PENGOLAHAN LIMBAH FARMASI (ASAM SALISILAT) MENGGUNAKAN FOTOKATALITIK BERBASIS MATERIAL Ag/Fe_2O_3

SKRIPSI

Oleh :

MUHAMMAD TEGUH ADI SAPUTRO

NIM. 200703110148

PROGRAM STUDI SARJANA FARMASI

FAKULTAS KEDOKTERAN DAN ILMU KESEHATAN

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM

MALANG

2024

PENGOLAHAN LIMBAH FARMASI (ASAM SALISILAT) MENGGUNAKAN FOTOKATALITIK BERBASIS MATERIAL Ag/Fe_2O_3

SKRIPSI

Oleh:

MUHAMMAD TEGUH ADI SAPUTRO

NIM. 200703110148

Diajukan Kepada :

Fakultas Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam

Memperoleh Gelar Sarjana Farmasi (S.Farm)

PROGRAM STUDI SARJANA FARMASI

FAKULTAS KEDOKTERANDAN ILMU KESEHATAN

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG

2024

PENGOLAHAN LIMBAH FARMASI (ASAM SALISILAT) MENGGUNAKAN FOTOKATALITIK BERBASIS MATERIAL Ag/Fe_2O_3

SKRIPSI

Oleh:

MUHAMMAD TEGUH ADI SAPUTRO

NIM. 200703110148

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji :

Tanggal : 27 Desember 2024

Pembimbing I	Pembimbing II
Abdul Wafi, M.Si., P.hD	**Dr. Begum Fauziyah, S.Si., M.Farm**
NIP 19880808 2023211 022	**NIP 19830628 2023211 017**

Mengetahui,

Ketua Program Studi Farmasi

Apt. Abdul Hakim, M.P.I., M.Farm

NIP. 19761214 200912 1 002

PENGOLAHAN LIMBAH FARMASI (ASAM SALISILAT) MENGGUNAKAN FOTOKATALITIK BERBASIS MATERIAL Ag/Fe_2O_3

SKRIPSI

Oleh:

MUHAMMAD TEGUH ADI SAPUTRO

NIM. 200703110121

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi

Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Farmasi (S.Farm)

Tanggal: 27 Desember 2024

Ketua Penguji : Dr. Begum Fauziyah, S.Si., M.Farm
NIP.19830408 2023211 017 (.....)

Anggota Penguji : 1. Abdul Wafi, M.Si. Ph.D.
NIP. 19880808 2023211 022 (.....)

2. apt. Tanaya Jati Dharma Dewi, M.Farm
NIP. 19900422 2023212 041 (.....)

3. Ach. Nashichuddin, MA
NIP. 19730705 200003 1 002 (.....)

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Farmasi

apt. Abdul Hakim, M.P.I., M. Farm
NIP. 19761214 200912 1002

HALAMAN PERSEMBAHAN

الحمدلله رب العلمين

Dengan penuh rasa syukur ke hadirat Allah SWT, atas segala rahmat, hidayah, dan kekuatan yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, karya ini kupersembahkan kepada kedua orang tuaku tercinta, [Nama Ayah dan Ibu], yang selalu memberikan cinta, doa, dukungan, dan semangat tanpa henti dalam setiap langkah hidupku. Terima kasih atas kasih sayang yang tiada pernah surut dan pengorbanan yang tak terhitung.

Karya ini juga kupersembahkan kepada keluargaku yang selalu mendukung dan mendoakan, kepada para pembimbing dan dosen yang dengan penuh kesabaran memberikan arahan dan ilmu, serta kepada sahabat dan teman seperjuangan yang telah menjadi penguat dalam masa-masa sulit dan berbagi kebahagiaan di saat suka.

Untuk diriku sendiri, perjuangan, ketekunan, dan usaha yang telah tercurahkan dalam setiap proses ini adalah bukti dari komitmen untuk terus bertumbuh dan menjadi lebih baik. Semoga langkah ini menjadi awal perjalanan menuju kesuksesan dan pengabdian nyata bagi ilmu pengetahuan dan masyarakat, dengan almamater tercinta sebagai saksi perjalanan penuh makna ini.

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Teguh Adi Saputro

NIM : 200703110148

Program Studi : Sarjana Farmasi

Fakultas : Kedokteran Dan Ilmu-Ilmu Kesehatan

Judul : Pengolahan Limbah Farmasi (Asam Salisilat) Menggunakan Fotokatalitik Berbasis Material Ag/Fe_2O_3

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 18 Desember 2024

Yang Membuat Pernyataan,

Muhammad Teguh Adi Saputro

NIM.200703110148

MOTTO

"Kuat koyo Bapak, Sabar koyo Emak"

Kekuatan dan keteguhan hati dari sosok ayah mengajarkan untuk tetap tegar dalam menghadapi tantangan, sementara kesabaran dan kelembutan ibu menjadi inspirasi untuk selalu menghadapi segala ujian hidup dengan ketenangan dan kasih sayang.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Swt, karena berkat rahmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul "Pengolahan Cemaran Farmasi (Asam Salisilat) Menggunakan Fotokatalitik Berbasis Material Ag/Fe_2O_3"

Penulis menyadari bahwa terselesaikan penulisan skripsi ini tidak lepas dari banyak bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis sehingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Zainuddin, M. A., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. dr. Yuyun Yueniwati P.W, M.Kes, Sp.Rad (K) selaku Dekan Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Apt. Abdul Hakim, M.P.I., M.Farm selaku Ketua Program Studi Farmasi Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Abdul Wafi, M.Si., P.hD., M.Sc. dan Dr. Begum Fauziyah, S.Si., M.Farm., selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam memberikan arahan, pengetahuan, meluangkan waktunya sehingga banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi.
5. Bapak Fauzi dan Ibu Suripah selaku orang tua yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
6. Segenap Dosen Program Studi Farmasi atas ilmu pengetahuan yang dengan ikhlas diajarkan kepada penulis.
7. Seluruh teman yang turut mendoakan dan memberi semangat penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

Semoga proposal ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi para pembacanya.

Malang, 18 Desember 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PERSETUJUAN

HALAMAN PERSEMBAHAN

HALAMAN KEASLIAN TULISAN

KATA PENGANTAR ..... **i**

DAFTAR ISI ..... **ii**

DAFTAR GAMBAR ..... **v**

DAFTAR SINGKATAN ..... **vi**

ABSTRAK ..... **vii**

ABSTRACT ..... **viii**

مستخلص البحث ..... **ix**

BAB I LATAR BELAKANG **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 6

1.3 Tujuan Penelitian 6

1.4 Manfaat Penelitian 7

1.4.1 Manfaat Akademik 7

1.4.2 Manfaat Praktis 7

1.5 Batasan Masalah 8

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **9**

2.1 Definisi Limbah dan Klasifikasi 9

2.1.1 Limbah Berdasarkan Sumbernya 11

2.2 Asam Salisilat 10

2.3 Metode Pengolahan Limbah 12

2.4 Metode Fotokatalisis 14

2.4.1 Mekanisme Kerja Fotokatalisis 14

2.4.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Aktivitas Fotokatalitik 16

2.5 Material Katalis Fe_2O_3 19

2.6 Selektivtas Fotokatalisis 20

2.7 Proses Sintesis Fe_2O_3 23
2.7.1 Metode Leaching 23
2.7.2 Metode Hidrotermal 23
2.8 Nanopartikel Perak (Ag) dan Sintesisnya dalam Fotokatalisis 24
2.9 Pengaruh Penambahan Ag Terhadap Fe_2O_3 26
2.10 Karakterisasi 27
2.10.1 Karakterisasi XRD (X-Ray Difraction) 27
2.10.2 Karakterisasi SEM (Scanning Electron Microscopy) 30
2.11 Spektrofotometer UV Vis 31
2.12 Hukum Lambert Beer 33
BAB III KERANGKA KONSEPTUAL 36
3.1 Kerangka Konseptual 36
3.2 Uraian Kerangka Konseptual 37
3.3 Hipotesis Penelitian 38
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 39
4.1 Jenis dan Rancangan Penelitian 39
4.2 Waktu dan Tempat Penelitian 39
4.3 Variabel Penelitian dan Definisi Operasional 39
4.3.1 Variabel Penelitian 39
4.3.2 Definisi Operasional 40
4.4 Alat dan Bahan Penelitian 41
4.4.1 Alat 41
4.4.2 Bahan 41
4.5 Prosedur Penelitian 41
4.5.1 Sintesis Fe_2O_3 dari Limbah Pasir Besi 41
4.5.2 Sintesis Ag/Fe_2O_3 42
4.5.3 Karakterisasi Ag/Fe_2O_3 Menggunakan XRD 42
4.5.4 Karakterisasi Ag/Fe_2O_3 Menggunakan SEM 42
4.5.5 Aktivitas Fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 43
4.5.6 Fotokatalisis Degradasi Polutan Campuran 44
4.5.7 Pembuatan Larutan Standar dan Larutan Sampel Asam Salisilat 45
4.5.8 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Asam Salisilat 45

4.5.9 Metode Perbandingan Intensitas Penyinaran 46
4.5.10 Analisis Data 46
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 47
5.1 Sintesis Material Fotokatalisis Fe_2O_3 dengan Metode Hidrotermal 51
5.2 Sintesis Material Fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 dengan Metode Fotoreduksi 53
5.3 Karakterisasi Material Ag/Fe_2O_3 Menggunakan XRD 54
5.4 Karakterisasi Material Ag/Fe_2O_3 Menggunakan SEM 57
5.5 Uji Aktifitas Fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 Terhadap Polutan Asam Salisilat 57
5.5.1 Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Asam Salisilat 59
5.5.2 Pembuatan Kurva Standar Asam Salisilat 61
5.5.3 Uji Aktivitas Fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 Terhadap Polutan Asam Salisilat 61
5.5.4 Uji Aktivitas Fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 pada Sulfanilamid dengan Polutan Pengganggu Asam Salisilat 65
5.5.5 Pengaruh Intensitas Cahaya UV terhadap Fotokatalisis 68
5.6 Mekanisme Degradasi Fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 terhadap Senyawa Asam Salisilat dan Sulfanilamid 72
5.7 Kajian Integrasi Keislaman 77
BAB VI KESIMPULAN 80
6.1 Kesimpulan 80
6.2 Saran 18
DAFTAR PUSTAKA 82
LAMPIRAN 91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema jalur degradasi asam salisilat 11
Gambar 2. 2 Mekanisme Kerja Fotokatalisis 15
Gambar 2. 3 Struktur kimia & contoh Fe_2O_3..... 19
Gambar 2. 4 Skema Degradasi Sulfanilamid..... 21
Gambar 2. 5 Ilustrasi metode Leaching..... 23
Gambar 2. 6 (a) Skema proses hidrothermal,(b) Teflon autoklaf..... 24
Gambar 2. 7 Struktur $AgNO_3$ 25
Gambar 2. 8 Fotokatalisis Ag-Fe_2O_3 26
Gambar 2. 9 Hasil SEM Ag-Fe_2O_3..... 27
Gambar 2. 10 Prinsip Kerja X-Ray Diraction 28
Gambar 2. 11 Contoh hasil pengolahan XRD 29
Gambar 2. 12 Prinsip Kerja Karakterisasi SEM..... 30
Gambar 2. 13 Hasil Pengamatan SEM Fe_2O_3..... 31
Gambar 2. 14 Mekanisme Kerja Spektrofotometri UV-Vis..... 32
Gambar 2. 15 Kurva kalibrasi larutan standar Fe 34
Gambar 2. 16 Kerangka Konseptual..... 36
Gambar 2. 17 Uji Fotokatalisis Dalam Reaktor Tertutup..... 43

Gambar 5. 1 Pasir BesiFiltrat Hijau Hasil Proses Leaching..... 49
Gambar 5. 2 Difraksi Nanopartikel Ag/Fe_2O_3..... 53
Gambar 5. 3 (a) Hasil SEM Fe_2O_3 (b). Hasil SEM FeC_2O_4 55
Gambar 5. 4 (a)Hasil SEM Ag/Fe_2O_3, (b) Hasil SEM Ag/Fe_2O_3 56
Gambar 5. 5 Panjang Gelombang Maksimum Asam Salisilat 58
Gambar 5. 6 Panjang Gelombang Maksimum Sulfanilamid..... 58
Gambar 5. 7 Kurva Standar Asam Salisilat..... 59
Gambar 5. 8 Kurva Standar Sulfanilamid 60
Gambar 5. 9 Pengaruh Dosis Katalis terhadap Laju Degradasi polutan Asam Salisilat..... 63
Gambar 5. 10 Perbandingan Persentase Total Degradasi Asam Salisilat..... 64
Gambar 5. 11 Spektrum Degradasi Asam Salisilat 2 Lampu UV 69
Gambar 5. 12 Grafik Laju Degradasi Asam Salisilat 2 Lampu UV 70
Gambar 5. 13 Spektrum Degradasi Sulfanilamid 2 Lampu UV..... 71
Gambar 5. 14 Grafik laju degradasi sulfanilamid..... 71
Gambar 5. 15 Mekanisme Degradasi Asam Salisilat 73
Gambar 5. 16 Mekanisme Degradasi Sulfonamide …….75

DAFTAR SINGKATAN

AgNPs : Ag Nanoparticles

BPOM : Badan Pengawas Obat dan Makanan

B3 : Bahan Berbahaya dan Beracun

CO : Carbon Monoxide

CO_2 : Carbon Dioxide

CNTs : Carbon Nanotubes

FoM : Figure of Merit (Kualitas Nanopartikel)

FSA : Asam Formilsalisilat

HBDA : Asam Hidroksibenzena Dikarboksilat

JCPDS : Joint Committee on Power Diffraction Standards

LSPR : Localized Surface Plasmon Resonance

NSID : Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs

P.A. : Purum Analitik

PP : Peraturan Perundang-Undangan

SEM : Scanning Electron Microscopy

TTS : Total Suspended Solid

UMKM : Usaha Mikro Kecil Menengah

UV : Ultraviolet

XRD : X-Ray Diffraction

ABSTRAK

Saputro, Muhammad Teguh Adi. 2024. **Pengolahan Limbah Farmasi (Asam Salisilat) Menggunakan Fotokatalitik Berbasis Material Ag/Fe_2O_3**. Skripsi. Program Studi Farmasi Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing 1: Abdul Wafi, M.Si., P.hD ; Pembimbing 2 : Dr. Begum Fauziyah, S.Si., M.Farm

Limbah farmasi merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan yang memerlukan pengolahan khusus untuk mengurangi dampak negatifnya. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis material Ag/Fe_2O_3 menggunakan metode hidrotermal dan fotoreduksi serta mengevaluasi pengaruh dosis katalis Ag/Fe_2O_3 terhadap degradasi asam salisilat dan campuran polutan sulfanilamid. Material hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan instrumen XRD (*X-Ray Diffraction*) dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Proses fotokatalitik dilakukan selama 1 jam dengan interval waktu 0 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit untuk pengambilan sampel. Uji intensitas penyinaran fotokatalisis dilakukan untuk menilai efektivitas intensitas penyinaran terhadap degradasi polutan. Hasil degradasi dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan kadar dan persentase degradasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material Ag/Fe_2O_3 berhasil disintesis menggunakan metode hidrotermal. Degradasi asam salisilat mencapai 13,82% dalam 60 menit dengan dosis katalis 150 mg. Pada campuran polutan, struktur kompleks polutan menghambat reaktivitas radikal hidroksil (•OH), sehingga sulfanilamid mendominasi sisa polutan yang tidak terdegradasi sempurna. Uji selektivitas menunjukkan total degradasi asam salisilat sebesar 35,23%, sedangkan sulfanilamid mencapai 31,64% dalam waktu 60 menit. Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa material Ag/Fe_2O_3 efektif untuk mendegradasi asam salisilat tetapi kurang sesuai untuk degradasi sulfanilamid pada campuran polutan.

Kata Kunci : *Fotokatalitik, Ag/Fe_2O_3, Degradasi, Asam Salisilat, Sulfanilamid*

ABSTRACT

Saputro, Muhammad Teguh Adi. 2024. **Pharmaceutical Waste Treatment (Salicylic Acid) Using Photocatalytic Based on Ag/Fe_2O_3 Material.** Undergraduate Thesis. Pharmacy Study Program, Faculty of Medicine and Health Sciences, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Advisor 1: Abdul Wafi, M.Si., Ph.D.; Advisor 2: Dr. Begum Fauziyah, S.Si., M.Farm.

Pharmaceutical waste is one of the environmental pollutants that requires special treatment to minimize its negative impact. This study aims to synthesize Ag/Fe_2O_3 material using hydrothermal and photoreduction methods and evaluate the effect of Ag/Fe_2O_3 catalyst dosage on the degradation of salicylic acid and sulfanilamide pollutant mixtures. The synthesized material was characterized using XRD (*X-Ray Diffraction*) and SEM (*Scanning Electron Microscopy*). The photocatalytic process was conducted for 1 hour with sampling intervals at 0 minutes, 15 minutes, 30 minutes, 45 minutes, and 60 minutes. The photocatalysis irradiance intensity test was conducted to assess the effectiveness of irradiance intensity on pollutant degradation. The degradation results were analyzed using a UV-Vis spectrophotometer to determine the concentration and percentage of degradation. The results showed that the Ag/Fe_2O_3 material was successfully synthesized using the hydrothermal method. The degradation of salicylic acid reached 13.82% within 60 minutes with a catalyst dosage of 150 mg. In the pollutant mixture, the complex structure of pollutants inhibited the reactivity of hydroxyl radicals (•OH), leaving sulfanilamide as the dominant residual pollutant that was not completely degraded. Selectivity tests revealed a total degradation of 35.23% for salicylic acid and 31.64% for sulfanilamide within 60 minutes. Based on these results, it can be concluded that the Ag/Fe_2O_3 material is effective for degrading salicylic acid but less suitable for sulfanilamide degradation in pollutant mixtures.

Keywords **:** *Photocatalytic, Ag/Fe_2O_3, Degradation, Salicylic Acid, Sulfanilamide*

مستخلص البحث

سافوترو، محمد تيكوح. ٢٠٢٤. **معالجة النفايات الصيدلانية (حمض الساليسيليك) باستخدام التحفيز الضوئي على أساس مادة Ag / Fe2O3.** البحث الجامعي، قسم الصيدلة، كلية الطب والعلوم الصحية، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية بمالانق. الإشراف : ١ . د.عبد الوافي، الماجستير. ٢ . د. بيغوم فوزية، الماجستيرة

تعتبر النفايات الصيدلانية من مصادر التلوث البيئي التي تتطلب معالجة خاصة لتقليل تأثيرها السلبي. استهدف هذا البحث إلى تخليق مواد Ag/Fe_2O_3 باستخدام طرق الاختزال الحراري المائي والاختزال الضوئي وتقييم تأثير جرعة محفز Ag/Fe_2O_3 على تحلل مخاليط ملوثات حمض الساليسيليك والسلفانيلاميد. تم تمييز المادة المركبة باستخدام أدوات XRD (حيود الأشعة السينية) و SEM (الفحص المجهري الإلكتروني الماسح). تم تنفيذ عملية التحفيز الضوئي لمدة ساعة واحدة بفواصل زمنية من ٠ دقيقة و ١٥ دقيقة و ٣٠ دقيقة و ٤٥ دقيقة و ٦٠ دقيقة لأخذ العينات. تم إجراء اختبارات الانتقائية على مخاليط الملوثات لتقييم فعالية المحفزات ضد كل مركب. تم تحليل نتائج التحلل باستخدام مقياس الطيف الضوئي لأشعة الشمس لتحديد درجة ونسبة التحلل. أظهرت نتيجة البحث أن مواد Ag/Fe_2O_3 قد تم تصنيعها بنجاح باستخدام الطرق الحرارية المائية. وصل تحلل حمض الساليسيليك إلى ١٣,٨٢٪ في ٦٠ دقيقة بجرعة محفزة ١٥٠ مجم. في خليط الملوثات، يمنع التركيب المعقد للملوثات تفاعل جذور الهيدروكسيل (•OH)، لذلك يهيمن السلفانيلاميد على الملوثات المتبقية التي لا تتحلل تماما. أظهر اختبار الانتقائية أن التحلل الكلي لحمض الساليسيليك كان ٣٥,٢٣٪، بينما وصل السلفانيلاميد إلى ٣١,٦٤٪ في غضون ٦٠ دقيقة. بناء على هذا، يمكن الاستنتاج أن مادة Ag/Fe_2O_3 فعالة في تحلل حمض الساليسيليك ولكنها أقل ملاءمة لتحلل السلفانيلاميد في مخاليط الملوثات.

الكلمات الأساسية: التحفيز الضوئي؛ Ag/Fe_2O_3؛ التحلل؛ الانتقائية؛ حمض الساليسيليك؛ السلفانيلاميد

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah farmasi merupakan hasil konsumsi maupun produksi yang dihasilkan oleh unit-unit seperti rumah sakit, industri farmasi ataupun laboratorium. Dampaknya bisa sangat merugikan karena dapat mencemari tanah, air, dan udara, serta membahayakan kehidupan makhluk hidup di sekitarnya. Oleh karena itu, penanganan limbah farmasi yang tepat sangat penting untuk mencegah dampak negatifnya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Beberapa contoh limbah farmasi dapat berupa hasil cucian bahan kimia di laboratorium, produk biologis dan sediaan farmasi (tablet, injeksi, kapsul, krim, salep dll). Sumber limbah farmasi biasanya dihasilkan oleh industri-industri farmasi, rumah sakit dan beberapa klinik serta laboratorium pengguna bahan kimia farmasi, misalnya asam salisilat (Nurfitria *et al.*, 2022).

Asam salisilat adalah zat kimia umum dalam farmasi berfungsi untuk meredakan nyeri ringan hingga sedang, mencegah pembekuan darah pada kondisi kardiovaskular, dan mengobati penyakit seperti osteoarthritis, rheumatoid arthritis, serta gout. Terkenal karena manfaatnya pada perawatan kulit, namun dapat menyebabkan masalah pencernaan dan ginjal jika digunakan melebihi dosis yang disarankan (Rahmadanita & Sumarno, 2019). Asam salisilat dapat ditemui dengan ciri-ciri memiliki cincin benzena diikuti dengan gugus hidroksil (•OH) dan gugus karboksilat (-COOH), serta mempunyai kekuatan keratolitik untuk melunakkan kulit (Ulfa & Nofita, 2016).

Asam salisilat terkenal menjadi salah satu solusi meredakan nyeri ringan dan penurun demam serta sebagai bahan rubefacient yang banyak digunakan dalam industri farmasi. Namun, dengan banyak dibutuhkannya asam salisilat pasti meningkatkan faktor produksi yang tentunya meningkatkan jumlah limbah pastinya. Oleh karena itu dibutuhkan metode pengolah limbah untuk mendegradasi limbah asam salisilat yang dihasilkan dari faktor produksi (He *et al.*, 2015). Telah dilakukan pengolahan limbah cair asam salisilat menggunakan metode fotokatalisis dengan bantuan material TiO_2 yang berhasil mendegradasi konsentrasi asam salisilat pada media air (Chen *dkk.*, 2020).

Fotokatalisis adalah metode pengolahan limbah yang menggabungkan energi cahaya dan bantuan katalis. Katalis yang digunakan biasanya berupa unsur logam seperti TiO_2, ZnO, CuO, CdO, dan Fe_2O_3 yang berfungsi untuk membantu mendistribusikan cahaya hingga menghasilkan radikal hidroksil (•OH) untuk mendegradasi polutan yang diinginkan (Sutanto & Wibowo, 2015).

Tatalaksana metode fotokatalisis ini dilakukan dengan mekanisme kerja air limbah yang didapatkan diberikan perlakuan pemberian katalis. Kemudian air limbah tersebut diposisikan pada ruang gelap dan disinari dengan sinar UV serta di aduk untuk meratakan katalis terhadap cairan limbah. Pada proses tersebut dapat dihasilkan radikal hidroksil (•OH) untuk mendegradasi polutan dalam air limbah. Dosis massa katalis, waktu penyinaran dan pengadukan menjadi faktor penting untuk efisiensi degradasi polutan (Mekarsari, 2020).

Metode fotokatalisis mulai banyak digunakan karena memiliki beberapa keunggulan sebagai metode degradasi limbah antara lain reaksi yang terjadi dengan cepat, tanpa terbentuknya endapan selama proses, dapat digunakan kembali, dan memiliki biaya yang cukup terjangkau (Maretta & Helmy, 2015), serta tidak memerlukan pengolahan lanjutan setelah proses fotokatalisis (Sutanto & Wibowo, 2015). Kelemahan yang dimiliki dari metode fotokatalisis adalah tidak semua polutan dapat diuraikan menggunakan metode ini dan pemilihan katalis yang sesuai untuk meningkatkan efisiensi proses degradasinya (Mekarsari, 2020).

Manusia diciptakan oleh Allah SWT., di bumi ini tidak lain sebagai Khalifah Fil Ardhi' dimana sebagai wakil Allah SWT., untuk menjaga bumi dan tidak untuk membuat kerusakan didalamnya. Nyatanya, telah banyak kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh manusia itu sendiri terhadap lingkungan dikarenakan untuk memuaskan hawa nafsunya sendiri. Salah satu contoh adalah pembuangan limbah yang tanpapa pengolahan terlebih dahulu baik itu limbah cair maupun limbah padat. Kerusakan seperti hal diatas telah disebutkan dalam Al - Qur'an Surah Ar - Rum ayat 41 sebagai berikut :

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا
لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

Artinya :’’Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)’’.

Berdasarkan Menurut Prof. Quraish Shihab dalam Tafsir Al-Misbah, bencana alam yang terjadi di muka bumi tidak terlepas dari perilaku manusia yang merusak lingkungan. Pendapat ini didasarkan pada pengamatan bahwa manusia seringkali bertindak tanpa memperhatikan keseimbangan ekosistem, yang kemudian mengakibatkan kerusakan alam. Dalam pandangannya, perilaku tersebut bertentangan dengan tugas manusia sebagai khalifah di bumi yang seharusnya menjaga dan memelihara lingkungan. Meskipun manusia memiliki kemampuan inisiatif dan kreativitas, hal ini tidak dimiliki oleh makhluk lain (Mangka *et al.*, 2022).

Penelitian telah dilakukan mengenai metode fotokatalitik yang efektif dalam mendegradasi limbah cair dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan. Metode ini mampu mendegradasi senyawa organik dan mengurangi senyawa anorganik menjadi komponen yang lebih sederhana. Keuntungan dari metode ini adalah keamanan dan ramah lingkungan yang dihasilkan serta lebih ekonomis (Aprilliani & Pratiwi, 2018).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Lalasari *dkk*, (2014), menunjukkan bahwa fotokatalisis Fe_2O_3 dapat digunakan untuk mendegradasi air lindi sampah dengan bantuan sinar UV. Sebelum proses fotokatalisis, air lindi sampah memiliki nilai kandungan sebesar 58,35 mg/L. Setelah proses fotokatalisis, terjadi degradasi sebesar 80,63% dengan menggunakan perbandingan pengenceran air lindi 1:16.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Chakhtouna *dkk*, (2021), mengenai fotokatalisis berbasis material Ag/Fe_2O_3, dimana Ag berperan sebagai

katalisator tambahan untuk meningkatkan efisiensi dan aktivitas fotokatalisis. Ag berfungsi sebagai peningkat elektron yang memfasilitasi transfer elektron dari Fe_2O_3 ke senyawa target yang akan dioksidasi atau direduksi. Dengan demikian, sintesis Ag pada Fe_2O_3 dapat meningkatkan efektivitas fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 dalam menghasilkan gugus hidroksil sebagai senyawa pendegradasi polutan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Oentori (2023), sintesis Fe_2O_3 dilakukan menggunakan metode hidrotermal dengan memanfaatkan tekanan tinggi, panas dan air. Kelebihan dari metode hidrotermal termasuk homogenitas, kemurnian, dan kemampuan sintering pada suhu lebih rendah serta ukuran partikel yang mencapai skala nanometer. Keuntungan lain metode ini meliputi pengurangan aglomerasi antar partikel, kemampuan untuk menghasilkan distribusi ukuran partikel yang relatif seragam, kontrol yang baik terhadap morfologi partikel, dan produk dengan kemurnian tinggi. Selain itu, teknik ini dikenal sangat ekonomis dan sederhana.

Efektivitas suatu katalis dapat dievaluasi melalui pengujian degradasi terhadap campuran polutan, yang bertujuan untuk mengetahui sejauh mana katalis mampu mendegradasi kedua polutan secara simultan. Pendekatan ini penting untuk memahami selektivitas dan efisiensi katalis dalam kondisi kompleks yang menyerupai limbah farmasi nyata (Swaminaathan *et al.*, 2024). Selain itu, faktor eksternal seperti intensitas penyinaran berperan signifikan dalam meningkatkan efektivitas proses fotokatalitik. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan intensitas penyinaran dapat meningkatkan jumlah pasangan elektron-hole yang terbentuk, sehingga mempercepat proses degradasi (Byrne *et al.*, 2018).

Berdasarkan uraian diatas, maka dalam penelitian kali ini dilakukan dengan sintesis material Fe_2O_3 menggunakan metode sintesis hidrothermal. Selanjutnya dilakukan uji karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*) dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) terhadap material Ag/Fe_2O_3 yang disintesis menggunakan metode hidrotermal untuk mengetahui karakteristik fisik dan struktur material Ag/Fe_2O_3. Terakhir dilakukan uji pengaruh dosis dalam degradasi limbah asam salisilat menggunakan metode fotokatalitik berbasis material Ag/Fe_2O_3 untuk mengetahui dosis terbaik yang efisien dalam degradasi limbah asam salisilat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apakah material Ag/Fe_2O_3 dapat disintesis menggunakan metode hidrotermal dengan karakterisasi XRD *(X-Ray Diffraction)* dan SEM *(Scanning Electron Microscopy)*?
2. Berapa dosis optimum material Ag/Fe_2O_3 untuk degradasi senyawa asam salisilat menggunakan metode fotokatalisis?
3. Apakah pengaruh intensitas penyinaran pada fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 terhadap degradasi asam salisilat

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk mengetahui material Ag/Fe_2O_3 dapat disintesis menggunakan metode hidrotermal dengan karakterisasi XRD *(X-Ray Diffraction)* dan SEM *(Scanning Electron Microscopy)*.
2. Untuk mengetahui dosis optimum material Ag/Fe_2O_3 untuk degradasi senyawa asam salisilat menggunakan metode fotokatalisis.
3. Untuk mengetahui pengaruh intensitas penyinaran pada fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 terhadap degradasi asam salisilat

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Akademik

1. Bagi Ilmu Pengetahuan

   Penelitian ini dapat digunakan sebagai sarana aplikasi penerapan disiplin ilmu dalam bidang farmasi khususnya pada aplikasi teknologi degradasi limbah farmasi.

2. Bagi Penyusun

   Penelitian ini dapat menjadi batu loncatan untuk penulis dalam mengembangkan aplikasi teknologi degradasi cemaran farmasi di masa yang akan datang.

1.4.2 Manfaat Praktis

1. Bagi Peneliti Lain

   Penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan pembanding atau rujukan dalam mengembangkan teknologi degradasi limbah farmasi.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sampel limbah merupakan limbah buatan yang diproduksi menggunakan asam salisilat yang dilarutkan dalam etanol 70% dan aquadest.
2. Uji yang dilakukan mencakup uji karakteristik nanopartikel menggunakan uji *X- Ray Difraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan uji fotokatalisis.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Limbah Dan Klasifikasi

Limbah adalah bahan sisa atau buangan dari suatu kegiatan dan proses produksi yang sudah tidak terpakai lagi. Limbah ada yang memiliki nilai ekonomi serta daya guna dan ada yang dapat membahayakan jika sudah mencemari lingkungan sekitar. Limbah dapat berwujud limbah padat, limbah cair, dan limbah gas. Limbah cair dapat mengkontaminasi lingkungan perairan termasuk sumber-sumber air yang dimanfaatkan manusia (Umroningsih, 2022).

