

DETEKSI ION LOGAM Cu^{2+} MENGGUNAKAN *INDIUM TIN OXIDE* (ITO) *GLASS* TERMODIFIKASI *NICKEL(II) OXIDE* (NiO) DENGAN METODE *CYCLIC VOLTAMMETRY*



Oleh :

CLEOFANY AURHELYA PARADHISE

NIM/TM. 22036124/2022

**PROGRAM STUDI KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

DETEKSI ION LOGAM Cu^{2+} MENGGUNAKAN *INDIUM TIN OXIDE* (ITO) *GLASS* TERMODIFIKASI *NICKEL(II) OXIDE* (NiO) DENGAN METODE *CYCLIC VOLTAMMETRY*

SKRIPSI

Diajukan sebagai persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains



Oleh :

CLEOFANY AURHELYA PARADHISE

NIM/TM. 22036124/2022

**PROGRAM STUDI KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

PERSETUJUAN SKRIPSI

DETEKSI ION LOGAM Cu^{2+} MENGGUNAKAN *INDIUM TIN OXIDE* (ITO) *GLASS* TERMODIFIKASI *NICKEL(II) OXIDE* (NiO) DENGAN METODE *CYCLIC VOLTAMMETRY*

Nama : Cleofany Aurbelya Paradhise
NIM : 22036124
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 29 Juni 2026

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I



Trisna Kumala Sari, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 198701112019032009

Dosen Pembimbing II



Dr. Vinda Zakiatuz Zulfah, M.Si
NIP. 199507262024032001

Mengetahui

Kepala Departemen Kimia



Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197210241998031001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

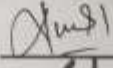
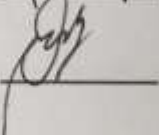
Nama : Cleofany Aurchelya Paradhise
NIM : 22036124
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

DETEKSI ION LOGAM Cu^{2+} MENGGUNAKAN *INDIUM TIN OXIDE* (ITO) *GLASS* TERMODIFIKASI *NICKEL(II) OXIDE* (NiO) DENGAN METODE *CYCLIC VOLTAMMETRY*

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Skripsi
Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 29 Juni 2026

Tim Penguji

No	Jabatan	Nama	Tanda Tangan
1	Ketua	Trisna Kumala Sari, S.Si., M.Si., Ph.D.	1. 
2	Anggota	Dr. Vinda Zakiyatuz Zulfa, M.Si	2. 
3	Anggota	Edi Nasra, S.Si., M.Si.	3. 
4	Anggota	Dr.rer. nat. Deski Beri, S.Si., M.Si.	4. 

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Cleofany Aurhelya Paradhise
NIM : 22036124
Tempat/ Tanggal Lahir : Batam/16 Februari 2005
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Deteksi Ion Logam Cu^{2+} menggunakan *Indium Tin Oxide (ITO) Glass* Termodifikasi *Nickel(II) Oxide (NiO)* dengan Metode *Cyclic Voltammetry*

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak kecuali tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditanda tangani Asli oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Padang, 29 Juni 2026

Yang Menyatakan



Cleofany Aurhelya Paradhise

NIM. 22036124

DETEKSI ION LOGAM Cu^{2+} MENGGUNAKAN *INDIUM TIN OXIDE (ITO) GLASS* TERMODIFIKASI *NICKEL(II) OXIDE (NiO)* DENGAN METODE *CYCLIC VOLTAMMETRY*

Cleofany Aurhelya Paradhise

ABSTRAK

Pencemaran ion logam Cu^{2+} di lingkungan perairan menjadi salah satu permasalahan penting karena sifatnya yang toksik pada konsentrasi berlebih dan sulit terdegradasi secara alami. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sensor elektrokimia berbasis elektroda Indium Tin Oxide (ITO) glass termodifikasi Nickel(II) Oxide (NiO) untuk deteksi ion logam Cu^{2+} menggunakan metode *cyclic voltammetry*. Modifikasi elektroda dilakukan melalui proses elektrodposisi Ni pada permukaan ITO, dilanjutkan dengan oksidasi elektrokimia dan kalsinasi untuk memperoleh lapisan NiO/ITO. Elektroda yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, UV-Vis DRS, FESEM-EDS, dan *cyclic voltammetry*. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya pita serapan logam-oksigen pada daerah bilangan gelombang rendah yang mengindikasikan terbentuknya lapisan berbasis NiO. Analisis XRD menunjukkan kemunculan puncak difraksi yang berkaitan dengan fase NiO. Nilai *bandgap* elektroda ITO dan NiO/ITO masing-masing sebesar 3,17 eV dan 3,01 eV, yang menunjukkan perubahan sifat optik setelah modifikasi. Hasil karakterisasi FESEM menunjukkan morfologi permukaan NiO/ITO tersusun dari partikel berukuran nano dengan bentuk sferis yang relatif seragam dan terdistribusi merata di seluruh permukaan ITO, sedangkan analisis EDS mengkonfirmasi keberadaan unsur O (58,03% atomik), Ni (17,38% atomik), In (21,88% atomik), dan Sn (2,71% atomik) yang terdistribusi homogen berdasarkan hasil elemental mapping. Karakterisasi elektrokimia menggunakan $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ menunjukkan bahwa elektroda NiO/ITO memiliki luas permukaan aktif terbesar, yaitu 1,120 cm^2 , dibandingkan ITO dan Ni/ITO. Deteksi ion Cu^{2+} menunjukkan kondisi optimum pada *Supporting Electrolyte* buffer asetat pH 5 dengan scan rate 100 mV/s. Kurva kalibrasi menunjukkan hubungan linear pada rentang konsentrasi 2-14 ppm dengan persamaan regresi $y = 13,666x - 4,0471$ dan nilai $R^2 = 0,9981$. Nilai limit of detection yang diperoleh sebesar 0,56 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa elektroda NiO/ITO berpotensi digunakan sebagai sensor elektrokimia untuk deteksi ion logam Cu^{2+} .

Kata kunci : Cu^{2+} , ITO, NiO, *cyclic voltammetry*, sensor elektrokimia.

