

**PENGARUH TEMPERATUR NANO FOTOKATALIS  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  TERHADAP DEGRADASI KONTAMINAN  
ORGANIK SEBAGAI *SELF-CLEANING***

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains*



Oleh:  
**DETTY RAHMADHANI**  
NIM. 18034077/2018

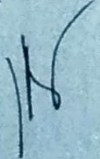
**PROGRAM STUDI FISIKA  
DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2022**

## PERSETUJUAN SKRIPSI

### PENGARUH TEMPERATUR NANO FOTOKATALIS $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$ TERHADAP DEGRADASI KONTAMINAN ORGANIK SEBAGAI *SELF-CLEANING*

Nama : Detty Rahmadhani  
NIM : 18034077  
Program Studi : Fisika  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

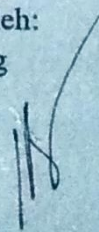
Mengetahui  
Kepala Departemen Fisika



Prof. Dr. Ratnawulan, M.Si.  
NIP. 196901201993032002

Padang, 01 November 2022

Disetujui Oleh:  
Pembimbing



Prof. Dr. Ratnawulan, M.Si.  
NIP. 196901201993032002



## PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

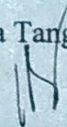
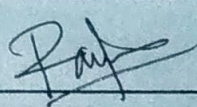
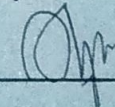
Nama : Detty Rahmadhani  
NIM : 18034077  
Program Studi : Fisika  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

### PENGARUH TEMPERATUR NANO FOTOKATALIS $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$ TERHADAP DEGRADASI KONTAMINAN ORGANIK SEBAGAI *SELF-CLEANING*

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi  
Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang

Padang, 01 November 2022

#### Tim Penguji

|            | Nama                          | Tanda Tangan   |
|------------|-------------------------------|--|
| 1. Ketua   | : Prof. Dr. Ratnawulan, M.Si. | 1.  |
| 2. Anggota | : Dr. Ramli, M.Si.            | 2.  |
| 3. Anggota | : Dra. Hidayati, M.Si.        | 3.  |



## SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Detty Rahmadahani  
NIM/TM : 18034077/2018  
Program Studi : Fisika  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul **Pengaruh Temperatur Nano Fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  terhadap Degradasi Kontaminan Organik sebagai *Self-Cleaning*** adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi Universitas Negeri Padang maupun dimasyarakat dan hukum negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Saya yang menyatakan,



Detty Rahmadhani

NIM. 18034077

# Pengaruh Temperatur Nano Fotokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CuO/MnO<sub>2</sub> terhadap Degradasi Kontaminan Organik sebagai *Self-Cleaning*

Detty Rahmadhani

## ABSTRAK

Air merupakan salah satu kebutuhan utama semua organisme dalam kehidupan sehari-hari. Namun, industrialisasi yang cepat, pembangunan ekonomi, dan kegiatan industri seperti: tekstil, pewarna, dan jasa *laundry* pakaian meningkat pesat menimbulkan masalah lingkungan yang menghasilkan limbah beracun dan berbahaya. Berbagai upaya dilakukan untuk mendapatkan air bersih yang bebas dari pencemaran adalah dengan memanfaatkan teknologi semikonduktor yang bersifat fotokatalis. Fotokatalis memanfaatkan reaksi kimia dengan energi foton sinar matahari. Peneliti menggabungkan ketiga bahan oksida hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), tenorite (CuO), dan mangan (IV) oksida (MnO<sub>2</sub>) menjadi nanokomposit Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CuO/MnO<sub>2</sub>.

Tujuan penelitian ini untuk melihat kondisi optimum temperature terhadap sifat fotokatalis nanokomposit Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CuO/MnO<sub>2</sub> dalam mendegradasi kontaminan *Crystal Violet* (CV). Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen laboratorium. Proses sintesis dilakukan dengan metode *sol-gel* dan pelapisan dilakukan dengan metode *spin-coating*. Variasi temperatur yang digunakan adalah 200° C, 250° C, 300° C, 350° C, dan 400° C menggunakan furnace. Alat uji karakterisasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah HEM-3D, XRD, FTIR, SEM, dan Spektrofotometer Uv-Vis.