Dari sekian banyaknya limbah, dibedakan jenisnya menjadi beberapa bagian berdasarkan wujud atau bentuknya yaitu (Edy Swandayani & Pahriana Sulastri, 2020) :

a. Limbah Cair

   Limbah cair adalah limbah yang dihasilkan dari sisa usaha maupun kegiatan yang berwujud cairan. Karakteristik fisik limbah ini dapat dilihat dari beberapa parameter seperti warna, bau, kekeruhan dan *Total Suspended Solid* (TTS).

b. Limbah Padat

   Limbah padat merupakan sisa hasil kegiatan yang bentuknya berupa padatan. Pengetian mengenai limbah padat sepadan dengan definisi sampah menurut Undang-Undang No. 8 tahun 2008. Karakteristik fisiknya dapat dilihat dari kepadatan, ukuran partikel dan kandungan air (Abdillah, 2020).

c. Limbah Gas

Limbah gas merupakan limbah yang berbentuk asap atau gas pastinya. Biasanya limbah ini paling banyak dihasilkan dari kendaraan bermotor dan industri yang melakukan pembakaran. Karakter fisiknya biasanya dari bau, warna gas dan temperatur (suhu).

Secara garis besar, terdapat limbah organik yang berasal dari makhluk hidup dan limbah anorganik yang berasal dari benda mati. Limbah anorganik terdapat beberapa macam bentuk berupa cairan, semi cair, semi padat dan padat. Limbah cair dapat berasal dari industri, rumah sakit, unit pendidikan dan rumahan (Dahruji *et al.*, 2016). Salah satu limbah cair yang berasal dari industri farmasi. Pada limbah industri farmasi terdapat kandungan zat kimia hasil produksi yang mana bila terlalu banyak dibuang ke lingkungan dapat berpengaruh buruk pada lingkungan tersebut (Chibuisi *dkk.*, 2019).

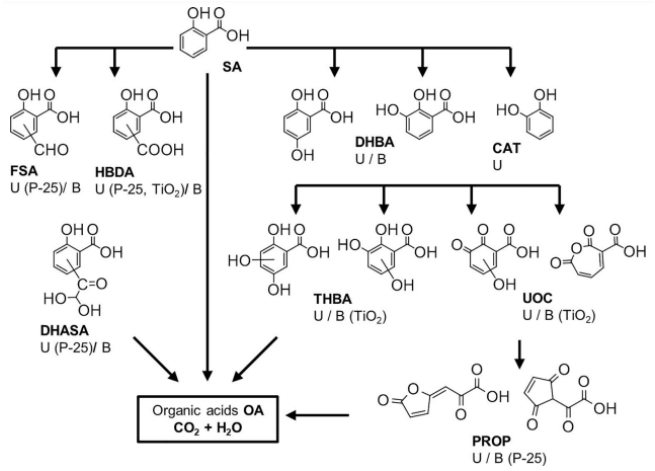
2.1.1 Limbah Berdasarkan Sumbernya

Pembagian limbah juga dapat dilihat dari sumber darimana sumber limbah tersebut dihasilkan. Berdasarkan PP No. 101 Tahun 2014 mengatur beberapa sumber dihasilkannya suatu limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Sumber yang paling banyak memproduksi atau menghasilkan limbah tentunya dari hasil industri. Hal ini dikarenakan, industri memproduksi suatu bahan jadi atau setungah jadi dengan skala yang besar sehingga akan menghasilkan sisa buangan yang besar (Dahruji *et al.*, 2016).

Sumber limbah lainnya dapat dihasilkan dari UMKM yang hasil produksinya lebih kecil dari industri, kendaraan bermotor, rumah sakit, limbah rumah tangga, unit-unit pendidikan (sekolah dan universitas) baik itu yang berbentuk padatan, cairan, gas hingga limbah suara (Elvania, 2022).

2.2 Asam Salisilat

Asam salisilat merupakan suatu zat yang sering digunakan dalam produk perawatan kulit. Asam salisilat atau biasa juga dikenal sebagai asam 2 hidroksibenzoat dari golongan fenol. Pemerian berupa serbuk hablur putih, memliki rasa sedikit manis, dan tidak beraroma. Serbuk ini sulit larut dalam benzena, mudah larut dalam eter dan etanol, dapat larut dalam air mendidih dan agak sulit larut dalam kloroform. Manfaat dan penggunaannya adalah untuk meratakan kulit dan sebagai agen anti jamur. Sesuai dengan Peraturan Kepala BPOM RI Nomor Hk.03.1.23.08.11.07517 Tahun 2011 tentang Persyaratan Teknis Bahan Kosmetika, kadar asam salisilat dibatasi hingga 3% untuk produk bilas dan 2% untuk produk lainnya (Fatmawati & Herlina, 2017).



Gambar 2. 1 Skema jalur degradasi asam salisilat (Bracco *et al*., 2020)

Pada **Gambar 2.1** menggambarkan jalur degradasi fotokatalitik asam salisilat dengan produk transformasi yang mungkin, seperti asam formilsalisilat (FSA) dan asam hidroksibenzena dikarboksilat (HBDA) yang dihasilkan dari reaksi antara asam salisilat dan radikal •CHO dan atau •COOH. Reaksi ini dipicu oleh radikal hidroksil •OH dan melibatkan pembentukan spesies dengan peningkatan jumlah atom karbon dalam strukturnya. Produk lain yang dihasilkan termasuk dienelactone, seperti yang terdeteksi dalam reaksi oksidasi dengan oksigen molekuler dari kompleks besi(III) katekol, yang kemudian menghasilkan ion fragmen stabil dari dekarboksilasi. Reaksi pemecahan cincin juga terjadi, menghasilkan ion m/z 167 yang kemudian memberikan produk ion m/z 123 dan m/z 95, yang diatributkan sebagai dienelactone (Bracco *et al*., 2020).

2.3 Metode Pengolahan Limbah

Dalam hal pengolahan limbah terdapat banyak metode yang dapat dilakukan baik dari teknologi konvensional maupun modern. Berikut macam-macam metode yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah yaitu (Irianto, 2017) :

A. Sedimentasi

Sedimentasi adalah salah satu proses pengolahan limbah cair secara fisika yang memanfaatkan gaya gravitasi untuk memisahkan partikel padatan tersuspensi dari dalam air. Proses sedimentasi biasanya dilakukan setelah proses koagulasi dan flokulasi, dan dapat dilakukan pada awal atau pertengahan rangkaian pengolahan limbah cair. Jika limbah cair mengandung padatan tersuspensi dalam konsentrasi yang sangat tinggi,

proses sedimentasi sebaiknya diaplikasikan pada awal rangkaian pengolahan untuk mengurangi pemakaian koagulan, mempercepat proses koagulasi dan flokulasi, dan mencegah penyumbatan pada peralatan pengolahan lanjut (Martini *et al*., 2020).

B. Filtrasi

Filtrasi adalah suatu metode pengolahan limbah cair dengan cara menyaring padatan maupun zat lain menggunakan media saring. Media yang sering digunakan dalam filtrasi sangat beragam, seperti zeolit, arang aktif, dan pasir silika. Metode filtrasi menggunakan media seperti arang aktif, zeolit, dan pasir silika dapat mereduksi kandungan zat padat, mereduksi kandungan bakteri, menghilangkan warna, bau, besi, dan mangan (Pratama *et al*., 2021).

C. Biologis

Pengolahan air limbah secara biologi menggunakan mikroorganisme atau lumpur aktif untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah. Dalam sistem pengolahan lumpur aktif, bakteri aerobik dibiakkan dalam tangki aerasi dengan tujuan menurunkan kandungan organik karbon atau nitrogen. Proses ini melibatkan aerasi konstan untuk menyediakan oksigen, memungkinkan mikroba dalam lumpur aktif menguraikan zat organik menjadi CO_2 dan sel baru. Setelah itu, lumpur aktif dipisahkan untuk menjaga konsentrasi oksigen (Utami *et al*., 2019).

2.4 Metode Fotokatalisis

Metode fotokatalisis adalah teknologi pengolahan limbah cair yang menggunakan metode modern dengan bahan yang lebih sederhana dan hasil yang lebih efisien. Teknologi ini mampu mengubah limbah beracun menjadi senyawa yang lebih sederhana dan ramah lingkungan (Adawiah *et al*., 2021). Fotokatalisis mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dan menghasilkan radikal hidroksil yang bereaksi dengan senyawa organik dalam limbah cair. Hal ini menyebabkan air menjadi jernih karena terpisah dari polutan (Sucahya *et al*., 2016). Dengan demikian, Fotokatalisis dapat didefinisikan sebagai proses transformasi kimia yang menggunakan cahaya sebagai pemicu dan katalis untuk mempercepat reaksi tersebut.

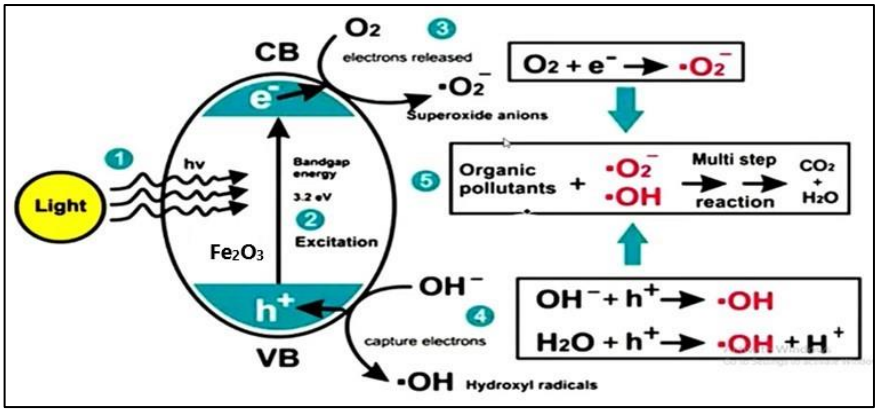
Fotokatalisis adalah teknologi pengolahan limbah cair yang menggunakan energi cahaya untuk mendegradasi limbah organik menjadi gas karbondioksida dan uap air. Pengolahan melalui fotokatalisis memiliki beberapa keunggulan, seperti reaksi yang berlangsung cepat, tidak ada pembentukan lumpur selama proses, kemampuan penggunaan ulang, dan biaya yang relatif terjangkau (Maretta & Helmy, 2015).

2.4.1 Mekanisme Kerja Fotokatalisis

Mekanisme fotokatalitik bekerja ketika sebuah fotoelektron dipromosikan dari pita valensi yang terisi dari fotokatalisator semikonduktor yaitu Fe_2O_3 ke pita konduksi yang kosong sebagai hasil dari iradiasi. Foton yang diserap memiliki energi (hv) sama atau lebih besar dari celah pita fotokatalisator semikonduktor.

Proses eksitasi meninggalkan lubang di (h_{VB}^{+}) pita valensi (Ajmal *et al.*, 2014). Dengan demikian, pasangan elektron dan hole (e/h^{+}) menghasilkan seperti berikut.

$$Fe_2O_3 + hv_{(UV)} \rightarrow Fe_2O_3[e^{-}_{(CB)} + h^{+}_{(VB)}] \quad \textbf{.....(2.1)}$$



Gambar 2. 2 Mekanisme Kerja Fotokatalisis (Wafi *et al*., 2020)

Lubang yang dihasilkan oleh cahaya (h_{VB}^{+}) bereaksi dengan air permukaan untuk menghasilkan (•OH) radikal hidroksil. Elektron (e_{CB}^{-}) diserap oleh oksigen untuk menghasilkan radikal superoksida anionik ($\bullet O_2^{-}$).

$$O_2 + e^{-}_{(CB)} \rightarrow O_{2\,(ads)} \quad \textbf{.....(2.2)}$$

Ion superoksida ini tidak hanya berpartisipasi dalam proses oksidasi lebih lanjut tetapi juga mencegah rekombinasi elektron-hole, sehingga menjaga netralitas elektron dalam molekul Fe_2O_3. Sementara itu, lubang yang dihasilkan oleh cahaya di pita valensi kemudian bereaksi dengan air untuk menghasilkan •OH_radikal.

$$H_2O_{(ads)} + h^{+}_{(VB)} \rightarrow \bullet OH_{(ads)} + H^{+}_{(ads)} \quad \textbf{.....(2.3)}$$

$$\bullet HO_2 + Polutan_{(ads)} \rightarrow Fase\ Intermediet\ CO_2 + H_2O \quad \textbf{.....(2.4)}$$

$$Asam\ Salisilat + Ag/Fe_2O_3 + hv \rightarrow CO_2 + H_2O \quad \textbf{.....(2.5)}$$

Mekanisme degradasi fotokatalitik asam salisilat menggunakan katalis Ag/Fe_2O_3 dimulai dengan pembentukan radikal hidroksil (•OH) pada permukaan fotokatalis setelah terpapar radiasi UV. Radikal (•OH) akan berinteraksi dengan molekul asam salislat dengan cara menyerang cincin benzena. Pembukaan cincin ini menyebabkan penurunan ukuran molekul dan pembentukan senyawa intermediet, yang kemudian teroksidasi menjadi CO_2 dan H_2O **persamaan 2.5**. senyawa intermediet adalah Senyawa organik yang telah mengalami oksidasi di permukaan fotokatalis dan menghasilkan senyawa antara juga akan diserap dan dioksidasi lebih lanjut (Irwan *et al.*, 2016).

Pada teknologi fotokatalisis ini terjadi reaksi transformasi kimia berupa reaksi reduksi-oksidasi oleh bahan katalis dan sinar UV yang menghasilkan radikal hidroksil untuk mendegradasi suatu polutan tertentu. Spesies H_2O terbentuk dari H^+ dan OH^- yang apabila bereaksi akan membentuk radikal hidroksil. Apabila semakin lama penyinaran akan semakin banyak membentuk radikal hidroksil. Pembentukan radikal hidroksil ini adalah reaksi searah yang memungkinkan lama penyinaran akan berbanding lurus dengan meningkatnya hasil degradasi (Ghozali *et al.*, 2017).

2.4.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Aktivitas Fotokatalitik

A. Material Fotokatalis

Material katalis yang digunakan menjadi memiliki peran penting dalam mekanisme fotokatalis karena material merupakan salah satu bagian penting dari fotokatalisis. Efektivitas material juga dipengaruhi oleh metode sintesisnya. Dari sekian banyaknya metode setiap metode memiliki efek tersendiri terhadap nanopartikel yang dihasilkan. Metode sintesis

merupakan proses yang dilakukan dalam pembuatan katalis yang digunakan dalam proses fotokatalisis (Imaniyah, 2022).

B. Modifikasi Material Fotokatalis

Modifikasi material dapat dapat dilakukan dengan menambahkan beberapa material lain seperti Gallium (Ga), Flourine (F), Indium (In), Manganese (Mn), Aluminum (Al) dan Silver (Ag). Doping merupakan metode yang efektif untuk mengubah sifat fisik (misalnya sifat optik, magnet dan listrik) pada material dan akan memperluas aplikasi/penerapannya pada material tersebut dari sifat dasarnya. Penambahan doping menyebabkan *seed* memiliki morfologi yang meningkatkan luas permukaan lapisan dan berguna untuk efisiensi aktivitas fotokatalis (Durri & Sutanto, 2015).

C. Pengaruh Massa Katalis pada Degradasi Limbah

Penggunaan katalis dalam proses fotokatalisis harus diperhatikan dengan cermat karena dapat memengaruhi efektivitas degradasi limbah. Jumlah katalis yang kurang dapat mengurangi produksi elektron (e-) dan lubang positif (h+), yang diperlukan untuk pembentukan radikal hidroksil yang berperan dalam degradasi limbah. Di sisi lain, penggunaan katalis yang berlebihan juga tidak diinginkan karena dapat mengurangi efisiensi produksi radikal hidroksil akibat terlalu padatnya lingkungan yang difotokatalisis. Hal ini dapat mengurangi interaksi cahaya dengan limbah. Oleh karena itu, pemilihan jumlah katalis yang tepat sangat penting dalam proses fotokatalisis (Riskiani *et al*., 2018).

Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa, terdapat titik di mana peningkatan massa katalis mencapai tingkat optimal di mana aktivitas fotokatalisis mencapai puncaknya. Namun, jika massa katalis terus meningkat melebihi titik optimal tersebut, dampak negatif dapat terjadi. Kelebihan massa katalis dapat mengganggu distribusi cahaya UV, mengurangi transfer elektron, dan akhirnya mempengaruhi kemampuan katalis dalam proses degradasi zat warna dalam air limbah (Imaniyah, 2022).

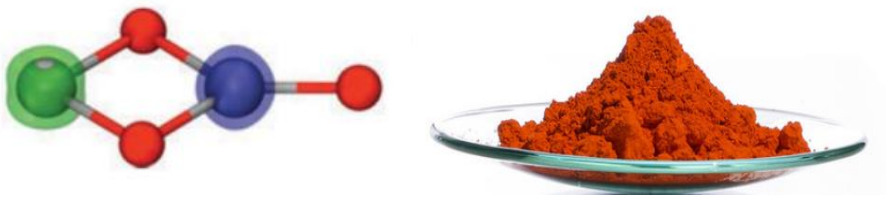
D. Pengaruh Intensitas Penyinaran

Intensitas penyinaran merupakan parameter penting dalam fotokatalisis karena cahaya yang diserap katalis memicu pembentukan pasangan elektron-hole, yang berperan dalam reaksi oksidasi-reduksi. Semakin tinggi intensitas cahaya, semakin banyak pasangan elektron-hole yang terbentuk, mempercepat degradasi polutan. Namun, intensitas yang terlalu rendah tidak efektif, sementara intensitas yang terlalu tinggi meningkatkan rekombinasi elektron-hole, menurunkan efisiensi (Arunadevi *et al*., 2018).

Efek intensitas penyinaran bervariasi tergantung pada jenis katalis dan sifat polutan. Pada fotokatalis seperti TiO_2 atau Ag/Fe_2O_3, intensitas tinggi meningkatkan laju degradasi hingga ambang tertentu sebelum menurun akibat saturasi atau rekombinasi. Panjang gelombang juga penting, karena hanya foton dengan energi sesuai celah pita katalis yang efektif (Pirgholi-Givi *et al*., 2020).

2.5 Material Katalis Fe_2O_3

Besi (III) Oksida, yang juga disebut bijih besi, adalah senyawa besi dengan rumus kimia Fe_2O_3. Terdapat beberapa bentuk Fe_2O_3, seperti bentuk alfa (α-Fe_2O_3), bentuk gamma, bentuk beta, bentuk epsilon, dan bentuk amorf. Bentuk alfa, atau α-Fe_2O_3, adalah yang paling umum ditemui. Biasanya, senyawa ini terbentuk secara alami sebagai bijih besi utama yang diambil dari pabrik pemotongan besi (serbuk besi). Proses membuat besi (III) oksida melibatkan dekomposisi termal dan pengendapan dalam cairan (Mekarsari, 2020).



Gambar 2. 3 Struktur kimia & contoh Fe_2O_3 (Erlebach *et al*., 2014)

Besi Oksida (Fe_2O_3) adalah jenis oksida dari besi yang bekerja sebagai katalis dalam reaksi Fenton. Struktur Fe_2O_3 memiliki bagian yang penuh dengan elektron (pita valensi) terlihat warna merah-silver pada **Gambar 2.5**, membentuk suatu celah (band gap) di antara keduanya. Inilah yang membuat Fe_2O_3 menjadi semikonduktor fotokatalisis yang bagus, karena celah tersebut memungkinkan penyerapan energi dari cahaya (Kunarti *et al*., 2019). Reaksi fenton merupakan reaksi yang terjadi antara ion (Fe_2^+) bereaksi dengan cahaya UV yang menghasilkan radikal hidroksil •OH (Lesa *et al*., 2020).

2.6 Selektivitas Fotokatalisis

Selektivitas dalam fotokatalisis mengacu pada kemampuan suatu fotokatalis untuk memfasilitasi reaksi kimia tertentu di antara berbagai reaksi yang mungkin terjadi, sehingga hanya menghasilkan produk yang diinginkan. Dalam konteks degradasi polutan atau senyawa organik, selektivitas tinggi berarti fotokatalis mampu memecah senyawa target tanpa mempengaruhi senyawa lain yang ada dalam campuran. Faktor-faktor yang mempengaruhi selektivitas fotokatalis meliputi struktur material, energi celah pita (band gap), dan sifat permukaan katalis. Fotokatalis dengan celah pita yang tepat dapat secara selektif menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu untuk memicu reaksi kimia, sedangkan sifat permukaan yang unik memungkinkan interaksi spesifik dengan substrat target (Lazar & Daoud, 2015).

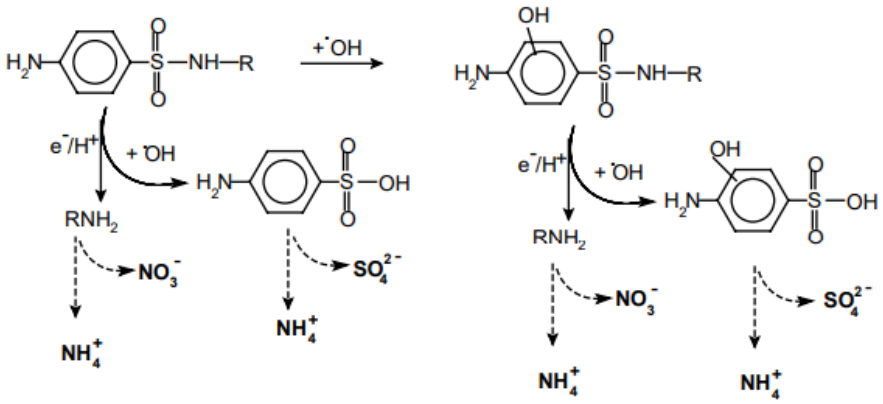
Selektivitas degradasi dalam fotokatalisis dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk sifat material fotokatalis, kondisi reaksi, dan karakteristik polutan itu sendiri yaitu sebagai berikut.

a. Pengaruh Struktur Kimia Polutan Terhadap Selektivitas

Polutan organik seperti asam salisilat dan sulfanilamid memiliki struktur kimia yang berbeda, yang menyebabkan perbedaan dalam reaktivitasnya selama proses fotokatalisis. Asam salisilat, yang memiliki gugus hidroksil (-OH) pada cincin aromatik, lebih mudah teroksidasi karena gugus ini sangat reaktif terhadap radikal hidroksil (•OH) yang dihasilkan oleh fotokatalis **Gambar 2.1**. Fotokatalis berbasis Ag/Fe_2O_3 dapat mempercepat degradasi asam salisilat, terutama di bawah

cahaya tampak, karena logam perak (Ag) memperpanjang umur pembawa muatan dan meningkatkan efisiensi oksidasi (Lang *et al*., 2014).

Sementara itu, sulfanilamid termasuk senyawa antibiotik dengan gugus amino (-NH_2) dan struktur yang lebih kompleks, menunjukkan selektivitas degradasi yang lebih rendah dalam sistem fotokatalitik. Gugus -NH_2 cenderung kurang reaktif terhadap radikal hidroksil dibandingkan gugus -OH, sehingga degradasinya membutuhkan kondisi fotokatalitik yang lebih spesifik (Yao *et al*., 2023).



Gambar 2. 4 Skema Degradasi Sulfanilamid (Calza,2004)

Skema degradasi diatas menjelaskan bagaimana senyawa ini diuraikan melalui proses fotokatalitik. Senyawa sulfonamida, yang memiliki gugus S–N, diserang oleh radikal hidroksil (•OH), menyebabkan pemutusan ikatan S–N dan pembentukan produk antara. Gugus RNH_2 yang mengandung nitrogen diubah menjadi ion nitrat (NO_3^-) dan amonium (NH_4^+), sedangkan gugus sulfur dilepaskan sebagai ion sulfat (SO_4^{2-}). Produk akhir dari proses ini adalah ion nitrat, amonium, dan sulfat, yang dihasilkan melalui oksidasi lebih lanjut dari molekul awal.

Menururt Yao *et al*., (2023) sulfanilamida memiliki struktur molekul yang sangat stabil karena adanya cincin aromatik dan gugus amida. Stabilitas ini berasal dari resonansi dalam cincin benzena serta kekuatan ikatan amida, yang membuat senyawa ini lebih tahan terhadap proses degradasi kimia maupun biologis.

b. Pengaruh Modifikasi Fotokatalis Terhadap Selektivitas

Modifikasi fotokatalis seperti Ag/Fe_2O_3 menunjukkan peningkatan selektivitas dalam degradasi polutan organik dibandingkan dengan fotokatalis tradisional seperti TiO_2. Penambahan nanopartikel perak (Ag) pada Fe_2O_3, yang dikenal dengan fenomena resonansi plasmon permukaan lokal (LSPR), memperluas spektrum respons dan meningkatkan transfer elektron. Ini mengurangi rekombinasi cepat antara elektron dan hole, yang merupakan salah satu masalah utama pada fotokatalisis konvensional. Dalam hal ini, Ag/Fe_2O_3 menunjukkan kemampuan yang lebih baik untuk secara selektif mendegradasi senyawa organik kompleks seperti asam salisilat dan sulfanilamid (Xu *et al*., 2016).

Selain itu, radikal yang dihasilkan selama proses fotokatalisis, seperti radikal hidroksil (•OH), dapat diarahkan untuk menyerang gugus fungsional tertentu dalam molekul polutan, seperti ikatan rangkap karbon-karbon atau gugus aromatik, yang sering ditemukan dalam senyawa seperti asam salisilat. Modifikasi struktur fotokatalis, terutama dalam hal pembentukan heterojunction, memungkinkan pemisahan lebih efisien antara elektron-hole, sehingga meningkatkan degradasi yang lebih selektif terhadap polutan tertentu (Xiao *et al*., 2022).

2.7 Proses Sintesis Fe_2O_3

2.7.1 Metode Leaching

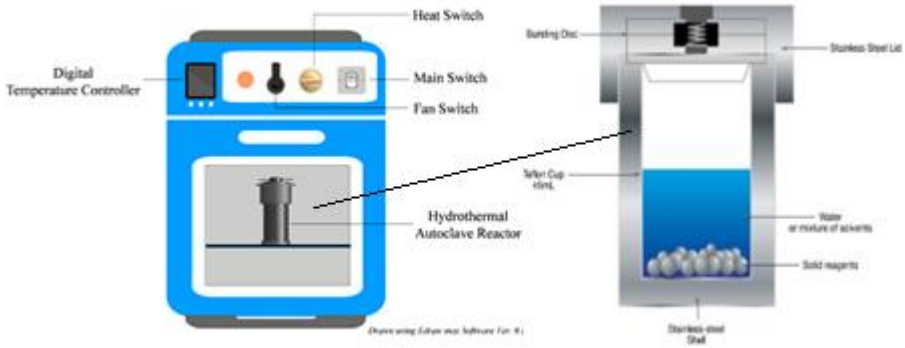
Metode *leaching* merupakan metode sintesis atom dengan menggunakan pelarut asam. Metode ini dingunakan untuk mensintesis dua material dengan mengambil atomnya dan digabung menjadi satu. Metode *leaching* membutuhkan peralatan dan bahan yang sederhana, membuatnya mudah dilakukan. Serbuk hasil sintesis kemudian diolah dengan variasi suhu kalsinasi antara 600°C hingga 900°C selama periode 4 jam (Saputri & Rohmawati, 2021).

Gambar 2. 5 Ilustrasi Metode *Leaching*

2.7.2 Metode Hidrotermal

Hidrotermal adalah salah satu metode sintesis nanopartikel yang menggunakan cairan dan temperatur tinggi. Metode ini bekerja dengan pelarutan nanopartikel yang tidak seragam agar larut kemudian diberikan tekanan tinggi untuk rekristalisasi. Metode ini digunakan pertama kali oleh Sir Roderick Murchison (1792–1871). Meskipun memiliki kelebihan bebas polutan lain, akan

tetapi metode ini tidak memiliki banyak pelarut yang cocok serta dibutuhkan pengendalian tekanan yang ketat (Ramahdita, 2014).



Gambar 2. 6 (a) Skema proses hidrothermal,(b) Teflon autoklaf (Gardecka, 2016)

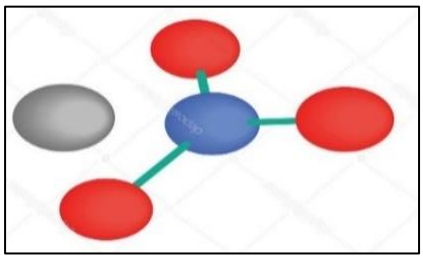
Metode hidrotermal merupakan salah satu metode yang umum dan ekonomis untuk mensintesis nanopartikel dengan berbagai morfologi. Mengubah kondisi reaksi hidrotermal, seperti suhu, waktu reaksi, prekursor, dan pelarut, dapat meningkatkan karakteristik dari produk yang dihasilkan. Salah satu aspek penting dari nanopartikel untuk aplikasi praktis adalah sifat degradasinya. Telah dilaporkan bahwa sifat degradasi bergantung pada ukuran nanopartikel, struktur, dan morfologi Ag/Fe_2O_3.

2.8 Nanopartikel Perak (Ag) dan Sintesisnya dalam Fotokatalisis

Nanopartikel adalah bahan dengan ukuran partikel primer (partikel tunggal) yang tidak melebihi >100 nm. Bentuk nanopartikel dapat beragam, seperti bola, batang atau tabung, serat, atau berbentuk acak. Nanopartikel dapat diproduksi menggunakan berbagai metode, termasuk fotokimia, elektrokimia, radiolitik, sonolitik, dan bioreduksi dengan menggunakan bahan alami. Metode bioreduksi merupakan bagian baru dari nanoteknologi yang dikenal sebagai nanobioteknologi.

Nanobioteknologi menggabungkan prinsip-prinsip biologi dengan prosedur fisika dan kimia untuk menciptakan partikel berukuran nanometer dengan fungsi tertentu (Lestari & Sartika, 2018).

Beberapa nanomaterial yang digunakan untuk pengolahan air meliputi nanopartikel logam bervalensi nol, nanopartikel oksida logam, nanotube karbon (Carbon Nanotubes, CNTs), dan nanokomposit. Contoh nanopartikel logam berkevalensi nol meliputi nanopartikel perak (Ag), nanopartikel besi (Fe), dan nanopartikel seng (Zn). Sementara itu, contoh nanopartikel oksida logam mencakup nanopartikel TiO_2, nanopartikel ZnO, dan nanopartikel besi oksida Fe (Pradipta *et al*., 2021).



