



**NANOPARTIKEL EMAS DISTABILKAN OLEH α -SIKLODEKSTRIN
SEBAGAI SENSOR KOLORIMETRI UNTUK
DETEKSI Fe^{3+} DAN Cr^{3+} DALAM AIR**

Hak cipta milik IPB University

ISTIANAH



**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Nanopartikel Emas Distabilkan oleh α -siklodekstrin sebagai Sensor Kolorimetri untuk Deteksi Fe^{3+} dan Cr^{3+} dalam Air” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Maret 2025

Istianah
G45012012038

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

ISTIANAH. Nanopartikel Emas Distabilkan oleh α -siklodekstrin sebagai Sensor Kolorimetri untuk Deteksi Fe^{3+} dan Cr^{3+} dalam Air. Dibimbing oleh CHARLENA, AGUSTINA SUS ANDREANI, dan SRI SUGIARTI.

Ion besi (Fe^{3+}) memainkan peran penting dalam transpor elektron, katalisis enzim, metabolisme sel dan sintesis asam nukleat. Anemia, kanker, Parkinson dan penyakit Alzheimer merupakan beberapa penyakit yang disebabkan oleh kelebihan atau kekurangan Fe^{3+} . Oleh karena itu, konsumsi Fe^{3+} harus dikontrol secara signifikan. Ion kromium (Cr^{3+}) merupakan logam beracun yang berbahaya bagi lingkungan dan dapat menghambat beberapa proses seluler akibat kontaminasi *in vitro*. Cr^{3+} memiliki peran penting dalam metabolisme karbohidrat dan lipid esensial. Kelainan genotoksik dan penyakit metabolisme gula seperti katarak, penyakit jantung koroner, penyakit serebrovaskular, penyakit jantung rematik, kebutaan, diabetes mellitus dan uremia dapat disebabkan oleh akumulasi kelebihan Cr^{3+} . Spektroskopi Massa Plasma Berpasangan Induktif (ICP-MS), Spektroskopi Serapan Atom (AAS), voltametri, dan pencitraan fluoresen adalah beberapa metode untuk mendeteksi Fe^{3+} dan Cr^{3+} . Kompleksitas dalam sintesis, instrumen yang mahal, kompleksitas dalam prosedur pra-perawatan dan kebutuhan akan tenaga profesional yang terampil adalah beberapa kelemahan dari metode ini. Para peneliti menyampaikan pengujian kolorimetri, yang sangat inovatif dalam hal deteksi *in situ* untuk menghindari kesulitan yang disebutkan di atas.

Nanopartikel emas (AuNPs) sering digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti katalisis, optik, elektronik, bioteknologi, dan biosensor. AuNPs memiliki sifat optik unik yang bergantung pada resonansi plasmon permukaan (SPR). SPR sangat dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk nanopartikel. Proses sintesis AuNP yang dapat diatur ukuran dan bentuknya sangatlah penting. Zat pereduksi dan penstabil, rasio konsentrasi, pH, dan suhu sistem reaksi merupakan aspek penting untuk mengontrol ukuran dan bentuk AuNPs.

Penelitian ini menggunakan α -siklodekstrin (α -CDs) sebagai reduktor sekaligus penstabil (*capping agent*) dengan sintesis satu pot. Sebelumnya penggunaan α -CDs hanya digunakan sebagai capping agent, sehingga penggunaan α -CDs sebagai reduktor dan capping agent merupakan hal baru dalam penelitian ini. AuNPs hasil sintesis diaplikasikan sebagai sensor pendeteksi logam di dalam air. Penelitian ini berfokus pada metode akurat dengan sensitivitas dan selektivitas tinggi dalam pengembangan sensor kolorimetri berbasis AuNPs untuk mendeteksi logam dalam air. Pada penelitian ini dilaporkan sintesis dan optimasi AuNPs menggunakan α -CDs untuk pengenalan kolorimetri Fe^{3+} dan Cr^{3+} . AuNPs dikarakterisasi menggunakan Transmisi Elektron Mikroskop (TEM), Difraksi Sinar-X (XRD), dan Spektroskopi Inframerah Fourier-Transform (FTIR). AuNPs yang baru disintesis diterapkan sebagai sensor kolorimetri selektif untuk Fe^{3+} dan Cr^{3+} . Sensor ini juga diterapkan untuk mendeteksi Fe^{3+} dan Cr^{3+} pada sampel air keran yang diambil di Tangerang Selatan, Banten, Indonesia.