Hasil penelitian dari variasi temperatur berpengaruh terhadap sifat fotokatalis. Lapisan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CuO/MnO<sub>2</sub> terdegradasi dalam larutan *Crystal Violet* (CV) dengan % degradasi yang dihasilkan 24,02 %. Ukuran kristal diperoleh 22.8 nm, gugus fungsi yang terbentuk C=C, C-H menunjukkan adanya larutan asam dalam pembuatan precursor, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CuO-MnO<sub>2</sub> berada pada rentang bilangan gelombang 409,83 cm<sup>-1</sup>, 457,94 cm<sup>-1</sup>, dan 527,22 cm<sup>-1</sup>, ukuran partikel diperoleh 54,79 nm. Katalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CuO/MnO<sub>2</sub> memperoleh nilai band gap antara 1,36 eV-1,64 eV. Hasil penguraian dari katalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CuO/MnO<sub>2</sub> disebut sebagai *self-cleaning* (membersihkan diri sendiri) karena mampu menguraikan polutan dengan memanfaatkan cahaya matahari atau pada daerah *Infra-Red* (IR).

**Kata kunci:** Temperatur, Nano Fotokatalis, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CuO/MnO<sub>2</sub>, *Self-Cleaning*.

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kehadirat Allah SWT yang maha memiliki ilmu dan maha luas ilmu-Nya. Berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul **Pengaruh Temperatur Nano Fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  terhadap Degradasi Kontaminan Organik sebagai *Self-Cleaning***. Selanjutnya salawat dan salam penulis persembahkan kepada Nabi Besar Muhammad S.A.W. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penelitian ini merupakan Kontrak Pelaksanaan Penelitian Tahun Anggaran 2022 antara Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riste dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi dengan Universitas Negeri Padang Nomor: 093/E5/PG.02.00.PT/2022 tanggal 10 Mei 2022. Pada penelitian ini Prof. Dr. Ratnawulan, M.Si sebagai Penanggung jawab pelaksanaan Penelitian Dasar Kompetitif Nasional dengan judul **Pengembangan Nano Fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  untuk Degradasi Kontaminan Organik di lingkungan.**

Dalam penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan masukan berupa sumbang pikiran, bimbingan, motivasi, dan saran dari berbagai pihak. Untuk itu dengan ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ratnawulan, M.Si, selaku dosen pembimbing skripsi saya sekaligus kepala Departemen Fisika, Universitas Negeri Padang yang telah memberikan banyak waktu luang, motivasi, bimbingan, arahan, dan saran yang sangat membangun kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan

penulisan skripsi ini.

2. Bapak Dr. Ramli, M.Si, selaku dosen penguji I yang telah memberikan kritikan dan banyak masukan serta saran dalam penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
3. Ibu Dra. Hidayati, M.Si selaku dosen penguji II sekaligus dosen pembimbing akademik yang telah memberikan waktu luang, perhatian dan motivasi selama penulis menjadi anak bimbingan di kampus serta terimakasih banyak saran dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak dan ibu Dosen staff pengajar Departemen Fisika, Fakultas Matematika Ilmu dan Pengetahuan Alam yang telah memberikan banyak ilmu dan berbagi pengalaman sehingga menjadi inspirasi penulis.
5. Staff Administrasi, karyawan, dan kepala laboran Departemen Fisika dan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah memberikan kemudahan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Semua pihak yang tidak bisa di disebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberikan kemudahan hingga selesai skripsi ini.

Semoga semua bantuan, arahan, dan bimbingan yang telah diberikan bernilai ibadah di sisi Allah S.W.T. Penulis telah berupaya semaksimal mungkin dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari dan mohon maaf bahwa masih banyak kekurangan di dalam penulisan skripsi ini, sehingga penulis membutuhkan saran dan kritik yang konstruktif guna perbaikan penulisan ini kedepannya

Padang, Oktober 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

|   |     |
|---|-----|
| <b>ABSTRAK</b> .....  | i   |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                                     | ii  |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....   | iv  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                      | vi  |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                       | x   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....                                    | xii |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....                                 | 1   |
| A. Latar Belakang Masalah .....                                 | 1   |
| B. Batasan Masalah.....   | 7   |
| C. Rumusan Masalah .....  | 8   |
| D. Tujuan Penelitian .....                                      | 8   |
| E. Manfaat Penelitian.....                                      | 9   |
| <b>BAB II. KERANGKA TEORITIS</b> .....                          | 10  |
| A. Semikonduktor .....  | 10  |
| B. Mangan (IV) Oksida ( $MnO_2$ ) .....                         | 14  |
| C. Tembaga (II) Oksida ( $CuO$ ) .....                          | 16  |
| D. Besi (III) Oksida ( $Fe_2O_3$ ) .....                        | 18  |
| E. Fotokatalis .....  | 20  |
| F. Faktor-Faktor yang mempengaruhi sifat Fotokatalis.....       | 23  |
| G. <i>Self-Cleaning</i> .....                                   | 27  |
| H. Mekanisme <i>Self-Cleaning</i> pada Proses Fotokatalis ..... | 27  |
| I. Metode <i>Sol-Gel</i> .....                                  | 29  |
| J. Instrumen Preparasi dan Alat Karakterisasi .....             | 30  |



