

**PENGARUH TEMPERATUR SINTERING TERHADAP SIFAT
FOTOKATALIS LAPISAN NANOKOMPOSIT MnO-Fe₂O₃/PS
UNTUK APLIKASI *SELF CLEANING***

SKRIPSI

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



Oleh :
ELSA OLLIA
NIM. 16034006/2016

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2021**

PERSETUJUAN SKRIPSI

PENGARUH TEMPERATUR SINTERING TERHADAP SIFAT
FOTOKATALIS LAPISAN NANOKOMPOSIT $MnO-Fe_2O_3/PS$
UNTUK APLIKASI *SELF CLEANING*

Nama : Elsa Ollia
NIM : 16034006
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

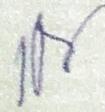
Padang, Februari 2021

Mengetahui:
Ketua Jurusan Fisika

Disetujui Oleh:
Pembimbing



Dr. Ratnawulan, M.Si
NIP 19690120 199303 2 002



Dr. Ratnawulan, M.Si
NIP 19690120 199303 2 002

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Elsa Ollia
NIM : 16034006
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**PENGARUH TEMPERATUR SINTERING TERHADAP SIFAT
FOTOKATALIS LAPISAN NANOKOMPOSIT $MnO-Fe_2O_3/PS$
UNTUK APLIKASI *SELF CLEANING***

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

Padang, Februari 2021

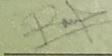
Tim Penguji

Tanda tangan

Nama
Ketua : Dr. Ratnawulan, M.Si
Anggota : Dr. Ahmad Fauzi, M.Si
Anggota : Dr. Ramli, S.Pd, M.Si







PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat Fotokatalis Lapisan Nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS Untuk Aplikasi *Self Cleaning*”, adalah asli karya sendiri.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya, tanpa bantuan pihak lain, kecuali pembimbing.
3. Di dalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, Februari 2021
Yang membuat pernyataan



Elsa Ollia
16034006

Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat Fotokatalis Lapisan Nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS Untuk Aplikasi *Self Cleaning*

Elsa Ollia

ABSTRAK

Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah. Indonesia memiliki berbagai bahan alam seperti biji besi, mangan, tembaga, silika, bauksit, timah, nikel dan lain-lain. Namun, bahan-bahan ini baru digunakan sampai tingkat mentahnya untuk ekspor. Sebelumnya biji besi yang dimanfaatkan hanya sebagai bahan baku pembuatan baja, kabel dan kawat, sedangkan mangan dimanfaatkan untuk melapisi logam, dan berperan dalam industri baja. Rendahnya pemanfaatan biji besi dan mangan mendorong peneliti untuk meningkatkan nilai guna dari bahan tersebut. Peneliti ingin meningkatkan nilai guna dari biji besi yang berasal dari hematit (Fe₂O₃) dan mangan oksida (MnO) dengan cara menggabungkan kedua bahan tersebut membuatnya sebagai nanokomposit yang menggunakan polistiren sebagai matriksnya, sehingga nantinya diharapkan gabungan ini membentuk lapisan MnO-Fe₂O₃/PS yang dapat diaplikasikan sebagai *self cleaning* (membersihkan diri). Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh temperatur sintering terhadap sifat fotokatalis lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS untuk aplikasi *self cleaning*.

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Fisika Material Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negeri Padang (UNP), dan Laboratorium Kimia FMIPA UNP. Alat yang digunakan HEM-3D (*High Energy Milling Elips-3D Mention*), SEM (*Scanning Electron Microscope*), FTIR dan Spektrofotometer UV-VIS. Prekursor dibuat dengan polietilen sebanyak 0.5 gram dan MnO dan Fe₂O₃ sebanyak 0.4 gram. Pelapisan dilakukan dengan metode *spin coating* dan variasi temperatur sebesar 60⁰C, 100⁰C, 200⁰C, 300⁰C, dan 400⁰C menggunakan furnace.

