfat heksahidrat
------------------	-----------------------------

---

Berdasarkan hasil perbandingan Tabel 4.1 diketahui bahwa nanopartikel NiO banyak digunakan dalam berbagai bidang terkhusus sebagai adsorben yang tepat dalam mereduksi zat pencemar air limbah.





Tabel 4.2 Elemen dan senyawa serta massanya pada analisis SEM-EDX

<i>Element</i>	<i>keV</i>	<i>Massa (%)</i>	<i>Compound</i>	<i>Massa (%)</i>
C	0,277	31,11	C	31,11
O		16,35		
K	3,312	4,10	K <sub>2</sub> O	4,94
Ca	3,690	3,65	CaO	5,10
Ni	7,471	23,12	NiO	29,41
Cu	8,040	3,42	CuO	4,28
Zn	8,630	2,81	ZnO	3,50
Zr	2,042	10,15	ZrO <sub>2</sub>	13,71
Mo	2,293	5,29	MoO <sub>3</sub>	7,94
Total		100,00	Total	100,00

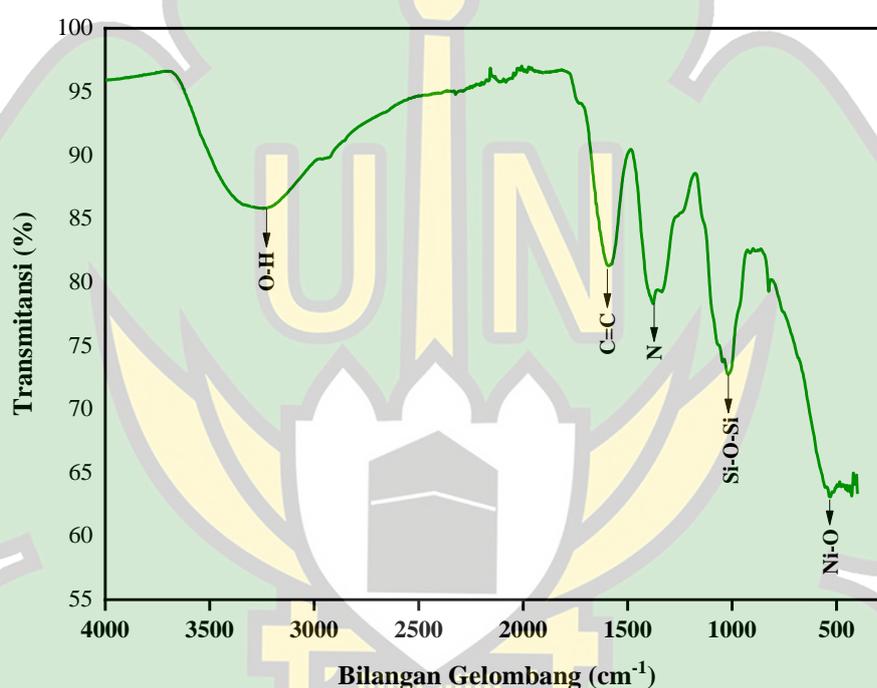
Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa beberapa senyawa terkandung dalam nanopartikel daun pakcoy. Senyawa NiO, CuO, ZnO, dan CaO kemungkinan bersumber dari penyerapan nutrisi oleh tumbuhan pakcoy dari tanah sekitarnya. Senyawa CuO dan ZnO mungkin muncul akibat penyerapan tumbuhan pakcoy dari kegiatan pertanian, seperti pemupukan dan penggunaan pestisida yang berlebihan. Adanya kandungan yang signifikan dari senyawa C dan O menunjukkan terjadinya proses fotosintesis yang aktif dalam daun tumbuhan pakcoy. Keberadaan senyawa-senyawa seperti ZrO<sub>2</sub> dan MoO<sub>3</sub> memberikan indikasi adanya proses biokimia kompleks dalam tumbuhan pakcoy, yang mungkin terlibat dalam proses metabolisme dan adaptasi tumbuhan (Ji dkk., 2022).

Oleh karena itu, berdasarkan data pada Tabel 4.2, dapat disimpulkan bahwa daun pakcoy tidak mengandung senyawa NiO secara murni. Sehingga, daun pakcoy tidak dapat digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan nikel oksida murni, seperti dalam perangkat elektronik, alat sensor, alat semikonduktor, dan sejenisnya. Sebaliknya, daun pakcoy lebih cocok untuk aplikasi yang tidak memerlukan NiO murni, seperti dalam obat-obatan alami, pupuk, fungisida, pestisida, dan sebagai adsorben.

#### 4.1.3 Analisis Karakterisasi *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)* pada Nanopartikel NiO

Gambar 4.3 menunjukkan spektrum FTIR nanopartikel NiO menggunakan tumbuhan pakcoy (*Brassica rapa* L.). Dalam penelitian ini, dilakukan analisis FTIR

untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang ada dalam sampel nanopartikel NiO. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3, secara umum puncak pada  $3226\text{ cm}^{-1}$  merupakan OH *stretch*, kemudian gugus fungsi C=C *stretch* muncul pada bilangan gelombang  $1591\text{ cm}^{-1}$ . Adapun bilangan gelombang  $1378\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan ion nitrat, dilanjutkan bilangan gelombang  $1019\text{ cm}^{-1}$  merupakan gugus fungsi Si-O-Si. Sedangkan titik puncak bilangan gelombang  $530\text{ cm}^{-1}$  merupakan golongan gugus fungsi Ni-O.



Gambar 4.3 Spektrum FTIR nanopartikel NiO menggunakan tumbuhan pakcoy

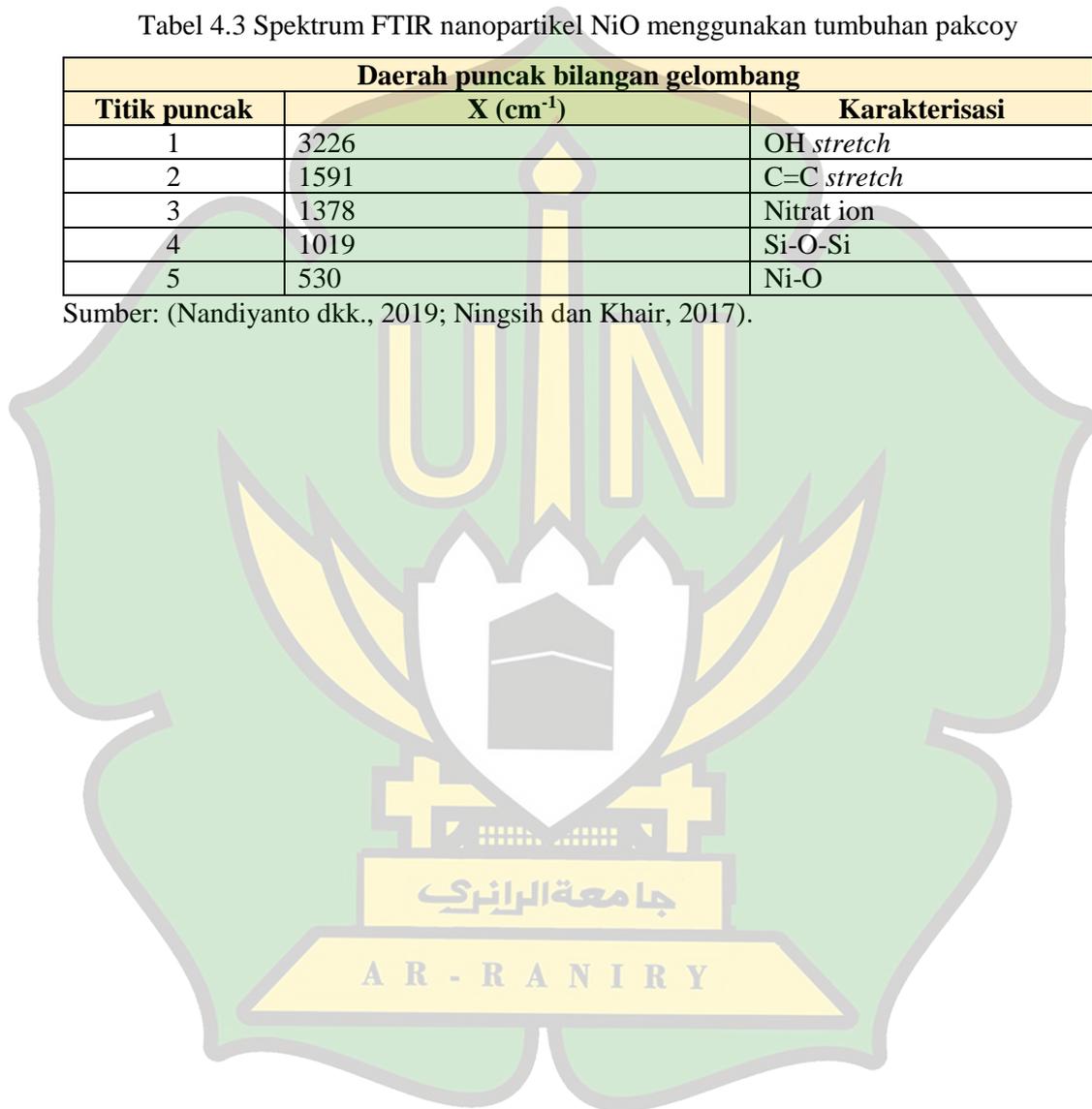
Berdasarkan Tabel 4.3, dapat diketahui bahwa beberapa gugus fungsi terkandung dalam nanopartikel daun pakcoy. Gugus fungsi OH *stretch* kemungkinan berasal dari senyawa-senyawa seperti air atau gugus OH yang terkait dengan komponen organik dalam pakcoy (Iqbal dkk., 2020). Ikatan rangkap C=C diasumsikan berasal dari senyawa organik yang mengandung ikatan rangkap, seperti pigmen atau senyawa aromatik dalam pakcoy. Selanjutnya keberadaan ion nitrat, dapat berasal dari lingkungan atau penggunaan pupuk yang mengandung nitrat. Adapun gugus Si-O-Si, mengindikasikan keberadaan senyawa silikat atau silika yang berasal dalam media tanah atau partikel mineral pada pakcoy.