|  |            |
|--|------------|
| K. Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Fotokatalis..... | 39         |
| L. Penelitian Relevan .....                            | 40         |
| <b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>                | <b>44</b>  |
| A. Jenis Penelitian.....                               | 44         |
| B. Waktu dan Tempat Penelitian .....                   | 44         |
| C. Variabel Penelitian .....                           | 44         |
| D. Instrumen Penelitian .....                          | 45         |
| E. Prosedur Penelitian .....                           | 58         |
| F. Teknik Pengumpulan Data .....                       | 62         |
| G. Tahap Analisis Data .....                           | 62         |
| H. Diagram Alir Penelitian .....                       | 65         |
| <b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>               | <b>67</b>  |
| A. Deskripsi Data.....                                 | 67         |
| B. Analisa Data .....                                  | 92         |
| C. Pembahasan.....                                     | 100        |
| <b>BAB V. PENUTUP.....</b>                             | <b>111</b> |
| A. Kesimpulan .....                                    | 111        |
| B. Saran .....   | 112        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                            | <b>113</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                                   | <b>123</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1. Mekanisme Umum Aktivitas Fotokatalis.....   | 12 |
| Gambar 2. Bijih Mangan.....   | 15 |
| Gambar 3. Nanopartikel CuO .....  | 17 |
| Gambar 4. Biji Besi/Hematite.....   | 19 |
| Gambar 5. Celah pita energi pada beberapa material .....  | 24 |
| Gambar 6. Absorpsi foton pada (kiri) celah pita langsung dan (kanan) celah pita tidak langsung..... | 25 |
| Gambar 7. Alat <i>High Energy Milling-3ED</i> (HEM-3ED).....  | 32 |
| Gambar 8. Difraksi sinar-x pada bidang atom $n\lambda = 2d\sin\theta$ (Callister, 2007) .....       | 33 |
| Gambar 9. XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ).....   | 34 |
| Gambar 10. SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) .....  | 35 |
| Gambar 11. FTIR ( <i>Fourier Transform Infrared spectroscopy</i> ).....                             | 37 |
| Gambar 12. Alat Spektrofotometer Uv-Vis .....   | 39 |
| Gambar 13. Kinerja Fotokatalitik: Spektrum Uv-vis larutan berair Brilliant Gree .....               | 41 |
| Gambar 14. Data karakterisasi FTIR dan Hubungan Degradasi dengan absorbansi.....                    | 42 |
| Gambar 15. Serbuk Mangan (IV) Oksida $MnO_2$ .....  | 48 |
| Gambar 16. Serbuk Tembaga (II) Oksida (CuO).....  | 49 |
| Gambar 17. Serbuk Besi (III) Oksida ( $Fe_2O_3$ ) .....   | 50 |
| Gambar 18. Aquades.....   | 51 |
| Gambar 19. Struktur Kimia Asam Nitrat ( $HNO_3$ ) .....   | 52 |
| Gambar 20. Asam Nitrat ( $HNO_3$ ).....   | 53 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 21. Struktur Kimia Asam Asetat (CH <sub>3</sub> COOH). .....   | 54 |
| Gambar 22. Asam Asetat (CH <sub>3</sub> COOH). .....  | 54 |
| Gambar 23. (a) Struktur Etanol dan (b) Alkohol larutan induk 98%.....   | 55 |
| Gambar 24. a) Struktur Etilene Glikol Gambar, b) larutan Etilene Glikol .....   | 56 |
| Gambar 25. a) Struktur kimia <i>Cristal Violet</i> , b) larutan pewarna <i>Cristal Violet</i> ..                          | 57 |
| Gambar 26. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....   | 65 |
| Gambar 27. Diagram Alir Proses Preparasi dan Sintesis Sampel.....   | 66 |
| Gambar 28. Data Hasil Pengujian XRD Temperatur 200° C .....   | 68 |
| Gambar 29. Data Hasil Pengujian XRD Temperatur 250° C .....   | 69 |
| Gambar 30. Data Hasil Pengujian XRD Temperatur 300° C .....   | 70 |
| Gambar 31. Data Hasil Pengujian XRD Temperatur 350° C .....   | 71 |
| Gambar 32. Data Hasil Pengujian XRD Temperatur 400° C .....   | 73 |
| Gambar 33. Grafik Hasil Pengujian FTIR Temperatur 200° C.....   | 74 |
| Gambar 34. Grafik Hasil Pengujian FTIR Temperatur 250° C .....  | 75 |
| Gambar 35. Grafik Hasil Pengujian FTIR Temperatur 300° C.....   | 76 |
| Gambar 36. Grafik Hasil Pengujian FTIR Temperatur 350° C.....   | 78 |
| Gambar 37. Grafik Hasil Pengujian FTIR Temperatur 400° C .....  | 79 |
| Gambar 38. Bentuk Morfologi Lapisan Tipis Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CuO/MnO <sub>2</sub> Temperatur<br>200° C ..... | 80 |
| Gambar 39. Bentuk Morfologi Lapisan Tipis Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CuO/MnO <sub>2</sub> Temperatur<br>250° C.....  | 81 |
| Gambar 40. Bentuk Morfologi Lapisan Tipis Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CuO/MnO <sub>2</sub> Temperatur<br>300° C.....  | 82 |