Hasil penelitian ini yaitu temperatur sintering berpengaruh terhadap sifat fotokatalis. Dari hasil yang diperoleh bahwa lapisan ini terdegradasi didalam larutan *methyl orange* dengan % degradasi yang dihasilkan sebesar 65.86%. Untuk ukuran kristal ditentukan 21.84 nm, dan gugus fungsinya yang telah terbentuk C=C, C-H menunjukkan adanya polistiren dan MnO-Fe₂O₃ berada pada bilangan gelombang 924.39 cm⁻¹, dengan ukuran partikel sebesar 64.148 nm. Dapat disimpulkan lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS pada hasil tersebut sudah berukuran nano karena berada diantara (0-100) nm. Selanjutnya pengaruh temperatur sintering terhadap sifat fotokatalis yaitu lapisan nanokomposisi MnO-Fe₂O₃/PS mampu terdegradasi didalam larutan *methyl orange* dengan % degradasi yang dihasilkan sebesar 65.86%, karena % degradasi yang dihasilkan besar maka lapisan ini mudah terurai oleh limbah metilen orange. Hasil penguraian lapisan ini disebut sebagai *self cleaning* dikarenakan telah mampu menguraikan kotoran sebesar 65.86% sehingga dapat diartikan mampu membersihkan diri sendiri.

Kata kunci : Temperatur Sintering, Nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS, *Self cleaning*.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis diberi kesempatan, kekuatan dan kemampuan untuk dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat Fotokatalis Lapisan Nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS Untuk Aplikasi *Self Cleaning*”**.

Skripsi merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang dan merupakan bagian dari penelitian Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membimbing dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih penulis ucapkan kepada:

1. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika sekaligus pembimbing skripsi dan pembimbing akademik yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam penulisan skripsi.
2. Bapak Dr. Ahmad Fauzi, M.Si dan Bapak Dr. Ramli, S.Pd, M.Si sebagai dosen penguji.
3. Ibu Syafriani, M.Si, Ph.D sebagai Ketua Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
4. Kepala Laboratorium Fisika Material dan Kimia UNP yang telah mengizinkan penulis dalam pelaksanaan penelitian di laboratorium hingga selesai.
5. Keluarga Besar Jurusan Fisika, terutama teman-teman angkatan 2016 yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Orangtua yang selalu mendukung saya sampai saat ini.
7. Teman sepenelitian fotokatalis, serta teman–teman dari KBK material yang selalu mendukung.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan dan keterbatasan. Maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini.

Padang, 20 November 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Batasan Masalah.....	6
C. Rumusan Masalah.....	6
D. Tujuan Penelitian.....	6
E. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Mangan Oksida.....	8
B. Fe ₂ O ₃ (hematit).....	10
C. Fotokatalis.....	11
D. Faktor – Faktor yang mempengaruhi Fotokatalis.....	14
E. Nanokomposit.....	15
F. Polystirene.....	17
G. Self Cleaning.....	19
H. Karakterisasi Sifat Fotokatalis.....	21
I. Metode Spin Coating.....	28
J. Pengaruh Temperature Terhadap Sifat Fotokatalis.....	31
BAB III METODE PENELITIAN.....	33
A. Jenis Penelitian.....	33
B. Waktu dan Tempat Penelitian.....	33
C. Variabel Penelitian.....	33
D. Instrumen Penelitian.....	34
E. Pelaksanaan Penelitian.....	47
F. Diagram Alir Penelitian.....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	52

A. Deskripsi data.....	52
B. Analisi Data	68
C. Pembahasan	76
BAB V PENUTUP.....	81
A. Kesimpulan	81
B. Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA.....	82
LAMPIRAN	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Kimia MnO	9
Gambar 2. Biji Mangan	9
Gambar 3. Skema aktivitas fotokatalis	13
Gambar 4. Sampel percobaan fotokatali (a), Sampel yang telah dijemur selama 10 jam (b), 20 jam (c), 40 jam	14
Gambar 6. Jenis zat padat berdasarkan pita energi	15
Gambar 7. Struktur mangan ferit	17
Gambar 8. Struktur Polistiren	18
Gambar 9. Polistiren	19
Gambar 10. Skema Kerja Spektrofotometer Uv-Vis	23
Gambar 11. Skematis komponen-komponen utama dari SEM	24
Gambar 12. Difraksi bragg	25
Gambar 13. Alat FTIR	28
Gambar 14. Metode Spin Coating	28
Gambar 15. Tahapan penetesan	29
Gambar 16. Tahapan percepatan	30
Gambar 17. Tahap Perataan	30
Gambar 18. Tahapan pengeringan	31
Gambar 19. Diagram skematis komponen-komponen utama dari SEM	34
Gambar 20. Alat SEM	35
Gambar 21. XRD	35
Gambar 22. Spektrofotometer Uv-Vis	36
Gambar 23. Alat FTIR	36
Gambar 24. Timbangan Digital	37
Gambar 25. Spin coating	37
Gambar 26. HEM-E3D	38
Gambar 27. Magnetic Stirrer tipe MS-088	38
Gambar 28. Furnace	39
Gambar 29. Ultrasonik cleaner	39
Gambar 30. Biji mangan	40
Gambar 31. Biji besi hematit	40
Gambar 32. Polistiren	41
Gambar 33. Kaca penguap	41
Gambar 34. Gelas Beker	42