Keberadaan gugus NiO dalam sampel nanopartikel pakcoy, diketahui dapat berasal dari akumulasi penyerapan nikel dari tanah untuk pertumbuhan dan perkembangannya melalui akar (Zhang dkk., 2023). Unsur ini dapat diangkut ke berbagai bagian tanaman, termasuk daun, batang, dan buah.

Tabel 4.3 Spektrum FTIR nanopartikel NiO menggunakan tumbuhan pakcoy

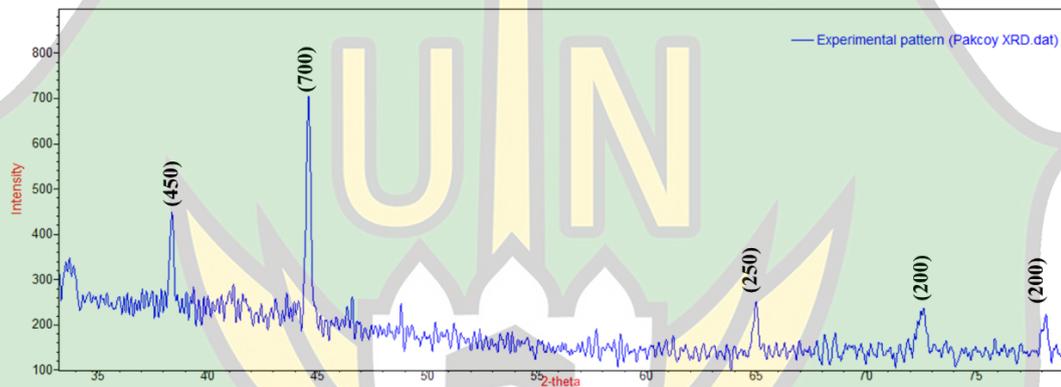
Daerah puncak bilangan gelombang		
Titik puncak	X (cm <sup>-1</sup> )	Karakterisasi
1	3226	OH <i>stretch</i>
2	1591	C=C <i>stretch</i>
3	1378	Nitrat ion
4	1019	Si-O-Si
5	530	Ni-O

Sumber: (Nandiyanto dkk., 2019; Ningsih dan Khair, 2017).



#### 4.1.4 Analisis X-Ray Diffraction (XRD) pada Nanopartikel NiO

Berdasarkan difraktogram analisis XRD Gambar 4.4 menunjukkan peak-peak terbentuk pada sudut  $2\theta$ . Diketahui pada sudut  $38^\circ$  memiliki intensitas 450 cps, sudut  $45^\circ$  intensitas 700 cps, sudut  $65^\circ$  intensitas 250 cps, sudut  $74^\circ$  intensitas 200 cps, sudut  $79^\circ$  intensitas 200 cps, yang mengindikasikan kurva mineral  $\text{NiO}_2$ . Adapun peak dominan terbentuk pada sudut  $45^\circ$  dengan intensitas 700 cps. Berdasarkan hasil analisis pengukuran XRD yang ditunjukkan pada Gambar 4.4, terbukti bahwa nanopartikel pada tumbuhan *Brassica rapa* L. mengandung mineral  $\text{NiO}_2$ .

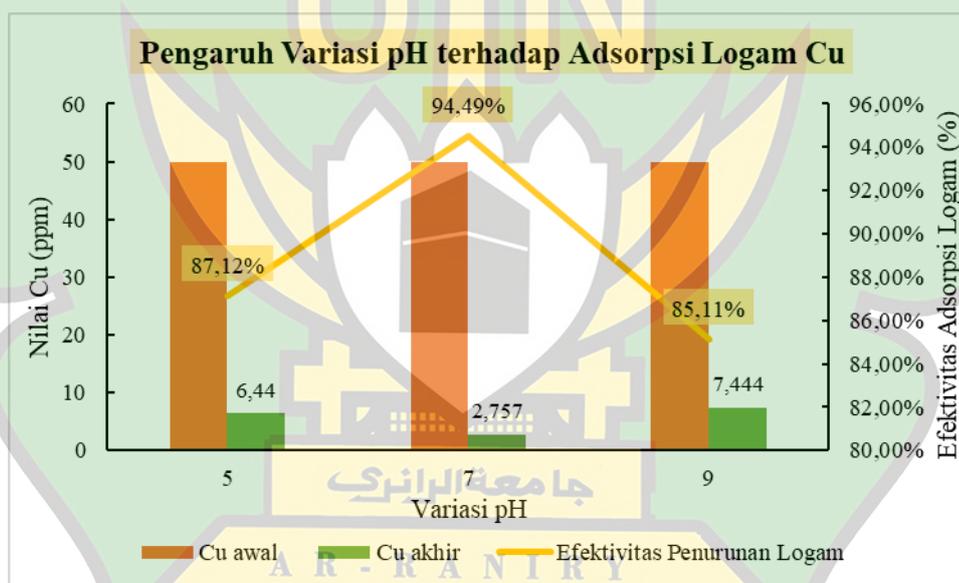


Gambar 4.4 Analisis XRD pada nanopartikel NiO menggunakan tumbuhan pakcoy

## 4.2 Efektivitas nanopartikel NiO menggunakan Daun Pakcoy

### 4.2.1 Pengaruh pH Larutan terhadap Adsorpsi Kadar Logam

Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 4.5, dapat diketahui bahwa variasi nilai pH larutan juga memengaruhi adsorpsi logam Cu oleh nanopartikel NiO. Pada pH 5 setelah interaksi dengan nanopartikel selama 60 menit, konsentrasi logam Cu dalam larutan dari 50 ppm menurun menjadi 6,44 ppm dengan persentase penurunan logam sebesar 87,12%. Hasil eksperimen pada pH 7, menunjukkan variasi dalam jumlah logam Cu yang teradsorpsi tergantung pada nilai pH, yaitu penurunan logam sebesar 95,056% setelah 60 menit. Pada pH 9, diketahui bahwa penurunan kadar logam Cu sedikit berkurang dibandingkan dengan pH 5 dan 7, penurunan logam mencapai 85,112% setelah 60 menit dengan konsentrasi logam Cu dari 50 ppm menjadi 7,444 ppm.