DETECTION OF Cu^{2+} METAL IONS USING *INDIUM TIN OXIDE (ITO) GLASS MODIFIED WITH NICKEL(II) OXIDE (NiO) BY CYCLIC VOLTAMMETRY*

Cleofany Aurbhela Paradhise

ABSTRACT

Copper ion contamination in aquatic environments is an important issue due to its toxicity at excessive concentrations and its non-biodegradable nature. This study aimed to develop an electrochemical sensor based on Nickel(II) Oxide-modified Indium Tin Oxide glass electrode for the detection of Cu^{2+} ions using cyclic voltammetry. The electrode modification was carried out through Ni electrodeposition on the ITO surface, followed by electrochemical oxidation and calcination to obtain the NiO/ITO electrode. The prepared electrodes were characterized using FTIR, XRD, UV-Vis DRS, FESEM-EDS, and cyclic voltammetry. FTIR analysis showed metal–oxygen absorption bands in the low-wavenumber region, indicating the formation of a NiO-based layer. XRD analysis revealed additional diffraction peaks associated with the NiO phase. The optical band gap values of ITO and NiO/ITO were 3.17 eV and 3.01 eV, respectively, indicating changes in optical properties after modification. FESEM characterization revealed that the surface morphology of NiO/ITO consists of relatively uniform spherical nano-sized particles distributed evenly across the ITO surface, while EDS analysis confirmed the presence of O (58.03 at.%), Ni (17.38 at.%), In (21.88 at.%), and Sn (2.71 at.%), with homogeneous spatial distribution verified by elemental mapping. Electrochemical characterization using $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ showed that the NiO/ITO electrode exhibited the largest electroactive surface area of 1.120 cm^2 compared to ITO and Ni/ITO. The optimum condition for Cu^{2+} detection was obtained using acetate buffer at pH 5 as the Supporting Electrolyte with a scan rate of 100 mV/s. The calibration curve showed a linear relationship in the concentration range of 2-14 ppm with the regression equation $y = 13.666x - 4.0471$ and an R^2 value of 0.9981. The limit of detection was found to be 0.56 ppm. These results indicate that the NiO/ITO electrode has potential as an electrochemical sensor for Cu^{2+} ion detection.

Keyword : Cu^{2+} , ITO, NiO, cyclic voltammetry, electrochemical sensor

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Deteksi Ion Logam Cu^{2+} menggunakan *Indium Tin Oxide (ITO) Glass* Termodifikasi *Nickel(II) Oxide (NiO)* dengan Metode *Cyclic Voltammetry*”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Sains di Program Studi Kimia, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penyusunan skripsi ini dapat terlaksana dengan baik berkat bantuan, arahan, bimbingan, serta masukan yang berharga dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada:

1. Ibu Trisna Kumala Sari, M.Si, Ph.D dan Ibu Dr. Vinda Zakiyatuz Zulfa, S.Si selaku Pembimbing Penelitian.
2. Bapak Edi Nasra, S.Si., M.Si dan Bapak Dr. rer. nat. Deski Beri, S.Si., M.Si selaku Pembahas Penelitian.
3. Bapak Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D selaku kepala Departemen Kimia dan Koordinator Program Studi Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
4. Dosen pengajar serta seluruh tenaga akademik dan non akademik di Departemen Kimia FMIPA UNP.
5. Seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi dan dukungan kepada penulis dalam penyusunan proposal penelitian ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis berpedoman pada buku Panduan Penulisan Skripsi Kimia Non Kependidikan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Demi penyempurnaan isi skripsi ini, penulis sangat mengharapkan kritik serta saran yang membangun dari berbagai pihak. Atas perhatian, masukan, dan saran yang diberikan, penulis menyampaikan terima kasih.

Padang, Mei 2026

Penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN

Lembar persembahan adalah bagian yang paling bermakna dalam skripsi ini.

Penulis mempersembahkan skripsi ini kepada:

1. Teristimewa dan yang paling istimewa orang tua penulis, Julham Apandi dan Hidayana Ridwan, yang senantiasa memberikan dukungan serta pengorbanan di setiap proses kehidupan penulis. Terima kasih atas segala bentuk kasih sayang, kesabaran dan keikhlasan yang telah diberikan. Terima kasih sudah berhasil mengantar penulis sampai dengan titik ini, semoga Allah SWT memberkahinya.
2. Adik penulis, Azzahra Putri. Terima kasih atas semangat, doa dan cinta yang selalu diberikann kepada penulis.
3. Kepada mereka yang penulis anggap orang tua kedua penulis, keluarga besar ibu penulis. Terima kasih sudah ikut serta dalam proses penulis menempuh pendidikan selama ini, terima kasih atas semangat, doa dan cinta yang selalu diberikan kepada penulis.
4. Keluarga besar “sanak”, terima kasih telah menjadi rumah yang selalu menemani dan mewarnai dunia penulis selama masa perkuliahan. Terima kasih telah menjadi teman, sahabat, abang, kakak dan saudara yang selalu menguatkan penulis. Terima kasih selalu mengambil banyak peran di balik layar perjuangan dan tidak pernah mengeluh ketika direpotkan.
5. Dosi Novita Sari, yang selalu memberikan inspirasi untuk terus melangkah maju kedepan, menjadi teman bertukar pikiran, tempat berkeluh kesah. Terima kasih atas waktu dan doa yang senantiasa di langitkan.

6. Rekan-rekan mahasiswa di Badan Riset Nasional Indonesia (BRIN). Mba Nindy, Kak Naflah dan Dini yang telah banyak membantu membersamai penulis. Terima kasih atas bantuan, semangat dan doa baik yang diberikan kepada penulis selama ini.
7. Teman-teman “Team Sensor Bu Ai lulus barengan”, terima kasih selalu memberikan dukungan dan motivasi selama masa penelitian sehingga penulis dapat menuntaskan tugas akhir dengan baik.

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	
KATA PENGANTAR.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian.....	4
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Ion Logam Cu^{2+}	6
B. Kaca <i>Indium Tin Oxide</i> (ITO)	7
C. <i>Nickel(II) Oxide</i> (NiO)	9
D. Metode Elektrokimia.....	10
E. Instrumentasi	13
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
A. Waktu dan Tempat.....	25
B. Objek Penelitian	25
C. Variabel Penelitian	25
D. Alat dan Bahan.....	25
E. Prosedur Penelitian.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
A. Preparasi elektroda ITO Termodifikasi NiO melalui Elektrodposisi dan Kalsinasi.....	33
B. Karakterisasi Struktur dan Morfologi Elektroda ITO, Ni/ITO dan NiO/ITO	35