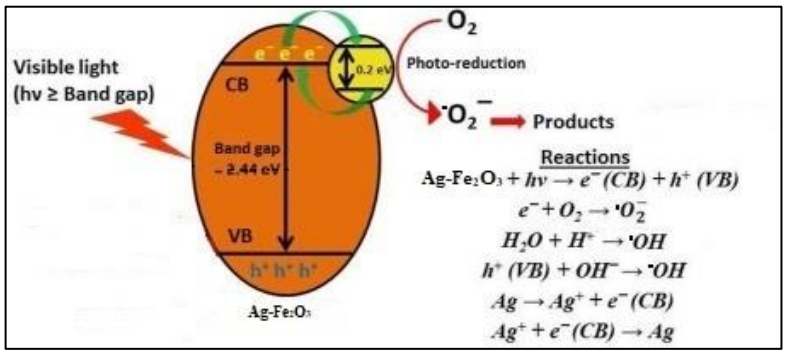
Gambar 2. 7 Struktur $AgNO_3$

Aplikasi sintesis yang digunakan dalam pembuatan Ag/Fe_2O_3 adalah metode fotoreduksi. Alasan penggunaan metode ini adalah karena relatif sederhana dan hemat biaya (M. K. Hossain *et al*., 2023). Mekanisme pembentukan AgNPs melalui proses foto kimia dalam sistem basah melalui fotoreduksi langsung. Saat Ag^+ tereksitasi, terjadi transfer elektron dari molekul pelarut ke Ag^+, membentuk yang kemudian berikatan membentuk AgNPs. Proses ini diperiksa dalam larutan air, menekankan reaktivitas molekul pelarut. Hasil kuantum reaksi meningkat secara signifikan, yang diatributkan pada kemudahan abstraksi hidrogen, di mana reaksi

antara spesies radikal dan molekul pelarut mempromosikan reaksi dan mempercepat pembentukan AgNPs untuk menjadi Ag/Fe_2O_3 (Sakamoto *et al*., 2019).

2.9 Pengaruh Penambahan Ag Terhadap Fe_2O_3

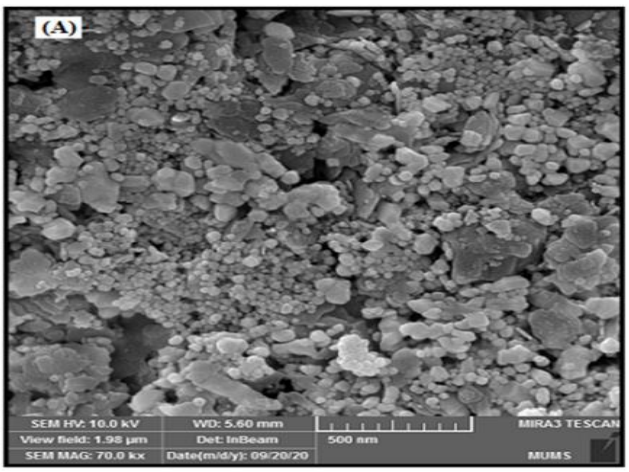
Penambahan Ag ke dalam fotokatalis Fe_2O_3 telah terbukti dapat meningkatkan kinerja fotoelektrokimia dari fotoanoda Fe_2O_3. Ag bertindak sebagai Co-katalis yang meningkatkan transfer muatan dan mengurangi laju rekombinasi *elektron-hole*, sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi cahaya menjadi energi kimia dalam proses pemecahan air fotoelektrokimia. Selain itu, Ag juga dapat meningkatkan konduktivitas elektron fotoanoda Fe_2O_3, yang berkontribusi pada peningkatan kinerja secara keseluruhan (Anggraeni & Septiany, 2018).



Gambar 2. 8 Fotokatalisis Ag-Fe_2O_3 (Ajmal *et al*., 2014)

Pada dasarnya, nanomaterial Fe_2O_3-Ag memiliki sifat fisiko-kimia yang ditingkatkan, terutama karena aktivitas fotokatalitik yang fenomenal, efek antibakteri, dan biokompatibilitas dari nanopartikel Ag. Nanomaterial berbasis oksida besi lebih menarik untuk penghilangan kontaminasi logam berat dari air karena fitur-fitur penting mereka seperti ukuran kecil, luas permukaan yang tinggi,

dan sifat magnetik. Oleh karena itu, nanokomposit Fe_2O_3-Ag memiliki dampak signifikan pada pengolahan air (Biswal *et al*., 2020).



Gambar 2. 9 Hasil SEM Ag-Fe_2O_3 (Nasiri, 2023)

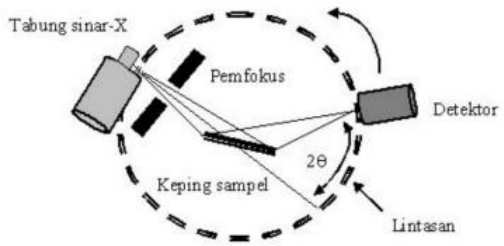
Doping logam transisi perak (Ag) telah terbukti meningkatkan aktivitas fotokatalitik Fe_2O_3. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan Ag pada Fe_2O_3 dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya. Hasil ini konsisten dengan penelitian lain yang menggambarkan mikrostruktur Fe_2O_3-Ag dalam bentuk bulir-bulir seperti **Gambar 2.4**. Penambahan doping Ag ke Fe_2O_3 tidak hanya memengaruhi mikrostruktur lapisan, tetapi juga aktivitas fotokatalitiknya, terutama dalam fotodegradasi senyawa organik sebagai polutan organik (Rully & Sutanto, 2014). Akan tetapi, morfologi nanopartikel Ag sedikit sulit untuk diamati karena ukuran nanopartikelnya yang sangat kecil (Guana *et al*., 2019).

2.10 Karakterisasi

2.10.1 Karakterisasi XRD (X-Ray Difraction)

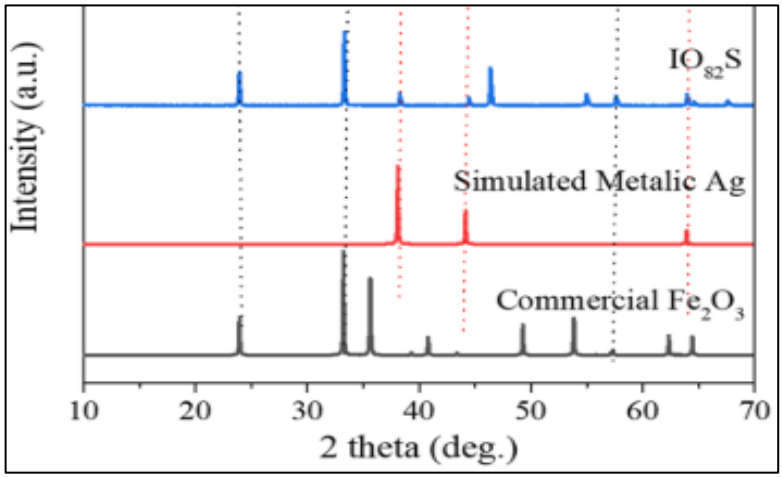
X-Ray Diffraction (XRD) merupakan alat yang digunakan dalam mengidentifikasi dan memahami ukuran serta struktur kristal pada materi padat.

Metode ini diaplikasikan untuk meneliti fasa kristal pada suatu material dengan menentukan parameter struktur partikel dan identifikasi ukuran partikel nanopartikel. Teknik XRD ini, memiliki manfaat besar dalam penelitian struktur kristal/partikel, komposisi kimia, dan sifat fisika dari nanomaterial (Putama Mursal, 2018).



Gambar 2. 10 Prinsip Kerja X-Ray Diraction (Jamaludin, 2014)

Karakterisasi XRD digunakan untuk memahami struktur Ag/Fe_2O_3 yang sudah disintesis. Karakterisasi ini juga dapat dimaksudkan untuk melihat kemurnian suatu nanopartikel dari pengotor-pengotor yang masih terkandung serta kualitas proses sintesis. Mekanisme kerja dasar XRD adalah pembentukan sinar-X yang terdifraksi oleh atom-atom kristal pada material Gambar 2.7. Pola difraksi yang muncul, bergantung pada sudut-sudut tertentu, memberikan informasi karakteristik tentang sampel. Komponen XRD terdiri dari sumber sinar-X, sampel, dan detektor. Sumber sinar-X dalam tabung sinar-X menghasilkan panjang gelombang melalui tumbukan elektron dengan logam target pada tegangan tinggi. Materi uji harus berbentuk bubuk halus (padatan), dan detektor berfungsi untuk mendeteksi sudut sinar-X yang telah terdifraksi (Lestari & Sartika, 2018).

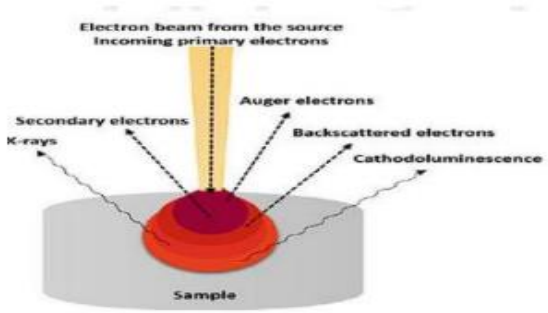


Gambar 2. 11 Contoh hasil pengolahan XRD (Hossain *et al*., 2023)

Parameter penilaian pada uji karakterisasi XRD ini ditunjukkan dengan tingginya nilai puncak yang terbentuk pada grafik hasil dari karakterisasi nanopartikel tersebut. Puncak-puncak inilah yang menjadi parameter penilaian atas tingginya nilai kemurnian pada kristalisasi material Ag/Fe_2O_3 saat proses sintesis (Riskiani *et al*., 2018). Puncak-puncak yang mengindikasikan terkandungnya unsur Fe_2O_3 yaitu puncak 2θ Fe_2O_3 yang sesuai dengan Joint Committee on Power Diffraction Standards (JCPDS) sepeti pada (Gambar 2.8) terdapat pada 24,13; 33,15; 54,09; 57,59; 62,41; 63,99; dan 72,26 (Tangaran *et al*., 2023). Parameter penilaian pada karaterisasi ini dapat dilihat dari nilai puncak yang didapatkan dengan disesuaikan dengan JCPDS atau dengan nilai FoM yang ditunjukkan oleh software yang digunakan yaitu software MATCH! 3 untuk mengolah data XRD. Nilai tertinggi FoM yang bisa didapatkan adalah 1, sedangkan nilai 0 adalah nilai terendahnya (Rachmad, 2022).

2.10.2 Karakterisasi SEM (Scanning Electron Microscopy)

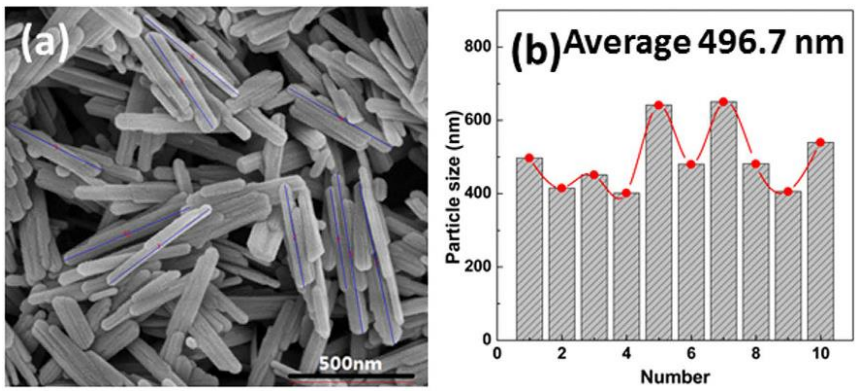
Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan metode karaktrisasi material yang digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan dari suatu material (Pradipta *et al*., 2021). Hasil pengujian ini memberikan informasi mengenai topografi, morfologi, komposisi, orientasi butir, serta informasi kristalografi dari suatu material. Morfologi mengacu pada bentuk dan ukuran, sementara topografi menggambarkan ciri permukaan, tampilan, tekstur, dan tingkat kehalusan atau kekasarannya. Komposisi mencakup unsur dan senyawa penyusun bahan, sementara kristalografi berkaitan dengan susunan atom-atom dalam suatu materi (Akhtar *et al*., 2018).



Gambar 2. 12 Prinsip Kerja Karakterisasi SEM (Akhtar *et al*., 2018)

Mekanisme kerja karakterisasi SEM (Scanning Electron Microscope), pertama SEM membuat sinar elektron dan mengarahkannya ke sampel. Sinar elektron ini bertabrakan dengan permukaan sampel dan dari interaksi ini didapatkan berbagai sinyal yang memberi tahu kita tentang bagaimana permukaan sampel terlihat (Gambar 2.9). Sinyal-sinyal ini seperti petunjuk yang memungkinkan untuk membuat gambar detail dari permukaan sampel. SEM bekerja seperti kamera

mikroskop yang sangat kuat, memungkinkan kita untuk melihat struktur dan detail sampel pada tingkat sangat kecil (Akhtar *et al*., 2018).



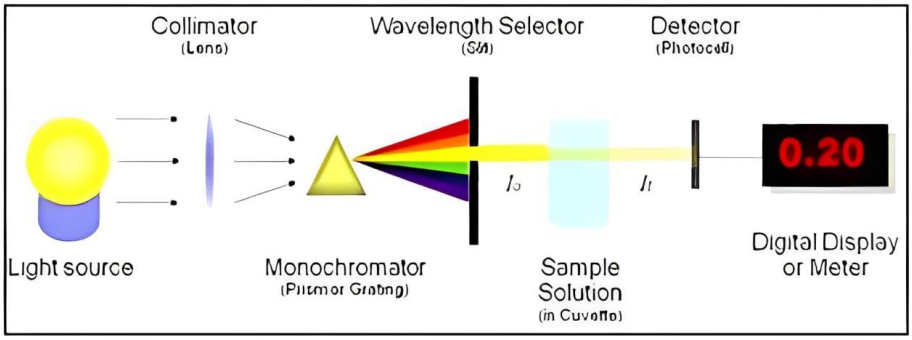
Gambar 2. 13 Hasil Pengamatan SEM Fe_2O_3 (M. Chen *et al*., 2016)

Parameter penilaian pada karakterisasi SEM dapat berupa bentuk, warna (kecerahan) dan ukuran dalam menentukan keabsahan nanopartikel yang dihasilkan dari proses sintesis seperti pada (Gambar 2.10). Dari segi kecerahan, biasanya nanopartikel Fe_2O_3 memiliki penampang lebih cerah dari material dopingnya (Mekarsari, 2020). Sedangkan, dilihat dari segi morfologi bentuknnya, Fe_2O_3 memiliki karakter bulat tak beraturan dan ukuran pada kisaran 10 -100 µm pada perbesaran 3000 kali (Hossain *et al*., 2023).

2.11 Spektrofotometer UV Vis

Teknik analisis spektrofotometri UV-Vis menggunakan sinar UV pada rentang panjang gelombang 100-400 nm dan sinar tampak pada rentang panjang gelombang 400-750 nm. Prinsip dasarnya adalah bahwa sinar yang melewati sampel akan diabsorpsi. Intensitas penyerapan sinar ini sebanding dengan konsentrasi zat yang menyerap sinar tersebut. Metode spektrofotometri UV-Vis umumnya digunakan untuk mengenali zat secara individual. Metode

Spektrofotometri UV-Vis adalah salah satu teknik yang umum digunakan dalam analisis farmasi. Instrumen ini menentukan rasio atau fungsi rasio intensitas dua sinar cahaya di wilayah yang terlihat. Spektrofotometri ini dianggap sederhana, cepat, cukup spesifik, dan dapat digunakan untuk jumlah senyawa yang relatif kecil. Prinsip dasarnya adalah hukum Lambert-Beer (Wahyuni *et al*., 2022).



Gambar 2. 14 Mekanisme Kerja Spektrofotometri UV-Vis (Mekarsari, 2020)

Dalam istilah teknis, hukum Lambert-Beer adalah hukum yang menyatakan bahwa terdapat hubungan linear antara absorbansi dengan konsentrasi larutan analit dan berbanding terbalik dengan transmitansi. Rumus Hukum Lambert-Beer dapat dituliskan sebagai:

$$A = \varepsilon . b . c \ (mol/liter)$$

A = serapan absorptivitas

ε = absorptivitas molar

b = ketebalan sel

c = konsentrasi

Semakin tinggi nilai absorptivitas molarnya atau koefisien ekstinsinya, maka dengan konsentrasi yang rendah, sampel dapat dianalisis. Oleh karena itu, batasan hukum Lambert-Beer termasuk tidak menggunakan lampu polikromatik

karena akan sulit dideteksi. Selain itu, tidak mengalami pergeseran kesetimbangan, dan tidak menggunakan pelarut karena pelarut akan memberikan spektrum serapan sendiri yang dapat mengganggu interpretasi data. Bias spektrum pada panjang gelombang di bawah 300 nm merupakan serapan oleh pelarut. Batasan lainnya adalah penggunaan pH tertentu untuk mengukur pH agar tidak terjadi pergeseran kesetimbangan (Jessica, 2020).

Prinsip spektrofotometri UV-Vis adalah menyinari sampel dengan cahaya UV dan tampak. Ketika cahaya ini melewati sampel yang diuji, sampel akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu dan membiarkan cahaya lainnya melewati. Jika sampel mampu menyerap cahaya tampak atau berwarna, itu berarti sampel tersebut memiliki elektron. Elektron ini biasanya berada dalam keadaan normal di kulit atom dengan energi terendah, yang disebut keadaan dasar. Ketika cahaya tampak memberikan energi, elektron ini bisa melompat ke kulit atom yang energinya lebih tinggi, yang disebut keadaan tereksitasi (Mekarsari, 2020).

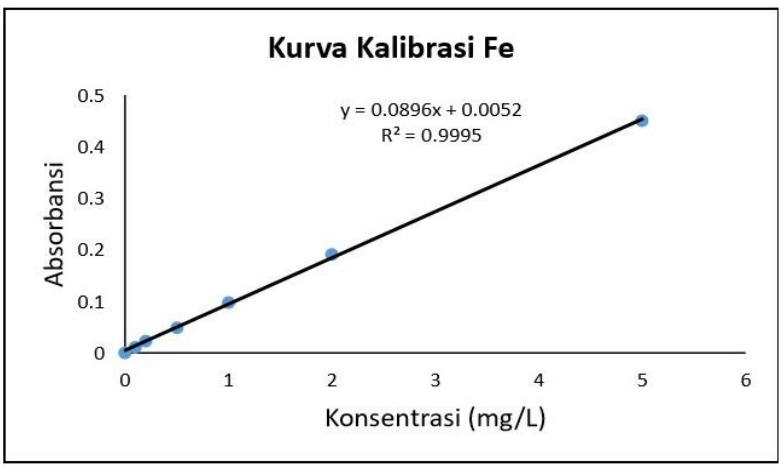
2.12 Hukum Lambert Beer

Hukum Lambert-Beer menyatakan bahwa konsentrasi berbanding lurus dengan absorbansi. Jika konsentrasinya tinggi maka absorbansinya juga tinggi, begitupun sebaliknya. Jika nilai absorbansi larutan berkisar 0,2 - 0,8 maka korelasi antara absorbansi dengan konsentrasi akan linier (A≈C) disebut daerah berlakunya hukum Lambert-Beer. Apabila diperoleh nilai absorbansi yang lebih tinggi maka korelasi absorbansi tidak linier lagi (Nisyak *et al*, 2019). Korelasi absorbansi dengan konsentrasi akan linear (A≈C) jika nilai absorbansi larutan berkisar 0,2 - 0,8

(nm) ($0,2 \leq A < 0,8$), maka pada daerah ini berlaku hukum Lambert-Beer (Wahyuni *et al*., 2022).

Hukum Lambert-Beer merupakan dasar dari prinsip kerja spektrofotometer, dimana apabila seberkas cahaya dilewatkan oleh suatu medium 35 pada panjang gelombang tertentu maka cahaya tersebut sebagian diteruskan dan sebagian lagi diabsorbsi oleh medium. Hubungan antara cahaya absorbansi dengan konsentrasi penyerap dan jarak yang ditempuh cahaya dalam larutan (tebal larutan) adalah berbanding lurus. Jika nilai absorbansi semakin besar maka konsentrasi penyerap dan jarak yang ditempuh cahaya juga semakin besar, begitupun sebaliknya (Ulfa & Nofita, 2016).

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam hukum Lambert-Beer, yaitu senyawa yang mengabsorbsi dalam larutan tersebut tidak bergantung terhadap yang lain, indeks bias tidak bergantung pada konsentrasi larutan, volume yang memiliki penampang luas yang sama dan tidak terjadi peristiwa fluoresensi.

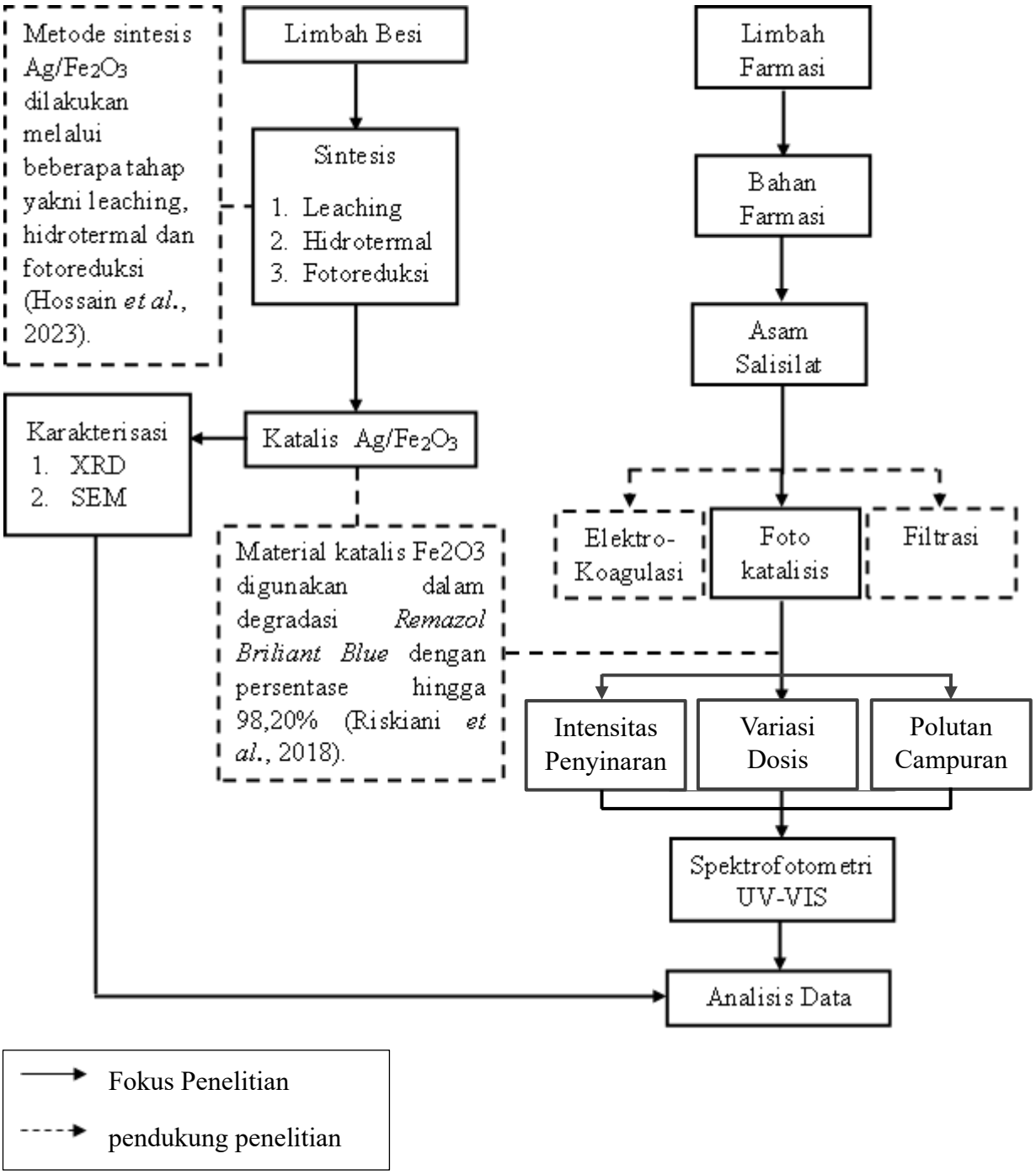


Gambar 2. 15 Kurva kalibrasi larutan standar Fe (Nisah & Nadhifa, 2020)

Pada penelitian Khairun & Nadhifa, (2015) Gambar 2.11 memperlihatkan kurva kalibrasi larutan standar Fe yang menunjukkan hubungan linier antara konsentrasi dan absorbansi, sesuai dengan Hukum Lambert-Beer. Persamaan regresi linier yang diperoleh dari kurva ini adalah (y = 0,0896x + 0,0052), dimana (y) merupakan nilai absorbansi dan (x) merupakan kadar Fe. Koefisien determinasi yang tinggi (r2 = 0,9995) menegaskan keakuratan metode kalibrasi ini dalam menentukan konsentrasi Fe, dengan tingkat kepercayaan sebesar 99,95%.

BAB III
KERANGKA KONSEPTUAL

3.1 Kerangka Konseptual



Gambar 2. 16 Kerangka Konseptual

3.2 Uraian Kerangka Konseptual

Peta konseptual ini menggambarkan rangkaian langkah terinci dalam pengolahan limbah farmasi dari golongan NSAID dengan memanfaatkan metode fotokatalisis berbasis material. Langkah pertama dalam proses ini melibatkan karakterisasi material menggunakan teknik XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengungkap struktur kristalnya. Hasil karakterisasi ini memberikan wawasan mendalam mengenai sifat fisik dan struktur material Ag/Fe_2O_3, yang esensial untuk memahami kemungkinan interaksi material dengan limbah farmasi yang akan diolah.

Langkah berikutnya melibatkan karakterisasi dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mendapatkan gambaran visual tingkat mikroskopis tentang morfologi dan struktur permukaan material. Informasi yang diperoleh dari SEM memainkan peran penting dalam evaluasi kemungkinan adhesi limbah farmasi pada material Ag/Fe_2O_3, serta memberikan gambaran visual yang berguna untuk memahami interaksi mikrostruktural dalam proses fotokatalisis.

Setelah karakterisasi material, penerapan dalam proses fotokatalisis untuk mendegradasi limbah NSAID dilakukan. Pemantauan secara khusus dilakukan terhadap pengaruh dosis material Ag/Fe_2O_3 terhadap efektivitas degradasi limbah. Dengan mengoptimalkan dosis material, diharapkan dapat mencapai tingkat efisiensi yang maksimal dalam proses pengolahan limbah farmasi ini. Selain itu, intensitas penyinaran juga akan diuji untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap laju fotokatalisis. Intensitas cahaya yang optimal penting untuk memaksimalkan pembentukan pasangan elektron-hole pada permukaan material, yang dapat

mempercepat proses degradasi. Pada tahap berikutnya, uji coba degradasi polutan campuran dilakukan untuk menguji kemampuan material Ag/Fe_2O_3 dalam mengolah berbagai jenis polutan secara simultan. Ini akan memberikan gambaran tentang selektivitas dan efisiensi fotokatalis dalam mengatasi pencemaran campuran, yang lebih realistis dalam konteks limbah farmasi yang kompleks. Dengan merinci langkah-langkah ini, peta konseptual ini menyoroti pentingnya karakterisasi material sebelum penerapan praktisnya dalam proses fotokatalisis. Diharapkan pendekatan ini dapat menghasilkan metode pengolahan limbah farmasi yang efektif, berkelanjutan, dan dapat diadopsi dalam skala industri untuk mengatasi masalah pencemaran limbah farmasi.

3.3 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini adalah bahwa material Ag/Fe_2O_3 yang disintesis menggunakan metode hidrotermal dan fotoreduksi, yang kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM, akan menunjukkan sifat fotokatalitik yang efektif dalam degradasi polutan campuran asam salisilat dan sulfanilamid. Selain itu, dosis material Ag/Fe_2O_3 yang optimal akan dapat meningkatkan efisiensi degradasi, sementara intensitas penyinaran yang tepat akan mempercepat proses fotokatalisis serta memperbesar efek degradasi. Dengan melakukan percobaan degradasi polutan campuran, diharapkan dapat diperoleh informasi mengenai selektivitas dan efektivitas material Ag/Fe_2O_3 dalam mengolah limbah farmasi tersebut.

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Jenis dan Rancangan Penelitian

Jenis penelitian ini adalah experimental laboratory yang bertujuan untuk menganalisis aktivitas fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 dalam mendegradasi limbah asam salisilat dengan beberapa perbedaan dosis material yang digunakan. Metode fotokatalitik telah terbukti menjadi pendekatan yang efektif dalam degradasi zat-zat organik terlarut dalam air. Faktor-faktor seperti konsentrasi fotokatalis, pH larutan, waktu iradiasi, dan intensitas cahaya akan dipelajari untuk mengoptimalkan pengolahan cemaran farmasi menggunakan fotokatalitik Ag/Fe_2O_3.

4.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari - Maret 2024 di Laboratorium Kimia Farmasi Jurusan Farmasi, Laboratorium Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Analisis XRD (*X-Ray Diffraction*) dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Negeri Malang dan Laboratoium Sentral Universitas Muhammadiyah Malang.

4.3 Variabel Penelitian dan Definisi Operasional

4.3.1 Variabel Penelitian

1. Variable Bebas : Karakterisasi XRD dan SEM
2. Variable Terikat : Dosis material katalis Ag/Fe_2O_3, waktu penyinaran fotokatalisis, material Ag/Fe_2O_3.

4.3.2 Definisi Operasional

1. Preparasi Sampel Limbah Preparasi sampel limbah merupakan Langkah awal untuk membuat objek penelitian. Sampel limbah yang digunakan adalah limbah cair asam salisilat yang dibuat dengan cara mengencerkan asam salisilat kedalam aquadest dengan konsentrasi tertentu. Sebelum dilakukan pengenceran, dilakukan perhitungan pengenceran asam salisilat untuk mendapatkan kadar yang direncanakan.

2. Metode Sintesis Material Katalis Sintesis material katalis merupakan suatu metode yang dilakukan untuk memodifikasi material uji. Metode yang digunakan adalah metode leaching, metode hidrotermal dan metode kalsinasi dari bahan utama pasir besi yang di berikan stirer serta pemanasan selama 5 jam. Kemudian, dilakukan metode hidrotermal selama 3 jam dengan suhu 200 ^{o}C dan dikalsinasi dengan suhu 200 ^{o}C dan penambahan nanopartikel Ag sebagai kombinasi material fotokatalisis.

3. Metode Fotokatalisis Metode fotokatalisis adalah metode yang digunakan untuk mendegradasi suatu limbah cair. Metode ini memanfaatkan katalis dan cahaya ultraviolet dengan pengadukan selama proses fotokatalisis. Terkadang juga dilakukan penambahan katalis dari golongan logam dengan tujuan untuk mempercepat proses degradasi.

4. Analisa Hasil Analisa hasil fotokatalisis dilakukan dengan menggunakan instrument spektrofotometri UV-Vis untuk mengamati penurunan kadar asam

salisilat yang terkandung dalam limbah. Penurunan kadar tersebut nantinya di persentase untuk menilai efektivitas metode fotokatalisis dalam mendegradasi limbah asam salisilat.

4.4 Alat dan Bahan Penelitian

4.4.1 Alat

Alat-alat yang digunakan adalah spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu), reaktor fotokatalisis, filter membran, beaker glass, pipet ukur, gelas ukur, spatula, pipet tetes, magnetik stirrer hot plate, botol vial, lampu UV, ring stand, oven (memmert), timbangan analitik, cawan porselen, teflon autoklaf dan furnace (kalsinasi), pipet ukur.

4.4.2 Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi pasir besi, aquadest, asam salisilat *P.A*, Silver nitrat ($AgNO_3$) *P.A*, asam oksalat ($H_2C_2O_4$), filter syringe, kertas saring, alumunium foil, kertas nama.