Gambar 4.5 Pengaruh nilai pH larutan terhadap adsorpsi kadar logam Cu

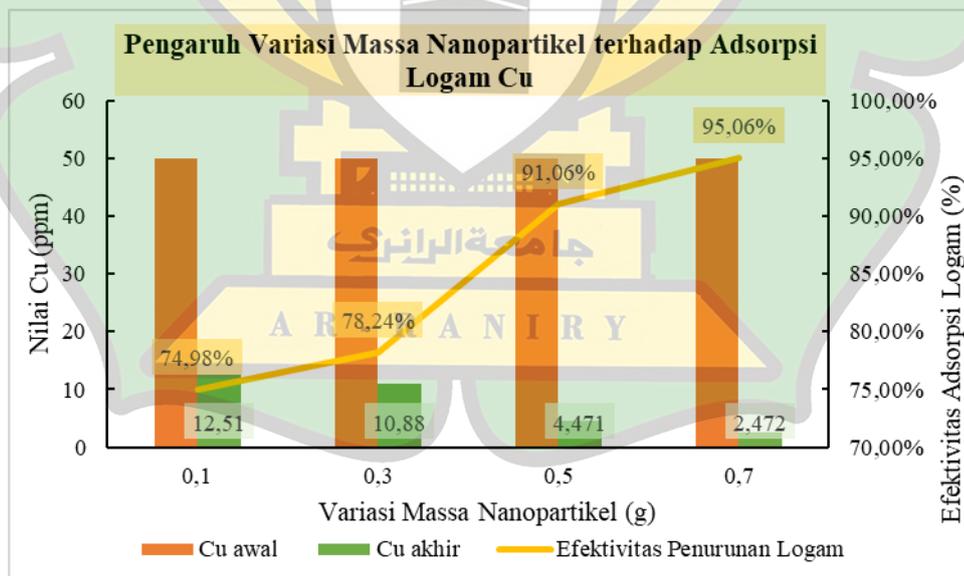
Berdasarkan data pada Gambar 4.5, dapat disimpulkan bahwa kondisi pH yang netral atau nilai pH 7 merupakan nilai optimal dalam penurunan kadar logam Cu dari 50 ppm menjadi 2,757. Meningkatnya persentase penyisihan ion  $\text{Cu}^{2+}$  dapat disebabkan oleh adanya muatan pada permukaan NiO SBNs (*silica-based nanoparticles*), hal ini diduga permukaan menjadi nanopartikel menjadi negatif ketika pH larutan meningkat dari 5 ke 7, yang menimbulkan meningkatnya tarikan

elektrostatik antara ion logam bermuatan positif dan permukaan NiO SBNs (Abuhatab dkk., 2020). Oleh karena itu serapan adsorpsi meningkat.

Adapun penurunan kadar logam Cu pada kondisi pH rendah ( $\text{pH} = 5$ ) diasumsikan terjadinya pencucian ion Cu atau Ni. Ketika pH larutan naik di atas 5, terbentuk M-OH karena permukaan adsorben kehilangan proton, dan akan menyebabkan tarik-menarik elektrostatik antara permukaan adsorben dan ion logam Cu (Hashem dkk., 2022). Hal ini yang akan menyebabkan terjadinya adsorpsi antara logam Cu dan nanopartikel NiO.

#### 4.2.2 Pengaruh Massa Nanopartikel terhadap Adsorpsi Kadar Logam

Hasil dan efektivitas pengujian pengaruh massa nanopartikel NiO terhadap penurunan kadar logam Cu dapat dilihat pada Gambar 4.6. Berdasarkan hasil pengujian pengaruh massa nanopartikel, semakin besar massa nanopartikel yang digunakan maka semakin tinggi jumlah ion Cu yang teradsorpsi. Ini terlihat dari perbandingan antara 0,1 g massa nanopartikel dengan 0,7 g massa nanopartikel. Peningkatan massa nanopartikel menghasilkan penurunan logam yang signifikan yaitu mencapai 95,056% pada variasi 0,7 g massa nanopartikel.

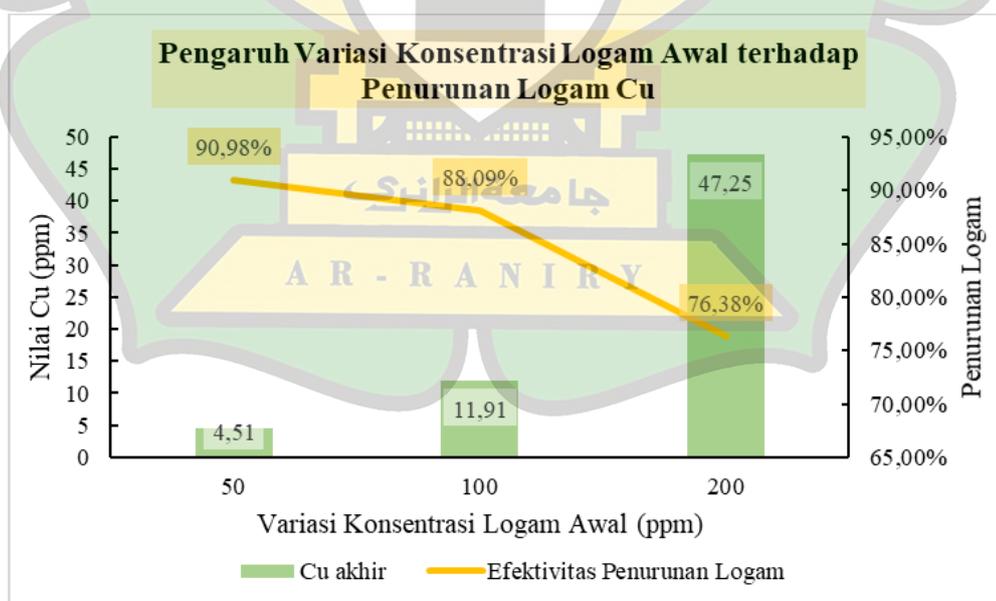


Gambar 4.6 Pengaruh massa nanopartikel NiO terhadap adsorpsi kadar logam Cu

Efisiensi adsorpsi sangat bergantung pada jumlah adsorben yang ditambahkan, sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan (Gambar 4.6). Tingkat penghilangan maksimum logam Cu yaitu pada dosis adsorben 0,7 gram dengan persentase 95,056%. Ketika konsentrasi adsorben meningkat, semakin banyak permukaan atau *surface active sites* (permukaan situs yang aktif) tersedia untuk mengadsorpsi ion polutan (Kumari dkk., 2019). Hal tersebut akan memberikan dampak yang lainnya yaitu kapasitas adsorpsi yang lebih besar, meningkatkan stabilitas koloid nanopartikel NiO dalam larutan logam sehingga interaksi antara ion Cu dan nanopartikel NiO dapat menjadi lebih kuat dan lebih efisien, yang dapat menghasilkan penurunan kadar logam yang lebih besar (Hashem dkk., 2022). Oleh karena itu dalam penelitian ini, dosis adsorben sebesar 0,7 gram dipilih karena efektif mengadsorpsi ion Cu(II).

#### 4.2.3 Pengaruh Konsentrasi Logam Awal terhadap Adsorpsi Kadar Logam

Konsentrasi logam Cu awal terhadap kinerja adsorpsi adsorben dapat dilihat pada Gambar 4.7, yang menunjukkan bahwa seiring dengan peningkatan konsentrasi awal dari 50 ppm menjadi 200 ppm, penyisihan menurun dari 90,08% pada 50 ppm menjadi 76,375% pada 200 ppm.



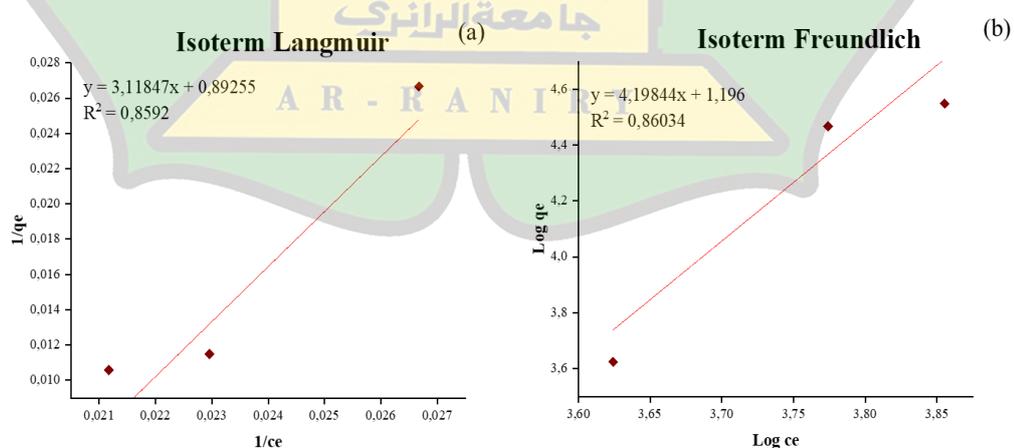
Gambar 4.7 Pengaruh konsentrasi logam Cu awal terhadap penurunan adsorpsi logam Cu akhir

Berdasarkan data pada Gambar 4.7, diketahui bahwa penghilangan logam Cu terjadi secara optimal pada konsentrasi awal yang rendah yaitu 50 ppm dengan hasil logam Cu akhir hanya 4,51 ppm dengan persentase 90,98%, diikuti dengan hasil logam Cu akhir sebesar 11,91 ppm dengan persentase 88,09% pada 100 ppm, dan efektivitas terendah yaitu 76,375% pada 200 ppm dengan hasil logam Cu akhir sebesar 47,25 ppm.