Uji kolorimetri cepat untuk deteksi Fe^{3+} dan Cr^{3+} menggunakan AuNPs yang distabilkan dengan α -CDs telah dikembangkan. AuNPs yang disintesis menghasilkan warna merah anggur dengan ukuran partikel $8,60 \pm 1,55$ nm dan

stabil selama 8 bulan. Deteksi dengan Fe^{3+} dan Cr^{3+} mengubah warna larutan AuNPs menjadi ungu kebiruan dan meningkatkan ukuran partikel AuNPs masing-masing menjadi $16,18 \pm 2,28$ nm dan $17,33 \pm 1,71$ nm. Karakterisasi menggunakan FTIR dan XRD menunjukkan bahwa keberadaan Fe^{3+} akan merusak struktur AuNPs, sedangkan Cr^{3+} tidak merusak struktur AuNPs. Sensor kolorimetri ini sensitif terhadap Fe^{3+} dan Cr^{3+} dengan batas deteksi masing-masing sebesar 265,92 $\mu\text{g/L}$ dan 430,80 $\mu\text{g/L}$. Kemampuan deteksi AuNPs juga dinilai untuk mendeteksi Fe^{3+} dan Cr^{3+} secara individual dalam sampel air keran di Tangerang Selatan, Banten, Indonesia. Hasil dari uji t untuk metode sensor kolorimetri berbasis AuNPs dibandingkan dengan metode AAS untuk mendeteksi Fe^{3+} dan Cr^{3+} dalam sampel menunjukkan bahwa kedua metode tidak memberikan hasil yang berbeda secara signifikan karena t-hitung lebih kecil dari t-tabel. Data ini membuktikan bahwa AuNPs dapat diaplikasikan sebagai sensor ion Fe^{3+} dan Cr^{3+} pada sampel keran.

Kata kunci: α -siklodekstrin, *capping agent*, logam, nanopartikel emas, sensor kolorimetri



SUMMARY

ISTIANAH. Gold Nanoparticles Stabilized with α -Cyclodextrin as a Colorimetric Sensor for Detecting Fe^{3+} and Cr^{3+} in Water. Supervised by CHARLENA, AGUSTINA SUS ANDREANI, and SRI SUGIARTI.

Iron ions (Fe^{3+}) play significant roles in electron transport, enzyme catalysis, cell metabolism and nucleic acid synthesis. Anaemia, cancer, Parkinson's and Alzheimer's disease are several diseases caused by the excess or deficiency of Fe^{3+} . Therefore, Fe^{3+} consumption must be controlled significantly. Chromium ions (Cr^{3+}) are toxic metal species that are harmful to the environment and can inhibit several cellular processes due to in vitro contamination. Cr^{3+} has a critical role in the metabolism of essential carbohydrates and lipids. Genotoxic disorders and diseases of sugar metabolism, such as cataracts, coronary heart disease, cerebrovascular disease, rheumatic heart disease, blind, diabetes mellitus and uraemia can be caused by the of excess Cr^{3+} . Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS), Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), voltammetry, and fluorescent imaging are some of the methods for detecting Fe^{3+} and Cr^{3+} . Complexity in synthesis, expensive instruments, complexity in pre-treatment procedures and need for skilled professionals are some of the disadvantages of this method. The researchers delivered a colorimetric assay, which is highly innovative in terms of in situ detection to avoid the above-mentioned difficulties.

Gold nanoparticles (AuNPs) are often used in various applications, such as catalysis, optics, electronics, biotechnology, and biosensors. AuNPs have unique optical properties that depend on surface plasmon resonance (SPR). SPR is strongly influenced by the size and shape of the nanoparticles. The process of synthesizing AuNPs that can be regulated in size and shape is critical. The reducing and stabilizing agents, concentration ratio, pH, and temperature of the reaction system are important aspects to control the size and shape of AuNPs.

This study used α -cyclodextrin (α -CDs) as a reducing as well as capping agent with one-pot synthesis. Previously, the use of α -CDs was used only as a capping agent, so the use of α -CDs as a reducing and capping agent was a novelty in this study. The synthesized AuNPs were applied as metal detection sensors in water. This research focuses on an accurate method with high sensitivity and selectivity in developing an AuNPs-based colorimetric sensor for detecting metals in water. We are reporting the synthesis of AuNPs using α -CDs for the colorimetric recognition of Fe^{3+} and Cr^{3+} . AuNPs were characterized using Transmission Electron Microscope (TEM), X-ray Diffraction (XRD), and Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Newly synthesized AuNPs were found to be a selective colorimetric sensor for Fe^{3+} and Cr^{3+} , even in the presence of several competitive metal ions. This sensor is also applied to detect Fe^{3+} and Cr^{3+} in tap water samples taken in South Tangerang, Banten, Indonesia.