|   |    |
|---|----|
| Gambar 41. Bentuk Morfologi Lapisan Tipis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$ Temperatur 350° C.....                | 83 |
| Gambar 42. Bentuk Morfologi Lapisan Tipis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$ Temperatur 400° C.....                | 85 |
| Gambar 43. Grafik Hasil Uji Sampel Katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$ Temperatur 200° C.....               | 86 |
| Gambar 44. Grafik Hasil Uji Sampel Katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$ Temperatur 250° C.....               | 87 |
| Gambar 45. Grafik Hasil Uji Sampel Katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$ Temperatur 300° C.....               | 87 |
| Gambar 46. Grafik Hasil Uji Sampel Katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$ Temperatur 350° C.....               | 88 |
| Gambar 47. Grafik Hasil Uji Sampel Katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$ Temperatur 400° C.....               | 88 |
| Gambar 48. Grafik hubungan panjang gelombang dengan absorbansi hasil karakterisasi UV-Vis sebelum diberi katalis .....          | 89 |
| Gambar 49. Grafik hubungan panjang gelombang dengan absorbansi penyinaran <i>crystal violet</i> dengan katalis waktu 4 jam..... | 90 |
| Gambar 50. Grafik hubungan panjang gelombang dengan absorbansi penyinaran <i>crystal violet</i> dengan katalis waktu 6 jam..... | 90 |
| Gambar 51. Grafik hubungan panjang gelombang dengan absorbansi penyinaran <i>crystal violet</i> dengan katalis waktu 8 jam..... | 91 |
| Gambar 52. Grafik Analisa Data XRD Sampel Lapisan Tipis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$                         | 93 |

|  |     |
|--|-----|
| Gambar 53. Grafik Data hasil pengukuran FTIR pada Lapisan Tipis<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CuO/MnO <sub>2</sub> .....  | 95  |
| Gambar 54. Bentuk morfologi hasil pencitraan SEM lapisan nanokomposit<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CuO/MnO <sub>2</sub> Perbesaran 20.000x .....                               | 96  |
| Gambar 55. Grafik Tauc Plot Nilai Celah Pita Katalis Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CuO/MnO <sub>2</sub> .....  | 98  |
| Gambar 56. Grafik Temperatur dan Waktu Penyinaran Nano Fotokatalis<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CuO/MnO <sub>2</sub> terhadap persentase degradasi <i>crystal violet</i> ..... | 99  |
| Gambar 57. Mekanisme Degradasi fotokatalis larutan <i>crystal violet</i> dengan katalis<br>lapisan tipis Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CuO/MnO <sub>2</sub> .....                  | 108 |
| Gambar 58. Uji Nano Fotokatalis Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CuO/MnO <sub>2</sub> terhadap persentase<br>degradasi <i>crystal violet</i> .....                                    | 109 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 1. Sifat fisik mangan .....   | 16 |
| Tabel 2. Sifat fisik hematite .....   | 18 |
| Tabel 3. Sifat fisik hematite .....   | 20 |
| Tabel 4. Energi Band Gap pada bahan semikonduktor.....  | 29 |
| Tabel 5. Rincian Variabel Penelitian .....  | 45 |
| Tabel 6. Sifat fisik <i>Cristal Violet</i> .....  | 57 |
| Tabel 7. Tiap Puncak Intensitas Signifikan pada Temperatur 200° C.....  | 68 |
| Tabel 8. Tiap Puncak Intensitas Signifikan pada Temperatur 250° C.....  | 69 |
| Tabel 9. Tiap Puncak Intensitas Signifikan pada Temperatur 300° C.....  | 71 |
| Tabel 10. Tiap Puncak Intensitas Signifikan pada Temperatur 350° C.....   | 72 |
| Tabel 11. Data Tiap Puncak Intensitas Signifikan pada Temperatur 400° C .....   | 73 |
| Tabel 12. Infrared Spectroscopy dari Hasil Uji FTIR Temperatur 200° C .....   | 75 |
| Tabel 13. Infrared Spectroscopy dari Hasil Uji FTIR Temperatur 250° C .....   | 76 |
| Tabel 14. Infrared Spectroscopy dari Hasil Uji FTIR Temperatur 300° C .....   | 77 |
| Tabel 15. Infrared Spectroscopy dari Hasil Uji FTIR Temperatur 350° C .....   | 78 |
| Tabel 16. Infrared Spectroscopy dari Hasil Uji FTIR Temperatur 400° C .....   | 79 |
| Tabel 17. Data Luas Area dan Ukuran Partikel pada Temperatur 200° C .....   | 80 |
| Tabel 18. Data Luas Area dan Ukuran Partikel pada Temperatur 250° C .....   | 82 |
| Tabel 19. Data Luas Area dan Ukuran Partikel pada Temperatur 300° C .....   | 83 |
| Tabel 20. Data Luas Area dan Ukuran Partikel pada Temperatur 350° C .....   | 84 |
| Tabel 21. Data Luas Area dan Ukuran Partikel pada Temperatur 400° C .....   | 85 |
| Tabel 22. Data % Degradasi <i>crystal violet</i> oleh nanofotokatalis<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CuO/MnO <sub>2</sub> ..... | 91 |