Gambar 35. Substrat kaca.....	42
Gambar 36. THF (Tetrahydrofuran)	43
Gambar 37. Aquadest.....	43
Gambar 38. Gelas ukur.....	44
Gambar 39. PEG (Polyethylene Glycol)	44
Gambar 40. Etylen glycol.....	45
Gambar 41. Methyl orange.....	45
Gambar 42. Erlenmeyer	46
Gambar 43. Tabung reaksi	46
Gambar 44. Diagram alir penelitian.....	51
Gambar 45. Data hasil pengujian XRD temperatur sintering 60 °C	52
Gambar 46. Data hasil pengujian XRD temperatur sintering 100 °C.....	53
Gambar 47. Data hasil pengujian XRD temperatur sintering 200 °C.....	54
Gambar 48. Data hasil pengujian XRD temperatur sintering 300 °C.....	55
Gambar 49. Data hasil pengujian XRD temperatur sintering 400 °C.....	56
Gambar 50. Data hasil pengukuran FTIR pada temperatur sintering 60 °C	57
Gambar 51. Data hasil pengukuran FTIR pada temperatur sintering 100 °C	58
Gambar 52. Data hasil pengukuran FTIR pada temperatur sintering 200 °C	59
Gambar 53. Data hasil pengukuran FTIR pada temperatur sintering 300 °C	60
Gambar 54. Data hasil pengukuran FTIR pada temperatur sintering 400 °C	61
Gambar 55. Bentuk morfologi permukaan dari SEM perbesaran 20.000x.....	62
Gambar 56. Bentuk permukaan SEM perbesaran 20.000x.....	62
Gambar 57. Bentuk permukaan SEM perbesaran 20.000x.....	63
Gambar 58. Bentuk permukaan SEM perbesaran 20000x.....	63
Gambar 59. Bentuk permukaan SEM perbesaran 20000x.....	64
Gambar 60. Data hasil pengukuran Spektrometer Uv-Vis	64
Gambar 61. Data hasil pengukuran Spektrometer Uv-Vis	65
Gambar 62. Data hasil pengukuran Spektrometer Uv-Vis	66
Gambar 63. Data hasil pengukuran Spektrometer Uv-Vis	66
Gambar 64. Data hasil pengukuran Spektrometer Uv-Vis	67
Gambar 65. Analisis data XRD	68
Gambar 66. Data hasil pengukuran FTIR.....	70
Gambar 67. Hasil pengolahan data SEM.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sifat fisik mangan.....	8
Tabel 2. Sifat fisik hematit	11
Tabel 3. Komposisi polistiren.....	17
Tabel 4. Data pengujian degradasi lapisan nanokomposit MnO-Fe ₂ O ₃ /PS mnggunakan methyl orange.....	49
Tabel 5. Data hasil pngolahan XRD	69
Tabel 6. Pengaruh temperature sintering terhadap ukuran partikel.....	73
Tabel 7. Analisis Data Spektrofotometer Uv-vis	74

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengolahan Data XRD	89
Lampiran 2. Data hasil pengukuran lapisan nanokomposit MnO-Fe ₂ O ₃ /PS menggunakan XRD.....	91
Lampiran 3. Data hasil pengukuran lapisan nanokomposit MnO-Fe ₂ O ₃ /PS menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis	96
Lampiran 4. Daerah serapan dan gugus fungsi FTIR	119

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah. Indonesia memiliki berbagai bahan alam seperti bijih besi, mangan, tembaga, silika, bauksit, timah, nikel dan lain-lain. Namun, bahan-bahan ini baru digunakan sampai tingkat mentahnya untuk ekspor. Seiring dengan perkembangan teknologi, permintaan terhadap biji besi dan mangan yang dijadikan bahan mentah cukup banyak, hal ini mengakibatkan persediaan biji besi dan mangan mulai menipis. Sebelumnya biji besi yang dimanfaatkan hanya sebagai bahan baku pembuatan baja, kabel dan kawat, sedangkan mangan dimanfaatkan untuk melapisi logam, dan berperan dalam industri baja (Hayati, dkk. 2019). Dikarenakan yang banyak diambil dalam bentuk mentahnya, otomatis jumlah biji besi dialam mengalami penurunan, dan apabila ditambang terus menerus menyebabkan bahan ini semakin lama akan habis. Rendahnya pemanfaatan biji besi dan mangan mendorong peneliti untuk meningkatkan nilai guna dari bahan tersebut. Peneliti ingin meningkatkan nilai guna dari biji besi yang berasal dari hematit (Fe_2O_3) dan mangan oksida (MnO).