4.5 Prosedur Penelitian

4.5.1 Sintesis Fe_2O_3 dari Limbah Pasir Besi

Sintesis Besi (II) Oksalat dilakukan dengan menyiapkan 25 g limbah pasir besi. Kemudian pasir besi tersebut dicampur dengan 500 mL larutan asam oksalat 1 M dalam gelas kimia, diaduk dan dipanaskan pada suhu 80 °C selama 5 jam. Selanjutnya, filtrat berwarna hijau dipindahkan ke teflon autoclave untuk dilakukan proses hidrotermal pada suhu 200 °C selama 3 jam. Endapan kuning FeC_2O_4 (Ferrous Oxalate) hasil proses hidrotermal dikeringkan di oven pada suhu 60 °C

selama 12 jam sehingga dihasilkan butiran pasir berwarna kuning. FeC_2O_4 dikalsinasi 2 jam dengan suhu 200 ºC dengan kenaikan suhu (5ºC/min heat rate) agar terjadi reaksi oksidasi membentuk Fe_2O_3 . Reaksi kimia yang terjadi adalah :

$$FeC_2O_4 + 2H_2O \rightarrow Fe_2O_3 + CO_2 \quad \textbf{.....(4.1)}$$

4.5.2 Sintesis Ag/Fe_2O_3

Sintesis material Ag dari perak nitrat ($AgNO_3$) terhadap Fe_2O_3 pada perbandingan (50 ml : 2,5 gr) dengan menggunakan $AgNO_3$ 50 mL 10-1 M. Dimasukkan, nanopartikel Fe_2O_3 di stirrer dengan kekuatan pengadukan 300 rpm selama 30 menit pada suhu ruang dan dinyalakan lampu UV (untuk menghilangkan bilangan oksidasi $Ag^+ \rightarrow Ag^0$). Setelah selesai filtrat di oven pada suhu 50 ºC selama 24 jam.

4.5.3 Karakterisasi Ag/Fe_2O_3 menggunakan XRD

Karakterisasi XRD dilakukan dengan tujuan untuk menganalisa adanya fasa yang teridentifikasi, komposisi fasa dan juga struktur kristal yang terbentuk pada sampel. Tahap awal dalam karakterisasi XRD yaitu dimulai dengan sampel Ag/Fe_2O_3 akan diuji sekitar 0.1 gram dan di preparasi dengan menempelkan sampel dalam holder secara merata pada permukaan. Hasil karakterisasi dapat memberikan informasi yang akurat mengenai komposisi dan struktur kristal pada sampel tersebut.

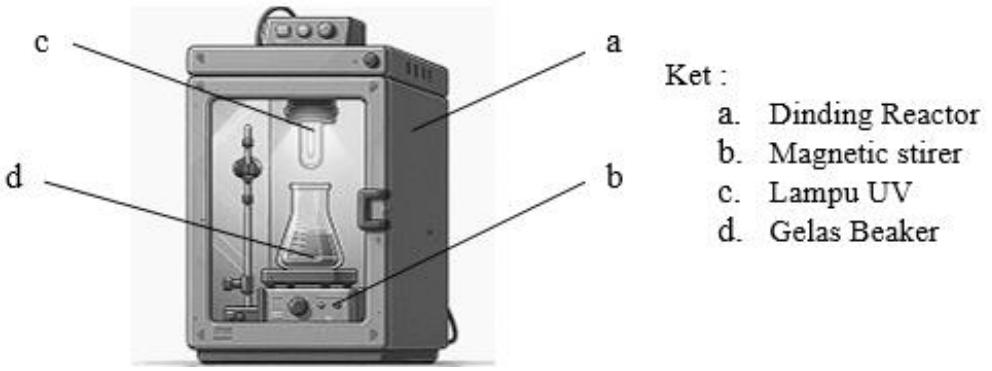
4.5.4 Karakterisasi Ag/Fe_2O_3 menggunakan SEM

Karakterisasi dengan menggunakan SEM diarahkan untuk memahami morfologi (permukaan) dari Ag/Fe_2O_3. Dalam proses karakterisasi menggunakan

SEM, sebanyak 50 mg sampel dalam bentuk serbuk halus ditempatkan pada sampel holder. Pengamatan dilakukan dengan pembesaran antara 3.000 hingga 40.000 kali.

4.5.5 Aktivitas Fotokatalisis Ag/Fe_2O_3

Pada percobaan ini, digunakan tiga dosis material katalis Ag/Fe_2O_3 sebagai senyawa katalis, yaitu 50 mg, 100 mg, dan 150 mg. Katalis ini ditambahkan ke dalam 50 ml larutan asam salisilat dengan konsentrasi 20 ppm yang terdapat dalam sebuah gelas beaker. Setelah itu, dilakukan pengadukan dengan alat stirrer selama 30 menit dilakukan dalam sistem batch pada reaktor tertutup untuk memfasilitasi proses adsorpsi-desorpsi di bawah kondisi gelap. Setelah itu, lampu UV (265 nm) diaktifkan, dan larutan diambil pada waktu interval 15; 30; 45; 60 menit. Sampel larutan diambil menggunakan syringe dan untuk menghilangkan partikel katalis yang mungkin masih terdapat dalam larutan, dilakukan penyaringan menggunakan syringe filter. Sampel filtrat yang telah disaring ditampung dalam botol vial. Absorbansi data yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis.



Gambar 2. 17 Uji Fotokatalisis Dalam Reaktor Tertutup

4.5.6 Fotokatalisis Degradasi Polutan Campuran

Dalam penelitian ini, degradasi polutan campuran antara asam salisilat dan sulfanilamid akan dievaluasi dengan memisahkan degradasi masing-masing senyawa secara terpisah menggunakan fotokatalis Ag/Fe_2O_3. Pertama, larutan standar asam salisilat dan sulfanilamid akan didegradasi secara individu di bawah kondisi fotokatalisis yang sama (intensitas cahaya, waktu iradiasi, dan jumlah fotokatalis). Konsentrasi akhir disetiap interval senyawa setelah degradasi akan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang absorbansi karakteristik masing-masing senyawa. Perbandingan tingkat degradasi dari masing-masing senyawa akan memberikan gambaran mengenai senyawa mana yang lebih mudah terdegradasi oleh Ag/Fe_2O_3, yang kemudian akan digunakan sebagai acuan dalam degradasi campuran keduanya.

Alasan menggunakan metode ini adalah untuk mengidentifikasi dan memahami mekanisme degradasi dari masing-masing senyawa dalam campuran ,dengan memisahkan degradasi asam salisilat dan sulfanilamid, sehingga dapat mengevaluasi kontribusi spesifik dari setiap senyawa terhadap reaksi fotokatalitik. Hal ini penting karena kedua senyawa mungkin memiliki afinitas yang berbeda terhadap fotokatalis Ag/Fe_2O_3, sehingga metode ini membantu menentukan selektivitas material fotokatalis terhadap masing-masing senyawa. Hasilnya juga dapat digunakan sebagai dasar untuk optimalisasi reaksi pada campuran yang lebih kompleks.

4.5.7 Pembuatan Larutan Standar dan Larutan Sampel Asam Salisilat

a. Pembuatan Larutan Induk Asam Salisilat 100 ppm

Pembuatan larutan induk asam salisilat dapat dilakukan dengan melarutkan sebanyak 0,01 gr asam salisilat dan ditambahkan dengan 20 mL akuades pada beaker glass. Kemudian, dipindahkan pada labu ukur 100 mL dan dihomogenkan. Sehingga diperoleh larutan induk asam salisilat 100 ppm.

b. Pembuatan Larutan Standar Asam Salisilat

Larutan induk asam salisilat dengan konsentrasi 100 ppm diambil sebanyak 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5, dan 15 mL, lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL hingga mencapai tanda batas dan dihomogenkan. Hasilnya adalah larutan asam salisilat dengan konsentrasi 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 ppm.

c. Pembuatan Larutan Sampel Asam Salisilat

Larutan induk asam salisilat dengan konsentrasi 100 ppm diambil sebanyak 10,0 mL dengan pipet ukur, kemudian dipindahkan ke dalam labu ukur 50 mL dan dihomogenkan sampai tanda batas, sehingga diperoleh larutan sampel asam salisilat dengan konsentrasi 20 ppm.

4.5.8 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Asam Salisilat

Larutan standar asam salisilat yang telah dibuat diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang telah diperoleh. Absorbansi yang diperoleh dari masing-masing larutan standar dibuat kurva kalibrasi dengan sumbu x sebagai konsentrasi larutan standar (ppm) dan sumbu y sebagai absorbansi yang dihasilkan oleh larutan standar. Dari grafik didapatkan persamaan regresi linier $y = ax + b$.

4.5.9 Pengaruh Intensitas Penyinaran

Pada metode perbandingan intensitas penyinaran fotokatalisis digunakan untuk mengevaluasi efektivitas fotokatalis dalam degradasi senyawa target dengan membandingkan intensitas cahaya yang diterima oleh material fotokatalis. Dalam metode ini, fotokatalis akan diuji pada berbagai intensitas cahaya untuk menentukan pengaruhnya terhadap laju degradasi senyawa, dengan mengukur penurunan intensitas cahaya yang dipantulkan atau diserap oleh sampel selama proses fotokatalisis. Hasil dari perbandingan ini dapat memberikan informasi tentang efisiensi fotokatalis dalam kondisi penyinaran yang berbeda.

4.5.10 Analisis Data

Analisis data pada penentuan persentase degradasi larutan Asam Salisilat dilakukan dengan pengolahan menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang diolah hingga menjadi grafik. Kemudian nilai persentase larutan Asam salisilat yang terdegradasi ditentukan melalui persamaan:

$$\textit{Degradasi}\ (\%) = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan :

C0 = Konsentrasi awal

C1 = Konsentrasi akhir

BAB V
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, fotokatalis Ag/Fe_2O_3 disintesis menggunakan metode hidrotermal. Hasil sintesis tersebut dikarakterisasi menggunakan instrumen XRD dan SEM. Selanjutnya, dilakukan uji degradasi terhadap polutan asam salisilat maupun polutan campuran dengan berbagai variasi dosis fotokatalis Ag/Fe_2O_3 untuk membuktikan kekuatan material fotokatalis dapat bekerja dengan baik.

5.1 Sintesis Material Fotokatalisis Fe_2O_3 dengan Metode Hidrotermal

Proses sintesis besi oksalat dari pasir besi melalui metode leaching. Leaching merupakan proses ekstraksi padat-cair menggunakan asam oksalat sebagai pelarunya. Asam oksalat ini dipilih, karena menurut (Santawaja *et al*., 2020), asam oksalat tidak hanya bertindak sebagai pelarut, tetapi juga berfungsi sebagai agen pengompleks yang efisien dalam membentuk kompleks dengan ion besi. Pada metode leaching, ketika Fe(II) bereaksi dengan asam oksalat, terjadi pemisahan ion besi dari matriks mineral. Asam oksalat bertindak sebagai agen leaching yang melarutkan ion Fe(II) dari pasir besi yang memudahkan pemisahan dan ekstraksi besi dari bahan baku mineralnya.

Dalam penelitian ini, asam oksalat digunakan sebagai agen leaching pada konsentrasi 1 M. Asam oksalat dipilih sebagai pelarut karena pada penelitian (Lee *et al*., 2015) adalah asam oksalat memiliki kekuatan dalam melarutkan oksida besi, daya reduksi yang tinggi dan risiko kontaminasi yang rendah sehingga tidak banyak meninggalkan banyak residu setelah proses kalsinasi.

Konsentrasi asam oksalat 1 M dipilih karena, menurut Hernández *et al*., (2015) konsentrasi 1 M masih menjadi konsentrasi yang baik sebagai pelarut besi oksida dalam aplikasi metode leaching dari beberapa penelitian sebelumnya. Oleh karena itu peneliti memilih konsentrasi ini dalam eksperimen tersebut.

Selanjutnya, 25 gram pasir besi dicampurkan dengan asam oksalat, dan proses ekstraksi dilakukan pada suhu 100 derajat. Pengadukan konstan dan pemanasan selama 5 jam sangat penting untuk memastikan bahwa ekstraksi berlangsung secara maksimal. Proses ini disebutkan oleh Prasetyo *et al*., (2016), merupakan durasi yang cukup pada suhu operasional yang optimal penting untuk mencapai ekstraksi maksimum dan menghindari degradasi termal dari asam oksalat.

Sintesis besi oksalat melalui proses leaching melibatkan reduksi Fe(III) menjadi kompleks $Fe_2(C_2O_4)_3$ (aq). Persamaan reaksi yang terjadi :

$$2Fe_3^{+} + 3C_2O_4^{2-} \rightarrow Fe_2(C_2O_4)_{3(aq)} \qquad \textbf{.....(5.1)}$$

Menggambarkan pembentukan kompleks Fe(III) oksalat. Dalam reaksi ini, ion Fe(III) berinteraksi dengan ion oksalat untuk membentuk senyawa kompleks Fe(III) oksalat yang larut dalam air. Proses kompleksasi ini menghasilkan filtrat berwarna hijau, yang menandakan keberadaan Fe(III) dalam bentuk kompleks oksalat (Santawaja *et al*., 2020).

Gambar 5. 1 Pasir Besi Filtrat Hijau Hasil Proses Leaching

Filtrat berwarna hijau Gambar 5.1 yang dihasilkan dalam penelitian leaching ini menandakan pembentukan kompleks besi-oksalat. Warna hijau ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa kompleks besi-oksalat memiliki warna hijau, yang disebabkan oleh transisi elektron dalam kompleks tersebut (Fomina *et al*., 2014).

Proses hidrotermal dilakukan dalam lingkungan dengan suhu dan tekanan tinggi yang terkontrol. Reaksi yang terjadi dapat dijelaskan melalui persamaan reaksi berikut :

$$Fe_2(C_2O_4)_3(aq) \xrightarrow{T} 2Fe^{2+} + 2C_2O_4^{2-} + C_2O_4^{\bullet -}. \qquad \textbf{.....(5.2)}$$

Peningkatan suhu hingga 200°C memungkinkan transfer elektron dari oksalat yang berkompleks ke ion Fe(III), menyebabkan pemutusan homolitik ikatan koordinasi Fe(III)–O dan pembentukan Fe(II), anion oksalat, serta anion radikal oksalat. Proses hidrotermal melibatkan pemanasan larutan pada tekanan tinggi pada bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan besi(II) oksalat lebih murni serta mempercepat reaksi pembentukan Fe(II) (Yang & Park, 2019).

Selama proses hidrotermal, terjadi reaksi reduksi besi(III) menjadi besi(II), di mana panas membantu memutus ikatan koordinasi Fe(III)-O dari oksalat, menghasilkan besi(II), anion oksalat, serta anion radikal oksalat. Energi termal yang diberikan memfasilitasi transfer elektron yang diperlukan untuk reduksi, sehingga terjadi pemutusan ikatan koordinasi besi(III) dan terbentuklah besi(II). Setelah terbentuk, ion besi(II) bereaksi dengan oksalat dalam larutan untuk membentuk besi(II) oksalat atau FeC_2O_4 (aq). Dari proses ini, didapatkan hasil serbuk kuning FeC_2O_4 dari proses tersebut disaring dan dicuci menggunakan pH netral aquadest.

Kemudian, dilakukan proses kalsinasi pada FeC_2O_4 pada suhu 200°C untuk mengubahnya menjadi Fe_2O_3. Proses kalsinasi ini melibatkan pemanasan dalam kondisi terkontrol tanpa adanya oksidator tambahan, di mana panas akan memecah struktur oksalat besi menjadi oksida besi (Fe_2O_3) dan melepaskan gas karbon dioksida (CO_2) serta karbon monoksida (CO). Reaksi ini menghilangkan senyawa organik dalam bentuk gas, sementara ion besi mengalami oksidasi lebih lanjut, sehingga terbentuklah oksida besi.

Proses kalsinasi digunakan untuk mengubah FeC_2O_4 menjadi Fe_2O_3, sebagaimana dibuktikan dalam penelitian sebelumnya oleh Yeoh *et al*., (2018), Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kalsinasi merupakan metode efektif untuk mengubah fase material dari bentuk hidrat, karbonat, atau oksalat menjadi oksida. Proses ini dilakukan pada suhu tinggi dalam kondisi terkontrol, yang memungkinkan pemecahan struktur kimia senyawa awal dan menghasilkan produk akhir yang lebih stabil. Selain itu, kalsinasi juga berfungsi untuk menghilangkan zat pengotor yang mungkin terkandung dalam material awal. Penghilangan zat

pengotor ini penting untuk meningkatkan kemurnian dan kualitas oksida besi yang dihasilkan, sehingga dapat memenuhi standar yang diperlukan untuk aplikasi industri.

5.2 Sintesis Material Fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 dengan Metode Fotoreduksi

Proses sintesis kedua dilakukan dengan mensintesis Ag/Fe_2O_3 menggunakan metode fotoreduksi. Metode fotoreduksi merupakan proses yang menggabungkan sifat-sifat fotokatalitik dari material semikonduktor dengan kemampuan reduksi dari zat pereduksi (biasanya larutan perak nitrat, $AgNO_3$) untuk menghasilkan nanopartikel perak (Ag) secara efisien (Sakamoto *et al*., 2019).

Dalam penelitian ini, sintesis menggunakan metode fotoreduksi dilakukan dengan melarutkan 10^{-3} gram $AgNO_3$ dalam 50 mL pelarut. Selanjutnya, campuran 2,5 gram Fe_2O_3 dengan larutan $AgNO_3$ tersebut dimasukkan ke dalam satu gelas breaker. Kemudian, hasil campuran diberikan sinar UV selama 2 jam sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer pada gelas breaker yang dilapisi alumunium. Alumunium foil yang melapisi gelas breaker untuk memaksimalkan fotoreduksi. Setelah itu, endapan dipanaskan pada suhu 50°C selama 24 jam untuk menghilangkan air yang tersisa sehingga endapan dapat diambil.

Mekanisme fotoreduksi nanopartikel Ag/Fe_2O_3 dimulai dengan penyerapan radiasi cahaya oleh material semikonduktor Fe_2O_3, yang menyebabkan pembentukan pasangan elektron-lubang (hole). Elektron-elektron yang terlepas dari Fe_2O_3 bergerak menuju permukaan material. Selanjutnya, elektron-elektron ini ditransfer ke ion perak (Ag^+) dalam larutan, menyebabkan reduksi Ag^+ menjadi

atom perak (Ag) yang membentuk nanopartikel. Sementara itu, lubang-lubang yang terbentuk pada material semikonduktor (Fe_2O_3) bereaksi dengan air atau molekul lainnya, menghasilkan oksigen (O_2) atau radikal hidroksil (•OH), yang dapat berperan sebagai agen oksidasi dalam reaksi yang terjadi. Proses ini mencerminkan gabungan antara sifat-sifat optoelektronik dan redoks dari material semikonduktor dengan kemampuan reduksi zat-zat kimia untuk menghasilkan nanopartikel dengan sifat-sifat yang diinginkan (L. Wang *et al*., 2021).

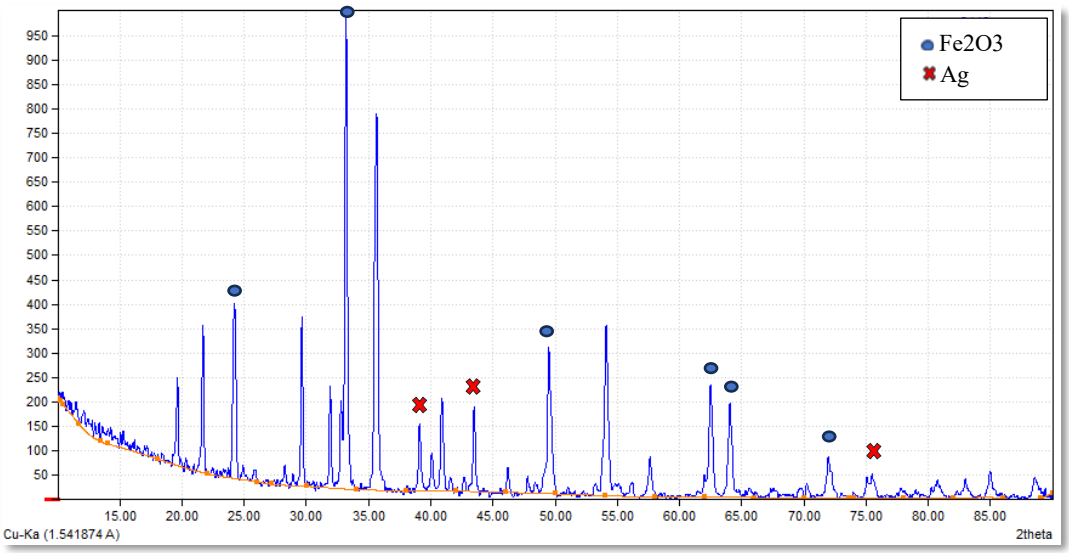
Pada proses tersebut, terjadi interaksi redoks antara ion perak (Ag^+) dan bahan semikonduktor Fe_2O_3 yang tereksitasi oleh radiasi UV. Saat Fe_2O_3 terpapar radiasi UV, elektron-elektron dalam material dilepaskan, membentuk pasangan elektron-lubang. Elektron-elektron ini kemudian dipindahkan ke ion perak (Ag^+) dalam larutan, menyebabkan Ag^+ direduksi menjadi atom perak (Ag), di mana Ag^+ menerima elektron dan berubah menjadi atom perak. Atom-atom perak kemudian menggabungkan diri untuk membentuk nanopartikel perak. Bahan semikonduktor Fe_2O_3 berperan sebagai fotokatalis yang memfasilitasi Ag^+ dalam reaksi redoks. Proses ini memungkinkan terbentuknya nanopartikel perak (Ag) yang tersebar di dalam matriks Fe_2O_3. Hasil akhirnya adalah pembentukan nanopartikel Ag/Fe_2O_3 yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi fotokatalitik (Chomkitichai *et al*., 2021).

Menurut Wang *et al* (2021), Penambahan nanopartikel perak (Ag NPs) pada material Ag/Fe_2O_3 memberikan sejumlah keunggulan dibandingkan dengan Fe_2O_3 murni. Kehadiran nanopartikel Ag memperluas spektrum penyerapan cahaya ke wilayah cahaya tampak yang tidak ditemukan pada Fe_2O_3 murni. Ini secara

signifikan meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi foton (UV), karena Ag NPs memungkinkan material untuk menyerap cahaya tidak hanya pada wilayah ultraviolet, tetapi juga di wilayah cahaya tampak. Selain itu, nilai bandgap energi (Eg) Fe_2O_3 yang diperoleh sebesar 2,01 eV sesuai dengan nilai yang dilaporkan sebelumnya, sehingga menjadikan material ini tetap unggul dalam aplikasi fotokatalisis, dengan tambahan peningkatan kinerja berkat Ag NPs.

5.3 Karakterisasi Material Ag/Fe_2O_3 Menggunakan XRD

Material fotokatalis Ag/Fe_2O_3 hasil sintesis disurvei menggunakan instrumen XRD untuk menentukan fasa, struktur data, dan ukuran partikelnya. Pola difraksi yang diperoleh dari analisis XRD kemudian dibandingkan dengan standar JCPDS nomor 04-0783 untuk nanopartikel Ag dan nomor 39-1346 untuk nanopartikel Fe_2O_3. Hasil difraksi karakterisasi dari keseluruhan material Ag/Fe_2O_3 yang telah disintesis kemudian dipresentasikan dalam **Gambar 5.2.**



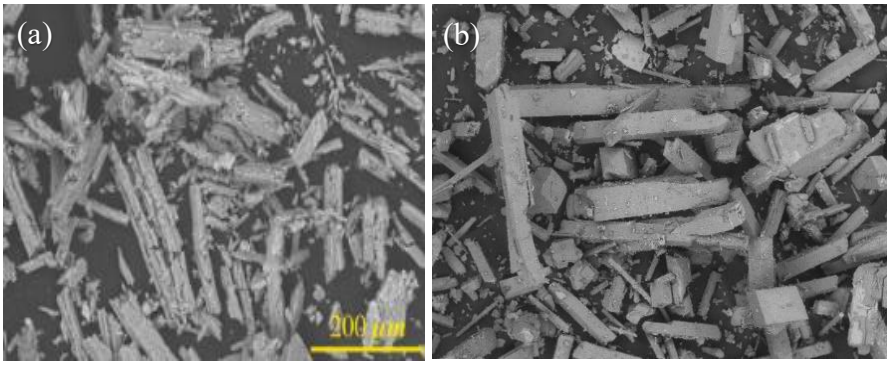
Gambar 5. 2 Difraksi Nanopartikel Ag/Fe_2O_3

Berdasarkan Gambar 5.2, Pola difraksi dari Ag yang disintesis sesuai dengan pola difraksi standar ICSD nomor 04-0783. Puncak-puncak karakteristik Ag yang paling mencolok muncul pada sudut 37,4°, 44,0°, 64,2°, dan 77,2° dengan intensitas yang signifikan. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa Ag memiliki puncak difraksi yang sesuai dengan standar ICSD 04-0783 tersebut (Siddiqui *et al*., 2023).

Fotokatalis Fe_2O_3 juga berhasil disintesis dan sesuai dengan standar JCPDS Fe2O3 nomor 39-1346. Ini dapat dilihat dari kemunculan puncak tertinggi karakteristik Fe2O3 pada sudut $2\theta = 24{,}13^{o}$; $33{,}15^{o}$; $54{,}09^{o}$; $57{,}59^{o}$; $62{,}41^{o}$; $63{,}99^{o}$; dan $72{,}2^{o}$; dengan intensitas yang signifikan. Pada penelitian sebelumnya disampaikan bahwa titik puncak tersebut telah memenuhi syarat sebagai tanda bahwa Fe_2O_3 telah terbentuk (Tangaran *et al*., 2023).

5.4 Karakterisasi Material Ag/Fe_2O_3 Menggunakan SEM

Analisis SEM (Scanning Electron Microscope) dilakukan untuk memeriksa morfologi partikel Ag/Fe_2O_3. Jenis alat Scanning Elektron Microscopy (SEM) yang telah digunakan pada penelitian ini adalah Hitachi TM-3000. Selain itu, analisis SEM digunakan untuk menentukan diameter partikel dan distribusi diameternya. Analisis dilakukan dengan menggunakan pembesaran 500, 1000, dan 2500 kali. Hasil analisis SEM untuk Fe_2O_3 dan Ag/Fe_2O_3 10^{-1} dengan beberapa pembesaran ditampilkan untuk memperlihatkan bentuk morfologinya.



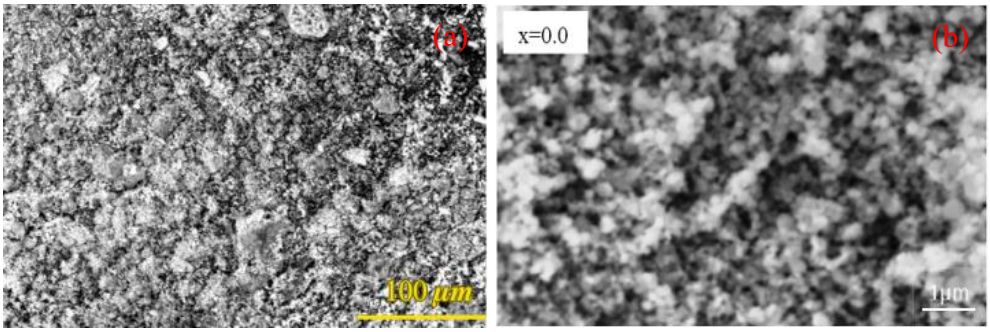
Gambar 5. 3 (a) Hasil SEM Fe_2O_3 (b). Hasil SEM FeC_2O_4 (Kamil, 2024)

Fe_2O_3 yang dihasilkan memiliki bentuk Nanorods (batang) dan permukaan yang yang tidak rata. Bentuk nanorods ini mengindikasikan bahwa proses sintesis berhasil mencegah aglomerasi berlebih, yang umumnya dapat meningkatkann efisiensi material dalam aplikasi praktis seperti katalisis. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa nanopartikel Fe_2O_3 umumnya didapatkan bentuk nanorods yang terdiri dari partikel kecil dan besar yang berbentuk batang dan terkristalisasi (Lassoued *et al*., 2017).

Hasil ini konsisten dengan penelitian sebelumnya oleh Kamil *et al*., (2024), yang melaporkan bahwa pasir besi disintesis menggunakan metode hidrotermal untuk menghasilkan FeC_2O_4 *(Ferric Oxalate)* memiliki morfologi nanorod. Apabila FeC_2O_4 disintesis lebih lanjut menjadi Fe_2O_3 akan memiliki morfologi yang sama. Selama proses hidrotermal, variabel seperti suhu, tekanan, dan lama reaksi memengaruhi pertumbuhan kristal dan pembentukan struktur batang.

Pecahnya struktur nanorods yang dihasilkan diperkirakan karena suhu kalsinasi yang digunakan sebesar 200 ºC yang sesuai penelitian sebelumnya bahwa sintesis pada suhu 200°C mengalami peningkatan, yang berhubungan dengan

pembentukan dan pelarutan bertahap dari α-FeOOH serta perkembangan nanorod α-Fe_2O_3 dengan rasio aspek optimal setelah 120 menit (Almeida *et al*., 2019).



Gambar 5. 4 (a)Hasil SEM Ag/Fe_2O_3, (b) Hasil SEM Ag/Fe_2O_3 (M. S. Hossain *et al*., 2018)

Selain itu, analisis SEM menunjukkan bahwa keberadaan Ag pada nanopartikel Fe_2O_3 mempengaruhi proses kristalisasi Fe_2O_3 itu sendiri. Partikel yang terbentuk tampak kurang beraturan dan kurang kristalin dibandingkan dengan partikel Fe_2O_3 murni. Hal tersebut juga disampaikan pada penelitian sebelumnya yang menjelaskan bahwa penambahan nanopartikel Ag mempengaruhi morfologi Fe_2O_3 yang merubah bentuk spherical menjadi semi-spherical (semi bulat) karena adanya partikel Ag yang terdistribusi (Alqahtani *et al*., 2018).

Pada hasil SEM Ag-Fe_2O_3 diatar terlihat kurang jelas dimungkinkan oleh sintesis lanjutan dari Fe_2O_3 dengan AgNps pada waktu stirrer. Hal ini juga dialami pada penelitian sebelumnya oleh Hossain *et al*., (2018) yang menyatakan bahwa bentuk dari Fe_2O_3 hasil sintesis dengan campuran Zn menjadi berbentuk bulat ataupul elips (*spherical or elliptical*) karena dipengaruhi oleh stirrer saat sintesis keduanya.

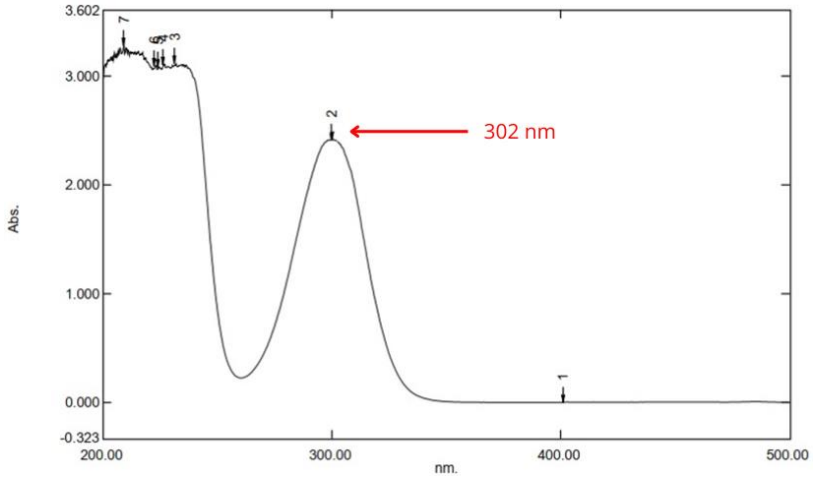
Secara keseluruhan, adanya karakterisasi SEM memberikan bukti visual mengenai struktur dan morfologi material Ag/Fe_2O_3 yang disintesis dan mendukung potensi material ini untuk aplikasi fotokatalitik yang efisien.