C. Karakterisasi Elektrokimia Elektroda ITO, Ni/ITO dan NiO/ITO dengan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i>	42
D. Optimasi Sensor NiO/ITO dalam Penentuan Ion Cu^{2+}	45
E. Kurva Kalibrasi	49
BAB V PENUTUP.....	52
A. Kesimpulan	52
B. Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....	54
LAMPIRAN.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Jalur masuk dan transformasi logam berat di lingkungan perairan	6
Gambar 2.	Kaca Indium Tin Oxide (ITO).....	8
Gambar 3.	Struktur kristal NiO	9
Gambar 4.	Skema kerja CV	11
Gambar 5.	Grafik potensial terhadap waktu (a) dan (b) kurva cyclic voltammogram.....	12
Gambar 6.	Voltammogram siklik elektroda GrE termodifikasi NiO dan elektroda GrE tanpa modifikasi dalam larutan 1 mM $K_3[Fe(CN)_6]$ pada laju pindai 50 mV/s.....	12
Gambar 7.	Skema sistem diagram alat potensiostat	14
Gambar 8.	Skema dari (a) sel galvanik dan (b) sel elektrolisis.....	15
Gambar 9.	Contoh sistem elektrokimia: (a) tiga elektroda dan (b) dua elektroda	16
Gambar 10.	Spektrum FTIR NiO thin film	18
Gambar 11.	Spektrum FTIR lapisan NiO pada substrat kaca ITO setelah perlakuan panas 300 °C pada rentang 400–4000 cm^{-1} (a) dan 400 °C pada pembesaran 350–1200 cm^{-1} (b)	18
Gambar 12.	Pola XRD nanopartikel Ni yang diendapkan pada substrat ITO ..	19
Gambar 13.	Spektrum UV-Vis NiO nanopartikel.....	21
Gambar 14.	Gambar FESEM NiO pada substrat ITO (a) EDS mapping dari senyawa Ni, O, C dan N (b) dan EDS analisis data	23
Gambar 15.	Skema pembuatan elektroda kerja melalui deposisi elektrokimia dan proses kalsinasi.....	34
Gambar 16.	Spektrum FTIR elektroda ITO, Ni/ITO, dan NiO/ITO	36
Gambar 17.	Difraktogram XRD substrat ITO, Ni/ITO, dan NiO/ITO.....	38
Gambar 18.	Energi <i>band gap</i> dari elektroda ITO, Ni/ITO dan NiO/ITO.....	39
Gambar 19.	Citra FESEM, Analisis EDS serta Pemetaan Unsur (Ni, O, In dan Sn) pada permukaan elektroda NiO/ITO.....	41

Gambar 20.	Kurva <i>cyclic voltammetry</i> elektroda ITO, Ni/ITO, dan NiO/ITO dalam larutan 2 mM $K_3[Fe(CN)_6]$ pada buffer fosfat (PBS) pH 7.	42
Gambar 21.	Kurva <i>cyclic voltammetry</i> elektroda ITO, Ni/ITO, dan NiO/ITO dalam larutan Cu^{2+} 2 mM pada buffer asetat pH 5.....	44
Gambar 22.	Kurva <i>cyclic voltammetry</i> elektroda NiO/ITO dalam larutan buffer asetat dengan Cu^{2+} 2 mM pada variasi pH 3, 4, 5, dan 6 (a) serta hubungan arus puncak terhadap pH (b).....	46
Gambar 23.	Kurva <i>cyclic voltammetry</i> elektroda NiO/ITO dalam buffer asetat pH 5 dengan Cu^{2+} 2 mM pada variasi <i>scan rate</i>	48
Gambar 24.	Hubungan arus puncak terhadap <i>scan rate</i> (v) (a) dan hubungan arus puncak terhadap akar <i>scan rate</i> ($v^{1/2}$) (b).	48
Gambar 25.	Kurva <i>cyclic voltammetry</i> elektroda NiO/ITO dalam buffer asetat pH 5 pada variasi konsentrasi Cu^{2+} (a) kurva kalibrasi hubungan arus puncak terhadap konsentrasi Cu^{2+} (b).....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penggunaan elektroda kerja berbasis kaca ITO untuk deteksi Cu^{2+}	8
Tabel 2. Modifikasi NiO secara elektrokimia untuk deteksi ion logam Cu^{2+}	10

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Diagram Alir Desain Penelitian.....	63
Lampiran 2.	Rangkaian Instrumentasi Potensiostat dengan Sistem 3 Elektroda...	64
Lampiran 3.	Diagram Alir Prosedur Kerja Preparasi Elektroda	64
Lampiran 4.	Diagram Karakterisasi Elektroda non-modifikasi (ITO), elektroda modifikasi (Ni/ITO) dan elektroda modifikasi (NiO/ITO) menggunakan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i>	65
Lampiran 5.	Optimasi Elektroda kerja sebagai Sensor Ion Logam Cu ²⁺	66
Lampiran 6.	Optimasi Elektroda kerja.....	68
Lampiran 7.	Pengujian Elektroda dengan variasi Konsentrasi Ion Logam Cu ²⁺	69
Lampiran 8.	Perhitungan.....	70
Lampiran 9.	Spektrum FTIR dan XRD.....	78
Lampiran 10.	Voltammogram Elektroda.....	83
Lampiran 11.	Dokumentasi Penelitian.....	85

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Aktivitas industri yang berada di sekitar lingkungan perairan dapat menyebabkan penurunan kualitas air. Salah satu jenis pencemar yang berpotensi terdapat di lingkungan perairan adalah ion logam berat. Ion logam berat dapat memasuki lingkungan perairan melalui industri, emisi udara, erosi, pelapukan mineral, aktivitas vulkanik dan pertambangan (Dianira Prastiwi et al., 2022). Logam memiliki sifat sulit terdegradasi secara alami atau *non-degradable*, sehingga ion logam berat yang terangkut ke kolom air maupun terakumulasi di sedimen berpotensi mengkontaminasi organisme akuatik dan bahan pangan yang dikonsumsi manusia.

Menurut (Kirana et al., 2022), tembaga merupakan salah satu jenis logam berat esensial yang diperlukan oleh tubuh manusia. Dalam bentuk ioniknya, yaitu ion Cu^{2+} , unsur ini berperan sebagai kofaktor berbagai enzim, namun apabila konsentrasinya dalam tubuh melebihi batas yang dibutuhkan, Cu^{2+} akan bersifat toksik. Nilai tembaga dalam darah/serum biasanya dinyatakan sebagai rentang rujukan klinis; salah satu rentang yang sering digunakan berada sekitar 10–25 $\mu\text{mol/L}$ (63,5–158,9 $\mu\text{g/dL}$) (Institute of Medicine, 1998). Sumber pencemaran tembaga umumnya berasal dari industri pelapisan logam, galangan kapal, pertambangan, industri kertas, industri tekstil dan sebagainya (Pratiwi, 2020).

Analisis ion logam Cu^{2+} umumnya dilakukan menggunakan metode analisis spektrofotometri dan kromatografi seperti *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS)

(Porento et al., 2011), *Ultraviolet-Visible Spectrophotometry* (UV-Vis) (Liang et al., 2024), *ICP-Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES) (Kizil et al., 2025), *Flame Atomic Absorption Spectrometry* (FAAS) (Bagherian et al., 2019) dan *Reverse Process-High Pressure Liquid Chromatography* (RP-HPLC) (Ichinoki et al., 2009). Pengujian menggunakan metode spektrofotometri dan kromatografi memiliki sensitivitas yang tinggi, namun metode ini memerlukan biaya operasional yang cukup besar. Sehingga, beberapa peneliti mengembangkan metode elektrokimia yang lebih efisien, sensitivitas yang tinggi serta bersifat ekonomis (Elkhatat et al., 2021).