|  |    |
|--|----|
| Tabel 23. Rata-Rata Ukuran Kristal dari Hasil Uji XRD.....                         | 94 |
| Tabel 24. Rata-Rata Ukuran Partikel dari Hasil Karakterisasi SEM .....             | 97 |
| Tabel 25. Rata-Rata Nilai <i>Band Gap</i> dari Hasil Uji Karakterisasi Uv-Vis..... | 98 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|  |     |
|--|-----|
| Lampiran 1. Database XRD untuk mineral penyusun nanokomposit<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CuO/MnO <sub>2</sub> ..... | 123 |
| Lampiran 2. Tabel <i>Infrared Spectroscopy</i> Daerah Serapan dan Gugus Fungsi<br>FTIR .....                               | 142 |
| Lampiran 3. Pengolahan Data Karakterisasi SEM menggunakan <i>Software<br/>Image J.</i> .....                               | 146 |
| Lampiran 4. Hasil Uji Fotokatalis dengan menggunakan Uv-Vis.....   | 149 |
| Lampiran 5. Dokumentasi Kegiatan Penelitian .....  | 152 |

## **BAB 1.**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang Masalah**

Air merupakan salah satu kebutuhan utama semua organisme dalam kehidupan sehari-hari. Hampir semua aspek kehidupan membutuhkan air bersih untuk minum, memasak, mandi, maupun mencuci. Namun, industrialisasi yang cepat dan pembangunan ekonomi telah menyebabkan pertumbuhan eksponensial dalam populasi dan urbanisasi. Peningkatan urbanisasi dan industrialisasi ini terjadi karena pendekatan konsumeris. Sektor domestik dan industri terus menghasilkan sejumlah besar air limbah pada tingkat yang mengkhawatirkan karena kebiasaan membuang limbah tanpa pengelolaan dan perawatan yang tepat. Pemenuhan kebutuhan air bersih saat ini mulai berkurang karena menurunnya kualitas maupun kuantitas air di lingkungan kita (Varjani, 2019).

Pencemaran air telah menjadi permasalahan serius karena telah mengancam kehidupan umat manusia. Beberapa kegiatan industri seperti tekstil, pewarna, dan jasa *laundry* pakaian yang meningkat pesat untuk membantu masyarakat telah menciptakan banyak masalah lingkungan. Kegiatan tersebut berpeluang menghasilkan limbah beracun dan berbahaya. Sebagian besar sektor ini membuang limbah beracun seperti zat pengoksidasi (pemutih) ke air tawar yang mengalir tanpa pengolahan awal. Hal ini sangat memprihatinkan, disamping bisa mengganggu kesehatan manusia juga menyebabkan kelangkaan air bersih dan memicu kerusakan ekosistem (Sutanto, et al, 2015).