Merujuk pada data Gambar 4.7 ketika konsentrasi ion logam meningkat, gaya tolak-menolak antara ion polutan bebas dan ion polutan yang teradsorpsi meningkat. Dapat disimpulkan bahwa penghilangan yang efektif terjadi pada konsentrasi awal yang rendah yaitu 50 ppm, adapun penyebab menurunnya persentase penghilangan logam Cu pada konsentrasi ion logam awal yang tinggi (100 – 200 ppm) kemungkinan disebabkan oleh fakta bahwa adsorben yang dibuat telah menjadi jenuh pada konsentrasi awal yang tinggi (Hashem dkk., 2022).

#### 4.2.4 Isoterm Adsorpsi Logam Cu menggunakan Nanopartikel

Isoterm adsorpsi logam Cu dengan nanopartikel NiO berdasarkan persamaan Freundlich dan Langmuir dapat diketahui dengan membuat grafik. Untuk model adsorpsi Freundlich dibuat grafik hubungan antara  $\log C_e$  dengan  $\log q_e$ , sedangkan untuk model adsorpsi Langmuir dibuat grafik hubungan antara  $C_e$  dengan  $C_e/q_e$ . Grafik isoterm Freundlich dan isoterm Langmuir untuk adsorpsi logam Cu menggunakan nanopartikel Ni dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Kurva isoterm adsorpsi Langmuir (a) dan kurva isoterm adsorpsi Freundlich (b)

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.8 dan Tabel 4.4 dapat dilihat linieritas dari isoterm Freundlich lebih besar 0,00114 daripada linieritas dari isoterm Langmuir yaitu 0,8592. Sehingga dapat dikatakan bahwa adsorpsi logam Cu menggunakan nanopartikel NiO mengikuti model isoterm Freundlich. Menurut Meila dkk., (2021) jika adsorpsi mengikuti model isoterm Freundlich maka adsorpsi berlangsung secara fisisorpsi multilayer.

Tabel 4.4 Pemodelan isoterm adsorpsi adsorben NiO

Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich		
$K_L$ (L/mg)	$Q$ (mg/g)	$R^2$	$n$	$K_f$ (mg/g)	$R^2$
0,2862	1,1203	0,8592	0,2381	15,70	0,86034

Mekanisme fisisorpsi memungkinkan terjadinya ikatan antar ion logam yang terdapat dalam larutan, selain ikatannya dengan adsorben. Kedua ikatan tersebut hanya terikat oleh gaya van der Waals sehingga ikatan antara adsorbat (logam Cu) dengan adsorben (nanopartikel NiO) bersifat lemah. Hal ini memungkinkan adsorbat leluasa bergerak hingga akhirnya berlangsung proses adsorpsi banyak lapisan (Yustinah dkk., 2019). Oleh karena itu, apabila proses adsorpsi mengikuti model isoterm Freundlich, maka adsorpsi berlangsung dengan cara yang lebih kompleks, dan adsorben dapat menyerap logam berat dalam beberapa lapisan pada permukaannya.

Ketika adsorpsi logam Cu berlangsung dengan cara yang lebih kompleks seperti pada model isoterm Freundlich, hal ini memiliki implikasi signifikan pada penggunaan praktis adsorben. Adsorben tidak perlu diganti secara berkala karena kemampuannya menyerap logam berat dalam beberapa lapisan pada permukaannya. Hal ini akan meningkatkan efisiensi adsorben dalam jangka waktu yang lebih lama, mengurangi biaya dan meningkatkan keberlanjutan aplikasinya.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang diperoleh maka dapat diambil kesimpulan mengenai sintesis hijau nanopartikel NiO menggunakan daun pakcoy (*Brassica rapa* L.) sebagai adsorben logam  $\text{Cu}^{2+}$  yaitu:

1. Karakterisasi nanopartikel NiO menggunakan daun pakcoy melibatkan analisis SEM-EDX, FTIR, dan XRD yang menunjukkan keberadaan senyawa NiO. Ukuran kristal rata-rata nanopartikel NiO adalah 12 nm dengan bentuk yang bervariasi dan cenderung bergumpal. Puncak elemen Ni dan senyawa NiO terdeteksi pada energi 7,471 keV, dengan persentase massa masing-masing sebesar 23,12% dan 29,41%. Beberapa senyawa lain yang terdeteksi pada nanopartikel daun pakcoy diantaranya CuO, ZnO, CaO,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{ZrO}_2$ , dan  $\text{MoO}_3$ . Karakterisasi FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi NiO pada puncak bilangan gelombang  $530\text{ cm}^{-1}$ , gugus fungsi OH *stretch* pada bilangan gelombang  $3226\text{ cm}^{-1}$ , C=C *stretch* muncul pada bilangan gelombang  $1591\text{ cm}^{-1}$ , ikatan ion nitrat pada bilangan gelombang  $1378\text{ cm}^{-1}$ , dan gugus fungsi Si-O-Si pada bilangan gelombang  $1019\text{ cm}^{-1}$ . Analisis XRD menunjukkan bahwa puncak dominan terbentuk pada sudut  $45^\circ$  dengan intensitas 700 cps, mengindikasikan kurva mineral  $\text{NiO}_2$ .
2. Sintesis nanopartikel NiO hijau dengan menggunakan daun pakcoy sebagai adsorben logam  $\text{Cu}^{2+}$  telah terbukti efektif dalam menurunkan kadar logam berat tersebut. Hasil uji adsorpsi menunjukkan bahwa penurunan kadar logam Cu mencapai 95,056%, dengan variasi pH 7. Konsentrasi awal Cu sebesar 50 ppm mengalami penurunan menjadi 2,472 ppm, dengan menggunakan massa nanopartikel sebanyak 0,7 gram. Persentase terendah dalam uji adsorpsi logam Cu adalah sebesar 74,98%, dengan variasi pH 7, konsentrasi awal Cu 50 ppm, Cu akhir 12,51 ppm, dan massa nanopartikel 0,1 gram. Berdasarkan uji isoterm, diketahui bahwa adsorpsi logam Cu menggunakan nanopartikel NiO mengikuti

model isoterm Freundlich. Linieritas isoterm Freundlich lebih besar 0,0011 yaitu 0,86034, dibandingkan dengan linieritas isoterm Langmuir yang sebesar 0,8592.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, penulis mengusulkan perlunya melakukan studi dan penelitian lebih lanjut terkait uji adsorpsi logam Cu dengan menggunakan nanopartikel NiO, yaitu memvariasikan waktu percobaan secara beragam. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan perbandingan yang lebih komprehensif.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdassah, M. (2017). Nanopartikel dengan Gelasi Ionik. *Jurnal Farmaka*, 15(1), 45–52.
- Abuhatab, S., El-Qanni, A., Al-Qalaq, H., Hmoudah, M., dan Al-Zerei, W. (2020). Effective Adsorptive Removal of  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ , and  $Cr^{3+}$  Heavy Metals from Aqueous Solutions using Silica-Based Embedded with NiO and MgO Nanoparticles. *Journal of Environmental Management*, 268(February), 110713.
- Ajsuvakova, O. P., Tinkov, A. A., Aschner, M., Rocha, J. B. T., Michalke, B., Skalnaya, M. G., Skalny, A. V., Butnariu, M., Dadar, M., Sarac, I., Aaseth, J., dan Bjørklund, G. (2020). Sulfhydryl Groups as Targets of Mercury Toxicity. *Coordination Chemistry Reviews*, 417, 213343.
- Ali, R. M., Hendrawati, T. Y., Ismiyati, dan Fithriyah, N. H. (2020). Pengaruh Jenis Adsorben terhadap Efektifitas Penurunan Kadar Timbal Limbah Cair Recycle Aki Bekas. *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 12(1), 87–92.
- Amal, P., dan Tarakan, K. (2017). Analisis dan Evaluasi Kontaminasi Logam Berat Tembaga (Cu), dan Besi (Fe) pada Air, Sedimen serta Akumulasi pada Rumput Laut Eucheuma. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Kimia*, 1(1), 1–6.
- Ashraf, M. A., Peng, W., Zare, Y., dan Rhee, K. Y. (2018). Effects of Size and Aggregation/Agglomeration of Nanoparticles on the Interfacial/Interphase Properties and Tensile Strength of Polymer Nanocomposites. *Nanoscale Research Letters*, 13.
- Berhe, M. G., dan Gebreslassie, Y. T. (2023). Biomedical Applications of Biosynthesized Nickel Oxide Nanoparticles. *International Journal of Nanomedicine*, 18(July), 4229–4251.
- Bouzekri, O., Gamouz, S. El, Ed-dra, A., Moussout, H., dan Dehmani, Y. (2023). Green Synthesis of Nickel and Copper Nanoparticles Doped with Silver from Hammada scoparia Leaf Extract and Evaluation of Their Potential to Inhibit

Microorganism. *January*.