Metode elektrokimia merupakan metode analisis yang memanfaatkan reaksi reduksi-oksidasi untuk dapat mengukur konsentrasi analit, reaksi kimia yang terjadi pada permukaan elektroda akan menghasilkan sinyal. *Cyclic voltammetry* (CV) merupakan salah satu metode elektrokimia yang digunakan untuk mendeteksi ion logam Cu^{2+} . Dalam pengembangan sensor ion logam Cu^{2+} beberapa elektroda kerja telah digunakan, antara lain NiO/CPE (Makalesi et al., 2019), GrE/NiO (Moussaoui et al., 2023), serta *indium tin oxide* (ITO) *glass* (Peshoria & Narula, 2018).

Elektroda kerja *Indium Tin Oxide* (ITO) *glass* merupakan kaca konduktif transparan yang dilapisi dengan lapisan tipis semikonduktor berupa oksida timah indium. Elektroda kerja kaca ITO memiliki transparansi optik yang tinggi, konduktivitas listrik yang baik dan sifat permukaan yang relatif stabil (Bohari et al., 2020). Dalam penelitian (Peshoria & Narula, 2018) dilaporkan bahwa ITO memiliki respon elektrokimia yang baik terhadap Cu^{2+} . Untuk memperoleh respons yang lebih kuat, permukaan ITO dapat dimodifikasi menggunakan material tertentu. Modifikasi elektroda dapat dilakukan menggunakan oksida logam dikarenakan

material tersebut memiliki stabilitas yang baik dan aktivitas elektrokatalitik tinggi (Moussaoui et al., 2023). *Nickel(II) Oxide* (NiO) adalah salah satu jenis oksida logam yang dapat digunakan sebagai material modifikasi pada permukaan elektroda kaca ITO.

Menurut (Moussaoui et al., 2023), modifikasi *carbon graphite electrode* (GrE) menggunakan *Nickel(II) Oxide* dapat meningkatkan luas permukaan, mempercepat transfer elektron, memperkuat sinyal elektrokimia dan struktur lapisan yang stabil. Modifikasi elektroda dilakukan menggunakan teknik *electrodeposition* dikarenakan metode yang relatif sederhana, berbiaya rendah dan serta mampu menghasilkan lapisan material yang melekat dengan baik pada permukaan elektroda.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan sensor ion logam Cu(II) untuk pertama kalinya menggunakan elektroda kerja kaca *Indium Tin Oxide* (ITO) termodifikasi *Nickel(II) Oxide*. Penentuan dilakukan melalui metode *Cyclic Voltammetry*, sedangkan modifikasi elektroda kerja kaca ITO dengan *Nickel(II) Oxide* dilakukan menggunakan teknik *electrodeposition*.

B. Identifikasi Masalah

Sesuai dengan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya, masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peningkatan aktivitas industri berkontribusi terhadap peningkatan pencemaran ion logam Cu²⁺ pada perairan.
2. Minimnya pemanfaatan elektroda termodifikasi *Indium Tin Oxide* (ITO) Glass terhadap penentuan ion logam Cu²⁺ pada perairan.

3. *Indium Tin Oxide (ITO) Glass* tanpa modifikasi masih memiliki keterbatasan respons dalam mendeteksi ion logam Cu^{2+} .

C. Batasan Masalah

Hal-hal yang perlu dibatasi berdasarkan latar belakang adalah sebagai berikut:

1. Penentuan ion logam Cu^{2+} dilakukan menggunakan tiga jenis elektroda kerja, yaitu Indium Tin Oxide (ITO) glass tanpa modifikasi, ITO yang dimodifikasi *Nickel* (Ni/ITO), dan ITO yang dimodifikasi *Nickel(II) Oxide* (NiO/ITO).
2. Kondisi optimum pendeteksian ion logam Cu^{2+} menggunakan elektroda termodifikasi NiO/ITO berdasarkan variasi pH *Supporting Electrolyte* dan *scan rate* terhadap kondisi optimum kimia menggunakan elektroda termodifikasi.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang telah diidentifikasi dan dibatasi, maka rumusan masalah pada penelitian ini dapat disusun sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan respons elektroda ITO, Ni/ITO, dan NiO/ITO dalam pendeteksian ion logam Cu^{2+} menggunakan metode *Cyclic Voltammetry*?
2. Bagaimana kondisi optimum pendeteksian ion logam Cu^{2+} menggunakan elektroda termodifikasi NiO/ITO berdasarkan variasi pH *Supporting Electrolyte* dan *scan rate* terhadap kondisi optimum kimia menggunakan elektroda termodifikasi NiO/ITO?

E. Tujuan Penelitian

Hal-hal yang menjadi tujuan berdasarkan rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan sensor ion logam Cu^{2+} menggunakan elektroda *Indium Tin Oxide* (ITO) Glass yang dimodifikasi *Nickel(II) Oxide* dengan metode *Cyclic Voltammetry*.
2. Menentukan kondisi optimum penentuan ion logam Cu^{2+} menggunakan elektroda *Indium Tin Oxide* (ITO) Glass yang dimodifikasi *Nickel(II) Oxide* dengan variasi pH *Supporting Electrolyte* dan variasi *scanrate*.

F. Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah serta tujuan penelitian, manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai kemampuan elektroda *Indium Tin Oxide* (ITO) glass, Ni/ITO, dan NiO/ITO dalam pendeteksian ion logam Cu^{2+} menggunakan metode *cyclic voltammetry*.
2. Memberikan informasi mengenai kondisi optimum penentuan ion logam Cu^{2+} menggunakan elektroda termodifikasi NiO/ITO dengan melihat pengaruh variasi pH *Supporting Electrolyte* dan variasi *scan rate*.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapatkan dapat disimpulkan bahwa:

1. Sensor ion logam Cu^{2+} berhasil dikembangkan menggunakan elektroda Indium Tin Oxide (ITO) *glass* termodifikasi *Nickel(II) Oxide* (NiO) dengan metode *cyclic voltammetry*. Modifikasi permukaan ITO menjadi NiO/ITO terbukti memberikan perubahan karakteristik material dan elektrokimia elektroda. Hasil FTIR menunjukkan adanya serapan pada daerah logam-oksigen, XRD mengindikasikan terbentuknya fase NiO, dan UV-Vis DRS menunjukkan nilai band gap NiO/ITO sebesar 3,01 eV. Karakterisasi FESEM-EDS memperlihatkan morfologi permukaan NiO/ITO yang tersusun dari nanopartikel berbentuk sferis dengan distribusi yang relatif seragam di seluruh permukaan ITO, serta mengkonfirmasi keberadaan unsur O, Ni, In, dan Sn dengan distribusi spasial yang homogen berdasarkan hasil *elemental mapping*. Secara elektrokimia, elektroda NiO/ITO menghasilkan respons terbaik dibandingkan ITO dan Ni/ITO, ditunjukkan oleh nilai arus puncak yang lebih tinggi serta luas permukaan aktif terbesar, yaitu 1,120 cm^2 .
2. Kondisi optimum penentuan ion logam Cu^{2+} menggunakan elektroda NiO/ITO diperoleh pada *supporting electrolyte* buffer asetat pH 5 dengan *scan rate* 100 mV/s. Pada kondisi tersebut, elektroda NiO/ITO menunjukkan respons linear terhadap peningkatan konsentrasi Cu^{2+} pada rentang 2-14 ppm dengan

persamaan regresi $y = 13,666x - 4,0471$ dan nilai R^2 sebesar 0,9981. *Nilai limit of detection* yang diperoleh sebesar 0,56 ppm, sehingga elektroda NiO/ITO berpotensi digunakan sebagai sensor elektrokimia untuk deteksi ion logam Cu^{2+} .

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat mengoptimalkan kembali kondisi preparasi elektroda, seperti waktu elektrodeposisi, potensial deposisi, waktu oksidasi, dan suhu kalsinasi, agar lapisan NiO yang terbentuk lebih merata, stabil, serta mampu menghasilkan respons elektrokimia yang lebih baik.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan penggunaan elektroda NiO/ITO untuk mendeteksi ion logam berat lainnya. Pengujian terhadap logam lain diperlukan untuk mengetahui kemampuan, selektivitas, dan potensi aplikasi elektroda NiO/ITO sebagai sensor elektrokimia yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, H., Reduan, S. A., & Yusoff, N. (2018). Chitosan capped nickel oxide nanoparticles as a saturable absorber in a tunable passively Q-switched erbium doped fiber laser. *RSC Advances*, 8(45), 25592–25601. <https://doi.org/10.1039/C8RA04380A>
- Albrecht, T., Addai-Mensah, J., & Fornasiero, D. (2011). *Effect of pH, concentration and temperature on copper and zinc hydroxide formation/precipitation in solution*.
- Ali, A., Zhang, N., & Santos, R. M. (2023). Mineral Characterization Using Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review of the Fundamentals, Advancements, and Research Directions. *Applied Sciences* 2023, Vol. 13, Page 12600, 13(23), 12600. <https://doi.org/10.3390/AP132312600>
- Antaza, P. L., & Sari, T. K. (2024). Pengaruh pH Pada Penentuan Ion Logam Cu^{2+} Menggunakan Pencil Lead Electrode (PLE) Modifikasi Lapisan Timis Emas Secara Anodic Stripping Voltammetry (ASV). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(2), 26900–26906. <http://jptam.org/index.php/jptam/article/view/17655>
- Anugrah Putri, Y., Kumala Sari, T., Oktavia, B., & Kalmar Nizar, U. (2024). Pengaruh Supporting Electrolyte Pada Penentuan Formaldehida Secara Voltametri Siklik Menggunakan Pencil Lead Electrode (PLE) Modifikasi Lapisan Tipis Perak. *Chemistry Journal of Universitas*, 13(1). <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia>
- Ashenagar, A., Tarighat, M. A., & Abdi, G. (2025). Development of highly selective and sensitive electrochemical sensor for trace level determination of Cu^{2+} ions in different biological and Persian Gulf Algae samples. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 47, 100762. <https://doi.org/10.1016/J.SBSR.2025.100762>
- Bagherian, G., Arab Chamjangali, M., Shariati Evvari, H., & Ashrafi, M. (2019). Determination of copper(II) by flame atomic absorption spectrometry after its preconcentration by a highly selective and environmentally friendly dispersive liquid–liquid microextraction technique. *Journal of Analytical Science and Technology*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/S40543-019-0164-6>
- Blaseio, S., Dosche, C., Rahaman, M., Kiran, K., Dworzak, A., Mahrt, B., Broekmann, P., Dutta, A., & Oezaslan, M. (2024). Impact of Cu^+ and Cu^{2+} species on the oxide-metal transition processes of Cu_xO foams during the CO_2RR probed by operando Quick-XAS. *Journal of Materials Chemistry A*, 12(41), 28177–28192. <https://doi.org/10.1039/D4TA02217C>

- Bohari, N. A., Siddiquee, S., Saallah, S., Misson, M., & Arshad, S. E. (2020). Optimization and analytical behavior of electrochemical sensors based on the modification of indium tin oxide (ITO) using PANI/MWCNTs/AuNPs for mercury detection. *Sensors (Switzerland)*, 20(22), 1–17. <https://doi.org/10.3390/s20226502>
- Bonomo, M., Di Girolamo, D., Piccinni, M., Dowling, D. P., & Dini, D. (2020). Electrochemically Deposited NiO Films as a Blocking Layer in p-Type Dye-Sensitized Solar Cells with an Impressive 45% Fill Factor. *Nanomaterials* 2020, Vol. 10, 10(1). <https://doi.org/10.3390/NANO10010167>
- Chen, F., Schafranek, R., Li, S., Wu, W. B., & Klein, A. (2010). Energy band alignment between Pb(Zr,Ti)O₃ and high and low work function conducting oxides - From hole to electron injection. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 43(29). <https://doi.org/10.1088/0022-3727/43/29/295301>
- Dianira Prastiwi, A., Kuntjoro, S., Biologi, J., Matematika, F., Pengetahuan, I., Universitas, A., & Surabaya, N. (2022). Analisis Kadar Logam Berat Tembaga (Cu) pada Kangkung Air (*Ipomea aquatica*) di Sungai Prambon Sidoarjo Analysis of Copper (Cu) Levels in Water Spinach (*Ipomea aquatica*) in Prambon River Sidoarjo. *LenteraBio*, 11, 405–413. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index405>
- Djanas, V. B., Fatimawali, & Suoth, E. (2023). FINGERPRINT ANALYSIS OF BETEL (*Piper betle* L.) AS RAW MATERIALS OF TRADITIONAL MEDICINE USING FTIR SPECTROSCOPE. *PHARMACON*, 12(2), 193–198. <https://doi.org/10.35799/PHA.12.2023.40599>
- El-Kemary, M., Nagy, N., & El-Mehasseb, I. (2013). Nickel oxide nanoparticles: Synthesis and spectral studies of interactions with glucose. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 16(6), 1747–1752. <https://doi.org/10.1016/J.MSSP.2013.05.018>
- Elkhatat, A. M., Soliman, M., Ismail, R., Ahmed, S., Abounahia, N., Mubashir, S., Fouladi, S., & Khraisheh, M. (2021). Recent trends of copper detection in water samples. *Bulletin of the National Research Centre*, 45(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00677-w>
- Galarce, C., Fischer, D., Díez, B., Vargas, I. T., Pizarro, G. E., Galarce, C., Fischer, D., Díez, B., Vargas, I. T., & Pizarro, G. E. (2020). Dynamics of Biocorrosion in Copper Pipes under Actual Drinking Water Conditions. *Water* 2020, Vol. 12, 12(4). <https://doi.org/10.3390/W12041036>
- Ghalimi, Y., Habelhames, F., Sayah, A., Bahloul, A., Nessark, B., Shalabi, M., & Nunzi, J. M. (2019). Capacitance performance of NiO thin films synthesized