5.5 Uji Aktifitas Fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 Terhadap Polutan Asam Salisilat

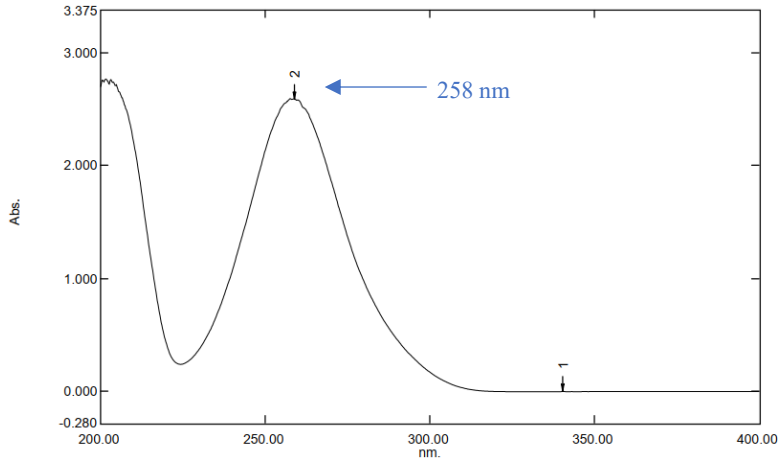
5.5.1 Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum Asam Salisilat

Pengukuran panjang gelombang maksimum asam salisilat adalah langkah penting dalam karakterisasi senyawa ini dengan spektrofotometri UV-Vis. Penentuan λmax memastikan pengukuran absorbansi dilakukan pada panjang gelombang dengan sensitivitas tertinggi, sehingga hasilnya lebih akurat. Informasi ini digunakan untuk menentukan konsentrasi asam salisilat dalam sampel berdasarkan Hukum Lambert-Beer, yang menyatakan bahwa absorbansi sebanding dengan konsentrasi.

Dalam penelitian ini, larutan asam salisilat dibuat menggunakan pelarut aquadest, kemudian absorbansinya diukur dalam rentang panjang gelombang UV-Vis dengan spektrofotometer. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa asam salisilat memiliki puncak absorbansi maksimum sekitar 302 nm, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5.7** di bawah ini. Panjang gelombang maksimum 302 nm ini menunjukkan kesesuaian dengan penelitian (Fatmawati & Herlina, 2017), menyatakan bahwa metode yang digunakan dalam penelitian ini valid dan dapat dipercaya. Panjang gelombang ini merupakan ciri khas dari gugus kromofor dalam molekul asam salisilat yang berperan dalam penyerapan cahaya UV.



Gambar 5. 5 Panjang Gelombang Maksimum Asam Salisilat



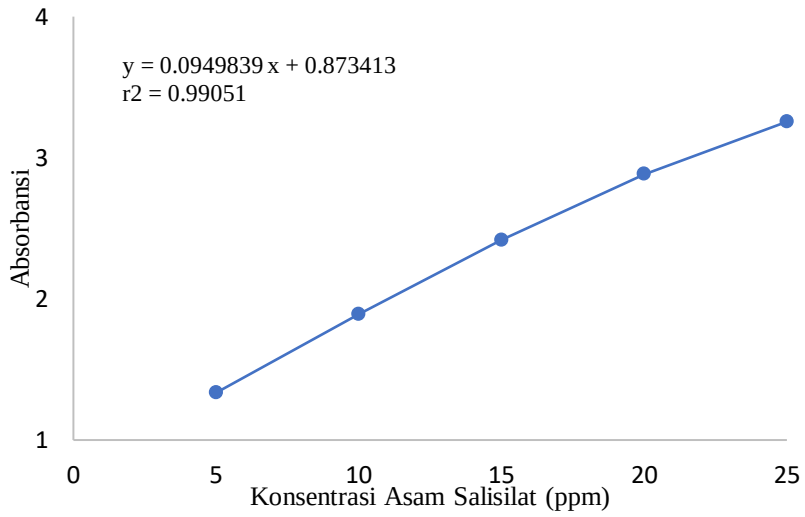
Gambar 5. 6 Panjang Gelombang Maksimum Sulfanilamid

Selain itu, informasi mengenai λmax asam salisilat membuka peluang untuk pengembangan metode analisis lebih lanjut menggunakan spektrofotometri UV-Vis, baik untuk keperluan penelitian maupun aplikasi industri. Pengukuran panjang gelombang maksimum asam salisilat adalah langkah penting dalam karakterisasi spektrofotometrik, yang digunakan untuk acuan pembuatan kurva standar serta untuk memastikan bahwa analisis yang dilakukan pada suatu penelitian dapat akurat.

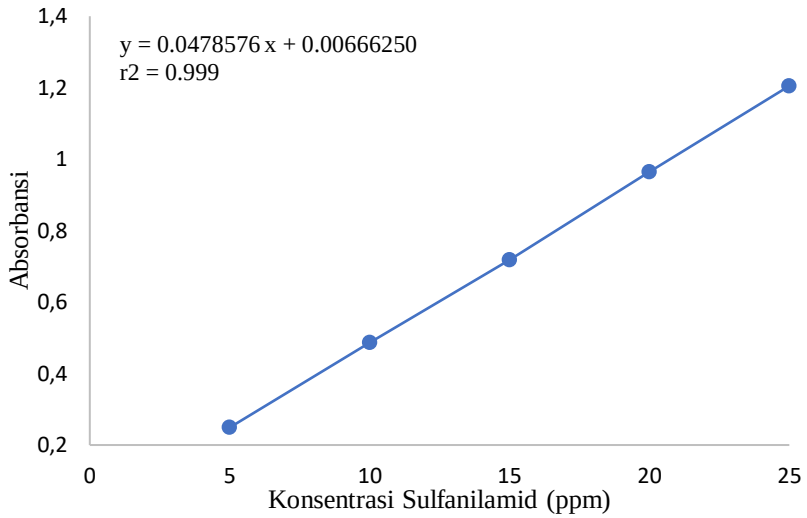
5.5.2 Pembuatan Kurva Standar Asam Salisilat

Pembuatan kurva standar asam salisilat adalah langkah penting dalam menentukan konsentrasi sampel asam salisilat secara kuantitatif menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Kurva standar dibuat dengan mengukur absorbansi serangkaian larutan standar asam salisilat dengan konsentrasi yang diketahui pada panjang gelombang maksimum yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu sekitar 302 nm.

Proses pembuatan kurva standar dimulai dengan menyiapkan beberapa larutan asam salisilat dengan konsentrasi yang berbeda. larutan dengan konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm dan 25 ppm. Pada larutan asam salisilat diukur absorbansinya pada panjang gelombang 302 nm, sedangkan pada campuran asam salisilat dan sulfanilamid diatur di panjang gelombang 258 nm pada spektrofotometer UV-Vis.



Gambar 5. 7 Kurva Standar Asam Salisilat



Gambar 5. 8 Kurva Standar Sulfanilamid

Absorbansi dari setiap larutan standar diukur dan kemudian diplot terhadap konsentrasinya untuk membentuk kurva standar. Kurva ini biasanya menunjukkan hubungan linear antara absorbansi dan konsentrasi, sesuai dengan Hukum Lambert-Beer. Persamaan garis linear dari kurva standar umumnya berbentuk *(y = mx + c)*, di mana *(y)* mewakili absorbansi, *(m)* adalah kemiringan garis (absorptivitas molar), *(x)* menunjukkan konsentrasi, dan *(c)* adalah intercept. Persamaan ini digunakan untuk menghitung konsentrasi asam salisilat dalam sampel tak dikenal berdasarkan pick absorbansinya.

Kurva kalibrasi yang berhasil disusun memiliki nilai koefisien korelasi (r^2) lebih dari 0,99, seperti yang ditunjukkan oleh persamaan pada gambar di atas. Hal ini mengindikasikan bahwa linieritas pada kurva sangat akurat dan dapat diandalkan untuk menentukan konsentrasi masing-masing sampel. Hal ini dinyatakan oleh penelitian Marthen *et al*., (2023), bahwa nilai koefisien korelasi di atas 0,99 atau mendekati 1 menunjukkan tingkat linearitas yang sangat baik,

sehingga penetapan kadar menggunakan kurva kalibrasi dapat dipastikan kebenarannya.

Keberhasilan pembuatan kurva standar ini sangat penting karena memberikan dasar bagi analisis kuantitatif selanjutnya. Ketepatan dan keandalan kurva standar memastikan bahwa konsentrasi asam salisilat dalam sampel dapat dihitung dengan akurasi tinggi. Hal ini sangat dubutuhkan dalam berbagai aplikasi, termasuk analisis farmasi, di mana konsentrasi bahan aktif harus ditentukan dengan tepat.

5.5.3 Uji Aktivitas Fotokatalis Ag/Fe_2O_3 terhadap Polutan Asam Salisilat

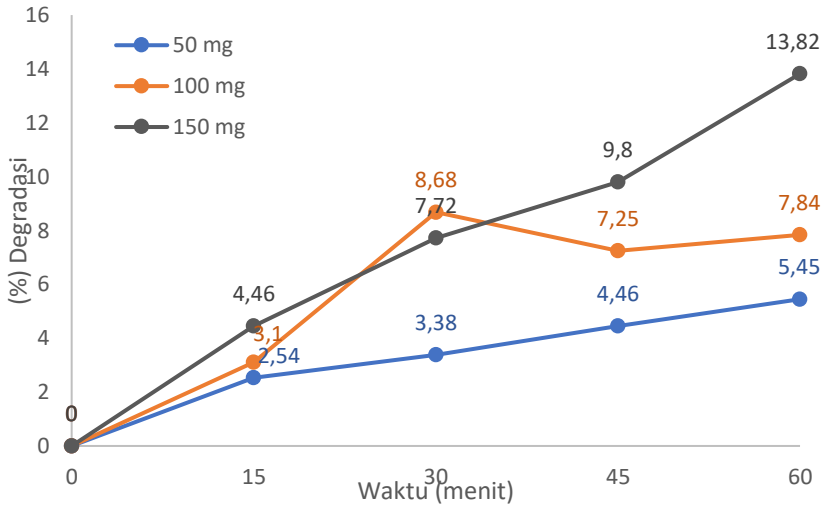
Pada tahap pengujian aktivitas fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 ini dilakukan dengan menggunakan reactor tertutup seperti pada **Gambar 4.1** dengan tujuan memaksimalkan Cahaya UV terhadap reaksi. Reaktor tertutup yang didesain dengan lapisan alumunium pada setiap sisinya berfungsi untuk reflektor Cahaya yang tidak langsung mengenai katalis sehingga cahaya dapat terdistribusi pada polutan dan katalis secara keseluruhan (Oktaviana, 2023).

Fotokatalisis berbasis Ag/Fe_2O_3 bekerja dengan prinsip pemanfaatan energi cahaya untuk menghasilkan spesies oksidan reaktif yang mampu mendegradasi limbah organik. Pada **Gambar 2.2** ketika material fotokatalis Ag/Fe_2O_3 disinari cahaya dengan energi yang sesuai, elektron di pita valensi (VB) tereksitasi menuju pita konduksi (CB), meninggalkan lubang positif (h^+) di pita valensi. Elektron yang tereksitasi dan lubang ini kemudian memulai serangkaian reaksi redoks. Elektron di pita konduksi bereaksi dengan molekul oksigen terlarut (O_2) membentuk radikal

superoksida ($\bullet O_2^-$), sementara lubang positif (h^+) mengoksidasi air atau ion hidroksida (OH^-) menjadi radikal hidroksil (•OH). Spesies radikal seperti •OH memiliki kemampuan oksidasi yang sangat tinggi, sehingga dapat menyerang molekul limbah, memecah ikatan kimia kompleks, dan mengubahnya menjadi produk yang lebih sederhana seperti CO_2 dan H_2O (Priantoro & Agung, 2020).

Sementara itu, peran Ag dalam sistem ini adalah meningkatkan efisiensi fotokatalitik dengan mempercepat transfer elektron dan mencegah rekombinasi elektron-lubang, sedangkan Fe_2O_3 berfungsi sebagai material utama yang menyerap cahaya. Kombinasi Ag/Fe_2O_3 ini menjadikannya material fotokatalis yang efektif dalam mendegradasi limbah organik, termasuk polutan kompleks seperti campuran asam salisilat dan sulfanilamid (Xiao *et al*., 2022).

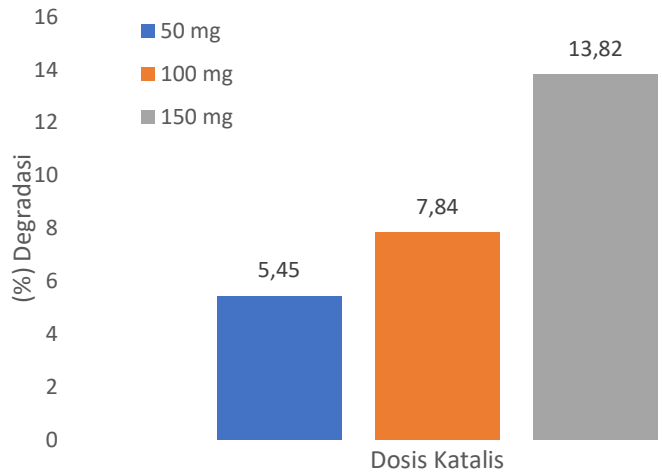
Pada penelitian ini, digunakan dosis Ag/Fe_2O_3 sebesar 50 mg, 100 dan 150 mg diuji untuk menentukan dosis optimal yang memberikan aktivitas fotokatalitik tertinggi. Percobaan dilakukan dengan mencampurkan dosis yang berbeda dari fotokatalis dalam larutan polutan dan memberikan penyinaran sinar UV untuk interval waktu 0 (tanpa penyinaran), 15, 30, 45 dan 60 menit. Konsentrasi polutan diukur secara berkala menggunakan spektrofotometri UV-Vis untuk menentukan tingkat degradasi.



Gambar 5. 9 Pengaruh Dosis Katalis terhadap Laju Degradasi polutan Asam Salisilat

Berdasarkan hasil yang ditampilkan pada grafik **Gambar 5.9**, terlihat bahwa pada dosis katalis terendah 50 mg, laju degradasi tetap stabil antara menit ke-15 hingga ke-60, dengan tingkat degradasi optimum sebesar 5,45% pada akhir pengamatan di menit ke-60. Sementara itu, pada dosis katalis 100 mg, terjadi peningkatan signifikan dalam persentase degradasi, yang 7,72% pada menit ke-30. Meskipun kemudian mengalami penurunan pada menit-menit berikutnya. Pada akhir menit ke-60, dosis 100 mg menghasilkan degradasi sebesar 7,84%. Peningkatan signifikan ini mungkin disebabkan oleh keseimbangan antara jumlah katalis, cahaya yang terserap, dan konsentrasi polutan, di mana interaksi antara katalis dan energi foton cahaya mampu memaksimalkan pembentukan radikal hidroksil yang berperan penting dalam degradasi polutan pada tingkat yang optimal.

Di sisi lain, dosis tertinggi 150 mg menunjukkan peningkatan reaksi degradasi yang paling konsisten dan optimum dibandingkan dosis lainnya, dengan persentase degradasi optimum sebesar 13,82% pada menit ke-60.



Gambar 5. 10 Perbandingan Persentase Total Degradasi Asam Salisilat

Hal ini menunjukkan bahwa persentase degradasi yang rendah pada dosis katalis Ag/Fe_2O_3 sebesar 50 mg dan 100 mg mungkin tidak cukup untuk menghasilkan reaksi fotokatalitik yang efektif dalam mengurai polutan. Ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa efektivitas fotokatalitik bergantung pada jumlah katalis yang tersedia untuk menyerap cahaya dan memproduksi radikal bebas yang diperlukan untuk degradasi kontaminan (Gharbani *et al*., 2022). Oleh karena itu, dosis katalis yang lebih rendah mungkin tidak memadai untuk memfasilitasi kebutuhan reaksi fotokatalisis agar berjalan dengan maksimal dalam mengurai polutan secara signifikan.

Pada dosis terbesar Ag/Fe_2O_3 sebesar 150 mg, terlihat peningkatan signifikan dalam laju degradasi. Peningkatan persentase degradasi ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah fotokatalis Ag/Fe_2O_3 dalam larutan asam salisilat, yang meningkatkan jumlah sisi aktif fotokatalis. Dengan demikian, lebih banyak energi foton diserap oleh katalis, sehingga meningkatkan pembentukan •OH untuk mendegrdasi polutan yang ada. Oleh karena itu, jumlah katalis sangat

mempengaruhi aktivitas fotokatalisis larutan asam salisilat. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumya, yang menyimpulkan bahwa persentase degradasi akan meningkat seiring dengan bertambahnya massa katalis yang diaplikasikan (Nilam *et al*., 2021).

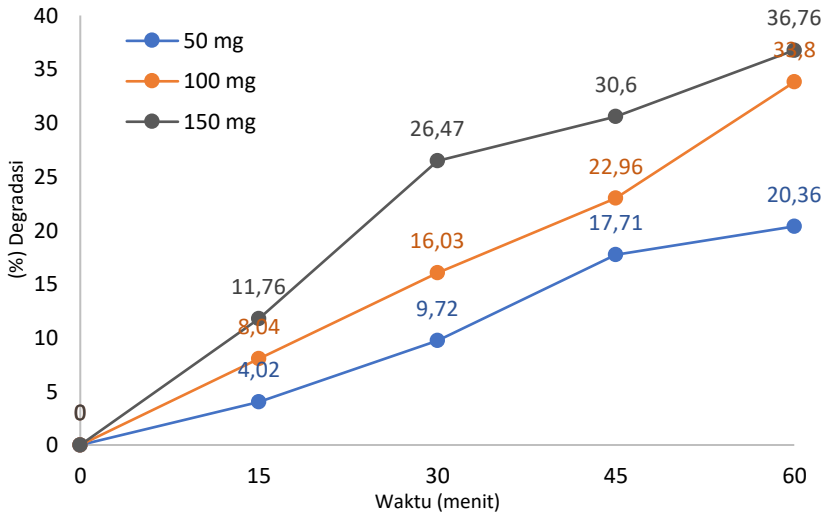
Secara keseluruhan, hasil degradasi pada penilitian masih tergolong rendah dibawah 50% dikarenakan waktu yang digunakan terlalu sedikit. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Riskiani *et al*., 2018), waktu yang digunakan adalah 6 jam untuk degradasi zat warna *Remazol Brilliant Blue* dengan persentase degradasi mencapai 98,80%. Dengan begitu, penentuan waktu dalam penerapan metode fotokatalis sangat mempengaruhi besarnya degradasi yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlunya penentuan waktu iridasi dalam penggunaan metode fotokatalisis ini.

5.5.4 Uji Aktivitas Fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 pada Sulfanilamid dengan Polutan Pengganggu Asam Salisilat

Pada kesempatan lain, peneliti mencoba membuktikan kekuatan degradasi material Ag/Fe_2O_3 terhadap polutan lain yang lebih kompleks yaitu larutan campuran dari asam salisilat dan sulfanilamid. Hal ini dilakukan peneliti sebagai uji coba bagaimana efektivitas katalis Ag/Fe_2O_3 dapat menguraikan polutan kompleks. Degradasi polutan ini berlangsung melalui mekanisme fotokatalisis yang serupa dengan proses penguraian polutan tunggal asam salisilat.

Efektivitas katalis Ag/Fe_2O_3 dalam degradasi polutan kompleks dipengaruhi oleh variabel seperti konsentrasi awal polutan, intensitas cahaya, dan pH larutan, yang secara bersama-sama menentukan efisiensi fotokatalitik. Konsentrasi awal

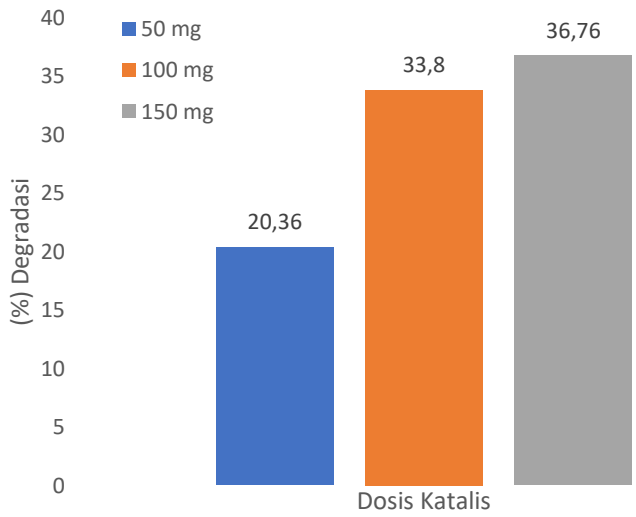
polutan yang tinggi dapat memperlambat laju degradasi akibat kompetisi antar molekul, sementara intensitas cahaya yang cukup diperlukan untuk mengaktifkan katalis melalui eksitasi elektron. pH larutan juga penting karena memengaruhi muatan permukaan katalis dan interaksi dengan polutan. Kondisi optimal dicapai pada pH netral dengan intensitas cahaya memadai, di mana fotokatalis menunjukkan adsorpsi dan eksitasi yang efektif, sehingga memungkinkan degradasi berlangsung dengan efisiensi maksimal. Optimasi simultan variabel-variabel ini diperlukan untuk mencapai performa terbaik (Dhandole *et al*., 2017).



Gambar 5. 11 Hasil Degradasi Campuran Asam Salisilat dan Sulfanilamid

Hasil fotokatalisis degradasi campuran asam salisilat dengan sulfanilamid dapat dilihat pada grafik diatas **Gambar 5.11** Pada grafik tersebut, dilakukan perlakuan dengan menggunakan beberapa dosis yang berbeda yaitu 50 mg, 100 mg dan 150 mg. Pada dosis terkecil 50 mg terlihat stabil grafik degradasinya pada menit 15, 30 hingga 45 di range rata-rata 5,9%. Akan tetapi sedikit berkurang intensitas degradasinya ketika masuk pada menit 60 di angka 2,65%.

Pada dosis katalis 100 mg, dihasilkan degradasi yang stabil disetiap interval menit pengambilan sampelnya. Didapatkan degradasi maksimalnya sebesar 33,80%, dengan rata-rata degradasi per interval 15 menit sebesar 8,45%. Sedangkan pada dosis tertinggi yaitu 150 mg, didapatkan hasil degradasi paling baik sebesar 36,76%. Pada menit 15 dan 30 terlihat sangat signifikan peningkatan degradasinya dengan nilai >10% pada setiap intervalnya. Akan tetapi pada menit ke 45 dan 60 terjadi penurunan efektivitas degradasinya yang berkisar 5,14%.



Gambar 5.12 Perbandingan Persentase Total Degradasi Asam Salisilat Sulfanilamid

Berdasarkan hasil percobaan dengan menggunakan katalis dalam degradasi senyawa kompleks asam salisilat dan sulfanilamid, dosis terendah, yaitu 50 mg, menghasilkan degradasi paling rendah sebesar 20,36% dan dosis optimum yang ditemukan adalah 150 mg, dengan tingkat degradasi mencapai 36,76%.

Meskipun persentase degradasi yang dicapai masih <50%, fenomena ini mungkin disebabkan oleh beberapa faktor. Menurut Mahadik *et al*., (2015), menyatakan bahwa penggunaan Ag/Fe_2O_3 dalam proses fotokatalitik memiliki

kekuatan degradasi yang baik sehingga semakin lama penyinaran yang diterapkan akan semakin menipis kandungan polutan dari dalam air tersebut.

5.5.5 Pengaruh Intensitas Cahaya UV terhadap Fotokatalisis

Pada penelitian ini, dilakukan pendalaman material tentang pengaruh intensitas cahaya terhadap efektivitas degradasi pada metode fotokatalisis. Penambahan Cahaya UV dilakukan untuk menambah energi foton yang dapat diserap oleh katalis, sehingga akan menghasilkan lebih banyak radikal hidroksil yang dihasilkan oleh katalis. Hal tersebut telah diungkapkan oleh penelitian Priantoro & Agung (2020), bahwa penambahan intensitas sinar UV memiliki pengaruh yang stabil terhadap reaksi fotokatalisis sebab akan lebih cepat mengaktifkan katalis sehingga pembentukan radikal hidroksil (•OH) akan berlangsung lebih cepat dan banyak.

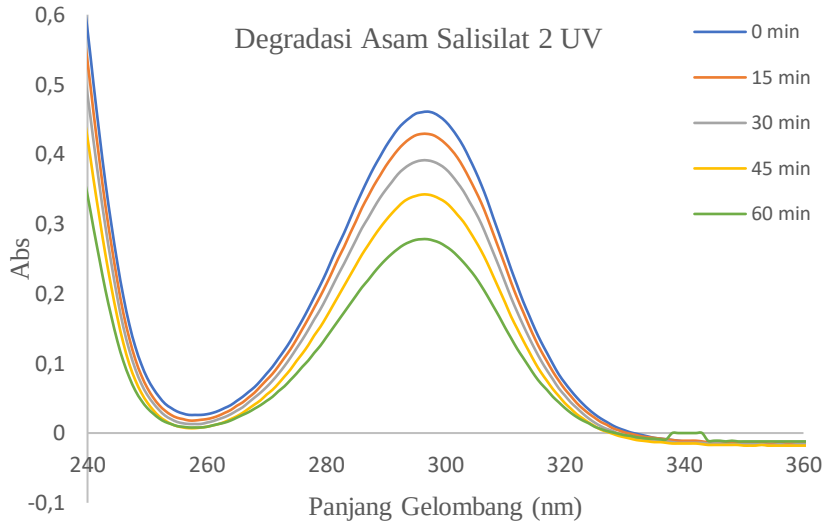
Sedangkan pada penelitian Singh *et al*., (2023), mengungkapkan bahwa peningkatan intensitas radiasi dari 3500 hingga 15.000 lux menyebabkan efisiensi degradasi meningkat dari 3% menjadi 25%. Ketika intensitas radiasi mencapai 26.000 lux, efisiensi degradasi naik hingga 47,4%. Ini menunjukkan bahwa aktivitas katalis sangat dipengaruhi oleh proses fotokatalisis, di mana peningkatan intensitas radiasi menyediakan lebih banyak foton yang mendukung proses degradasi dengan lebih efektif.

Selektivitas fotokatalis Ag/Fe_2O_3 pada penilitian ini dilakukan dengan 2 kali percobaan dan 2 limbah yang berbeda. Limbah yang pertama adalah asam salisilat dan limbah kedua sulfanilamid yang disinari menggunakan lampu UV merk

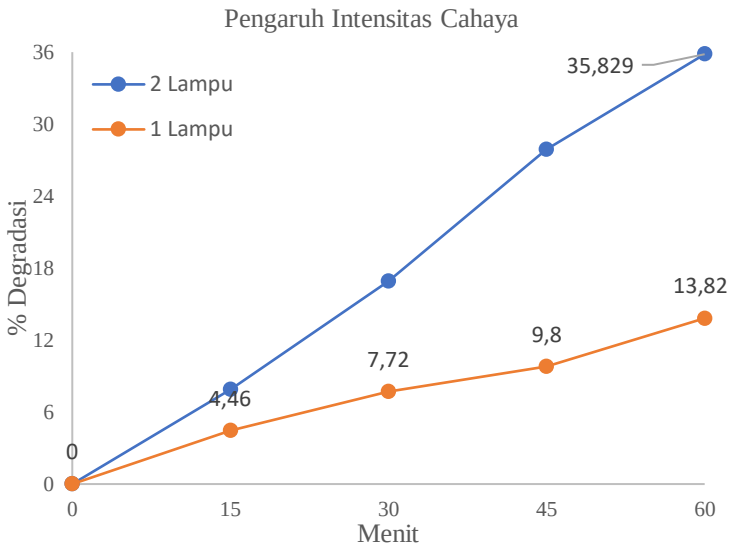
EVACO 11 watt. Sedangkan dosis katalis Ag/Fe_2O_3 yang digunakan hanya 1 saja yakni dosis 150 mg pada masing-masing polutan.

A. Asam Salisilat

Hasil uji fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 dengan dosis 150 mg dan waktu 60 menit terhadap degradasi asam salisilat menujukkan efektivitas yang efisien dengan bantuan 2 lampu UV. Hasil yang didapatkan dari pengujian selektivitas katalis Ag/Fe_2O_3 terhadap asam salisilat menunjukkan % degradasi yang baik dan meningkat secara signifikan pada setiap interval pengambilan sampelnya. Pada menit ke-15 dan ke-30 didapatkan degradasi sebesar 7,867% - 16,922% secara berturut-turut. Degradasi maksimal yang didapatkan pada menit ke-60 didapatkan hasil maksimal sebesar 35,289%.



Gambar 5. 11 Spektrum Degradasi Asam Salisilat 2 Lampu UV



Gambar 5. 12 Grafik Laju Degradasi Asam Salisilat 2 Lampu UV

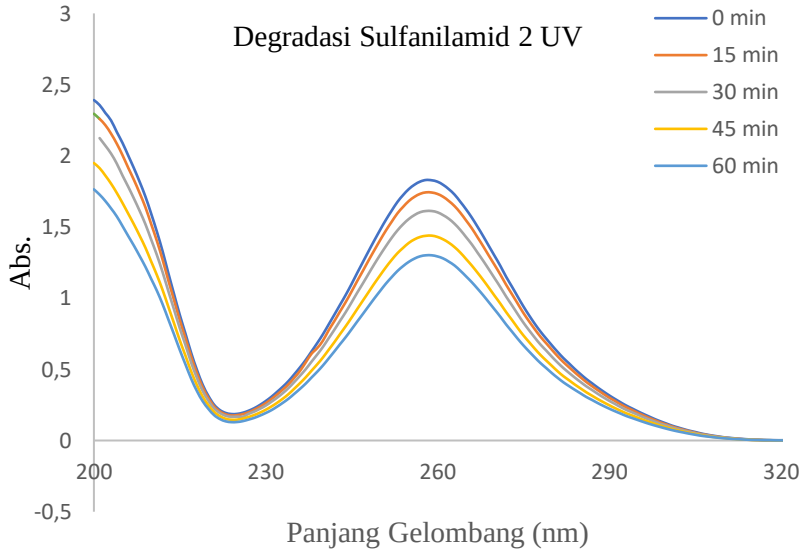
Sedangkan jika dibandingkan dengan degradasi menggunakan sumber Cahaya 1 lampu UV, persentase yang didapatkan menjadi lebih rendah dengan nilai maksimal 13,82% pada dosis 150 mg dan waktu penyinaran 60 menit. Hal ini menujukkan bahwa intensitas Cahaya sebagai energi foton memiliki pengaruh terhadap efektivitas degradasi fotokatalitik.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Meshram *et al*., (2023), pengujian nanopartikel Fe_2O_3 yang disintesis menggunakan metode hidrotermal dengan dukungan doping Sn/Al menunjukkan hasil bahwa kekuatan Fe_2O_3 dalam memproduksi serta mendegradasi asam salisilat pada perbandingan katalis dan konsentrasi polutan (50 mg:1 mM) dengan waktu fotokatalis 1 jam mendapatkan hasil degradasi total sebesar 96% dalam interval waktu 150 menit.