Adapun upaya yang dilakukan untuk mendapatkan air bersih yang bebas dari pencemaran adalah dengan memanfaatkan teknologi yang memiliki sifat fotokatalis. Fotokatalis merupakan salah satu metode untuk mereduksi bahan polutan cair yang memanfaatkan sinar ultraviolet (UV), untuk menghasilkan pengoksidasi dan pereduksi pada permukaan katalis. Katalis merupakan suatu zat yang mempengaruhi proses percepatan laju reaksi tanpa ikut berubah secara kimia. Sifat fotokatalis terdiri dari material semikonduktor yang berupa suatu padatan, bahan kristalin dengan konduktivitas listrik dan mempunyai tahanan listrik lebih tinggi dibanding metal pada rentang  $10^{-3}$  sampai  $10^{-8}$  ohm. Menurut Tek,S (2008), Dekomposisi fotokatalitik memberikan degradasi kontaminan organik dan anorganik di dekat permukaan nanopartikel fotokatalis dengan mengubah energi optik dari cahaya yang diserap menjadi energi kimia untuk reaksi redoks. Namun, aktivitas fotokatalitik nanopartikel logam-oksida semikonduktor tersebut terbatas dengan energi celah pitanya yang memungkinkan penyerapan optik biasanya dalam rentang spektral ultraviolet. Aktivitas fotokatalitik nanopartikel semikonduktor ini berkurang secara substansial ketika dibuat dalam film tipis padat dihasilkan dari luas permukaan aktif dapat menurun secara efektif (Wang et al., 2018). Sebagian besar penelitian terbaru menargetkan sintesis fotokatalis semikonduktor ukuran nanopartikel dalam meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya. Nanopartikel fotokatalitik yang dibuat dalam film tipis padat lebih aman untuk digunakan pada aplikasi industri (Zaldi, 2021)

Temperatur mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap sifat hantaran listrik suatu logam dengan semikonduktor. Dalam semikonduktor, kenaikan temperatur mengakibatkan bertambahnya jumlah elektron yang memperoleh cukup

energi untuk melompat keluar dari pita valensi ke pita konduksi. Dengan demikian kenaikan temperatur mengakibatkan penurunan tahanan listrik semikonduktor, tetapi menyerupai insulator pada temperatur rendah (Haddad, et al, 2020).

Penggunaan teknologi sifat fotokatalis memiliki fungsi untuk memperindah properti dan sebagai alternatif penghematan energi karena dapat membantu pencahayaan dan pembersihan pada properti. Material semikonduktor dapat disintesis sesuai dengan karakteristik yang diinginkan. Semikonduktor dapat dibuat dari unsur-unsur dengan *insulator* doping dengan unsur lain sebagai pengotor. Berbagai cara dilakukan oleh para peneliti untuk memodifikasi material-material agar mempermudah pekerjaan manusia, salah satunya dengan teknologi rekayasa permukaan yang tidak perlu dibersihkan dalam penggunaannya atau dikenal dengan material yang mempunyai sifat *self-cleaning* (Thongam et al., 2005). *Self-cleaning* merupakan suatu metode untuk memanfaatkan efek fotokatalis maupun efek lotus yang dihasilkan dari senyawa kimia tertentu sehingga mampu membersihkan substrat dari kontaminan organik dilingkungan (Zaldi, 2021).

Dalam mekanisme *self-cleaning* terdapat dua hal didasarkan pada gaya aksi terhadap air pada suatu bahan yang membuat permukaan material tersebut bersifat hidrofobik dan hidrofilik. Hidrofilik termasuk cara yang memanfaatkan sifat fotokatalis yang suka air mengungkapkan penampilan super paramagnetik dari sampel yang tidak dilapisi serta mampu memecahkan kotoran secara kimiawi yang teradopsi dibawah sinar matahari (Somvanshi et al., 2020).

Pelapisan ini secara kimiawi memecah kotoran ketika terkena cahaya atau dikenal dengan proses fotokatalis. Fotokatalis merupakan proses fisika-kimia yang terjadi pada saat material katalis dikenai cahaya yang bersesuaian dengan serapan

optis. Selanjutnya akan dihasilkan pasangan elektron dan hole pada material tersebut yang berfungsi sebagai penghasil ion-ion radikal. Ion-ion inilah yang nantinya berperan dalam degradasi limbah cair (Hayati, et al, 2019).

Proses oksidasi canggih heterogen menggunakan katalis heterogen untuk menurunkan polutan organik, diantara katalis yang digunakan untuk oksidasi heterogen seperti logam oksida Mn, Cu, Fe, dan oksida logam campuran untuk meningkatkan katalis dengan mengambil keuntungan dari sifat terbaik dari setiap logam (Bousalah, et.al, 2022). Oksida besi telah menjadi oksida logam yang paling banyak dipelajari karena mereka memiliki reaktivitas permukaan yang tinggi dan sifat magnetik ramah lingkungan. Oksida logam tersebut telah dikombinasikan dengan tembaga untuk mendapatkan katalis oksida campuran dengan sifat fotokatalitik yang ditingkatkan untuk mengatasi kerugian dari logam tunggal yang mengandung oksida. Namun, sintesis katalis tembaga dan besi bimetal telah membuktikan efektivitasnya untuk degradasi atau bahkan mineralisasi (Li et al., 2020)