- Cheng, S., Liu, Y., Xing, B., Qin, X., Zhang, C., dan Xia, H. (2021). Lead and Cadmium Clean Removal from Wastewater by Sustainable Biochar Derived from Poplar Saw Dust. *Journal of Cleaner Production*, 314(December 2020), 128074.
- Deng, C., Wang, Y., Cota-Ruiz, K., Reyes, A., Sun, Y., Peralta-Videa, J., Hernandez-Viezcas, J. A., Turley, R. S., Niu, G., Li, C., dan Gardea-Torresdey, J. (2020). Bok Choy (*Brassica rapa*) Grown in Copper oxide Nanoparticles-amended Soils Exhibits Toxicity in A Phenotype-Dependent Manner: Translocation, Biodistribution and Nutritional Disturbance. *Journal of Hazardous Materials*, 398(February), 122978.
- Dewa, R. P., Hadinoto, S., dan Torry, F. R. (2017). Analisa Kandungan Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Pada Air Minum dalam Kemasan di Kota Ambon. *Jurnal Majalah Biam*, 11(2), 76–82.
- Dewi, S. H., dan Ridwan. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Magnetik untuk Adsorpsi Kromium Heksavalen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(2), 136–140.
- Dzihnifira, H., Hamdan, A., dan Razi, F. (2023). Microplastic Removal in Krueng Aceh River Water Using Ultrafiltration Membrane from Polyethersulfone Polymer (PES). *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 6(2), 151–163.
- Egbuna, C., Parmar, V. K., Jeevanandam, J., Ezzat, S. M., Patrick-Iwuanyanwu, K. C., Adetunji, C. O., Khan, J., Onyeike, E. N., Uche, C. Z., Akram, M., Ibrahim, M. S., El Mahdy, N. M., Awuchi, C. G., Saravanan, K., Tijjani, H., Odoh, U. E., Messaoudi, M., Ifemeje, J. C., Olisah, M. (2021). Toxicity of Nanoparticles in Biomedical Application: Nanotoxicology.
- Fajriah, N., Nasir, M., dan Zulfadli. (2017). Analisis Kadar Logam Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Tanaman Kangkung (*Ipomoea aquatica*) Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Kimia*, 2(3), 162–171.
- Fe, K. O., Shell, O. C., Ghozali, A. I., dan Sugiyo, W. (2012). Fotodegradasi Zat

- Warna Remazol Red Menggunakan Katalis  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Core Shell Nanostruktur. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(1), 1–6.
- Feng, Y., Gong, J. L., Zeng, G. M., Niu, Q. Y., Zhang, H. Y., Niu, C. G., Deng, J. H., dan Yan, M. (2010). Adsorption of Cd (II) and Zn (II) from Aqueous Solutions using Magnetic Hydroxyapatite Nanoparticles as Adsorbents. *Chemical Engineering Journal*, 162(2), 487–494.
- Hamdan, A., Bijaksana, S., Tjoa, A., Dahrin, D., dan Kirana, K. (2019). Magnetic Characterizations of Nickel hyperaccumulating Plants (*Planchonella oxyhedra* and *Rinorea bengalensis*) from Halmahera, Indonesia. *International Journal of Phytoremediation*, 21(4), 364-371.
- Hamdan, A., Bijaksana, S., Mariyanto, Amir, M., Utama, W., Pratama, A., Yunginger, L., dan Sudarningsih. (2019). Heavy Metal Contents and Magnetic Properties of Surface Sediments in Volcanic and Tropical Environment from Brantas River, Jawa Timur Province, Indonesia. *Science of the Total Environment*, 675, 632-641.
- Hamdan, A., Bijaksana, S., Tjoa, A., Dahrin, D., Fajar, S., dan Kirana, K. (2020). Use and Validation of Magnetic Properties for Differentiating Nickel hyperaccumulators and Non-nickel hyperaccumulators in Ultramafic Regions. *Journal of Geochemical Exploration*, 216(5), 106581.
- Han, G., Wang, J., Sun, H., Liu, B., dan Huang, Y. (2022). A Critical Review on the Removal and Recovery of Hazardous Cd from Cd-Containing Secondary Resources in Cu-Pb-Zn Smelting Processes. *Metals*, 12(11), 1846.
- Handayani, D. (2022). Sintesis Hijau Nanopartikel Perak Turunan *Kappaphycus alvarezii*. *June*, 0–7.
- Handayani, M., dan Sulistiyono, E. (2019). Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) oleh Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir*, 3(Vi), 130–136.
- Hashem, B. Y., Alswat, A. A., Ali, S. L., Al-Odaini, N. A., dan Alshorifi, F. T. (2022). Facile Synthesis of NiO-CuO/Activated Carbon Nanocomposites for Use in the Removal of Lead and Cadmium Ions from Water. *ACS Omega*, 7(50), 47183–47191.

- Hayati, R., dan Astuti. (2015). Sintesis Nanopartikel Silika dari Pantai Purus Padang dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Fisika Unand*, 4(3), 282–287.
- Jamaludin, A., dan Adiantoro, D. (2012). Analisis Kerusakan X-Ray Fluoresence (XRF). *Batan*, 5, 19–28.
- Iqbal, J., Abbasi, B. A., Ahmad, R., Mahmoodi, M., Munir, A., Zahra, S. A., Shahbaz, A., Shaukat, M., Kanwal, S., Uddin, S., Mahmood, T., dan Capasso, R. (2020). Phytogenic Synthesis of Nickel Oxide Nanoparticles (NiO) using Fresh Leaves Extract of *Rhamnus triquetra* (Wall.) and Investigation of Its Multiple in Vitro Biological Potentials. *Biomedicines*, 8(5).
- Ji, H., Guo, Z., Wang, G., Wang, X., dan Liu, H. (2022). Effect of ZnO and CuO Nanoparticles on the Growth, Nutrient Absorption, and Potential Health Risk of the Seasonal Vegetable *Medicago polymorpha* L. *PeerJ*, 10, 1–25.
- Junyo, G., dan Handayanto, E. (2017). Potensi Tiga Varietas Tanaman Sawi sebagai Akumulator Merkuri pada Tanah. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 4(1), 421–429.
- Kamiya, H., Gotoh, K., Shimada, M., Uchikoshi, T., Otani, Y., Fuji, M., Matsusaka, S., Matsuyama, T., Tatami, J., Higashitani, K., Kurihara, K., Ishida, N., Suzuki, M., Abe, H., Otsubo, Y., dan Miyahara, M. (2018). Characteristics and Behavior of Nanoparticles and Its Dispersion Systems. *Nanoparticle Technology Handbook*, 109–168.
- Khan, I., Saeed, K., dan Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, Applications and Toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 908–931.
- Kotp, A. A., Farghali, A. A., Amin, R. M., Bdel Moaty, S. A., El-Deen, A. G., Gadelhak, Y. M., El-Ela, F. A., Younes, H. A., Syame, S. M., dan Mahmoud, R. K. (2019). Green-synthesis of Ag Nanoparticles and Its Composite with PVA Nanofiber as a Promising  $Cd^{2+}$  Adsorbent and Antimicrobial Agent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(2), 102977.
- Kumari, P., Alam, M., dan Siddiqi, W. A. (2019). Usage of Nanoparticles as Adsorbents for Waste Water Treatment: An Emerging Trend. *Sustainable Materials and Technologies*, 22, e00128.
- Kustomo. (2020). Uji Karakterisasi dan Mapping Magnetit Nanopartikel Terlapisi