A rapid colorimetric assay for the dual detection of Fe^{3+} and Cr^{3+} using AuNPs capped with α -CDs was developed. The synthesized AuNPs produced a red wine color with a particle size of $8,60 \pm 1,55$ nm and stable for 8 months. Detection with Fe^{3+} and Cr^{3+} change the color of AuNPs solution to bluish-purple and increased the particle size of AuNPs to $16,18 \pm 2,28$ nm and $17,33 \pm 1,71$ nm, respectively. Characterization using FTIR and XRD showed that the presence of

Fe^{3+} would damage the structure of AuNPs, while Cr^{3+} would not. This colorimetric sensor is sensitive toward Fe^{3+} and Cr^{3+} with a limit of detection (LoD) of 265,92 $\mu\text{g/L}$ and 430,80 $\mu\text{g/L}$, respectively. The dual ion sensing ability of AuNPs was also assessed to detect Fe^{3+} and Cr^{3+} individually in tap water samples in South Tangerang, Banten, Indonesia. The results of the t-test for the AuNPs-based colorimetric sensor method compared with the AAS method for detecting Fe^{3+} and Cr^{3+} in samples show that the two methods do not provide significantly different results because the t-count is smaller than the t-table. These data prove that AuNPs can be applied as Fe^{3+} and Cr^{3+} ion sensors in tap samples.

Keywords: *α -cyclodextrin, capping agent, colorimetric sensor, gold nanoparticles, metals*

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



NANOPARTIKEL EMAS DISTABILKAN OLEH α -SIKLODEKSTRIN SEBAGAI SENSOR KOLORIMETRI UNTUK DETEKSI Fe^{3+} DAN Cr^{3+} DALAM AIR

ISTIANAH

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Magister pada

Program Studi Kimia

PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

BOGOR

2025



@Hak cipta milik IPB University

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tesis:

1. Dr. Mohammad Khotib, S.Si, M.Si

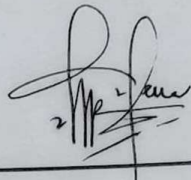
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Tesis : Nanopartikel Emas Distabilkan oleh α -Siklodekstrin sebagai Sensor Kolorimetri untuk Deteksi Fe^{3+} dan Cr^{3+} dalam Air
Nama : Istianah
NIM : G4501212038

Disetujui oleh

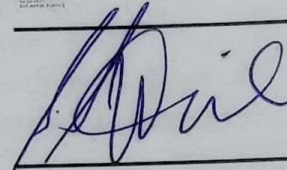
Pembimbing 1:
Dr. Dra. Charlena, M.Si



Pembimbing 2:
Dr. Agustina Sus Andreani



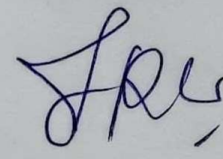
TT ELEKTRONIK



Pembimbing 3:
Dr. Sri Sugiarti, S.Si

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Irmanida Batubara, S.Si, M.Si
NIP 19750807 200501 2 001



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam :
Dr. Berry Juliandi, M.Si
NIP 19780723 200701 1 001



Tanggal Lulus:

Tanggal Ujian:
10 Maret 2025

Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSR E, silahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Juli 2022 sampai bulan September 2023 ini ialah Pengembangan Sensor Kolorimetri, dengan judul “Nanopartikel Emas Distabilkan oleh α -Siklodekstrin sebagai Sensor Kolorimetri untuk Deteksi Fe^{3+} dan Cr^{3+} dalam Air”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Dra. Charlena, M.Si, Dr. Agustina Sus Andreani dan Dr. Sri Sugiarti, S.Si yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Wulan Tri Wahyuni, S.Si, M.Si sebagai moderator seminar dan Dr. Mohammad Khotib, S.Si, M.Si sebagai penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Pusat Riset Kimia Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) beserta staf Laboratorium SBSN yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Maret 2025

Istianah



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II METODE	4
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	4
2.2 Alat dan Bahan	4
2.3 Prosedur Kerja	4
2.4 Analisis data	6
III HASIL DAN PEMBAHASAN	8
3.1 Sintesis Nanopartikel Emas (AuNPs)	8
3.2 Deteksi AuNPs pada Logam dan Selektivitas AuNPs	13
3.3 Validasi Metode	16
3.4 Penggunaan Kembali AuNPs sebagai Sensor Kolorimetri	20
3.5 Karakterisasi	22
3.6 Aplikasi pada Sampel Air Keran	25
IV SIMPULAN DAN SARAN	28
4.1 Simpulan	28
4.2 Saran	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	34