B. Sulfanilamid

Sedangkan pada pengujian selektivitas lainnya, yaitu menggunakan katalis Ag/Fe_2O_3 terhadap degradasi sulfanilamid, dilakukan dengan metode yang sama

seperti pengujian selektivitas sebelumnya. Hasil pada setiap interval menunjukkan kinerja yang cukup baik, dengan persentase degradasi yang tinggi dalam durasi 60 menit, disajikan dalam bentuk persen degradasi. Degradasi signifikan sebesar 10,923% terjadi antara menit ke-30 hingga menit ke-45. Persentase degradasi tertinggi yang dicapai adalah 31,661% pada interval 60 menit.



Gambar 5. 13 Spektrum Degradasi Sulfanilamid 2 Lampu UV

Gambar 5. 14 Grafik laju degradasi sulfanilamid

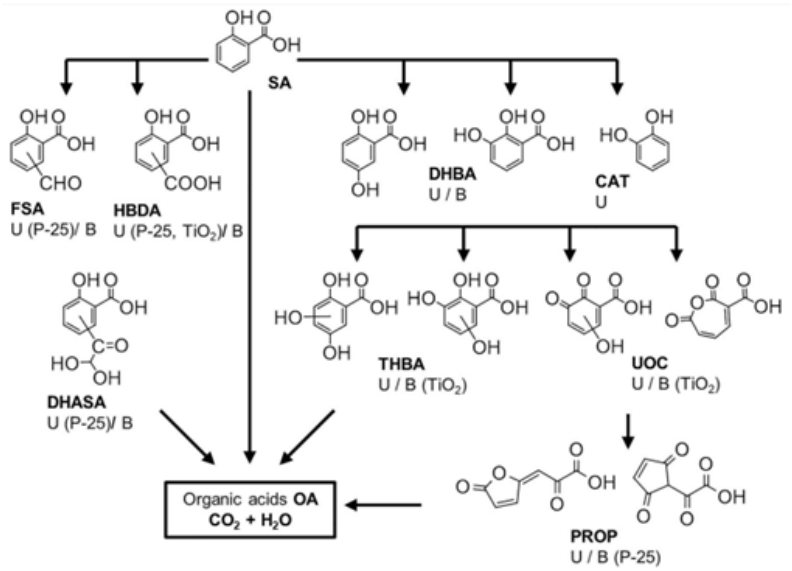
Efektivitas degradasi senyawa sulfanilamid menggunakan fotokatalisis Fe_2O_3 pernah dilakukan oleh R. Wang *et al*., (2019), yang menambahkan banyak doping pada Fe_2O_3 menjadi $Ag/ZnFe_2O_4/Ag/BiTa_{1-x}V_xO_4$ memberikan efek yang signifikan data penggunaan degradasi sulfanilamid selama 6 jam dengan penyinaran dan menghasilkan 100% degradasi dari sulfanilamid

5.6 Mekanisme Degradasi Fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 terhadap Senyawa Asam Salisilat dan Sulfanilamid

Dari pengujian diatas dapat dilihat bahwasannya Ag/Fe_2O_3 memiliki selektivitas yang lebih tinggi terhadap asam salisilat dibandingkan dengan sulfanilamid. Hal ini dikarenakan secara struktur asam salisilat lebih mudah didegradasi oleh radikal hidroksil dengan adanya gugus fenol yang mudah teroksidasi dan reaktif terhadap radikal bebas di cincin aromatik. Menurut Miranda *et al*., (2021) pada penelitiannya mengatakan bahwa radikal bebas seperti •OH umumnya menyerang area dengan kerapatan elektron tinggi, yang berada di sekitar cincin aromatik. Ini menjadi salah satu alasan mudahnya polutan asam salisilat lebih mudah untuk didegradasi dengan katalis Ag/Fe_2O_3 dengan menggunakan metode fotokatalisis.

Penelitian lain yang diungkapkan oleh Santosa & Yuliati (2022) menyatakan bahwa Radikal hidroksil (•OH) menyerang senyawa fenol dalam limbah cair sebagai substrat, menghasilkan senyawa baru berupa ion fenolat yang memiliki toksisitas lebih rendah dibandingkan fenol. Radikal hidroksil (•OH) ini mengoksidasi fenol, membentuk senyawa seperti catechol dan o-quinone, yang tingkat toksisitasnya lebih rendah dibandingkan senyawa awal. Selain itu, fenol

dapat terdegradasi menjadi senyawa dari golongan hidroquinon yang bersifat tidak toksik, sesuai dengan reaksi: $C_6H_5OH + \frac{1}{3} O_3 \rightarrow C_6H_6O_2$ …….. (5.3)



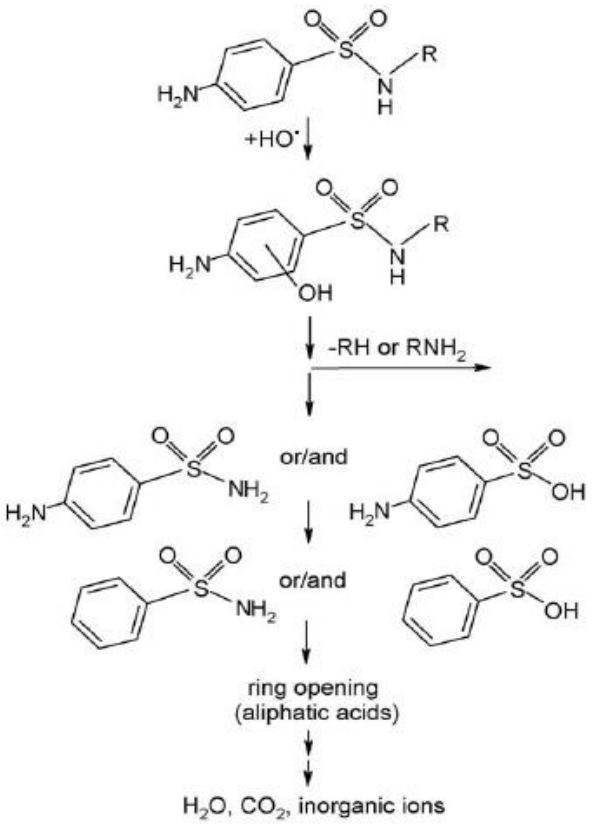
Gambar 5. 15 Mekanisme Degradasi Asam Salisilat (Bracco *et al*., 2020)

Mekanisme degradasi asam salisilat (SA) oleh radikal hidroksil (•OH) pada **Gambar 5.15** melibatkan serangkaian reaksi oksidasi dan fragmentasi cincin aromatik. Pada tahap awal, radikal hidroksil menyerang cincin aromatik atau gugus asam karboksilat, menghasilkan produk oksidasi awal seperti FSA (asam 2,5-dihidroksibenzoat), HBDA (asam 2-hidroksibenzilidendioksiasetat), DHBA (asam dihidroksibenzoat), dan CAT (katekol). Produk-produk ini selanjutnya mengalami oksidasi lebih lanjut. Sebagai contoh, FSA dapat diubah menjadi DHASA (asam 2,5-dihidroksiasilsalisilat), sedangkan DHBA dapat mengalami hidroksilasi tambahan menjadi THBA (asam 2,3,4-trihidroksibenzoat). Selain itu, oksidasi cincin aromatik dapat menghasilkan senyawa terbuka seperti UOC, yang dapat terus terfragmentasi menjadi PROP (produk degradasi propionat) atau senyawa rantai karbon pendek lainnya (Bracco *et al*., 2020).

Proses-proses ini melibatkan langkah-langkah kunci seperti hidroksilasi (penambahan gugus hidroksil pada cincin aromatik), oksidasi (mengubah gugus alkohol menjadi keton atau asam), fragmentasi cincin aromatik (membuka cincin benzena), dan mineralisasi. Akhirnya, senyawa organik diubah menjadi asam organik sederhana (OA), karbon dioksida (CO_2), dan air (H_2O), menunjukkan mineralisasi lengkap. Diagram ini menggambarkan kompleksitas jalur reaksi, yang mencakup berbagai produk perantara sebelum mencapai mineralisasi total (Bracco *et al*., 2020).

Pada pengujian selektivitas Ag/Fe_2O_3 terhadap sulfanilamid didapatkan hasil yang berada dibawah degradasi asam salisilat dengan degradasi maksimal 31,661% pada waktu 60 menit. Hal ini terjadi dimungkinkan karena struktur sulfanilamid yang kompleks memiliki cincin benzena dan gugus sulfonamida ($-SO_2NH_2$) sulit untuk karena kestabilannya.

Jalur degradasi fotokatalitik sulfonamida dimulai dengan serangan radikal hidroksil (•OH) pada cincin aromatik, menghasilkan hidroksisulfonamida. Proses ini dilanjutkan dengan eliminasi gugus amida atau radikalnya, yang mengurangi kompleksitas struktur molekul. Selanjutnya, gugus amida dan sulfonil dapat dihilangkan atau disubstitusi, menghasilkan senyawa antara baru. Cincin aromatik kemudian dibuka menjadi struktur alifatik, yang akhirnya teroksidasi menjadi asam alifatik. Produk degradasi akhir berupa air, karbon dioksida, dan ion anorganik yang mencerminkan mineralisasi dari senyawa awal (Baran *et al*., 2009).



Gambar 5. 16 Mekanisme Degradasi Sulfonamide (Baran *et al*., 2009)

Menurut Wang *et al*., (2020) menyatakan pada penelitiannya bahwa degradasi sulfonamida melalui fotokatalisis Bi_2O_3-TiO_2/PAC terjadi melalui beberapa mekanisme utama, seperti pemutusan ikatan S-N, pembukaan cincin aromatik, hidroksilasi, dan ekstrusi SO_2. Radikal superoksida ($•O_2^-$) berperan signifikan dalam proses ini, terutama dengan menyerang struktur yang memiliki gugus penyerap elektron. Jalur degradasi bersifat kompleks dengan berbagai produk antara, tergantung pada struktur kimia molekul sulfonamida, namun secara keseluruhan melibatkan reaksi oksidatif yang mengarah pada mineralisasi menjadi produk akhir seperti ion-ion anorganik.

Dari hasil penelitian mekanisme tersebut dimungkinkan sulfanilamid lebih sulit didegradasi menggunakan fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 karena memiliki struktur yang lebih kompleks dan stabil dibandingkan struktur asam salisilat. Rekativitas cincin benzene pada sulfanilamid yang rendah terhadap radikal hidroksil juga menjadi pengaruh sulitnya degradasi senyawa tersebut. Oleh karena itu degradasi polutan campuran (asam salisilat-sulfanilamid) yang telah dilakukan peneliti pada steps identifikasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, absorbansi sulfanilamid muncul sedangkan pada asam salisilat tidak karena kandungan sulfanilamid yang masih tersisa di dalam polutan lebih banyak daripada asam salisilat. Sehingga absorbansi yang dapat dideteksi oleh instrument hanya dari pihak sulfanilamid saja karena konsentrasinya yang menutupi polutan asam salisilat yang masih terkandung tersebut.

Selektivitas yang ini dimungkinkan oleh bertambahnya intensitas penyinaran saat fotokatalisis berlangsung. Hal ini sesuai dengan penilitian yang dilakukan oleh Singh *et al*., (2023), menunjukkan bahwa peningkatan intensitas radiasi dari 3500 hingga 15.000 lux menyebabkan efisiensi degradasi meningkat dari 3% menjadi 25%. Ketika intensitas mencapai 26.000 lux, degradasi meningkat menjadi 47,4%. Hasil ini mengindikasikan bahwa aktivitas katalis sangat bergantung pada fotokatalisis, di mana peningkatan intensitas radiasi memberikan lebih banyak foton yang mendukung proses degradasi secara lebih efektif.

5.7 Kajian Integrasi Keislaman

Penelitian ini berfokus pada pengelolaan limbah farmasi asam salisilat menggunakan metode fotokatalisis berbasis material Ag/Fe_2O_3. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk meminimalkan dampak negatif limbah farmasi terhadap lingkungan, sejalan dengan prinsip menjaga kelestarian bumi sebagaimana dinyatakan dalam Al-Quran:

وَلَا تُفْسِدُوْا فِى الْاَرْضِ بَعْدَ اِصْلَاحِهَا وَادْعُوْهُ خَوْفًا وَّطَمَعًا ۗ اِنَّ رَحْمَتَ اللّٰهِ قَرِيْبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِيْنَ

"Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, setelah (Allah) memperbaikinya, dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang-orang yang berbuat kebaikan."

Dalam hal ini, penelitian pengolahan limbah farmasi dapat dipandang sebagai salah satu bentuk perbuatan baik (ihsan) yang bertujuan menjaga kelestarian lingkungan dan menebarkan manfaat bagi umat manusia. Dengan teknologi fotokatalisis, polutan berbahaya dapat diubah menjadi zat yang lebih aman, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Hal ini tidak hanya sejalan dengan ajaran Islam, tetapi juga merupakan kontribusi nyata dalam mewujudkan keberlanjutan kehidupan.

Dalam konteks ini, upaya untuk mengelola limbah farmasi dengan metode fotokatalisis berbasis material Ag/Fe_2O_3 menjadi wujud nyata penerapan nilai-nilai Islam dalam menjaga dan melestarikan lingkungan. Islam memerintahkan umatnya

untuk menjadi khalifah di bumi (Q.S. Al-Baqarah [2]: 30), yang berarti bertanggung jawab atas keberlangsungan dan keseimbangan lingkungan. Pengolahan limbah farmasi yang efektif dan ramah lingkungan mencerminkan upaya nyata untuk menunaikan amanah ini.

Lebih jauh, Islam mengajarkan pentingnya melakukan perbaikan dan menghindari kerusakan, sebagaimana disebutkan dalam Q.S. Al-A'raf ayat 56:

وَلَا تُفْسِدُوْا فِى الْاَرْضِ بَعْدَ اِصْلَاحِهَا وَادْعُوْهُ خَوْفًا وَّطَمَعًا ۗ اِنَّ رَحْمَتَ اللّٰهِ قَرِيْبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِيْنَ

"Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, setelah (Allah) memperbaikinya, dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang-orang yang berbuat kebaikan."

Para ulama tafsir memberikan beragam penjelasan terkait makna kalimat "وَلَا تُفْسِدُوا" dalam QS. Al-A'raf: 56. Menurut tafsir Ibnu Katsir dalam Tafsirul Quranil Azhim, ayat ini mengandung larangan Allah terhadap segala bentuk perbuatan yang dapat merusak bumi dan mengancam kelestariannya setelah diperbaiki. Bumi telah diciptakan dalam keadaan seimbang dan harmonis, tetapi jika terjadi pengrusakan, hal ini akan berdampak buruk bagi seluruh makhluk hidup. Oleh karena itu, Allah memerintahkan manusia untuk beribadah, berdoa dengan penuh rasa takut dan harap, serta memohon rahmat-Nya (Ibrahim, 2016).

Ahli tafsir kontemporer, Quraisy Shihab, dalam Tafsir Al-Misbah menambahkan bahwa larangan merusak bumi ini juga merupakan bentuk peringatan terhadap perilaku melampaui batas, sebagaimana dikaitkan dengan ayat sebelumnya. Alam semesta telah diciptakan dalam kondisi serasi dan mampu memenuhi kebutuhan makhluk hidup. Allah memberikan tanggung jawab kepada manusia untuk menjaga dan memperbaikinya. Dalam konteks ini, pengelolaan limbah farmasi menjadi sangat relevan, karena bertujuan untuk menjaga kebersihan lingkungan dan mencegah kerusakan lebih lanjut pada ekosistem yang telah diperbaiki (Mangka et al., 2022).

Melalui kajian ini, diharapkan umat Islam semakin menyadari bahwa menjaga lingkungan adalah bentuk ibadah yang menunjukkan kepatuhan terhadap perintah Allah. Pengelolaan limbah farmasi dengan metode berbasis ilmu pengetahuan, seperti fotokatalitik Ag/Fe_2O_3, merupakan salah satu cara untuk memenuhi amanah tersebut. Implementasi langkah ini tidak hanya memberikan manfaat bagi keberlanjutan lingkungan tetapi juga menjadi wujud nyata integrasi antara ilmu pengetahuan modern dan nilai-nilai Islam.

BAB VI
KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Material katalis Ag/Fe_2O_3 berhasil disintesis menggunakan metode *leaching*, hidrotermal, dan fotoreduksi. Dari hasil karakterisasi XRD dan SEM, partikel Fe_2O_3 menunjukkan morfologi berbentuk *nanorods* (batang). Namun, setelah penambahan ion Ag^+, bentuk partikel menjadi lebih tidak teratur akibat proses stirrer pada fotoreduksi dan dimungkinkan berbentuk *spherica*l atau *elliptical* (bulat/elips).
2. Fotokatalis Ag/Fe_2O_3 menunjukkan kemampuan yang semakin baik dalam mendegradasi asam salisilat , dengan persentase degradasi yang meningkat seiring dengan peningkatan dosis fotokatalis dan durasi penyinaran. Pada dosis optimum 150 mg Ag/Fe_2O_3, degradasi tertinggi mencapai 13,82% setelah 60 menit penyinaran.
3. Tingkat intensitas penyinaran pada proses fotokatalisis Ag/Fe_2O_3 memberikan dampak yang signifikan terhadap degradasi asam salisilat. Dengan perbandingan (1 : 2) sumber cahaya UV, tingkat degradasi meningkat dari 13,82% menjadi 35,289%.

6.2 Saran

1. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan membandingkan berbagai kondisi sintesis, seperti variasi suhu, durasi penyinaran, pH, dan intensitas UV yang terukur untuk mengoptimalkan hasil.
2. Untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik, peneliti lain dapat mencoba memodifikasi konsentrasi material Ag atau menambahkan material doping lain seperti Cu, Au, Mn, atau elemen dari golongan karbon.
3. Agar lebih memastikan kemampuan Ag/Fe_2O_3, peneliti lain bisa menguji material ini dengan kontaminan yang berbeda, untuk mengevaluasi efektivitas dan fleksibilitasnya dalam mendegradasi berbagai polutan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, M. H. (2020). Physical and Chemical Characteristics of Solid Waste from Crumb Rubber Industry with Different Incubation Periode. *Agrisains: Jurnal Budidaya Tanaman Perkebunan Politeknik Hasnur*, *6*(01), 1–7. https://doi.org/10.46365/agrs.v6i01.377

Adawiah, A., Hanif, M. R., Setiawan, C., Alfatan, A., & Apriliani, R. (2021). Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Menggunakan Teknik Fotokatalisis Dengan TiO2. *Unistek*, *8*(2), 120–126. https://doi.org/10.33592/unistek.v8i2.1190

Ajmal, A., Majeed, I., & Malik, N. (2014). *RSC Advances Principles and mechanisms of photocatalytic dye degradation on TiO 2 based photocatalysts : a*. *2005*, 37003–37026. https://doi.org/10.1039/c4ra06658h

Akhtar, K., Khan, S. A., Khan, S. B., & Asiri, A. M. (2018). *Scanning Electron Microscopy : Principle and Applications in Nanomaterials Characterization*.

Almeida, T. P., Fay, M., Zhu, Y., & Brown, P. D. (2019). Process map for the hydrothermal synthesis of a-Fe2O3 nanorods. *Journal of Physical Chemistry C*, *113*(43), 18689–18698. https://doi.org/10.1021/jp907081j

Alqahtani, M. M., Ali, A. M., Harraz, F. A., Faisal, M., Ismail, A. A., Sayed, M. A., & Al-Assiri, M. S. (2018). Highly Sensitive Ethanol Chemical Sensor Based on Novel Ag-Doped Mesoporous α–Fe2O3 Prepared by Modified Sol-Gel Process. *Nanoscale Research Letters*, *13*. https://doi.org/10.1186/s11671-018-2572-8

Anggraeni, I. S., & Septiany, H. (2018). *Pengaruh Penambahan Ag Terhadap Performa Dari Aktivitas Fotokatalitik ZnO Yang Disintesa Dengan Metode Pirolisa Flame*.

Aprilliani, R. P. C., & Pratiwi, Y. (2018). Pengunaan Kombinasi Fotokatalis TiO2 Dan Bentonit Untuk Pengolahan Limbah Farmasi. *Prosiding HEFA (Health Events for All)*, *PROSIDING*, 251–257.

Arunadevi, R., Kavitha, B., Rajarajan, M., & Suganthi, A. (2018). Synthesis of Ce/Mo-V4O9 nanoparticles with superior visible light photocatalytic activity for Rhodamine-B degradation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *6*(2), 3349–3357. https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.05.015

Baran, W., Adamek, E., Sobczak, A., & Makowski, A. (2009). Photocatalytic degradation of sulfa drugs with TiO2, Fe salts and TiO2/FeCl3 in aquatic environment-Kinetics and degradation pathway. *Applied Catalysis B: Environmental*, *90*(3–4), 516–525. https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2009.04.014

Biswal, S. K., Panigrahi, G. K., & Sahoo, S. K. (2020). Green synthesis of Fe2O3-Ag nanocomposite using Psidium guajava leaf extract: An eco-friendly and

recyclable adsorbent for remediation of Cr(VI) from aqueous media. *Biophysical Chemistry*, *263*(February), 106392. https://doi.org/10.1016/j.bpc.2020.106392

Bracco, E., Butler, M., Carnelli, P., & Candal, R. (2020). TiO2 and N-TiO2-photocatalytic degradation of salicylic acid in water: characterization of transformation products by mass spectrometry. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(23), 28469–28479. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06045-6

Byrne, C., Subramanian, G., & Pillai, S. C. (2018). Recent advances in photocatalysis for environmental applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *6*(3), 3531–3555. https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.07.080

Chakhtouna, H., Benzeid, H., Zari, N., Qaiss, A. el kacem, & Bouhfid, R. (2021). Recent progress on Ag/TiO2 photocatalysts: photocatalytic and bactericidal behaviors. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(33), 44638–44666. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14996-y

Chen, D., Cheng, Y., Zhou, N., Chen, P., Wang, Y., Li, K., Huo, S., Cheng, P., Peng, P., Zhang, R., Wang, L., Liu, H., Liu, Y., & Ruan, R. (2020). Photocatalytic degradation of organic pollutants using TiO2-based photocatalysts: A review. *Journal of Cleaner Production*, *268*, 121725. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121725

Chen, M., Zhao, E., Yan, Q., Hu, Z., Xiao, X., & Chen, D. (2016). The Effect of Crystal Face of Fe2O3 on the Electrochemical Performance for Lithium-ion Batteries. *Scientific Reports*, *6*(June), 1–9. https://doi.org/10.1038/srep29381

Chibuisi, G. A., Khalid, O. A., & Soyinka4, O. O. (2019). Exposure To Effluent From Pharmaceutical Industry Induced Cytogenotoxicity, Hematological And Histo- Pathological Alterations In Clarias Gariepinus (Burchell, 1822). *EXCLI Journal 2019*, ;*18:63-78*(1611–2156), 63–78. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17179/excli2018-1916

Chomkitichai, W., Jansanthea, P., & Channei, D. (2021). Photocatalytic Activity Enhancement in Methylene Blue Degradation by Loading Ag Nanoparticles onto α-Fe2O3. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, *66*(13), 1995–2003. https://doi.org/10.1134/S0036023621130027

Dahruji, D., Wilianarti, P. F., & Totok Hendarto, T. (2016). Studi Pengolahan Limbah Usaha Mandiri Rumah Tangga dan Dampak Bagi Kesehatan di Wilayah Kenjeran, Surabaya. *Aksiologiya: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, *1*(1), 36. https://doi.org/10.30651/aks.v1i1.304

Dhandole, L. K., Mahadik, M. A., Kim, S. G., Chung, H. S., Seo, Y. S., Cho, M., Ryu, J. H., & Jang, J. S. (2017). Boosting Photocatalytic Performance of Inactive Rutile TiO2 Nanorods under Solar Light Irradiation: Synergistic Effect of Acid Treatment and Metal Oxide Co-catalysts. *ACS Applied*

Materials and Interfaces, *9*(28), 23602–23613. https://doi.org/10.1021/acsami.7b02104

Durri, S., & Sutanto, H. (2015). Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO doping Al yang di Deposisi diatas Kaca dengan Metode Sol-Gel Teknik Spray-Coating (Halaman 38 s.d. 40). *Jurnal Fisika Indonesia*, *19*(55), 38–40. https://doi.org/10.22146/jfi.24371

Edy Swandayani, R., & Pahriana Sulastri, M. (2020). Identifikasi Komposisi Dan Jenis Limbah Cair Di Gili Air Kabupaten Lombok Utara. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumber Daya Alam Dan Lingkungan*, *9*(2), 143–147.

Elvania, N. C. (2022). *Manajemen Dan Pengelolaan Limbah*. 1–115.

Erlebach, A., Jana, R., & Sierka, M. (2014). Structure and magnetic properties of (Fe 2 O 3). *Royal Society Of Chemistry*, *16*, 26421–26426. https://doi.org/10.1039/C4CP02099E

Fatmawati, F., & Herlina, L. (2017). Validasi Metode dan Penentuan Kadar Asam Salisilat Bedak Tabur dari Pasar Majalaya. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, *2*(2), 141. https://doi.org/10.30870/educhemia.v2i2.1187

Fomina, M., Hillier, S., Charnock, J. M., Melville, K., Alexander, I. J., & Gadd, G. M. (2014). Role of oxalic acid overexcretion in transformations of toxic metal minerals by Beauveria caledonica. *Applied and Environmental Microbiology*, *71*(1), 371–381. https://doi.org/10.1128/AEM.71.1.371-381.2005

Gardecka, A. J. (2016). Synthesis and characterisation of niobium doped TiO2 semiconducting materials. *University College London*, *November 2016*, 45.

Gharbani, P., Mehrizad, A., & Mosavi, S. A. (2022). Optimization, kinetics and thermodynamics studies for photocatalytic degradation of Methylene Blue using cadmium selenide nanoparticles. *Npj Clean Water*, *5*(1). https://doi.org/10.1038/s41545-022-00178-x

Ghozali, A. I., Sugiyo, W., & Latifah. (2017). Fotodegradasi Zat warna Remazol Red Menggunakan Katalis α-Fe2O3/Fe3O4 Core Shell Nanostruktur. *Indonesian Journal of Chemical Science*, *1*(1), 1–6.

Guana, Y., Peiyuan, J. a, Jing, W. a, Zhangc, D., Zhao, W., Hao, T., Chenguo, H., Baoshan, H., Qing, T., & Hub, Qing Tangb*, Y. X. (2019). Ag-Modified Fe2O3 Nanoparticles On A Carbon Cloth as an Anode Material for High-Performance Supercapacitors. *Department of Applied Physics, State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing, 400044, P.R. China*, *122*(134.225.1.226), 0–25. https://doi.org/10.1088/1361-6528/ab5a29%0AManuscript

Hernández, R. A. H., García, F. L., Cruz, L. E. H., & Luévanos, A. M. (2015). Iron removal from a kaolinitic clay by leaching to obtain high whiteness index. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *45*(1).

https://doi.org/10.1088/1757-899X/45/1/012002

Hossain, M. K., Mishra, A., Tiwari, A., Pant, B., Dey, S. C., Tiwari, A., Saha, O., Rahaman, M. M., Shukla, Y. R., Tiwari, A., & Ashaduzzaman, M. (2023). Thermally induced Fe2O3 spikes decorated Ag/Fe2O3 nanocomposite fabrication for anti-bacterial and anti-cancer activities. *SN Applied Sciences*, *5*(12). https://doi.org/10.1007/s42452-023-05599-y

Hossain, M. S., Alam, B., & Shahjahan, M. (2018). *Synthesis , structural investigation , dielectric and magnetic properties of Zn 2 þ -doped cobalt ferrite by the sol – gel technique*. *8*(4), 2–7. https://doi.org/10.1142/S2010135X18500303

Ibrahim, S. (2016). Pelestarian lingkungan hidup dalam prespektif Al-Qur'an. *Jurnal Ilmiah Al-Jauhari (JIAJ)*, *1 No 1*(1), 109–132. https://doi.org/https://journal.iaingorontalo.ac.id/index.php/aj/article/view/721

Imaniyah, D. (2022). Penentuan Komposisi Doping Fe (III) Dan Massa Katalis Optimum Pada Degradasi Zat Warna Metil Violet Menggunakan TiO2 Terdoping Fe (III). *Skripsi*, *July*, 1–23. http://etheses.uin-malang.ac.id/43010/7/16630103.pdf

Irianto, I. K. (2017). *Sistem Teknologi Pengolahan Limbah* (I. N. Mardika & I. M. Arttawan (eds.); I Wayan Lo). Warmadewa University Press.

Irwan, I., Lubis, S., Ramli, M., & Sheilatina, S. (2016). Photocatalytic Degradation Of Indigo Carmine By Tio2/Activated Carbon Derived From Waste Coffee Grounds. *Jurnal Natural*, *16*(1), 21–26. https://doi.org/10.24815/jn.v16i1.4640

Jamaludin. (2014). X-RD (X-Ray Diffractions). *Makalah Fisika Material*, 14. https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/technoscientia/article/download/109/56/105

Jessica, S. (2020). *Efek Dopan Logam Ag Dan Mn Terhadap Kinerja Fotokatalis Untuk Degradasi Metilen Biru Departemen Teknik Kimia , Fakultas Teknik , Universitas Indonesia Effect of Ag and Mn Doping for Methylene Blue Photodegradation Performance Abstract*. *1*(1), 1–16. https://lib.ui.ac.id/detail?id=20505684&lokasi=lokal

Kamil, M. T. (2024). PENGOLAHAN LIMBAH FARMASI SULFANILAMIDA MENGGUNAKAN METODE FOTOKATALISIS BERBASIS MATERIAL BESI (II) OKSALAT. *Skripsi, Program Studi Sarjana Farmasi. Fakultas Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan. UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG*. http://etheses.uin-malang.ac.id/67801/2/200703110121.pdf

Kunarti, E. S., Wahyuni, E. T., & Hermawan, F. E. (2019). *Pengujian Aktivitas Komposit Fe2O3-SiO2 Sebagai Fotokatalis Pada Fotodegradasi 4-*

Klorofenol.

Lalasari, L. H., Akhmad, H. Y., Firdiyono, Lia, A., Elfi, N., Sri, H., & Bambang, S. (2014). Studi Perbandingan Efek Fotokatalis Fe2O3-TiO2 Hasil Ekstraksi Ilmenit Bangka Dan P-25 Degussa Untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair TPA Cilowong. *Jurnal Teknik Kimia*, *27*(3), 251–262.

Lang, X., Chen, X., & Zhao, J. (2014). Heterogeneous visible light photocatalysis for selective organic transformations. *Chemical Society Reviews*, *43*(1), 473–486. https://doi.org/10.1039/c3cs60188a

Lassoued, A., Dkhil, B., Gadri, A., & Ammar, S. (2017). Control of the shape and size of iron oxide (α-Fe2O3) nanoparticles synthesized through the chemical precipitation method. *Results in Physics*, *7*, 3007–3015. https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.07.066

Lazar, M. A., & Daoud, W. A. (2015). Achieving selectivity in TiO2-based photocatalysis. *RSC Advances*, *3*(13), 4130–4140. https://doi.org/10.1039/c2ra22665k

Lee, S. O., Tran, T., Jung, B. H., Kim, S. J., & Kim, M. J. (2015). Dissolution of iron oxide using oxalic acid. *Hydrometallurgy*, *87*(3–4), 91–99. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2007.02.005

Lesa, W. S., Ali, M., & Rosariawari, F. (2020). Proses Foto Fenton Dalam Reaktor Resirkulasi Untuk Menyisihkan Beban Pencemar Pada Lindi. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, *6*(1), 54–65.