- Asam Humat dengan Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(3), 149–153.
- Kusumaningrum., dan Barat, B. J. (2022). Pengaruh Surfaktan pada Sintesis Nikel (II) Oksida (NiO) dengan Metode Presipitasi untuk Penanganan Metilen Biru Secara Fotokatalisis. 7, 38–50.
- Lata, S., dan Samadder, S. R. (2016). Removal of Arsenic from Water Using Nano Adsorbents and Challenges: A Review. *Journal of Environmental Management*, 166, 387–406.
- Lee, L. Z., Zaini, M. A. A., dan Tang, S. H. (2019). Porous nanomaterials for heavy metal removal. *Handbook of Ecomaterials*, 1, 469–494.
- Liliana, S., Guégan, R., Liana, C., Motelica-heino, M., Steluta, C., dan Predoi, D. (2018). Applied Clay Science Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Nanoparticles as Adsorbents for As and Cu removal. *Applied Clay Science*.
- Liu, Y., Gao, C., Li, Q., dan Pang, H. (2019). Nickel Oxide/Graphene Composites: Synthesis and Applications. *Chemistry - A European Journal*, 25(9), 2141–2160.
- Loo, S. L., Krantz, W. B., Fane, A. G., Gao, Y., Lim, T. T., dan Hu, X. (2015). Bactericidal Mechanisms Revealed for Rapid Water Disinfection by Superabsorbent Cryogels Decorated with Silver Nanoparticles. *Environmental Science and Technology*, 49(4), 2310–2318.
- Masruhin, M., Rasyid, R., dan Yani, S. (2018). Penyerapan Logam Berat Timbal (Pb) dengan Menggunakan Lignin Hasil Isolasi Jerami Padi. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 3(1), 6.
- Meila, U., Hasan, A., Purnamasari, I., Sriwijaya, N., Srijaya, J., Bukit, N., dan Palembang, B. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb). *Jurnal Kinetika*, 12(02), 29–37.
- Maylani, A. S., Sulistyarningsih, T., dan Kusumastuti, E. (2016). Preparasi Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Magnetit) serta Aplikasinya sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(2), 130–135.
- Minarni, Salumbae, R., dan Hasbi, Z. (2018). Sintesis dan Karakterisasi

- Nanopartikel Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari Pasir Alam Desa Logas Kabupaten Kuantan Singingi. *Komunikasi Fisika Indonesia Edisi*, 15(01), 36–45.
- Monica, Y., Hamdan, A., Yahya, H., Shakira, A., dan Shapira, D. (2023). Phytoremediation of Laundry Waste by Using *Brassica juncea* and *Brassica rapa*. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, 7(7), 47–60.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., dan Ragadhita, R. (2019). How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97–118.
- Ningsih, S. K. W., dan Khair, M. (2017). Synthesis and Characterization of NiO Nanocrystals by using Sol-Gel Method with Various Precursors. *Makara Journal of Science*, 21(1), 19–24.
- Özacar, M. (2003). Phosphate Adsorption Characteristics of Alunite to be Used as A Cement Additive. *Cement and Concrete Research*, 33(10), 1583–1587.
- Padma, Ranju, S., Yeshas, Kavaya, S. L., Sukrutha, S. K., Kumar, M. R. A., Kumar, A. N., Kumaraswamy, M., Purushotham, B., dan Boppana, S. B. (2022). A Comparative Study of Green and Chemically Synthesized Nano Nickel Oxide for Multifunctional Applications. *Applied Surface Science Advances*, 12(October), 100318.
- Pandian, C. J., Palanivel, R., dan Dhananasekaran, S. (2015). Green Synthesis of Nickel Nanoparticles using *Ocimum sanctum* and Their Application in Dye and Pollutant Adsorption. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 23(8), 1307–1315.
- Panji, A., Simha, L. U., dan Nagabhushana, B. M. (2016). Heavy Metals Removal by Nickel-Oxide Nanoparticles Synthesised by Lemon Juice Extract. *International Journal of Engineering and Management Research*, 4(4), 287–291.
- Pratiwi, R. A., dan Nurlaeni, Y. (2020). Screening of Plant Collection of Cibodas Botanic Gardens with Anticancer Properties. *Biodiversitas*, 21(11), 5186–5229.
- QU, J. (2018). Research Progress of Novel Adsorption Processes in Water

- Purification: A Review. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 1–13.
- Ramli, M., Muslim, B., dan Fajriah, S. N. (2019). *Integrasi Pencemaran Logam Berat dan Islam menggunakan Metode 4-STMD*. 3(3), 102–115.
- Rana, A., Yadav, K., dan Jagadevan, S. (2020). A Comprehensive Review on Green Synthesis of Nature-Inspired Metal Nanoparticles: Mechanism, Application and Toxicity. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122880.
- Rasheed, S., Arif, S., Ullah, A., dan Rehman, W. (2016). Perspective Chapter: Brassica Species Mediated Green Synthesis of Nanoparticles and Its Potential Biological Applications. *Intech*, 11(tourism), 13.
- Rashid, I. M., Salman, S. D., Mohammed, A. K., dan Mahdi, Y. S. (2022). Green Synthesis of Nickle Oxide Nanoparticles for Adsorption of Dyes. *Sains Malaysiana*, 51(2), 533–546.
- Sachan, D., Ramesh, A., dan Das, G. (2021). Green Synthesis of Silica Nanoparticles From Leaf Biomass and Its Application to Remove Heavy Metals from Synthetic Wastewater: A Comparative Analysis. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 16(November 2020), 100467.
- Satriawan MB, dan Ilmiati Iling. (2017). Uji FTIR Bioplastik dari Limbah Ampas Sagu dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Gelatin. *Jurnal Dinamika*, Vol. 08 No(P-ISSN : 2087-7889 E-ISSN: 2503-4863), 1–13.
- Septiano, A. F., Susilo, S., dan Setyaningsih, N. E. (2021). Analisis Citra Hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 44(2), 81–85.
- Samuel, M. S., Ravikumar, M., John, A., Selvarajan, E., Patel, H., Chander, P. S., Soundarya, J., Vuppala, S., Balaji, R., dan Chandrasekar, N. (2022). A Review on Green Synthesis of Nanoparticles and Their Diverse Biomedical and Environmental Applications. *Catalysts*, 12(5).
- Sharma, R. K., Solanki, K., Dixit, R., Sharma, S., dan Dutta, S. (2021). Nanoengineered Iron Oxide-Based Sorbents for Separation of Various Water Pollutants: Current Status, Opportunities and Future Outlook. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 7(5), 818–860.

- Singh, J., Dutta, T., Kim, K. H., Rawat, M., Samddar, P., dan Kumar, P. (2018). “Green” Synthesis of Metals and Their Oxide Nanoparticles: Applications for Environmental Remediation. *Journal of Nanobiotechnology*, 16(1), 1–24.
- Siong, W., Ying, J., Kumar, P. S., Mubashir, M., Majeed, Z., Banat, F., Ho, S., dan Loke, P. (2021). A Review on Conventional and Novel Materials Towards Heavy Metal Adsorption in Wastewater Treatment Application. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126589.
- Srihasam, S., Thyagarajan, K., Korivi, M., Lebaka, V. R., dan Mallem, S. P. R. (2020). Phytochemical Generation of NiO Nanoparticles using Stevia Leaf Extract and Evaluation of Their In-Vitro Antioxidant and Antimicrobial Properties. *Biomolecules*, 10(1).
- Sumarlin, S., dan Harsono, B. (2020). Analisis Logam Berat Tembaga (Cu) pada Sungai Pampang Kelurahan Pampang Kecamatan Samarinda Utara. *Agrokompleks*, 20(2), 12–18.
- Uddin, S., Iqbal, J., Safdar, L. Bin, Ahmad, S., Abbasi, B. A., Capasso, R., Kazi, M., dan Quraihi, U. M. (2022). Green Synthesis of BPL-NiONPs Using Leaf Extract of Berberis pachyacantha: Characterization and Multiple in Vitro Biological Applications. *Molecules*, 27(7).
- Uddin, S., Safdar, L. Bin, Iqbal, J., Yaseen, T., Laila, S., Anwar, S., Abbasi, B. A., Saif, M. S., dan Quraishi, U. M. (2021). Green Synthesis of Nickel Oxide Nanoparticles using Leaf Extract of Berberis balochistanica: Characterization, and Diverse Biological Applications. *Microscopy Research and Technique*, 84(9), 2004–2016.
- Wang, T., Li, C., Liu, Y., Li, T., Zhang, J., dan Sun, Y. (2015). Inhibition Effects of Chinese Cabbage Powder on Aflatoxin B1-Induced Liver Cancer. *Food Chemistry*, 186, 13–19.
- Wanta, K. C., Putra, F. D., Susanti, R. F., Gemilar, G. P., Astuti, W., Virdhian, S., dan Petrus, H. T. B. M. (2019). Pengaruh Derajat Keasaman (pH) dalam Proses Presipitasi Hidroksida Selektif Ion Logam dari Larutan Ekstrak Spent Catalyst. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(2), 94.
- Wijayanti, A., Susatyo, E. B., dan Kurniawan, C. (2018). Adsorpsi Logam Cr(VI)