DAFTAR TABEL

1	Perbandingan sensitivitas dan waktu deteksi metode ini dengan metode lain yang telah dilaporkan	19
2	Uji Keterulangan AuNPs-Fe ³⁺ (606 nm) dan AuNPs-Cr ³⁺ (596 nm)	19
3	Uji Reproduksiabilitas AuNPs-Fe ³⁺ (606 nm) dan AuNPs-Cr ³⁺ (596 nm)	19
4	Nilai akurasi saat mendeteksi Fe ³⁺ pada sampel air keran	20
5	Nilai akurasi saat mendeteksi Cr ³⁺ pada sampel air keran	20
6	Bilangan gelombang (cm ⁻¹) AuNPs, AuNPs-Fe ³⁺ dan AuNPs-Cr ³⁺	24
7	Konsentrasi Fe ³⁺ dalam sampel air keran	27
8	Konsentrasi Cr ³⁺ dalam sampel air keran	27

DAFTAR GAMBAR

1	Penerapan AuNPs-CDs dalam drug delivery, katalisis, deteksi dan bioimaging	8
2	(a) Hidroksil primer dan sekunder mengarah ke luar molekul siklodekstrin (b) Lapisan dalam siklodekstrin	9
3	Spektrum UV-Vis AuNPs	10
4	Spektrum SPR AuNPs pada berbagai pH	10
5	Reaksi reduksi Au ³⁺ menjadi Au ⁰ (AuNPs) oleh siklodekstrin	11
6	Spektrum SPR AuNPs pada berbagai konsentrasi HAuCl ₄	12
7	Spektrum SPR AuNPs pada berbagai konsentrasi α-CDs	12
8	Spektrum SPR AuNPs pada berbagai waktu reaksi	13
9	Spektrum SPR AuNPs setelah sintesis dan penyimpanan	13
10	Mekanisme deteksi kolorimetri ion logam (a) Agregasi partikel yang diinduksi logam (b) Pelepasan partikel agregat	14
11	Deteksi AuNPs pada berbagai ion logam	15
12	Respon AuNPs terhadap (a) Fe ³⁺ dan (b) Cr ³⁺ di berbagai pH	16
13	Waktu Deteksi AuNPs terhadap (a) Fe ³⁺ dan (b) Cr ³⁺	16
14	Absorbansi AuNPs saat mendeteksi (a) Fe ³⁺ , (b) Cr ³⁺ dengan ion logam lain	17
15	Kurva kalibrasi (a) AuNPs-Fe ³⁺ (b) AuNPs-Cr ³⁺	18
16	Reaksi Fe ³⁺ dan Cr ³⁺ dengan EDTA	21
17	(a) Reversibilitas AuNPs saat mendeteksi Fe ³⁺ (b) Nilai serapan AuNPs, AuNPs-Fe ³⁺ dan AuNPs (<i>reversible</i>)	21
18	(a) Reversibilitas AuNPs saat mendeteksi Cr ³⁺ (b) Nilai serapan AuNPs, AuNPs-Cr ³⁺ dan AuNPs (<i>reversible</i>)	22
19	Pola XRD dari (a) AuNPs, (b) AuNPs-Fe ³⁺ dan (c) AuNPs-Cr ³⁺	23
20	Spektrum FTIR dari (a) AuNPs, (b) AuNPs-Fe ³⁺ dan (c) AuNPs-Cr ³⁺	24
21	Citra TEM dan distribusi ukuran dari (a) AuNPs, (b) AuNPs-Fe ³⁺ dan (c) AuNPs-Cr ³⁺	25
22	Warna sensor AuNPs saat mendeteksi Fe ³⁺ dan Cr ³⁺	26
23	Ilustrasi pembentukan AuNPs hingga deteksi Fe ³⁺ dan Cr ³⁺	26

DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram Pourbaix Fe dan Cr	35
2	Perubahan warna AuNPs pada variasi konsentrasi Fe^{3+} versus waktu deteksi	36
3	Perubahan warna AuNPs pada variasi konsentrasi Cr^{3+} versus waktu deteksi	37
4	Spektra XRD dari α -CDs murni dan α -CDs-NS (α -CDs <i>nanosponges</i>) (Rupérez <i>et al.</i> 2022).	38