Hematit (Fe_2O_3) dapat ditemukan di alam. Bahan ini seperti bijih besi yang merupakan salah satu mineral dapat dengan mudah ditemukan di alam. Sekitar 5% dari kerak bumi dibentuk oleh biji besi. Bijih dikelompokkan menjadi beberapa jenis oksida besi. Mereka hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4), goethite (FeOOH), limonit ($\text{FeOOH}_n\text{H}_2\text{O}$) dan siderite (FeCO_3). Biji besi ini telah melalui proses kalsinasi hingga suhu 800°C telah menjadi hematit disemua fase (Hayati, dkk. 2019). Dikarenakan selama ini Indonesia hanya menggunakan bahan baku, tetapi belum mendapatkan manfaat yang optimal. Padahal, hematit merupakan salah

satu jenis oksida besi yang sangat bermanfaat bagi masyarakat atau industri. hematit merupakan komponen utama untuk sel surya fotoelektrokimia, sensor gas aseton, sebagai katalisator dalam produksi minyak, dan pigmen pada industri seperti industri pewarna pada cat, keramik, kaca, tekstil, plastik dan pelapis (Septiana, dkk. 2013). Selain itu bahan hematit ini memiliki kelebihan yaitu lebih ramah lingkungan, stabilitas kimia, daya tahan lama baik.(Cheng, dkk.2017).

Tidak hanya hematit yang dapat ditemukan dialam tetapi MnO juga dapat ditemukan. Mangan oksida adalah senyawa anorganik dengan rumus kimia MnO. Ini membentuk kristal hijau. Senyawa ini diproduksi dalam skala besar sebagai komponen pupuk dan zat tambahan makanan. Seperti banyak monoksida, MnO mengadopsi struktur garam batu, di mana kation dan anion keduanya terkoordinasi secara oktahedral. Juga seperti banyak oksida, mangan (II) oksida sering non stoikiometrik : komposisinya dapat bervariasi dari MnO hingga MnO₂. Selain itu (MnO) memiliki keunggulan yaitu melindungi logam dari perkaratan, serta sebagai pelapis logam.

Rendahnya pemanfaatan MnO dan Fe₂O₃ mendorong peneliti untuk meningkatkan daya guna dari kedua bahan tersebut. Upaya yang dilakukan peneliti yaitu dengan menggabungkan bahan MnO dan Fe₂O₃ menjadi nanokomposit. Nanokomposit merupakan gabungan dua bahan atau lebih yang terdiri dari Matriks dan Penguat yang berukuran 1,0 x 10⁻⁹ m. (Muhajir, dkk. 2016). Dalam penelitian ini MnO-Fe₂O₃ berperan sebagai fiiler atau pengisi sedangkan Polistiren (PS) sebagai matriks (penguat).

Penelitian terhadap nanokomposit terus berkembang seiring dengan perkembangan IPTEK. Salah satu perkembangannya nanokomposit dapat dibuat

fotokatalis. Menurut Kaltsum (2017) Fotokatalis merupakan salah satu metode untuk mereduksi bahan polutan cair yang memanfaatkan sinar ultraviolet (UV), untuk menghasilkan spesi pengoksidasi dan pereduksi pada permukaan katalis. Katalis adalah suatu zat yang mempengaruhi proses laju reaksi tanpa ikut berubah secara kimia. Katalis dapat mempercepat fotoreaksi melalui interaksinya dengan substrat baik keadaan dasar maupun tereksitasi atau dengan fotoproduk utamanya, tergantung pada mekanisme fotoreaksi tersebut (Jumari, dkk. 2013).