- dan Cu(II) pada Tanah dan Pengaruh Penambahan Pupuk Organik. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), 242–248.
- Wuryanti, D., dan Suharyadi, E. (2018). Studi Adsorpsi Logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) Dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Adsorben Nanopartikel Magnetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. *Jurnal Fisika Indonesia*, 20(2), 28.
- Yang, J., Hou, B., Wang, J., Tian, B., Bi, J., Wang, N., Li, X., dan Huang, X. (2019). Nanomaterials for The Removal of Heavy Metals from Wastewater. *Nanomaterials*, 9(3).
- Ying, S., Guan, Z., Ofoegbu, P. C., Clubb, P., Rico, C., He, F., dan Hong, J. (2022). Green Synthesis of Nanoparticles: Current Developments and Limitations. *Environmental Technology and Innovation*, 26, 102336.
- Yosri, N., Khalifa, S. A. M., Guo, Z., Xu, B., Zou, X., dan El-Seedi, H. R. (2021). Marine organisms: Pioneer Natural Sources of Polysaccharides/Proteins for Green Synthesis of Nanoparticles and Their Potential Applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 193(PB), 1767–1798.
- Yustinah, Hudzaifah, Aprilia, M., dan AB, S. (2019). Keseimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) dengan Adsorben Tanah Diatomit secara Batch. *Jurnal KONVERSI*, 9(1), 17–28.
- Zhang, S., Gu, W., Bai, J., Dong, B., Zhao, J., dan Zhuang, X. (2023). Fate and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Brassica chinensis L. (pak-choi) and Soil Amended by Sludge-based Biochar. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 5621–5633.
- Zhao, F., Repo, E., Yin, D., dan Sillanpää, M. E. T. (2013). Adsorption of Cd(II) and Pb(II) by a Novel EGTA-modified Chitosan Material: Kinetics and Isotherms. *Journal of Colloid and Interface Science*, 409, 174–182.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Perhitungan Larutan

#### 1. Pembuatan Larutan Ni

##### a. Pembuatan larutan induk Ni 1000 mg/L

Massa Nikel = Massa molar  $\times$  Molar  $\times$  Volume

$$m = 290,81 \text{ g/mol} \times 0,1 \text{ mol} \times 1 \text{ L}$$

$$m = 29,081 \text{ gram} \approx 29,1 \text{ gram}$$

#### 2. Pembuatan larutan Cu

##### a. Pembuatan larutan induk $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1000 mg/L

##### b. Pengenceran larutan standar $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 50, 100, dan 200 dari 1000 ppm

$$\begin{aligned} - V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 50 \text{ ppm} \\ V_1 &= 2,5 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 100 \text{ ppm} \\ V_1 &= 5 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 200 \text{ ppm} \\ V_1 &= 10 \text{ mL} \end{aligned}$$

#### 3. Penentuan nilai konstanta isoterm adsorpsi

##### a. Isoterm Langmuir

$$y = 3,11847x + 0,89255$$

$$R^2 = 0,8592$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q} + \frac{1}{K_L Q} \frac{1}{C_e}$$

$$y = b + a.x$$

$$y = + 0,89255 + 3,11847.x$$

##### 1. Penentuan Q (Kapasitas adsorpsi (mg/g))

$$b = \frac{1}{Q}$$

$$+ 0,89255 = \frac{1}{Q}$$

$$Q = \frac{1}{+ 0,89255}$$

$$Q = 1,1203 \text{ mg/g}$$

2. Penentuan nilai  $K_L$  (konstanta adsorpsi isoterm Langmuir (L/mg))

$$a = \frac{1}{K_L Q}$$

$$3,11847 = \frac{1}{K_L(1,1203)}$$

$$K_L = \frac{1}{3,4936 \text{ L/mg}}$$

$$K_L = 0,2862 \text{ L/mg}$$

b. Isoterm Freundlich

$$y = 4,19844x + 1,196$$

$$R^2 = 0,86034$$

$$\log q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

$$y = b + a.x$$

$$y = + 1,196 + 4,19844.x$$

1. Penentuan nilai  $K_f$  (konstanta adsorpsi isoterm Freundlich (L/mg))

$$b = \log K_f$$

$$+ 1,196 = {}^{10}\log K_f$$

$$K_f = 10^{1,196}$$

$$K_f = 15,70 \text{ L/mg}$$

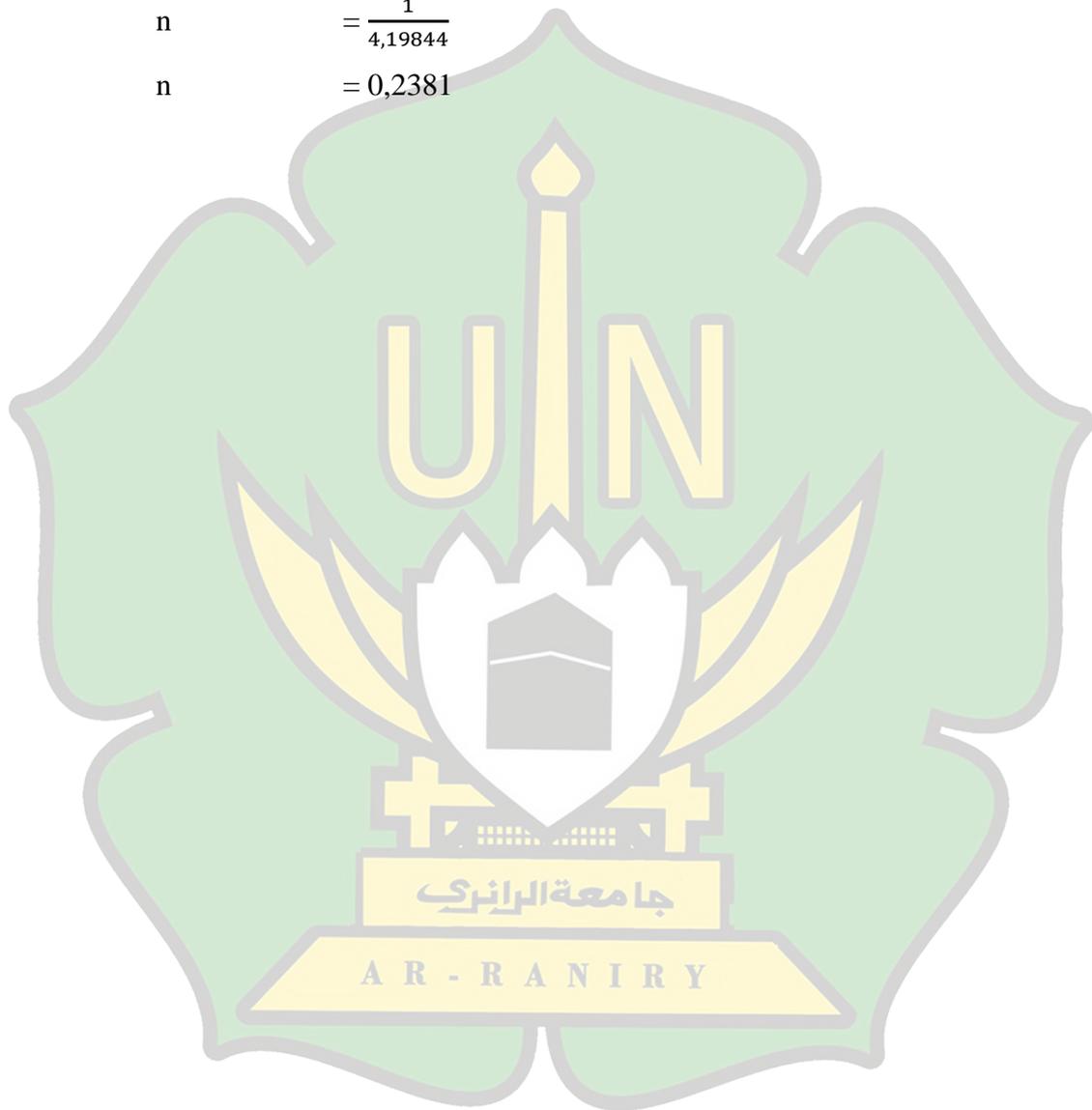
## 2. Penentuan nilai n (intensitas adsorpsi)

$$a = \frac{1}{n}$$

$$4,19844 = \frac{1}{n}$$

$$n = \frac{1}{4,19844}$$

$$n = 0,2381$$



## Lampiran 2. Data Uji Adsorpsi Logam Cu

### 1. Data uji pH optimum adsorpsi logam Cu

Waktu (menit)	pH larutan	Cu awal (ppm)	Cu akhir (ppm)	Massa nanopartikel (g)	Volume larutan (L)	(qe) ion teradsorpsi nanopartikel (mg/g)	Efektivitas
60	5	50	6,44	0,05	0,1	87,12	87,12
	7		2,757			94,486	94,486
	9		7,444			85,112	85,112