Lestari, A. S., & Sartika, D. (2018). Preparasi Dan Karakterisasi Nanopartikel Fe3o4 Menggunakan Metode Kopresipitasi. *JURNAL TEKNOLOGI TECHNOSCIENTIA*, *11*(1), 7–10. https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/technoscientia/article/download/109/56/105

Mahadik, M. A., Shinde, S. S., Kumbhar, S. S., Pathan, H. M., Rajpure, K. Y., & Bhosale, C. H. (2015). Enhanced photocatalytic activity of sprayed Ag doped ferric oxide thin films for salicylic acid degradation in aqueous medium. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *142*, 43–50. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.09.021

Mangka, A., Amrah Husma, & Jahada Mangka. (2022). Pelestarian Lingkungan Hidup dalam Pandangan Syariat Islam. *BUSTANUL FUQAHA: Jurnal Bidang Hukum Islam*, *3*(2), 205–221. https://doi.org/10.36701/bustanul.v3i2.613

Maretta, A., & Helmy, Q. (2015). Degradasi Surfaktan Sodium Lauryl Sulfat Dengan Proses Fotokatalisis Menggunakan Nano Partikel Zno. *Jurnal Tehnik Lingkungan*, *21*(1), 1–8. https://doi.org/10.5614/jtl.2015.21.1.1

Marthen, K. B., Mariwy, A., & Untailawan, R. (2023). Kajian Kinerja Spektrofotometri Uv-Vis Pada Analisis Spesi Iodium Dalam Garam Konsumsi. *Molluca Journal of Chemistry Education (MJoCE)*, *13*(2), 64–73.

Martini, S., Yuliwati, E., & Kharismadewi, D. (2020). Pembuatan Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri. *Jurnal Distilasi*, *5*(2), 26. https://doi.org/10.32502/jd.v5i2.3030

Mekarsari, H. (2020). Synthesis Of Imobilized Fe2O3 On SiO2 From Bamboo Leaves As A Photocatalist For Photodecolorization Of Bromo Phenol Blue. *Skripsi Program Studi Kimia, Universitas Islam Indonesia*, 50.

Meshram, N., Truong, N. T. N., Tamboli, M. S., Mahadik, M. A., & Shaikh, S. F. (2023). Highly efficient photocatalytic degradation of organic pollutants by Sn/Al codoped α-Fe2O3 nanostructures. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, *34*(29), 1–11. https://doi.org/10.1007/s10854-023-11397-4

Miranda, M. O., Cabral Cavalcanti, W. E., Barbosa, F. F., Antonio De Sousa, J., Ivan Da Silva, F., Pergher, S. B. C., & Braga, T. P. (2021). Photocatalytic degradation of ibuprofen using titanium oxide: Insights into the mechanism and preferential attack of radicals. *RSC Advances*, *11*(44), 27720–27733. https://doi.org/10.1039/d1ra04340d

Nasiri, K. (2023). Synthesis of Ag-Fe2O3 nanoparticles with Anti-bacterial and anti-fungal impacts on dental microbia. *Nanomedicine Research Journal*, *8*(3), 283–289. https://doi.org/10.22034/nmrj.2023.03.007

Nilam, N., Sanjaya, H., & Yohandri, Y. (2021). Degradasi Zat Warna Methylene Blue dengan Katalis ZnO-CuO Menggunakan Metode Fotosonolisis. *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, *10*(2), 42. https://doi.org/10.24036/p.v10i2.112430

Nisah, K., & Nadhifa, H. (2020). Analisis Kadar Logam Fe dan Mn Pada Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom. *Amina*, *2*(1), 6–12.

Nurfitria, R. S., Rasyidin, K., Hartini, N. N. S. M., & Anggriani, A. (2022). Praktek Pengelolaan dan Pemusnahan Limbah Obat pada Sarana Pelayanan Farmasi Komunitas Wilayah Bandung Timur. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, *21*(1), 83–92. https://doi.org/10.14710/jkli.21.1.83-92

Oentori, S. (2023). Green Synthesis Hematit (a-Fe2O3) Dari Limbah Bubut Besi Menggunakan Agen Pengendap Daun Jambu Biji Dengan Metode Hidrotermal Variasi Lama Sintesis. *Skripsi Jurusan Kimia, Fakultas Sains Dan Teknologi, UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG*, 51.

Oktaviana, M. (2023). Kemampuan Fotokatalis Magnetit-TiO 2 Dalam Degradasi Variasi Konsentrasi Pestisida. *Skripsi, Fakultas Sains Dan Teknologi Program Studi Teknik Lingkungan UIN AR-Raniry*. https://repository.ar-raniry.ac.id/35499/1/Melsa Oktaviana%2C 190702071%2C FST%2C TL%2C 08153151108.pdf

Pirgholi-Givi, G., Farjami-Shayesteh, S., & Azizian-Kalandaragh, Y. (2020). The influence of irradiation intensity and stirring rate on the photocatalytic activity of titanium dioxide nanostructures prepared by the microwave-assisted method for photodegradation of MB from water. *Physica B: Condensed Matter*, *578*. https://doi.org/10.1016/j.physb.2019.411886

Pradipta, A. R., Enriyani, R., Rahmatia, L., & Utami, A. (2021). *Sintesis Nanokomposit Fe 3 O 4 / TiO 2 Sebagai Fotokatalis yang Dapat Diambil Kembali Dalam Fotoreduksi Limbah Ion Perak (I)*. *45*(1), 32–39.

Prasetyo, A. B., Prasetiyo, P., & Matahari, I. (2016). *Pembuatan A-Fe2o3 Dari Hasil Pengolahan Bijih Besi Primer Jenis Hematit Untuk Bahan Baku Baterai Lithium*. 1–23. https://ejurnalmaterialmetalurgi.lipi.go.id/index.php/metalurgi/article/view/290

Pratama, Y., Juhana, S., Yuliatmo, R., Teknologi, J., Kulit, P., Yogyakarta, A., Selatan, J. R., & Glugo, I. (2021). Metode Filtrasi Menggunakan Media Arang Aktif, Zeolit dan Pasir Silika Untuk Menurunkan Kadar Amonia Total (N-NH3) dan Sulfida (S 2-) Pada Air Outlet Industri Penyaman Kulit. *Majalah Kulit Politeknik ATK Yogyakarta*, *20*, 1.

Priantoro, B., & Agung, T. (2020). Efektivitas Intensitas Cahaya Uv-C Untuk Menurunkan Parameter Pencemar Limbah Batik. *Prosiding ESEC*, 1–8. http://esec.upnvjt.com/index.php/prosiding/article/view/5

Putama Mursal, I. L. (2018). Karakterisasi Xrd Dan Sem Pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel Dalam Drug Delivery System. *Pharma Xplore : Jurnal Ilmiah Farmasi*, *3*(2), 214–221. https://doi.org/10.36805/farmasi.v3i2.491

Rachmad, A. P. (2022). Nanomaterial Sintesis dan Analisis. In *Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952.* (Issue Mi).

Rahmadanita, F. F., & Sumarno. (2019). Kajian Pustaka Efek Samping Aspirin : Aspirin-Exacerbated Respiratory Disease (AERD). *PHARMACEUTICAL JOURNAL OF INDONESIA*, *5*(1), 1–5. https://pji.ub.ac.id/index.php/pji/article/view/129/101

Riskiani, E., Suprihatin, I. E., & Sibarani, J. (2018). Fotokatalis Bentonit-Fe2O3 untuk Degradation Zat Warna Remazol Brilliant Blue. *Cakra Kimia*, *7*(1), 46–54.

Rully, S., & Sutanto, H. (2014). Deposisi Lapisan Tipis Zno:Ag Dan Aplikasinya Untuk Degradasi Polutan Organik. *Berkala Fisika*, *17*(3), 85–90.

Sakamoto, M., Fujistuka, M., & Majima, T. (2019). Light as a construction tool of metal nanoparticles: Synthesis and mechanism. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, *10*(1), 33–56. https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2008.11.002

Santawaja, P., Kudo, S., Mori, A., Tahara, A., Asano, S., & Hayashi, J. I. (2020). Sustainable Iron-Making Using Oxalic Acid: The Concept, A Brief Review of Key Reactions, and An Experimental Demonstration of the Iron-Making Process. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, *8*(35), 13292–13301. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c03593

Santosa;, H., & Yuliati. (2022). Degradasi Fenol Dalam Limbah Cair Secara Fotooksidasi. *Scientific Journal Widya Teknik*, *21*(1), 14–20.

Saputri, D., & Rohmawati, L. (2021). *Sintesis Magnesium Oksida (MgO) dari Dolomit Bangkalan dengan Metode Leaching*. *09*(02), 203–210.

Siddiqui, T., Zia, M. K., Muaz, M., Ahsan, H., & Khan, F. H. (2023). Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles (AgNPs) using Chemico-physical Methods. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, *6*(2), 124–132. https://doi.org/10.20885/ijca.vol6.iss2.art4

Singh, G., Ubhi, M. K., Jeet, K., Singla, C., & Kaur, M. (2023). A Review on Impacting Parameters for Photocatalytic Degradation of Organic Effluents by Ferrites and Their Nanocomposites. *Processes*, *11*(6). https://doi.org/10.3390/pr11061727

Sucahya, T. N., Permatasari, N., & Nandiyanto, A. B. D. (2016). REVIEW: Fotokatalisis untuk Pengolahan Limbah Cair. *Jurnal Integrasi Proses*, *6*(1), 1–15. http://dx.doi.org/10.36055/jip.v6i2.430

Sutanto, H., & Wibowo, S. (2015). Semikonduktor Fotokatalis Seng Oksida dan Titania : Sintesis , Deposisi dan Aplikasi. In *Eprints.Undip.Ac.Id*.

Swaminaathan, P., Saravanan, A., Yaashikaa, P. R., & Vickram, A. S. (2024). Recent advances in photocatalytic degradation of persistent organic pollutants: Mechanisms, challenges, and modification strategies. *Sustainable Chemistry for the Environment*, *8*(September), 100171. https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100171

Tangaran, R., Putri, S. E., & Hasri. (2023). Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Komposit Kitosan-Fe2O3. *Jurnal Chemica*, *24*(1), 53–60.

Ulfa, A. M., & Nofita. (2016). Analisa Asam Benzoat Dan Asam Salisilat Dalam Obat Panu Sediaan Cair. *Jurnal Kebidanan*, *2*(2), 51–59.

Umroningsih. (2022). Limbah Cair Menyebabkan Pencemaran Lingkungan. *Jurnal Ilmu Sosial Vol.1, No.7, Universitas 17 Agustus 1945 Semarang*, *No.7,*. www.aging-us.com

Utami, L. I., Wahyusi, K. N., Utari, Y. K., & Wafiyah, K. (2019). Pengolahan Limbah Cair Rumput Laut Secara Biologi Aerob Proses Batch. *Jurnal Teknik Kimia*, *13*(2), 39–43. https://doi.org/10.33005/tekkim.v13i2.1407

Wafi, A., Szabó-Bárdos, E., Horváth, O., Pósfai, M., Makó, É., Juzsakova, T., & Fónagy, O. (2020). The photocatalytic and antibacterial performance of

nitrogen-doped tio2: Surface-structure dependence and silver-deposition effect. *Nanomaterials*, *10*(11), 1–19. https://doi.org/10.3390/nano10112261

Wahyuni, A. M., Afthoni, M. H., & Rollando, R. (2022). Pengembangan dan Validasi Metode Analisis Spektrofotometri UV Vis Derivatif untuk Deteksi Kombinasi Hidrokortison Asetat dan Nipagin pada Sediaan Krim. *Sainsbertek Jurnal Ilmiah Sains & Teknologi*, *3*(1), 239–247. https://doi.org/10.33479/sb.v3i1.181

Wang, L., Qi, G., & Liu, X. (2021). Ag/α-Fe2O3 nanowire arrays enable effectively photoelectrocatalytic reduction of carbon dioxide to methanol. *Journal of Power Sources*, *507*(May), 230272. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230272

Wang, N., Li, X., Yang, Y., Zhou, Z., Shang, Y., & Zhuang, X. (2020). Photocatalytic degradation of sulfonamides by Bi2O3-TiO2/PAC ternary composite: Mechanism, degradation pathway. *Journal of Water Process Engineering*, *36*(100). https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101335

Wang, R., Tang, J., Zhang, X., Wang, D., Wang, X., Xue, S., Zhang, Z., & Dionysiou, D. D. (2019). Construction of novel Z-scheme Ag/ZnFe2O4/Ag/BiTa1-xVxO4 system with enhanced electron transfer capacity for visible light photocatalytic degradation of sulfanilamide. *Journal of Hazardous Materials*, *375*(January), 161–173. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.04.081

Xiao, Y., Yao, B., Wang, Z., Chen, T., Xiao, X., & Wang, Y. (2022). Plasma Ag-Modified α-Fe2O3/g-C3N4 Self-Assembled S-Scheme Heterojunctions with Enhanced Photothermal-Photocatalytic-Fenton Performances. *Nanomaterials*, *12*(23). https://doi.org/10.3390/nano12234212

Xu, Y., Jing, L., Chen, X., Ji, H., Xu, H., Li, H., Li, H., & Zhang, Q. (2016). Novel visible-light-driven Fe2O3/Ag3VO4 composite with enhanced photocatalytic activity toward organic pollutants degradation. *RSC Advances*, *6*(5), 3600–3607. https://doi.org/10.1039/c5ra22912j

Yao, B., Qin, T., Zhao, C., & Zhou, Y. (2023). Degradation of sulfanilamide in aqueous solution by ionizing radiation: Performance and mechanism. *Journal of Environmental Sciences*, *13*(4). https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122681

Yeoh, J. S., Armer, C. F., & Lowe, A. (2018). Transition metal oxalates as energy storage materials. A review. *Materials Today Energy*, *9*, 198–222. https://doi.org/10.1016/j.mtener.2018.05.010

LAMPIRAN 1

Hasil Karakterisasi Ag/Fe_2O_3 SEM *(Scanning Electron Microscopy)*

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG

LABORATORIUM SENTRAL

F.PM/LS-UMM/7.8.1

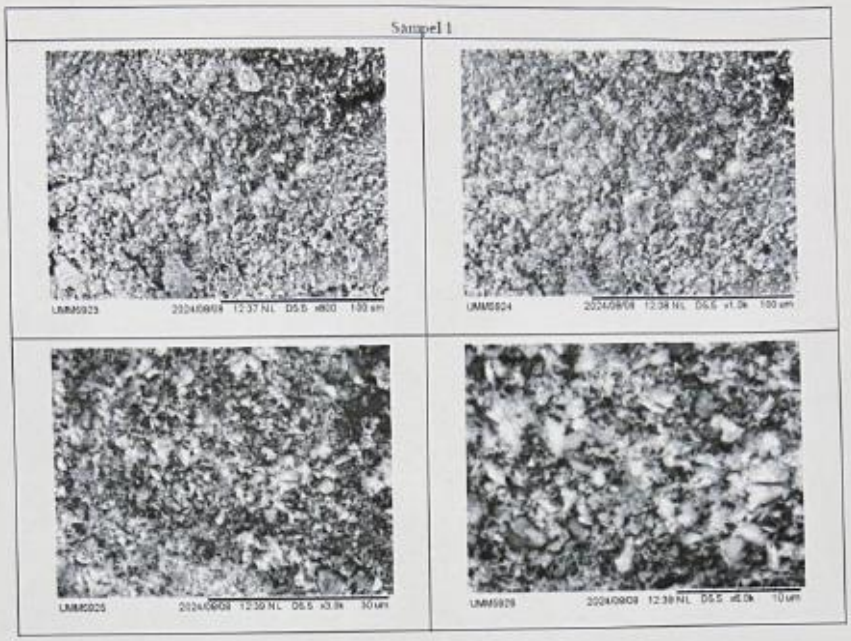
Lab-sentral.umm.ac.id | labsentral@umm.ac.id

F. Bagian ii

Hal 2/2

Lampiran : E.7.b/012/Lab.Sentral-UMM/VIII/2024

Sampel 1



- Laboratorium menjaga kerahasiaan sampel uji
- Hasil analisis di atas sesuai dengan sampel yang diujikan
- Laboratorium tidak bertanggung jawab terhadap hasil di luar sampel yang dikirim
- Jika kesalahan ada pada pihak Laboratorium maka Laboratorium bertanggung jawab untuk melakukan analisa ulang.

Malang, 12 Agustus 2024
Manajer Teknis

Rista Anggriani, M.Sc.

LAMPIRAN 2

Hasil Karakterisasi Fe_2O_3 SEM *(Scanning Electron Microscopy)*

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG

LABORATORIUM SENTRAL

Lab-sentral.umm.ac.id | labsentral@umm.ac.id

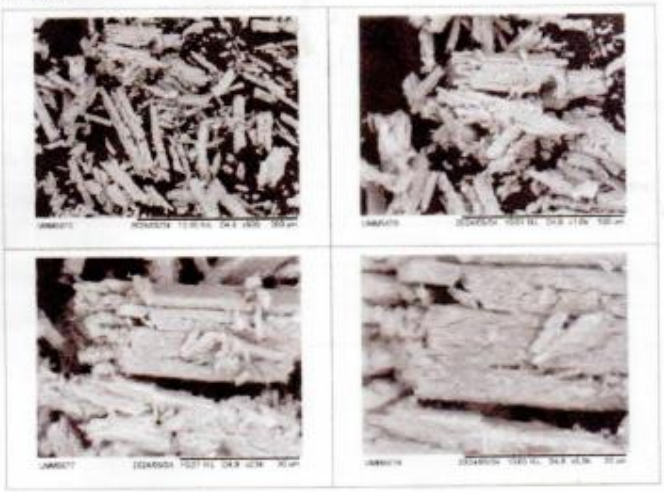
F.PM/LS-UMM/7.8.1

F. Bagian II

Hal 2/2

Lampiran : E.7.b/004/Lab.Sentral-UMM/V/2024

Lampiran



- Laboratorium menjaga kerahasiaan sampel uji
- Hasil analisis di atas sesuai dengan sampel yang diujikan
- Laboratorium tidak bertanggung jawab terhadap hasil di luar sampel yang dikirim
- Jika kesalahan ada pada pihak Laboratorium maka Laboratorium bertanggung jawab untuk melakukan analisa ulang.

Malang, 30 Mei 2024
Manajer Teknis

Rista Anggriani, M.Sc.

LAMPIRAN 3

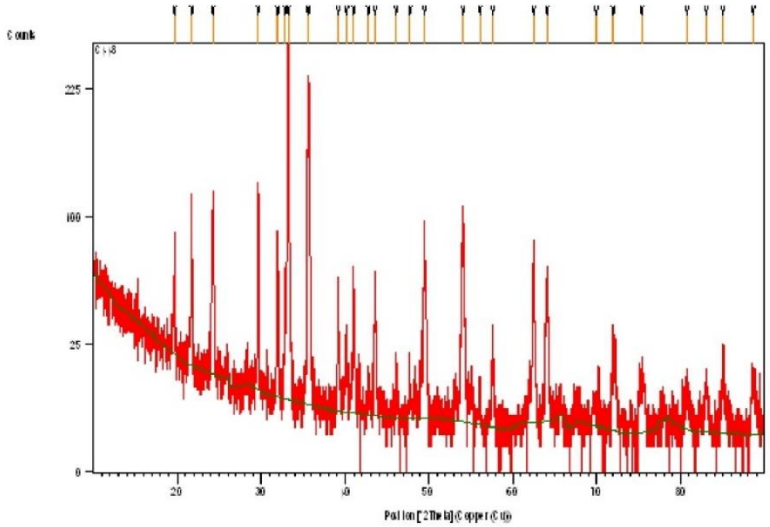
Hasil Karakterisasi Ag/Fe_2O_3 XRD *(X-Ray Diffraction)*

Date: 6/14/2024 Time: 1:16:55 PM File: C448 User: State Univ of Malang

Anchor Scan Parameters

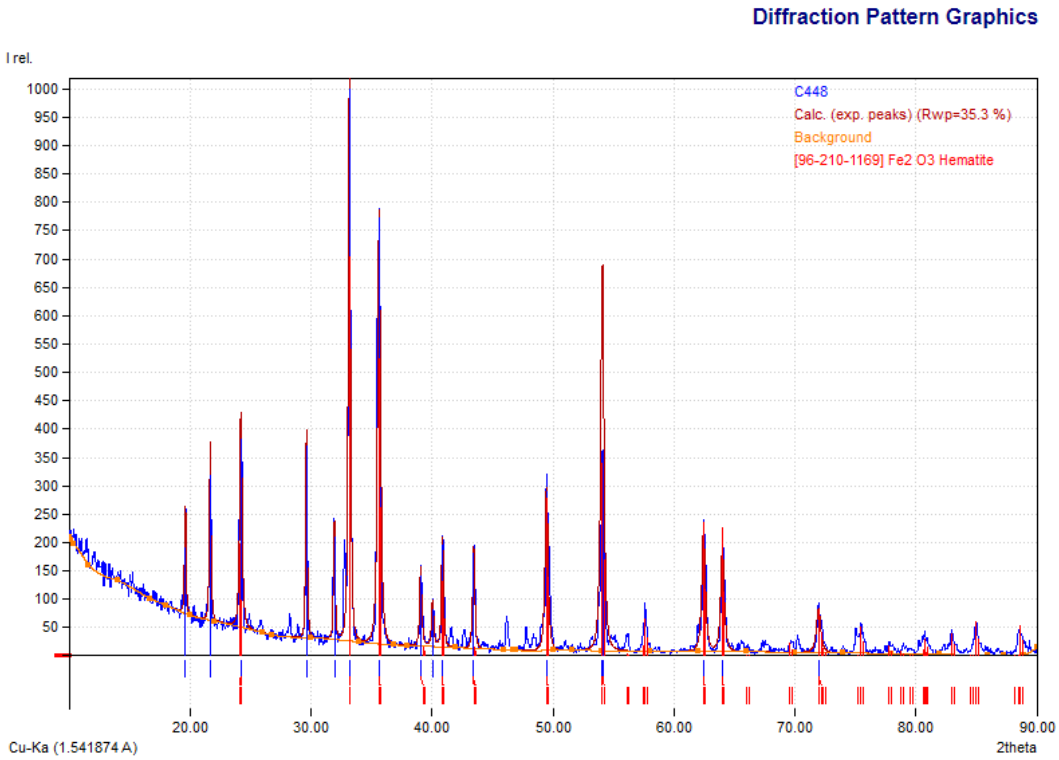
Dataset Name:	C448
File name:	E:\X'Pert Data\2024\JUNE\14 Jun 24\C448\C448.xrdml
Sample Identification:	C448
Comment:	Theta (10-90) Configuration=Stage Flat Samples, Owner=User-1, Creation date=9/15/2009 2:20:30 PM Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001 Sample stage=PW3071/xx Bracket Diffractometer system=XPERT-PRO Measurement program=Theta (10-90), Owner=User-1, Creation date=1/25/2018 8:59:22 AM 0.02 degpermin 46 min
Measurement Date / Time:	6/14/2024 11:19:03 AM
Operator:	State Univ of Malang
Raw Data Origin:	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis:	Gonio
Start Position [°2Th.]:	10.0100
End Position [°2Th.]:	89.9900
Step Size [°2Th.]:	0.0200
Scan Step Time [s]:	0.7000
Scan Type:	Continuous
Offset [°2Th.]:	0.0000
Divergence Slit Type:	Fixed
Divergence Slit Size [°]:	0.9570
Specimen Length [mm]:	10.00
Receiving Slit Size [mm]:	0.1000
Measurement Temperature [°C]:	25.00
Anode Material:	Cu
K-Alpha1 [Å]:	1.54060
K-Alpha2 [Å]:	1.54443
K-Beta [Å]:	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio:	0.50000
Generator Settings:	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type:	00000000011063758
Diffractometer Number:	0
Goniometer Radius [mm]:	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]:	91.00
Incident Beam Monochromator:	No
Spinning:	No

Graphics



LAMPIRAN 4

Difraksi XRD *(X-Ray Difraction)*Ag/Fe_2O_3



No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0 (peak height)	Counts (peak area)	FWHM
1	19.62	4.5248	191.06	10.32	0.1481
2	21.68	4.0993	317.94	17.66	0.1523
3	24.22	3.6748	381.19	32.77	0.2358
4	29.64	3.0140	370.70	20.04	0.1483
5	31.94	2.8020	208.36	12.16	0.1600
6	33.18	2.7001	1000.00	75.36	0.2067
7	35.64	2.5192	772.06	78.83	0.2800
8	39.08	2.3050	140.45	10.83	0.2114
9	40.06	2.2508	81.76	6.24	0.2092
10	40.88	2.2076	195.34	14.25	0.2000
11	43.46	2.0823	181.36	13.58	0.2054
12	49.48	1.8421	289.36	30.43	0.2884
13	54.08	1.6958	0.99	0.10	0.2781
14	54.08	1.6958	333.44	41.89	0.3445
15	54.10	1.6952	355.67	36.31	0.2800
16	62.46	1.4869	217.30	27.66	0.3491
17	64.02	1.4544	180.79	22.82	0.3462
18	71.96	1.3122	79.15	11.92	0.4131

LAMPIRAN 5

Perhitungan Sintesis Material Ag/Fe2O3

- Sintesis Fe_2O_3 dari pasir besi menjadi FeC_2O_4

  Diketahui : asam oksalat ($C_2H_2O_2.2H_2O$) = 126,07 gr/mol

  Molaritas $= \frac{massa\ asam\ oksalat}{\text{BM asam oksalat} \times \text{volume}}$

  0,1 M $= \frac{massa\ asam\ oksalat}{126{,}07\frac{\text{gr}}{\text{mol}} \times 500\ \text{ml}}$

  Massa (gr) $= \frac{0{,}1\ M}{126{,}07\frac{\text{gr}}{\text{mol}} \times 500\ \text{ml}}$

  Massa (gr) = **63.035 gram asam oksalat**

- Massa besi yang dibutuhkan dalam 500 ml asam oksalat

  100 ml asam oksalat membutuhkan 5 gr pasir besi.

  5 gr pasir besi = 100 ml asam oksalat

  500 ml asam oksalat = **25 gr pasir besi**

- Sintesis Ag/Fe_2O_3 10^{-3} M

  Diketahui : Mr $AgNO_3$ = 170

  M = $\frac{gr}{Mr} \times \frac{1000}{V}$

  10^{-1} = $\frac{gr}{170} \times \frac{1000}{50\ ml}$

  gr = $\frac{170 \times 50 \times 10^{-3}}{1000}$

  gr = 0,85 gr /(50 mL aquadest)

LAMPIRAN 6
Perhitungan Dalam Pembuatan Larutan Sampel

1. Pembuatan sampel limbah asam salisilat

   - Pembuatan larutan induk asam salisilat 100 ppm

     100 ppm = 100 mg/L

     =100 mg / 1000 mL

     = 10 mg / 100 mL

     = 0,1 gram

   - Pembuatan larutan standar sampel limbah asam salisilat

a) 5 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

100 ppm x V_1 = 5 ppm x 50 mL

V_1 = 2,5 mL

b) 10 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

100 ppm x V_1 = 10 ppm x 50 mL

V_1 = 5 mL

c) 15 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

100 ppm x V_1 = 15 ppm x 50 mL

V_1 = 7,5 mL

d) 20 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

100 ppm x V_1 = 20 ppm x 50 mL

V_1 = 10 mL

e) 25 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

100 ppm x V_1 = 25 ppm x 50 mL

V_1 = 12,5 mL

f) 30 ppm

$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

100 ppm x V_1 = 30 ppm x 50 mL

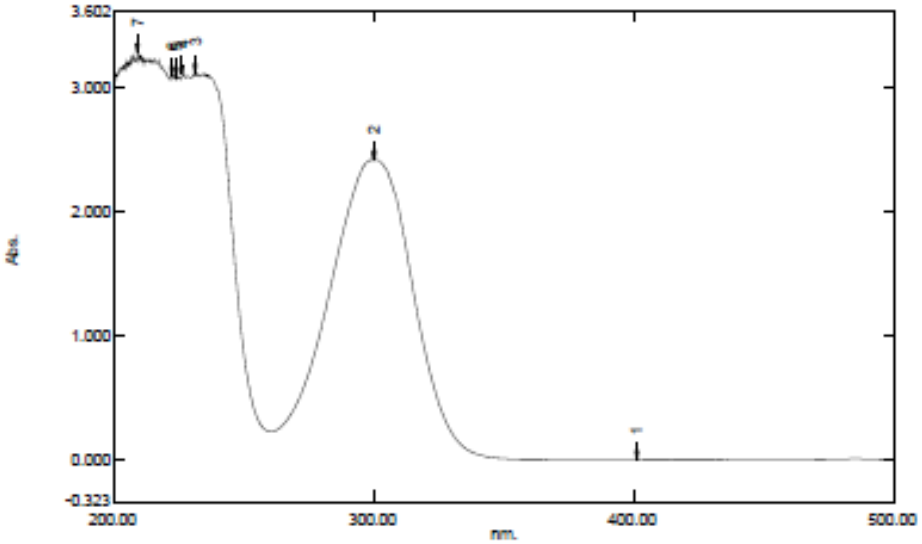
V_1 = 15 mL

Lampiran 7
Panjang Gelombang Maksimal Asam Salisilat

Jurusan Farmasi FKIK UIN MALANG

06/11/2024 03:47:35 PM

Data Set: PANJANG GELOMBANG ASAM SALISILAT 10 PPM - RawData



[Measurement Properties]
Wavelength Range (nm.): 200.00 to 500.00
Scan Speed: Medium
Sampling Interval: 0.2
Auto Sampling Interval: Enabled
Scan Mode: Single

[Instrument Properties]
Instrument Type: UV-1800 Series
Measuring Mode: Absorbance
Slit Width: 1.0 nm
Light Source Change Wavelength: 340.0 nm
S/R Exchange: Normal

[Attachment Properties]
Attachment: None

[Operation]
Threshold: 0.0010000
Points: 4
InterPolate: Disabled
Average: Disabled

[Sample Preparation Properties]
Weight:
Volume:
Dilution:
Path Length:
Additional Information:

No.	P/V	Wavelength	Abs.	Description
1	P	401.20	0.007	
2	P	302.60	2.416	
3	P	231.20	3.109	
4	P	226.20	3.108	
5	P	224.00	3.082	
6	P	222.40	3.094	
7	P	208.80	3.275	