Dalam fotokatalis diperlukan pelapis. Pelapis yang memiliki sifat fotokatalis dari partikel semikonduktor menjadi tren penelitian saat ini. Pelapis ini mampu mendegradasi kotoran/ limbah secara cepat dengan memanfaatkan cahaya matahari. Bahan yang dilapisi dengan material fotokatalis ini dikatakan memiliki sifat mampu membersihkan diri sendiri (*self cleaning*). Bahan pelapis ini dapat berupa TiO_2 , Fe_2O_3 , ZnO , WO_3 , dan CdS , ZnS , CuS , FeS (Wicaksono, 2013). Namun dalam penelitian ini peneliti menggunakan Fe_2O_3 karena bahan semikonduktor ini memiliki kemampuan fotokatalis sehingga dapat mempercepat reaksi oksidasi yang diinduksi oleh cahaya. Kemampuan ini dipunyai Fe_2O_3 karena band gapnya sebesar 2.2 eV yang memudahkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Saat sekarang bijih besi (Fe_2O_3) terus dikembangkan agar dengan jumlah yang banyak ini bisa di manfaatkan dengan sebaik mungkin, sementara mangan oksida (MnO) banyak dimanfaatkan untuk melapisi logam selain untuk melindungi dari perkaratan, selain itu juga memiliki sifat yang keras dapat digunakan untuk penguat logam lainya (Ningsih, dkk. 2019). Pada proses fotokatalis $\text{MnO-Fe}_2\text{O}_3$ sangat diperlukan dalam pengotor (dopan), pengotor yang digunakan adalah polistiren agar energi unsur yang ada pada pita valensi bisa

terekstasi ke pita konduksi sehingga MnO memiliki kemurnian dan kualitas menjadi lebih baik. Bahan pengemban atau doping yang ditambahkan ke dalam sistem katalis dibagi menjadi 2 jenis, yaitu dopan non-logam dan logam. Oksida logam transisi, misalnya Fe_2O_3 dengan $E_g = 2.2 \text{ eV}$ (Wu et al, 2012).

Dalam penelitian ini menggunakan temperatur sintering. Seperti yang diketahui bahwa sintering merupakan proses pemadatan dari sekumpulan serbuk atau dapat berupa lapisan pada suhu tinggi di bawah titik leburnya hingga terjadi perubahan struktur mikro yaitu pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butir, penyusutan, dan peningkatan densitas. Adanya perlakuan panas menyebabkan terjadinya ikatan antar partikel serbuk dan meningkatkan kekuatan dari produk yang dihasilkan (Darvina,dkk. 2019). Dari penjelasan diatas, temperatur sintering sangat berpengaruh dalam penelitian ini, dikarenakan adanya proses pemadatan dimana bahan MnO dan Fe_2O_3 yang awalnya dalam bentuk serbuk dibuat menjadi lapisan nanokomposit MnO- Fe_2O_3 /PS selain itu juga berpengaruh terhadap menentukan ukuran kristal, pertumbuhan butir,serta ikatan antar partikel. Temperatur sintering yang digunakan 60°C , 100°C , 200°C , 300°C , dan 400°C . Alasannya karena untuk melihat struktur mikro terjadi pada lapisan nanokomposit MnO- Fe_2O_3 . Selain itu juga mengambil beberapa temperatur pada penelitian sebelumnya dan menguji coba sendiri dengan melihat titik lebur dan titik leleh dari masing-masing bahan yang digunakan dalam pembuatan lapisan tersebut sampai mendapatkan data yang diinginkan.

Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sudah ada yang membahas tentang MnO dan Fe_2O_3 sebagai fotokatalis namun belum pernah mengkaji pengaplikasian sebagai *self cleaning* dari bahan yang telah diteliti tersebut, ada

juga yang sudah melakukan penelitian tentang *self cleaning* namun belum mengkaji bagaimana pengaruh sifat fotokatalisnya, untuk itu peneliti mengembangkan penelitian ini lebih lanjut yaitu untuk itu upaya yang dilakukan peneliti untuk mengembangkan mangan oksida dan bijih besi dijadikan dalam bentuk nanokomposit dengan bahan pengotor polistiren (PS) yaitu menjadi MnO-Fe₂O₃/PS, Setelah terbentuknya nanokomposit dari beberapa gabungan unsur ini akan menjadi lebih baik, komposit yang digunakan sebagai bagian dari proses fotokatalis yang memiliki sifat sebagai bahan *self cleaning*.

Kemampuan permukaan *self cleaning* secara luas digunakan sebagai lapisan permukaan seperti kaca, bangunan, tekstil, keramik, dan sebagainya. Mekanisme ini disebut *self cleaning*. Mekanisme pembersihan diri permukaan substrat hidrofobik didasarkan pada efek daun teratai. Permukaan substrat dengan teratai efek daun membuat kotoran terakumulasi pada permukaan substrat jatuh karena repulsi air.