### 2. Data uji massa optimum nanopartikel adsorpsi logam Cu

Waktu (menit)	Massa nanopartikel (g)	Cu awal (ppm)	Cu akhir (ppm)	pH larutan	Volume larutan (L)	(qe) ion teradsorpsi nanopartikel (mg/g)	Efektivitas
60	0,1	50	12,51	7	0,1	37,49	74,98
	0,3		10,88			13,04	78,24
	0,5		4,471			9,1058	91,058
	0,7		2,472			6,7897	95,056

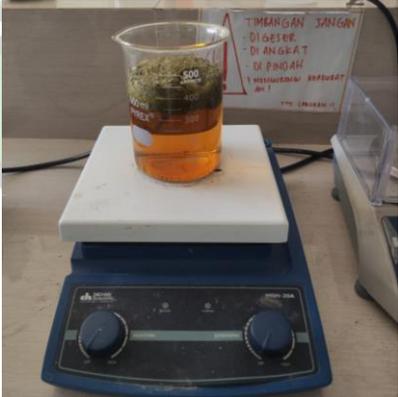
## 3. Data uji konsentrasi optimum awal adsorpsi logam Cu

Waktu (menit)	Cu awal (ppm)	pH larutan	Cu akhir (ppm)	Massa nanopartikel (g)	Volume larutan (L)	(qe) ion teradsorpsi nanopartikel (mg/g)	Efektivitas
60	50	7	4,51	0,7	0,1	6,4985	90,98
	100		11,91			12,5842	88,09
	200		47,25			21,8214	76,375

## 4. Parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich

Ce	Co	(co-ce)	qe (mg/L)	1/qe	1/ce	ln qe	ln ce
6,44	50	43,56	87,12	0,01	0,02	4,467286	3,774139
2,757	50	47,24	94,49	0,01	0,02	4,548452	3,855304
7,444	50	42,56	85,11	0,01	0,02	4,443968	3,750821
12,51	50	37,49	37,49	0,03	0,03	3,624074	3,624074
10,88	50	39,12	13,04	0,08	0,03	2,568022	3,666634
4,471	50	45,53	9,11	0,11	0,02	2,208912	3,818349
2,472	50	47,53	6,79	0,15	0,02	1,915409	3,861319
4,51	50	45,49	6,50	0,15	0,02	1,871582	3,817493
11,91	100	88,09	12,58	0,08	0,01	2,532449	4,478359
47,25	200	152,75	21,82	0,05	0,01	3,082892	5,028803

### Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian

	
Proses pencucian pakcoy	Proses pengeringan pakcoy
	
Proses oven pakcoy	Proses penghalusan pakcoy
	
Proses penambahan aquabides ke serbuk pakcoy	Proses pengadukan pakcoy dan aquabides

	
<p>Proses penyaringan untuk mendapatkan ekstrak pakcoy</p>	<p>Proses peneteskan larutan Nikel ke dalam ekstrak pakcoy</p>
	
<p>Perlakuan <i>centrifuge</i> larutan ekstrak pakcoy</p>	<p>Pelet ekstrak pakcoy</p>
	
<p>Pelet yang telah dioven</p>	<p>Pelet yang telah digerus</p>



Proses pembuatan larutan limbah Cu artifisial



Penambahan bubuk nanopartikel adsorben pada larutan Cu artifisial



Uji adsorpsi dengan variasi ph



Uji adsorpsi dengan variasi massa adsorben



Uji adsorpsi dengan variasi konsentrasi Cu awal



Proses *shaker*



Penyaringan larutan setelah di *shaker*



Perlakuan sebelum pengujian AAS



Proses pengujian AAS



#### Lampiran 4. Hasil Pengukuran Nanopartikel NiO

	<i>Area</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Angle</i>	<i>Length</i>	<b>Ukuran NP NiO dari terbesar ke terkecil</b>
1	3.077	96.164	75.333	170.715	-60.803	15.374	62.288
2	3.272	110.426	73.513	176.409	-45.000	16.468	42.567
3	3.350	85.442	46.000	96.325	-75.635	16.706	37.977
4	1.247	108.133	96.000	118.190	-50.194	6.166	32.911
5	1.091	119.424	93.000	145.000	-61.557	5.387	32.895
6	0.428	153.555	105.000	177.000	-16.699	2.061	31.039
7	1.247	77.609	44.000	94.701	-35.754	6.080	29.519
8	2.065	107.415	88.000	133.483	-56.004	10.236	26.553
9	1.675	71.645	61.762	85.571	-19.290	8.364	26.079
10	0.818	93.323	62.000	108.188	-49.086	3.918	25.047
11	0.428	129.468	101.000	144.000	-45.000	1.954	24.341
12	0.779	89.748	85.917	95.374	57.995	3.724	18.338
13	0.506	84.019	69.583	92.167	41.634	2.377	17.314
14	2.142	96.903	78.407	122.333	-37.504	10.698	16.706
15	1.675	106.394	85.000	125.667	38.234	8.292	16.468
16	8.453	131.048	87.981	209.229	51.589	42.567	15.374
17	7.518	63.781	49.219	118.763	24.567	37.977	14.762
18	6.155	126.482	71.318	179.038	51.454	31.039	14.506
19	3.467	124.572	54.000	180.074	-24.228	17.314	13.834
20	4.830	77.951	66.477	95.601	- 131.055	24.341	13.431
21	2.766	106.380	75.529	154.875	- 104.036	13.834	12.208
22	5.882	128.327	83.871	177.899	- 121.884	29.519	12.117
23	5.298	105.438	66.000	157.787	-11.143	26.553	10.698
24	1.091	78.144	55.000	88.872	-38.991	5.333	10.236
25	1.208	84.973	63.000	100.927	-64.290	5.914	9.251
26	1.130	119.686	93.000	149.000	-62.526	5.561	8.364
27	0.701	125.359	92.446	138.865	-17.354	3.308	8.292
28	0.740	89.099	78.444	98.222	29.358	3.623	7.398
29	0.428	117.208	107.156	133.111	-84.289	1.978	6.338
30	0.428	150.559	139.333	158.631	-66.038	1.884	6.166
31	3.662	82.770	62.452	199.000	-55.968	18.338	6.080
32	5.181	66.510	51.000	90.000	-87.397	26.079	5.914
33	1.480	107.135	87.599	125.105	- 136.081	7.398	5.561
34	2.883	117.939	69.728	190.712	-56.094	14.506	5.533

35	4.986	125.865	76.591	181.000	- 130.846	25.047	5.387
36	1.091	111.455	67.926	143.296	-92.121	5.333	5.333
37	0.623	133.275	93.000	146.600	- 101.310	3.019	5.333
38	1.870	121.766	92.230	189.000	- 123.690	9.251	4.578
39	2.960	112.878	94.970	136.390	-29.650	14.762	3.918
40	0.935	127.400	61.000	150.565	-82.569	4.578	3.771
41	0.390	129.104	95.000	145.325	-57.995	1.752	3.724
42	0.701	119.251	108.824	126.444	-19.440	3.412	3.623
43	0.779	186.876	157.000	197.000	-6.009	3.771	3.588
44	0.701	125.588	44.000	142.647	-86.634	3.361	3.412
45	2.454	145.113	102.154	202.283	- 145.539	12.208	3.361
46	12.348	77.794	44.373	141.085	31.928	62.288	3.308
47	6.544	143.328	73.502	255.000	-1.715	32.911	3.080
48	2.688	116.905	98.353	140.314	-87.474	13.431	3.019
49	2.415	115.858	98.867	182.322	-34.461	12.117	2.747
50	1.285	119.116	94.667	177.333	-3.576	6.338	2.573
51	1.130	101.274	45.222	163.610	-25.641	5.533	2.491
52	0.662	91.346	86.000	96.000	-71.565	3.080	2.377
53	0.584	124.439	94.444	138.063	17.103	2.747	2.237
54	6.544	151.852	96.816	211.823	-0.343	32.895	2.061
55	0.390	118.770	78.500	139.981	-69.444	1.686	1.978
56	0.545	125.027	92.000	140.231	4.399	2.573	1.954
57	0.545	129.981	111.846	138.648	34.992	2.491	1.884
58	0.467	107.347	90.500	112.591	-37.875	2.237	1.752
59	0.740	115.761	98.250	148.000	- 150.642	3.588	1.686
60	0.195	80.325	72.000	85.500	-56.310	0.771	0.771
rerata panjang ukuran nanopartikel NiO						11.954	11.954