- by direct and pulse potentiostatic methods. *Ionics*, 25(12), 6025–6033. <https://doi.org/10.1007/S11581-019-03159-2>
- Gong, Y., Chen, X., & Wu, W. (2024). Application of fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy in sample preparation: Material characterization and mechanism investigation. *Advances in Sample Preparation*, 11, 100122. <https://doi.org/10.1016/J.SAMPRE.2024.100122>
- Hayat, A., Mane, S. K. B., Shaishta, N., Khan, J., Hayat, A., Keyum, G., Uddin, I., Raziq, F., Khan, M., & Manjunatha, G. (2019). Nickel Oxide Nano-Particles on 3D Nickel Foam Substrate as a Non-Enzymatic Glucose Sensor. *Journal of The Electrochemical Society*, 166(15), B1602–B1611. <https://doi.org/10.1149/2.0491915JES>
- Honeychurch, K. C. (2012). Printed thick-film biosensors. *Printed Films: Materials Science and Applications in Sensors, Electronics and Photonics*, 366–409. <https://doi.org/10.1533/9780857096210.2.366>
- Ichinoki, S., Sasai, S., Sugai, H., & Fujii, Y. (2009). Determination of copper ion in river water by solvent extraction with 2-mercaptobenzothiazole followed by reversed phase HPLC. *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*, 32(20), 3066–3076. <https://doi.org/10.1080/10826070903320012>
- Institute of Medicine (US) Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes and its Panel on Folate, O. B. V. and C. (1998). Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline. *Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline*. <https://doi.org/10.17226/6015>
- Invernizzi, C., Rovetta, T., Licchelli, M., & Malagodi, M. (2018). Mid and Near-Infrared Reflection Spectral Database of Natural Organic Materials in the Cultural Heritage Field. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2018, 7823248. <https://doi.org/10.1155/2018/7823248>
- Jana, S., Samai, S., Mitra, B. C., Bera, P., & Mondal, A. (2014). Nickel oxide thin film from electrodeposited nickel sulfide thin film: peroxide sensing and photo-decomposition of phenol. *Dalton Transactions*, 43(34), 13096–13104. <https://doi.org/10.1039/C4DT01658K>
- Kato, T., Goto, K., Niwa, T., Shimizu, T., Fujii, A., Okumura, B., Oka, H., & Kadoura, H. (2025). A comprehensive and quantitative SEM–EDS analytical process applied to lithium-ion battery electrodes. *Scientific Reports* 2025 15:1, 15(1), 5428-. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89362-w>

- Kirana, G. C., Khairuddin, K., & Yamin, M. (2022). Analyss of Heavy Metal Content of Copper (Cu) in Cork Fish From Rawa Taliwang Lake, West Sumbawa Regency 2021. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(3), 1033–1039. <https://doi.org/10.29303/JBT.V22I3.3957>
- Kizil, N., Uzcan, F., Beydagi, B. B., Sahin, M., Tokum, B. A., Yola, M. L., & Soylak, M. (2025). Determination of copper (II) in seafood and water samples by ICP-OES using magnetic titanium aluminum carbide nanocomposite for solid phase microextraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, 143, 107541. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2025.107541>
- Koç, Y., Morali, U., Erol, S., & Avci, H. (2021). Investigation of electrochemical behavior of potassium ferricyanide/ferrocyanide redox probes on screen printed carbon electrode through cyclic voltammetry and electrochemical impedance spectroscopy. *Turkish Journal of Chemistry*, 45(6), 1895. <https://doi.org/10.3906/KIM-2105-55>
- Kumar, P., Aslam, M., Ali, S., Hamdy, K., Ahmad, K., & Danishuddin. (2025). Progress in NiO Based Materials for Electrochemical Sensing Applications. *Biosensors* 2025, Vol. 15, Page 678, 15(10), 678. <https://doi.org/10.3390/BIOS15100678>
- Kwon, D., & Kim, J. (2021). Ag metal organic frameworks nanocomposite modified electrode for simultaneous electrochemical detection of copper (II) and lead (II). *Journal of Applied Electrochemistry* 2021 51:8, 51(8), 1207–1216. <https://doi.org/10.1007/S10800-021-01569-7>
- Li, H., Yang, H., Cheng, J., Hu, C., Yang, Z., & Wu, C. (2021). Three-dimensional particle electrode system treatment of organic wastewater: A general review based on patents. *Journal of Cleaner Production*, 308, 127324. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127324>
- Li, L., Mao, L., & Yang, J. (2025). A Review of Principles, Analytical Methods, and Applications of SEM-EDS in Cementitious Materials Characterization. *Advanced Materials Technologies*, 10(7). <https://doi.org/10.1002/ADMT.202401175>
- Liang, Q., Jiang, L., Zheng, J., & Duan, N. (2024). Determination of High Concentration Copper Ions Based on Ultraviolet—Visible Spectroscopy Combined with Partial Least Squares Regression Analysis. *Processes*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/PR12071408>
- Liu, Y., Wang, H., Cui, Y., Chen, N., Liu, Y., Wang, H., Cui, Y., & Chen, N. (2023). Removal of Copper Ions from Wastewater: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2023, Vol. 20, 20(5). <https://doi.org/10.3390/IJERPH20053885>