Peneliti sebelumnya telah mensintesis fotokatalis yang didukung dua oksida semikonduktor yang berbeda CuO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PS dari mineral lokal. Nanokomposit yang dihasilkan telah menunjukkan aktivitas fotokatalitik. Menurut Ratnawulan & Ramli (2021), dalam penelitiannya, komposisi CuO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan suhu kalsinasi yang memainkan peran besar serta efektif dalam besar sudut kontak. Nilai tertinggi sudut kontak yang diperoleh adalah 125,46° pada komposisi 3:1 dan suhu kalsinasi 200°C. Komposit yang ditemukan PS/CuO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah hidrofobik, tetapi aktivitas fotokatalis sangat kecil terdapat pada 0,24%.

Komposit  $\text{CuO-Fe}_2\text{O}_3$  menerima perhatian yang cukup besar karena diterapkan sebagai katalis, sensor gas, anoda untuk baterai, dan lapisan hidrofobik anti-korosif. Komposit baru ini berhasil menurunkan ukuran partikel katalis. Namun, aktivitas fotokatalitiknya masih belum memuaskan untuk degradasi polutan organik. Di sisi lain, nano-mangan dioksida ( $\text{MnO}_2$ ) telah menjadi aplikasi potensial dalam perlindungan lingkungan dan degradasi polutan organik dalam air limbah.  $\text{MnO}_2$  adalah bahan yang menjanjikan untuk fotokatalis heterogen sebagai katalis ramah lingkungan generasi baru. Hal ini disebabkan luas permukaan spesifiknya yang tinggi, kristalinitas, kemampuan untuk menghancurkan molekul air menjadi ion hidrogen dan hidroksida (Touqeer et al., 2020). Upaya yang dilakukan peneliti yaitu menggabungkan karakteristik potensial komponen nanokomposit  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$ .

Menurut Ratnawulan dan Ramli (2021), dalam penelitiannya, morfologi lapisan nanokomposit  $\text{PS}/\text{CuO-Fe}_2\text{O}_3$  dengan suhu kalsinasi  $30^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$ ,  $150^\circ\text{C}$ ,  $200^\circ\text{C}$ , dan  $250^\circ\text{C}$  pada komposisi 3:1 menunjukkan pengaruh suhu kalsinasi yaitu semakin tinggi suhu kalsinasi, semakin banyak sudut kontak meningkat ke batas optimal dan semakin menurun saat pemanasan berlanjut. Sedangkan pada penelitian Ollia, (2021), temperatur sintering dengan variasi pada suhu  $60^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$ ,  $200^\circ\text{C}$ ,  $300^\circ\text{C}$ , dan  $400^\circ\text{C}$  lapisan nanokomposit  $\text{MnO-Fe}_2\text{O}_3/\text{PS}$  temperatur terbaik berada pada  $200^\circ\text{C}$  dengan ukuran kristal yang dihasilkan sebesar 21,84 nm karena puncak fasa yang diinginkan banyak muncul pada  $\text{MnO-Fe}_2\text{O}_3$  dan polistiren (PS) yang nilainya sama banyak, Hal yang terjadi pada temperatur sintering 200 terdapat susunan fasa yang terbentuk pada polistiren dan  $\text{MnO-Fe}_2\text{O}_3$  semakin rapat hal ini menunjukkan kristal. Merujuk pada penelitian tersebut,

penelitian ini akan menggunakan 5 variasi temperatur pada nano fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  yaitu:  $200^\circ\text{C}$ ,  $250^\circ\text{C}$ ,  $300^\circ\text{C}$ ,  $350^\circ\text{C}$ , dan  $400^\circ\text{C}$ .

Oksida logam semikonduktor seperti besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang menjanjikan karena perilaku ramah lingkungan, biaya katalis rendah, luas permukaan spesifik yang tinggi, dan kristalinitas tinggi. Namun, aktivitas fotokatalitiknya tergantung pada ukuran partikel-partikel oksida yang mudah beraglomerasi dalam larutan air, sehingga menyebabkan penurunan efisiensi fotokatalitik. Oleh karena itu, perlu strategi khusus untuk penggunaan katalis oksida besi. Salah satu caranya adalah dengan menerapkan metode doping dengan oksida yang mudah disebarkan dalam media organik dan dimuat secara homogen ke bahan pendukung seperti mangan dioksida ( $\text{MnO}_2$ ) dan tembaga oksida ( $\text{CuO}$ ). Nanopartikel mangan dioksida ( $\text{MnO}_2$ ) memiliki kelebihan dibandingkan dengan oksida mangan biasa karena material berukuran nanometer dan memiliki sifat yang tidak dimiliki oleh material berukuran besar. Tembaga oksida ( $\text{CuO}$ ) merupakan salah satu semikonduktor tipe-p, memiliki sifat optik, listrik, fisik, dan magnetik yang sangat baik. Sementara itu,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  adalah salah satu semikonduktor tipe-n yang memiliki fase paling stabil di antara oksida besi, ketahanan korosi, efisiensi tinggi, sifat tidak beracun, murah, dan ramah lingkungan (Ratnawulan & Ramli, 2021). Kombinasi  $\text{CuO}$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menjadi nanokomposit menyebabkan sifat fisik  $\text{CuO-Fe}_2\text{O}_3$  menjadi lebih baik daripada  $\text{CuO}$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  saja.