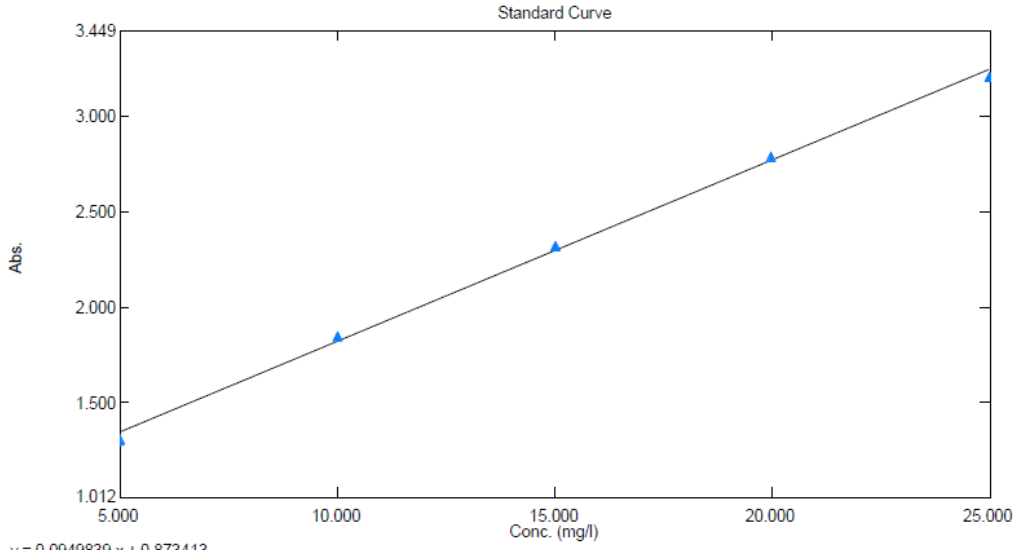
Page 1 / 1

Lampiran 8
Kurva Standar Asam Salisilat

Standard Table Report

06/14/2024 02:57:41 PM

File Name: F:\MUH TEGUH 2024\jumat 14 06 2024\kurva 55.pho



y = 0.0949839 x + 0.873413
Correlation Coefficient r2 = 0.99051

Standard Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL297.0	Wgt.Factor	Comments
1	5 ppm	Std-Repeat		5.000	1.335	1.000	
2	5 ppm-2	Std-Repeat		5.000	1.337	1.000	
3	5 ppm-3	Std-Repeat		5.000	1.337	1.000	
4	5 ppm-Avg	Average		5.000	1.336	1.000	Avg of preceding 3 Samples
5	10 ppm	Std-Repeat		10.000	1.891	1.000	
6	10 ppm-2	Std-Repeat		10.000	1.886	1.000	
7	10 ppm-3	Std-Repeat		10.000	1.890	1.000	
8	10 ppm-Avg	Average		10.000	1.889	1.000	Avg of preceding 3 Samples
9	15 ppm	Std-Repeat		15.000	2.416	1.000	
10	15 ppm-2	Std-Repeat		15.000	2.406	1.000	
11	15 ppm-3	Std-Repeat		15.000	2.426	1.000	
12	15 ppm-Avg	Average		15.000	2.416	1.000	Avg of preceding 3 Samples
13	20 ppm	Std-Repeat		20.000	2.883	1.000	
14	20 ppm-2	Std-Repeat		20.000	2.873	1.000	
15	20 ppm-3	Std-Repeat		20.000	2.863	1.000	
16	20 ppm-Avg	Average		20.000	2.873	1.000	Avg of preceding 3 Samples
17	25 ppm	Std-Repeat		25.000	3.255	1.000	
18	25 ppm-2	Std-Repeat		25.000	3.185	1.000	

Standard Table

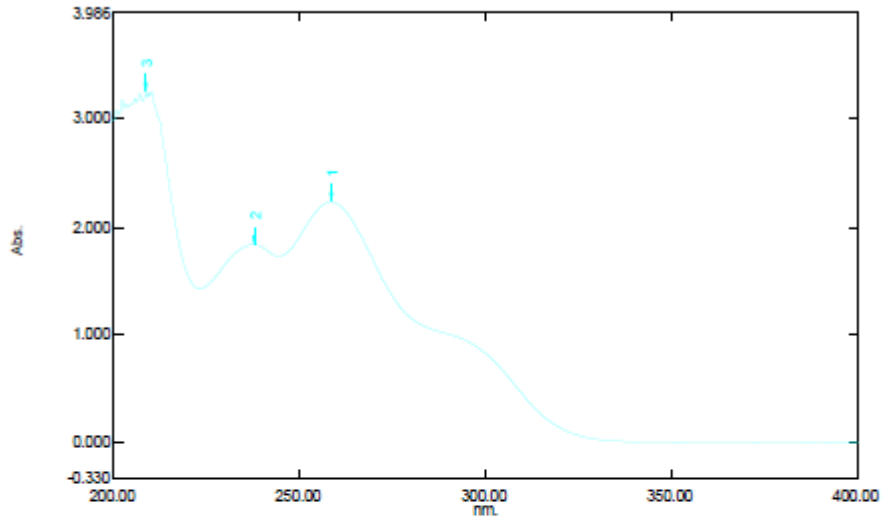
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL297.0	Wgt.Factor	Comments
19	25 ppm-3	Std-Repeat		25.000	3.155	1.000	
20	25 ppm-Avg	Average		25.000	3.155	1.000	Avg of preceding 3 Samples
21							

Lampiran 9

Panjang Gelombang Maksimal Asam Salisilat Sulfanilamid

Jurusan Farmasi FKIK UIN MALANG 09/20/2024 02:37:56 PM

Data Set: campuran part2 - RawData



No.	P/V	Wavelength	Abs.	Description
1	P	258.40	2.231	
2	P	237.80	1.835	
3	P	208.60	3.264	

[Measurement Properties]
Wavelength Range (nm.): 200.00 to 400.00
Scan Speed: Medium
Sampling Interval: 0.2
Auto Sampling Interval: Enabled
Scan Mode: Single

[Instrument Properties]
Instrument Type: UV-1800 Series
Measuring Mode: Absorbance
Slit Width: 1.0 nm
Light Source Change Wavelength: 340.0 nm
S/R Exchange: Normal

[Attachment Properties]
Attachment: None

[Operation]
Threshold: 0.0010000
Points: 4
InterPolate: Disabled
Average: Disabled

[Sample Preparation Properties]
Weight:
Volume:
Dilution:
Path Length:
Additional Information:

Page 1 / 1

Lampiran 10
Kurva Standar Sulfanilamid

Photometric Report

10/16/2024 10:00:24 AM

File Name: F:\MUH TEGUH 2024\kurva kalibrasi sulfanilamid

[Wavelengths]
Wavelength Name: WL258.0
Wavelength: 258.00 nm

[Calibration Curve]
Column for Cal. Curve: WL258.0
Cal. Curve Type: Multi Point
Cal. Curve Unit: mg/l
Selected Wavelength: WL258.0
Calibration Equation: Abs = K1*(Conc) + K0
Zero Interception: Not Selected

[Measurement Parameters(Standard)]
Data Acquired by: Instrument
Delay sample read: Disabled
Repeat: Enabled
Repetitions: 3

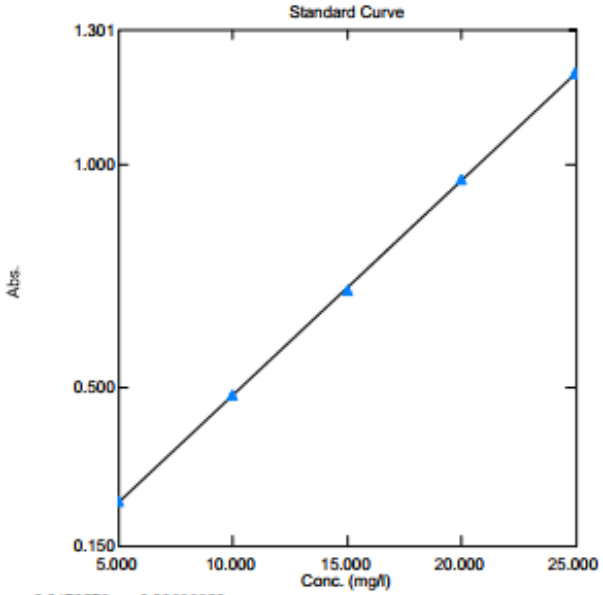
[Measurement Parameters(Sample)]
Data Acquired by: Instrument
Delay sample read: Disabled
Repeat: Enabled
Repetitions: 3

[Equations]

[Pass Fail]

[Method Summary]
Title:
Date/Time: 08/16/2024 09:39:59 AM
Comments:
Sample Preparations:

[Instrument Properties]
Instrument Type: UV-1800 Series
Measuring Mode: Absorbance
Slit Width: 1.0 nm
Light Source Change Wavelength: 340.0 nm
S/R Exchange: Normal



y = 0.0478576 x + 0.00666250
Correlation Coefficient r2 = 0.99990

Standard Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL258.0	Wgt.Factor	Comments
1	5 ppm	Std-Repeat		5.000	0.249	1.000	
2	5 ppm-2	Std-Repeat		5.000	0.249	1.000	
3	5 ppm-3	Std-Repeat		5.000	0.249	1.000	
4	5 ppm-Avg	Average		5.000	0.249	1.000	Avg of preceding 3 Samples
5	10 ppm	Std-Repeat		10.000	0.486	1.000	
6	10 ppm-2	Std-Repeat		10.000	0.485	1.000	
7	10 ppm-3	Std-Repeat		10.000	0.486	1.000	
8	10 ppm-Avg	Average		10.000	0.486	1.000	Avg of preceding 3 Samples
9	15 ppm	Std-Repeat		15.000	0.718	1.000	
10	15 ppm-2	Std-Repeat		15.000	0.718	1.000	
11	15 ppm-3	Std-Repeat		15.000	0.718	1.000	
12	15 ppm-Avg	Average		15.000	0.718	1.000	Avg of preceding 3 Samples
13	20 ppm	Std-Repeat		20.000	0.965	1.000	
14	20 ppm-2	Std-Repeat		20.000	0.965	1.000	
15	20 ppm-3	Std-Repeat		20.000	0.965	1.000	
16	20 ppm-Avg	Average		20.000	0.965	1.000	Avg of preceding 3 Samples
17	25 ppm	Std-Repeat		25.000	1.205	1.000	
18	25 ppm-2	Std-Repeat		25.000	1.205	1.000	
19	25 ppm-3	Std-Repeat		25.000	1.205	1.000	
20	25 ppm-Avg	Average		25.000	1.205	1.000	Avg of preceding 3 Samples
21							

Lampiran 11
Data Konsentrasi dan Persentase Degradasi Asam Salisilat

Dosis 50 mg

Waktu	Absorbansi	Konsentrasi	% Degradasi
0	2,385	25,10	0%
15	2,325	24,46	2,54%
30	2,305	24,25	3,38%
45	2,279	23,98	4,46%
60	2,255	23,73	5,45%

Dosis 100 mg

Waktu	Absorbansi	Konsentrasi	% Degradasi
0	2,385	25,1	0%
15	2,311	24,32	3,10%
30	2,178	22,92	8,68%
45	2,213	23,28	7,25%
60	2,198	23,13	7,84%

Dosis 150 mg

Waktu	Absorbansi	Konsentrasi	% Degradasi
0	2,385	25,1	0%
15	2,279	23,98	4,46%
30	2,201	23,16	7,72%
45	2,152	22,64	9,80%
60	2,056	21,63	13,82%

Persamaan Regresi Linier kurva standar Asam Salisilat :

y = 0.0949839 x + 0.873413

r = 0,99051

$$\boldsymbol{x = \frac{y - 0.873413}{0.0949839}}$$

x = Konsentrasi
y = Absorbansi

Persen Degradasi

$$\% = \frac{konsentrasi\ awal - konsentrasi\ akhir}{konsentrasi\ awal} \times 100\%$$

Lampiran 12
Perhitungan Konsentrasi dan Persen Degradasi Asam Salisilat

a) Konsentrasi Asam salisilat dengan dosis Ag/Fe2O3 50 mg

- **0 Menit**
  $\frac{2.385 - 0{,}873413}{0.0949839} = 25{,}10$
- **15 Menit**
  $\frac{2.325 - 0{,}873413}{0.0949839} = 24{,}46$
- **30 Menit**
  $\frac{2.305 - 0{,}873413}{0.0949839} = 24{,}25$
- **45 Menit**
  $\frac{2.279 - 0{,}873413}{0.0949839} = 23{,}98$
- **60 Menit**
  $\frac{2.255 - 0{,}873413}{0.0949839} = 23{,}73$

b) Konsentrasi Asam salisilat dengan dosis Ag/Fe2O3 100 mg

- **0 Menit**
  $\frac{2.385 - 0{,}873413}{0.0949839} = 25{,}10$
- **15 Menit**
  $\frac{2.311 - 0{,}873413}{0.0949839} = 24{,}32$
- **30 Menit**
  $\frac{2.178 - 0{,}873413}{0.0949839} = 22{,}92$
- **45 Menit**
  $\frac{2.213 - 0{,}873413}{0.0949839} = 23{,}28$
- **60 Menit**
  $\frac{2.198 - 0{,}873413}{0.0949839} = 23{,}13$

c) Konsentrasi Asam salisilat dengan dosis Ag/Fe2O3 150 mg

- **0 Menit**
  $\frac{2.385 - 0{,}873413}{0.0949839} = 25{,}10$
- **15 Menit**
  $\frac{2.279 - 0{,}873413}{0.0949839} = 23{,}98$
- **30 Menit**
  $\frac{2.201 - 0{,}873413}{0.0949839} = 23{,}16$
- **45 Menit**
  $\frac{2.152 - 0{,}873413}{0.0949839} = 22{,}64$
- **60 Menit**
  $\frac{2.056 - 0{,}873413}{0.0949839} = 21{,}63$

Lampiran 13
Perhitungan Persen Degradasi Asam Salisilat

I. Persentase degradasi asam salisilat dosis 50 mg

- % 0 Menit = $\frac{25{,}10 - 25{,}10}{25{,}10} \times 100\% = 0\%$
- % 15 Menit = $\frac{25{,}10 - 24{,}46}{25{,}10} \times 100\% = 2{,}54\%$
- % 30 Menit = $\frac{25{,}10 - 24{,}25}{25{,}10} \times 100\% = 3{,}38\%$
- % 45 Menit = $\frac{25{,}10 - 23{,}98}{25{,}10} \times 100\% = 4{,}46\%$
- % 0 Menit = $\frac{25{,}10 - 23{,}73}{25{,}10} \times 100\% = 5{,}45\%$

II. Persentase degradasi asam salisilat dosis 100 mg

- % 0 Menit = $\frac{25{,}10 - 25{,}10}{25{,}10} \times 100\% = 0\%$
- % 15 Menit = $\frac{25{,}10 - 24{,}32}{25{,}10} \times 100\% = 3{,}10\%$
- % 30 Menit = $\frac{25{,}10 - 22{,}92}{25{,}10} \times 100\% = 8{,}68\%$
- % 45 Menit = $\frac{25{,}10 - 23{,}28}{25{,}10} \times 100\% = 7{,}25\%$
- % 60 Menit = $\frac{25{,}10 - 7{,}84}{25{,}10} \times 100\% = 7{,}84\%$

III. Persentase degradasi asam salisilat dosis 150 mg

- % 0 Menit = $\frac{25{,}10 - 25{,}10}{25{,}10} \times 100\% = 0\%$
- % 15 Menit = $\frac{25{,}10 - 23{,}98}{25{,}10} \times 100\% = 4{,}46\%$
- % 30 Menit = $\frac{25{,}10 - 23{,}16}{25{,}10} \times 100\% = 7{,}72\%$
- % 45 Menit = $\frac{25{,}10 - 22{,}64}{25{,}10} \times 100\% = 9{,}80\%$
- % 60 Menit = $\frac{25{,}10 - 21{,}63}{25{,}10} \times 100\% = 13{,}82\%$

Lampiran 14
Data Konsentrasi dan Persentase Degradasi Asam Salisilat Sulfanilamid

Dosis 50 mg

Waktu	Absorbansi	Konsentrasi	% Degradasi
0	0,947	19.67	0%
15	0,909	18.85	4,02%
30	0,855	17.73	9,72%
45	0,78	16.16	17,71%
60	0,756	15.65	20,36%

Dosis 100 mg

Waktu	Absorbansi	Konsentrasi	% Degradasi
0	0,947	19.67	0%
15	0,871	18.06	8,04%
30	0,796	16.49	16,03%
45	0,731	15.13	22,96%
60	0,629	13.00	33,80%

Dosis 150 mg

Waktu	Absorbansi	Konsentrasi	% Degradasi
0	0,947	19.67	0%
15	0,836	17.33	11,76%
30	0,698	14.44	26,47%
45	0,659	13.63	30,60%
60	0,601	12.42	36,76%

Persamaan Regresi Linier kurva standar Asam Salisilat Sulfanilamid :

y = 0.0478576 x + 0.00666250

Correlation Coefficient r2 = 0.99990

$$\boldsymbol{x = \frac{y - 0.00666250}{0.0478576}}$$

x = Konsentrasi
y = Absorbansi

Persen Degradasi

$$\% = \frac{konsentrasi\ awal - konsentrasi\ akhir}{konsentrasi\ awal} \times 100\%$$

Lampiran 15
Perhitungan Konsentrasi dan Persen Degradasi Asam Salisilat Sulfanilamid

a. Konsentrasi Asam salisilat Sulfanilamid dengan dosis Ag/Fe2O3 50 mg

- **0 Menit**
  $\frac{0,947 - 0.00666250}{0.0478576} = 19,67$
- **15 Menit**
  $\frac{0,909 - 0.00666250}{0.0478576} = 18,85$
- **30 Menit**
  $\frac{0,855 - 0.00666250}{0.0478576} = 17,73$
- **45 Menit**
  $\frac{0,780 - 0.00666250}{0.0478576} = 16,16$
- **60 Menit**
  $\frac{0,756 - 0.00666250}{0.0478576} = 15,65$

b. Konsentrasi Asam salisilat Sulfanilamid dengan dosis Ag/Fe2O3 100 mg

- **0 Menit**
  $\frac{0,947 - 0.00666250}{0.0478576} = 19,67$
- **15 Menit**
  $\frac{0,871 - 0.00666250}{0.0478576} = 18,06$
- **30 Menit**
  $\frac{0,796 - 0.00666250}{0.0478576} = 16,49$
- **45 Menit**
  $\frac{0,731 - 0.00666250}{0.0478576} = 15,13$
- **60 Menit**
  $\frac{0,629 - 0.00666250}{0.0478576} = 13,00$

c. Konsentrasi Asam salisilat Sulfanilamid dengan dosis Ag/Fe2O3 150 mg

- **0 Menit**
  $\frac{0,947 - 0.00666250}{0.0478576} = 19,67$
- **15 Menit**
  $\frac{0,836 - 0.00666250}{0.0478576} = 17,33$
- **30 Menit**
  $\frac{0,698 - 0.00666250}{0.0478576} = 14,44$
- **45 Menit**
  $\frac{0,659 - 0.00666250}{0.0478576} = 13,63$
- **60 Menit**
  $\frac{0,601 - 0.00666250}{0.0478576} = 12,42$

Lampiran 16
Perhitungan Persen Degradasi Asam Salisilat Sulfanilamid

Persentase degradasi asam salisilat Sulfanilamid dosis 50 mg

- % 0 Menit = $\frac{19,67 - 19,67}{19,67} \times 100\% = 0\%$
- % 15 Menit = $\frac{19,67 - 18.85}{19,67} \times 100\% = 4,02\%$
- % 30 Menit = $\frac{19,67 - 17.73}{19,67} \times 100\% = 9,72\%$
- % 45 Menit = $\frac{19,67 - 16.16}{19,67} \times 100\% = 17,71\%$
- % 60 Menit = $\frac{19,67 - 15.65}{19,67} \times 100\% = 20,36\%$

Persentase degradasi asam salisilat Sulfanilamid dosis 100 mg

- % 0 Menit = $\frac{19,67 - 19,67}{19,67} \times 100\% = 0\%$
- % 15 Menit = $\frac{19,67 - 18.06}{19,67} \times 100\% = 8,04\%$
- % 30 Menit = $\frac{19,67 - 16.49}{19,67} \times 100\% = 16,03\%$
- % 45 Menit = $\frac{19,67 - 15.13}{19,67} \times 100\% = 22,96\%$
- % 60 Menit = $\frac{19,67 - 13.00}{19,67} \times 100\% = 33,80\%$

Persentase degradasi asam salisilat Sulfanilamid dosis 150 mg

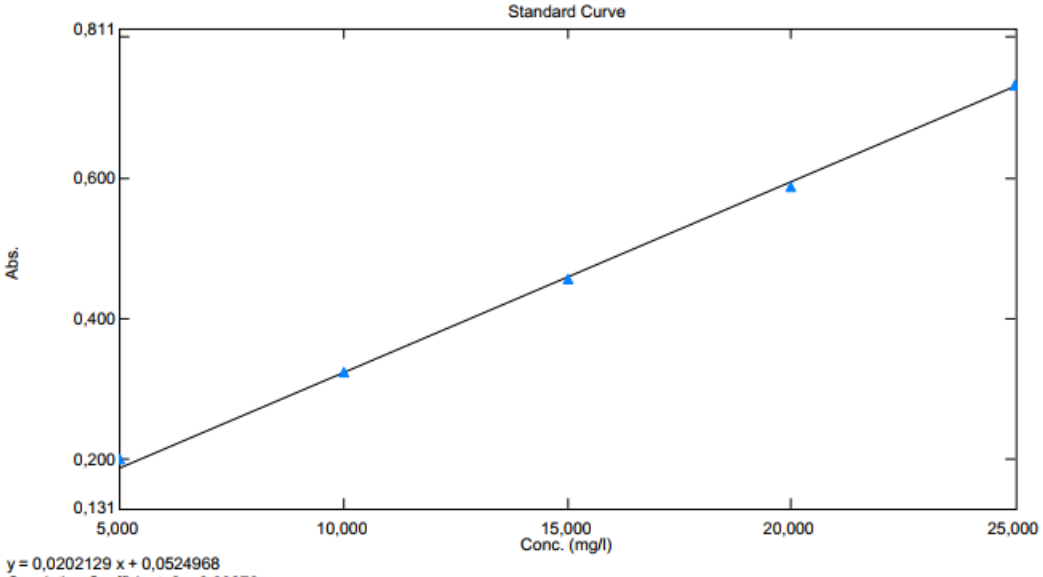
- % 0 Menit = $\frac{19,67 - 19,67}{19,67} \times 100\% = 0\%$
- % 15 Menit = $\frac{19,67 - 17.33}{19,67} \times 100\% = 11,76\%$
- % 30 Menit = $\frac{19,67 - 14.44}{19,67} \times 100\% = 26,47\%$
- % 45 Menit = $\frac{19,67 - 13.63}{19,67} \times 100\% = 30,60\%$
- % 60 Menit = $\frac{19,67 - 12.42}{19,67} \times 100\% = 36,76\%$

Lampiran 17

Data Konsentrasi dan Persentase Degradasi selektivitas Asam Salisilat

Standard Table Report 19/11/2024 12:50:09

File Name: C:\Users\HP\Documents\TEGUH FARMASI\KURVA SELEK A-S.pho



Dosis 150 mg

Waktu	Absorbansi	Konsentrasi	% Degradasi
0	0,461	20,213	0%
15	0,429	18,627	7,84%
30	0,392	16,800	16,88%
45	0,348	14,623	27,65%
60	0,297	12,100	35,23%

Persamaan Regresi Linier kurva standar Asam Salisilat Sulfanilamid :

y = 0,0202129 x + 0,0524968

Correlation Coefficient r2 = 0.99879

$$\boldsymbol{x = \frac{y - 0.052968}{0,0202129}}$$

x = Konsentrasi
y = Absorbansi

Persen Degradasi

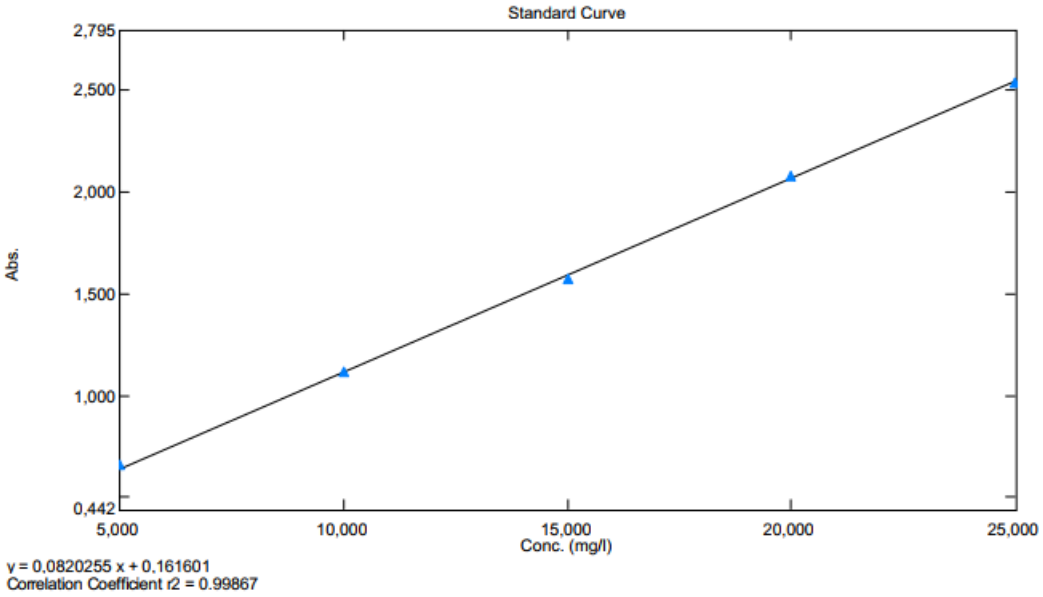
$$\% = \frac{konsentrasi\ awal - konsentrasi\ akhir}{konsentrasi\ awal} \times 100\%$$

Lampiran 18

Data Konsentrasi dan Persentase Degradasi selektivitas Sulfanilamid

Standard Table Report 19/11/2024 14:19:09

File Name: C:\Users\HP\Documents\TEGUH FARMASI\KURVA SELEK SULFA.pho



Dosis 150 mg

Waktu	Absorbansi	Konsentrasi	% Degradasi
0	1,830	19,94	0%
15	1,744	18.912	5,16%
30	1,614	17.358	12,94%
45	1,439	15,266	23,44%
60	1,302	13,629	31,64%

Persamaan Regresi Linier kurva standar Asam Salisilat Sulfanilamid :

y = 0,0820255 x + 0,161601

Correlation Coefficient r2 = 0.99867

$$\boldsymbol{x = \frac{y - 0.161601}{0,0820255}}$$

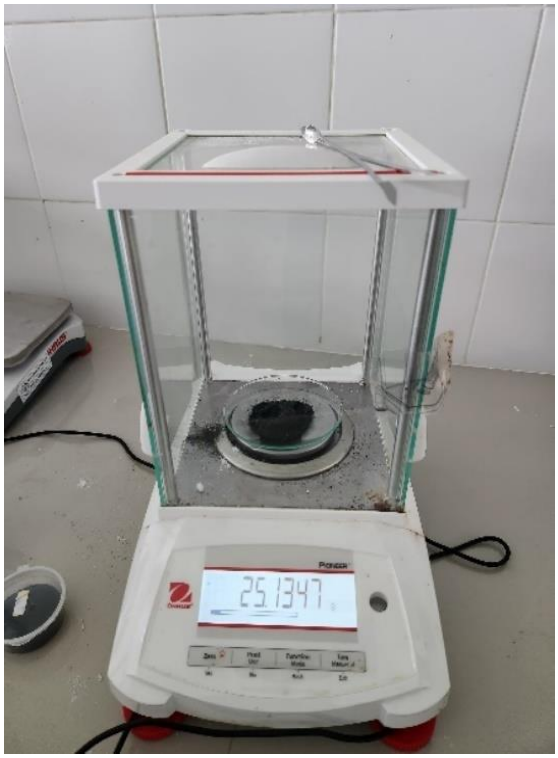
x = Konsentrasi
y = Absorbansi

Persen Degradasi

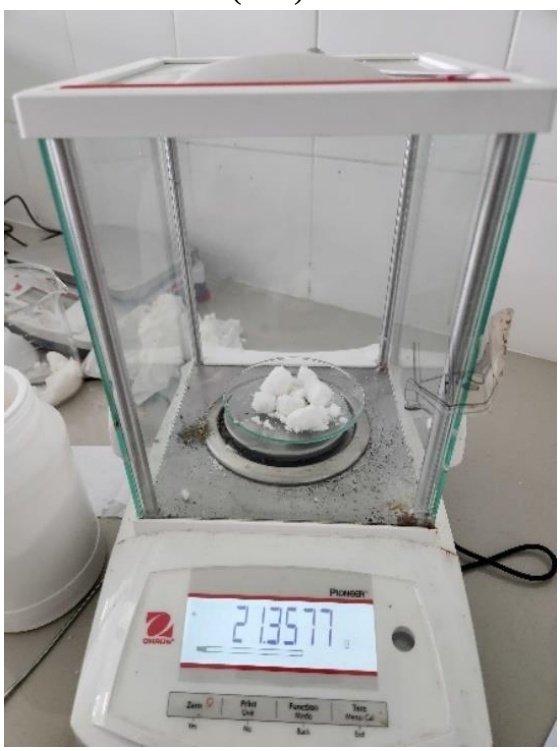
$$\% = \frac{konsentrasi\ awal - konsentrasi\ akhir}{konsentrasi\ awal} \times 100\%$$

Lampiran 19
Dokumentasi Penelitian

a. Serbuk Besi (25 gram)



b. Asam Oksalat (1 M)



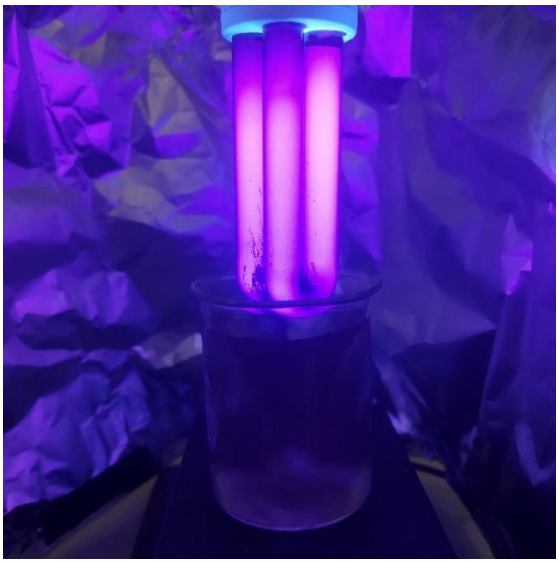
c. Pengadukan Pasir Besi Oksalat (Leaching)

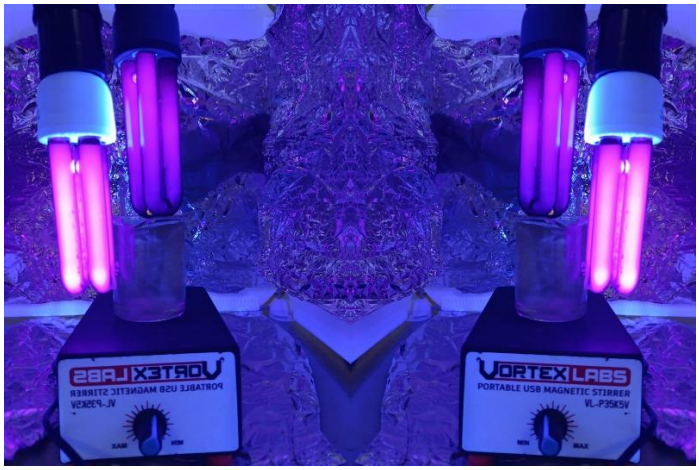
d. Penyaringan Filtrat Hijau

e. Proses Hidrotermal pada suhu 200^{o}C selama 3 jam

f. Proses Kalsinasi pada suhu 200^{o}C

g. Proses Penambahan Ag^{+} terhadap Fe2O3 (Fotoreduksi)



Proses Fotokatalisis Ag/Fe2O3 terhadap degradasi asam salisilat

h. Selektivitas Ag/Fe_2O_3 terhadap Asam Salisilat dan Sulfanilamid