- Lutsenko, S. (2010). Human copper homeostasis: a network of interconnected pathways. *Current Opinion in Chemical Biology*, 14(2), 211–217. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.01.003>
- Makalesi, A., Yildiz, C., Bayraktepe, E., & Yazan, Z. (2019). NiO Modifiye Karbon Pasta Sensör Yüzeyinde Bakır ve Kadmiyum'un Anodik Sıyırma Voltametrisi ile Tayini. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 7(3), 1403–1416. <https://doi.org/10.29130/DUBITED.527608>
- Maryanto, A. (Anang), & Kurniawan, F. (Fredy). (2016). Fabrikasi Elektroda Pembanding Ag/AgCl Menggunakan Membran Poliisoprena Dan LDPE. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 5(2), 130461. <https://doi.org/10.12962/J23373520.V5I2.19089>
- Mohamad Nor, N., Nasrul, S. N., Zakaria, N. D., & Abdul Razak, K. (2023). Simultaneous Sensing of Cd(II), Pb(II), and Cu(II) Using Gold Nanoparticle-Modified APTES-Functionalized Indium Tin Oxide Electrode: Effect of APTES Concentration. *ACS Omega*, 8(19), 16587–16599. <https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.2C07085>
- Mohan, S., Srivastava, P., Maheshwari, S. N., Sundar, S., & Prakash, R. (2011). Nano Structured Nickel Oxide based DNA Biosensor for Detection of Visceral Leishmaniasis (Kala-azar). *The Analyst*, 136(13), 2845. <https://doi.org/10.1039/C1AN15031F>
- Moradi-Haji Jafan, M., Zamani-Meymian, M. R., Rahimi, R., & Rabbani, M. (2014). The effect of solvents and the thickness on structural, optical and electrical properties of ITO thin films prepared by a sol–gel spin-coating process. *Journal of Nanostructure in Chemistry* 2014 4:1, 4(1), 89-. <https://doi.org/10.1007/S40097-014-0089-Y>
- Moussaoui, S., Smaili, F., Berrabah, S. E., & Manseri, A. (2023). Fabrication of novel electrochemical sensor based on NiO-nanoparticles for copper detection in drinking water. *Inorganic Chemistry Communications*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111563>
- Neaman, A., Schoffer, J. T., Navarro-Villarroel, C., Pelosi, C., Peñaloza, P., Dovletyarova, E. A., & Schneider, J. (2024). Copper contamination in agricultural soils: A review of the effects of climate, soil properties, and prolonged copper pesticide application in vineyards and orchards. <https://Pse.Agriculturejournals.Cz/Doi/10.17221/501/2023-PSE.Html>, 70(7), 407–417. <https://doi.org/10.17221/501/2023-PSE>
- Pargi, N., RJ, V., Kalaria, K. K., Tandel, R., KP, M., & . H. (2024). Assessment of heavy metal toxicity in fish and its impact on human health: A review.

- International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8(4S), 174–182.
<https://doi.org/10.33545/26174693.2024.V8.I4SC.941>
- Patil, N. J., Makkapati, N., Deeksha, V., Vishnuraj, R., Balaji, G., Rangarajan, M., & Srinivasan, P. (2025). Role of reversible redox couples ($\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}^{3+}$ and $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$) in selective H_2O_2 detection behaviour of two-pot synthesized NiFeP nanointerface: An enzyme-free voltammetric approach. *Applied Surface Science*, 712, 164147.
<https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2025.164147>
- Peshoria, S., & Narula, A. K. (2018). Bare indium tin oxide electrode for electrochemical sensing of toxic metal ion. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2018 29:16, 29(16), 13858–13863.
<https://doi.org/10.1007/S10854-018-9517-Y>
- Porento, M., Sutinen, V., Julku, T., & Oikari, R. (2011). Detection of copper in water using on-line plasma-excited atomic absorption spectroscopy (AAS). *Applied Spectroscopy*, 65(6), 678–683. <https://doi.org/10.1366/10-06051>
- Pranata, G., Lasmana, D., Safriani, L., & Syakir, N. (2015). KARAKTERISASI LAPISAN REDUCED GRAPHENE OXIDE (RGO) PADA SUBSTRAT ITO UNTUK APLIKASI SEL SURYA ORGANIK. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 5(02), 39–44. <https://doi.org/10.24198/JMEI.V5I02.11164>
- Pratiwi, D. Y. (2020). DAMPAK PENCEMARAN LOGAM BERAT TERHADAP SUMBER DAYA PERIKANAN DAN KESEHATAN MANUSIA. *Jurnal Akuatek*, 1(1), 59–65. <https://doi.org/10.24198/AKUATEK.V1I1.28135>
- Racik, M. K., Madhavan, J., & Victor Antony Raj, M. (2018). *Synthesis, Characterization and Optical Properties of Spherical NiO Nanoparticles*.
- Raidah, W., Dan, R., & Setiarso, P. (2020). PEMBUATAN ELEKTRODA NANO KARBON UNTUK ANALISIS LOGAM Pb(II) SECARA SIKLIK VOLTAMETRI. *Unesa Journal of Chemistry*, 9(1), 72–77.
<https://doi.org/10.26740/UJC.V9N1.P72-77>
- Ramli, N. H., Mohamad Nor, N., Lockman, Z., & Abdul Razak, K. (2025). Fabrication of tin nanoparticles with functionalized platinum nanodendrites on ITO electrode for simultaneous detection of Cd^{2+} , Pb^{2+} , and Cu^{2+} ions. *Results in Chemistry*, 13, 102013.
<https://doi.org/10.1016/J.RECHEM.2024.102013>
- Rasa Hosseinzade, M., Naji, L., & Hasannezhad, F. (2022). Electrochemical deposition of NiO bunsenite nanostructures with different morphologies as the hole transport layer in polymer solar cells. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 926, 116955. <https://doi.org/10.1016/J.JELECHEM.2022.116955>