Berdasarkan permasalahan diatas, maka peneliti ingin mengembangkan semikonduktor  $\text{MnO}_2$  yang dipilih sebagai komponen pembantu pengembangan fotokatalis  $\text{CuO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$  untuk meningkatkan aktivitas degradasi kontaminan organik



di lingkungan dengan uji aktivitas fotokatalis menggunakan pewarna organik yaitu *Crystal Violet* (CV) (Touqeer et al., 2020). Pentingnya variasi temperatur pada proses kalsinasi nano fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  dalam penelitian ini berpengaruh pada sifat fisis dari sampel. Untuk ulasan diatas peneliti ingin melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Temperatur Nano Fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  terhadap Degradasi Kontaminan Organik sebagai *Self-Cleaning*”.

## **B. Batasan Masalah**

Agar penelitian ini lebih terfokus, maka perlu diketahui batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya adalah:

1. Variasi temperatur nano fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  sebagai bahan alternatif untuk mencegah perkembangbiakan patogen yang digunakan adalah  $200^\circ\text{C}$ ,  $250^\circ\text{C}$ ,  $300^\circ\text{C}$ ,  $350^\circ\text{C}$ , dan  $400^\circ\text{C}$ .
2. Penelitian karakteristik yang diuji terdiri dari: struktur sampel  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  menggunakan alat XRD, ikatan yang terbentuk antar oksida semikonduktor menggunakan FTIR, ukuran partikel menggunakan SEM, dan analisis optis spektra serapan, penentuan celah pita menggunakan Uv-Vis.
3. Melakukan uji aktivitas fotokatalis menggunakan pewarna organik yaitu *Crystal Violet* (CV).

### C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yaitu:

1. Bagaimana struktur fotokatalis serta sifat lainnya seperti: ukuran kristal, struktur fasa yang terbentuk pada nano fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$ , ikatan yang terbentuk antar oksida semikonduktor, dan ukuran partikel serta bentuk morfologi?
2. Berapa temperatur pemanasan (kondisi optimum) yang digunakan nano fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  untuk degradasi kontaminan organik sebagai *self-cleaning*.
3. Bagaimana analisa sifat optik dengan Uv-Vis dan hasil uji aktivitas fotokatalis menggunakan pewarna organik yaitu *Crystal Violet* (CV)?
4. Bagaimana pengaruh temperatur nano fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  terhadap degradasi kontaminan organik sebagai *self-cleaning*?

### D. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui struktur fotokatalis serta sifat lainnya seperti: ukuran kristal, struktur fasa yang terbentuk pada nano fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$ , ikatan yang terbentuk antar oksida semikonduktor, dan ukuran partikel serta bentuk morfologi.
2. Mengetahui kondisi optimum (temperatur pemanasan) nano fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  terhadap degradasi kontaminan organik sebagai *self-cleaning*.

3. Mengetahui sifat optik dengan Uv-Vis dan uji aktivitas fotokatalis menggunakan pewarna organik yaitu *Crystal Violet (CV)*
4. Mengetahui pengaruh temperatur nano fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  terhadap degradasi kontaminan organik sebagai *self-cleaning*.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Bagi penulis sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi fisika S1 dan pengembangan diri dalam bidang kajian fisika.
2. Kelompok kajian fisika material dan biofisika dapat memberikan ilmu pengetahuan tentang sifat fotokatalis bahan  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  terhadap degradasi kontaminan organik sebagai *self-cleaning*.
3. Bagi peneliti lain, sebagai referensi dalam pengembangan penelitian tentang material utama dan pengaplikasian pengaruh temperatur nano fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{MnO}_2$  terhadap degradasi kontaminan organik sebagai *self-cleaning*,
4. Bagi Pembaca, menambah pengetahuan pembaca dan memperluas wawasan dalam kajian material serta dapat diaplikasikan diberbagai bidang (rumah sakit, industri medis, dan farmasi) sebagai alternatif selain menggunakan obat atau bahan kimia untuk mencegah perkembangbiakan patogen.