- Ridwan, M. (2016). Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi. *Circuit: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 2(1). <https://jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/circuit/article/view/764>
- Riyanto. (2012). *ELEKTROKIMIA DAN APLIKASINYA* (Pertama). Graha Ilmu.
- Rizki Ariq, M., Afriani, K., & Zuliandanu, D. (2022). Verifikasi Metode Uji Penetapan Kadar Tembaga (Cu) dalam Air Permukaan secara Spektrofotometri Serapan Atom. *WARTA AKAB*, 46(1), 1–7.
- Santos, E., Nazmutdinov, R., & Schmickler, W. (2020). Electron transfer at different electrode materials: Metals, semiconductors, and graphene. *Current Opinion in Electrochemistry*, 19, 106–112. <https://doi.org/10.1016/J.COEELEC.2019.11.003>
- Saputri, N. E., Dhayan, R., Harsanti, B. R., Putri, D. M., & Fadly, D. (2021). Total Fenol dan Aktivitas Anti-Inflamasi Jamur Sawit (*Volvariella* sp). *Poltekita : Jurnal Ilmu Kesehatan*, 15(3), 295–300. <https://doi.org/10.33860/JIK.V15I3.637>
- Sedthiphonh, S., Toàn, T. Q., Truong, N. V., & Dũng, N. Q. (2021). GLUCOSE SENSOR USING CYCLIC VOLTAMMETRIC METHOD BASED ON NiO/ITO ELECTRODE. *TNU Journal of Science and Technology*, 226(09), 79–86. <https://doi.org/10.34238/TNU-JST.4337>
- Senja Maelaningsih, F., Permata Sari, D., Werawati STIKes Widya Dharma Husada, A., Pajajaran No, J., & Tangerang Selatan, K. (2021). REVIEW: ANALISIS BETA-BLOCKERS MENGGUNAKAN METODE ELEKTROKIMIA. *Pharmaceutical Science Journal*, 1(1), 19–28. <https://doi.org/10.52031/PHRASE.V1I1.149>
- Shokrieh, M. M., & Mohammadi, A. R. G. (2014). Non-destructive testing (NDT) techniques in the measurement of residual stresses in composite materials: an overview. *Residual Stresses in Composite Materials*, 58–75. <https://doi.org/10.1533/9780857098597.1.58>
- Silah, H., Erkmen, C., Demir, E., & Uslu, B. (2021). Modified indium tin oxide electrodes: Electrochemical applications in pharmaceutical, biological, environmental and food analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 141, 116289. <https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2021.116289>
- Sinta, T., Pandia, A. B., Sumarni, W., Annisa Izzania, R., & Kunci, K. (2021). Pengembangan Alat Peraga Uji Daya Hantar Listrik Berbasis STEM dan Pengaruhnya Terhadap Literasi Kimia Peserta Didik. *Chemistry in Education*, 10(1), 30–37. <https://doi.org/10.15294/CHEMINED.V10I1.41050>

- Souza, A. K. P. ; Cruz, C. A. D. M. ; Júnior, É. C. D. E. S. ; Kennedy, A., Souza, P., Augusto De Moraes Cruz, C., Dutra, É. C., Júnior, S., & Pontes, F. B. (2024). Current Mirror Improved Potentiostat (CMIPot) for a Three Electrode Electrochemical Cell. *Sensors* 2024, Vol. 24, Page 5897, 24(18), 5897. <https://doi.org/10.3390/S24185897>
- Sun, M., Li, Z., Wu, S., Gu, Y., & Li, Y. (2018). Simultaneous detection of Pb²⁺, Cu²⁺ and Hg²⁺ by differential pulse voltammetry at an indium tin oxide glass electrode modified by hydroxyapatite. *Electrochimica Acta*, 283, 1223–1230. <https://doi.org/10.1016/J.ELECTACTA.2018.07.019>
- Tasisa, Y. E., Sarma, T. K., Sahu, T. K., & Krishnaraj, R. (2024). Phytosynthesis and characterization of tin-oxide nanoparticles (SnO₂-NPs) from Croton macrostachyus leaf extract and its application under visible light photocatalytic activities. *Scientific Reports*, 14(1), 10780. <https://doi.org/10.1038/S41598-024-60633-2>
- Thongjoon, W., Chuasontia, I., Aiempnanakit, K., & Aiempnanakit, C. (2022). Morphology and electrochromic property of chemical bath deposited NiO films at different NiSO₄ concentration. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 32(4), 87–92. <https://doi.org/10.55713/jmmm.v32i4.1534>
- Tong, B., & Ichimura, M. (2018). Electrochemical Deposition of Transparent p-Type Semiconductor NiO. *Electronics and Communications in Japan*, 101(2), 45–50. <https://doi.org/10.1002/ECJ.12043>
- Uddin, S., Safdar, L. Bin, Iqbal, J., Yaseen, T., Laila, S., Anwar, S., Abbasi, B. A., Saif, M. S., & 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. <https://doi.org/10.1002/JEMT.23756>
- Usman, M. A., Hasbi, M., & Sudia, B. (2017). STUDI EKSPERIMEN PENGGUNAAN AIR GARAM SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF. *Enthalpy: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 2(3). <https://doi.org/10.55679/ENTHALPY.V2I3.2741>
- Vladut, M., Anastasescu, C., Ivanova, T., Harizanova, A., & Petkov, N. (2025). Optical, Electrical, and Structural Properties of NiO Thin Films, Derived by Sol–Gel Method. *Gels* 2025, Vol. 11, Page 944, 11(12), 944. <https://doi.org/10.3390/GELS11120944>
- Westbroek, P. (2005). Fundamentals of electrochemistry. *Analytical Electrochemistry in Textiles*, 3–36. <https://doi.org/10.1533/9781845690878.1.1>

- Xue, B., Yang, Q., Xia, K., Li, Z., Chen, G. Y., Zhang, D., & Zhou, X. (2023). An AuNPs/Mesoporous NiO/Nickel Foam Nanocomposite as a Miniaturized Electrode for Heavy Metal Detection in Groundwater. *Engineering*, 27, 199–208. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2022.06.005>
- Yadav, S. K., Singh, J., Agrawal, V. V., & Malhotra, B. D. (2012). Nanostructured nickel oxide film for application to fish freshness biosensor. *Applied Physics Letters*, 101(2). <https://doi.org/10.1063/1.4736578/128235>
- Yu, J., Zhang, X., Zhao, M., Ding, Y., Li, Z., Ma, Y., Li, H., & Cui, H. (2021). Fabrication of the Ni-based composite wires for electrochemical detection of copper(II) ions. *Analytica Chimica Acta*, 1143, 45–52. <https://doi.org/10.1016/J.ACA.2020.11.028>
- Yu, Z., Perera, I. R., Daeneke, T., Makuta, S., Tachibana, Y., Jasieniak, J. J., Mishra, A., Bäuerle, P., Spiccia, L., & Bach, U. (2016). Indium tin oxide as a semiconductor material in efficient p-type dye-sensitized solar cells. *NPG Asia Materials*, 8(9), e305. <https://doi.org/10.1038/AM.2016.89;TECHMETA=120,132;SUBJMETA=1007,299,301,639,925,927,946;KWRD=ELECTRONIC+DEVICES,SOLAR+CELLS>
- Zhang, Y., Xie, L. zhen, Yuan, C. xin, Zhang, C. lin, Liu, S., Peng, Y. quan, Li, H. rong, & Zhang, M. (2016). Preparation of 3D rose-like nickel oxide nanoparticles by electrodeposition method and application in gas sensors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27(2), 1817–1827. <https://doi.org/10.1007/S10854-015-3959-2>
- Zhao, J., Wang, X., Liu, L., Wang, Z., Gao, W., Liu, W., Zhang, Y., & Wang, Y. (2022). The influence of calcination temperature on the optical, magnetic and capacitive properties of NiO nanocrystals prepared with gas–liquid diffusion method. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 918, 116503. <https://doi.org/10.1016/J.JELECHEMA.2022.116503>