Banyak metode yang dapat digunakan untuk pada fotokatalis, yaitu melalui rekayasa struktur mikro atau nano pada suatu substrat atau dengan modifikasi struktur permukaan dengan material yang memiliki energi permukaan rendah. Banyak metode yang digunakan untuk tujuan ini, seperti reaksi elektrokimia, pemisahan fasa, *spin coating*, *dip coating*, *sol-gel*, kopresipitasi dan pengisian partikel (Setiawati, dkk. 2019). Metode yang digunakan untuk membuat lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS adalah *spin-coating*. Metode *spin-coating* relatif mudah menggunakannya, lapisan yang dibuat homogen, dan tidak terlalu mahal.

Berdasarkan permasalahan diatas, maka peneliti tertarik melakukan penelitian ini dengan mengembangkan mangan oksida (MnO) dan hematit (Fe₂O₃) menjadi

komposit dengan bantuan polistiren (PS) yaitu MnO-Fe₂O₃/PS. Nanokomposit dari senyawa ini diharapkan memiliki aktivitas fotokatalis gabungan yang lebih bagus dibandingkan dengan sendiri-sendiri. Selain itu, nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS dapat memiliki sifat *self cleaning* (membersihkan diri).

B. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, maka perlu dilakukan pembatasan masalah dalam penelitian ini. Batasan permasalahan dalam penelitian ini adalah variasi temperatur sintering dari lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS. variasi temperatur yang di variasikan yaitu 60⁰C, 100⁰C, 200⁰C, 300⁰C, 400⁰C. Alasannya karena mengkaji pada penelitian sebelumnya serta melihat berdasarkan titik didih dan titik lebur dari bahan yang digunakan dalam membuat lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu: Bagaimana pengaruh temperatur sintering terhadap sifat fotokatalis lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS untuk aplikasi *self cleaning*, serta sifat lain seperti ukuran kristal, gugus fungsi dan ukuran butir?.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menyelidiki pengaruh temperatur sintering terhadap sifat fotokatalis lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS untuk aplikasi *self cleaning*, serta ukuran kristal, gugus fungsi, ukuran butir dari lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Bagi Peneliti, sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Studi Fisika S1 dan pengembangan diri dalam bidang kajian Fisika.
2. Kelompok kajian Fisika Material dan Biofisika dapat memberikan ilmu pengetahuan tentang sifat fotokatalis lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS untuk aplikasi *self cleaning*.
3. Peneliti lain, sebagai referensi dalam pengembangan penelitian fotokatalis

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Mangan Oksida

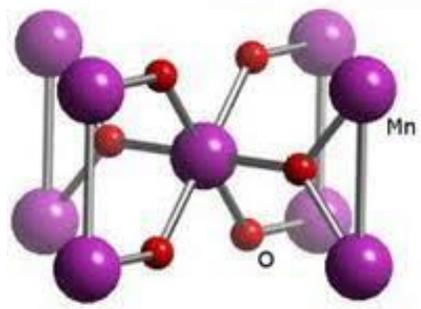
Menurut Mahmodi (2015) Mangan adalah logam berat dan sangat rapuh tetapi mudah teroksidasi. Logam dan ion mangan bersifat paramagnetic. Hal ini dapat dilihat dari orbital yang terisi penuh pada konfigurasi electron. Mangan mempunyai isotop stabil yaitu ^{55}Mn . Mangan yang digunakan pada penelitian ini berbentuk bijih. Bijih mangan berwarna hitam kelabu, seperti besi.

Tabel 1. Sifat fisik mangan

Sifat fisik	Deskripsi
Warna	Abu-abu
Massa Jenis	$7,21 \text{ g/cm}^3$
Titik Lebur	1519°C
Titik Didih	2061°C
Kapasitas kalor	$26,32 \text{ J/mol.K}$

(Sumber: Fahim dkk, 2013)

Mangan oksida adalah senyawa anorganik dengan rumus kimia MnO . Ini membentuk kristal hijau. Senyawa ini diproduksi dalam skala besar sebagai komponen pupuk dan zat tambahan makanan. Seperti banyak monoksida, MnO mengadopsi struktur garam batu, di mana kation dan anion keduanya terkoordinasi secara oktahedral. Juga seperti banyak oksida, mangan (II) oksida sering non stoikiometrik : komposisinya dapat bervariasi dari MnO hingga MnO_2 (Rekha,dkk. 2010)



Gambar 1. Struktur Kimia MnO
(Sumber : Mahmoodi,dkk., 2015)

Bijih mangan merupakan salah satu unsur yang terdapat di kerak bumi. Bijih mangan di Indonesia ditemukan pertama kali 1854 di daerah Karangnunggal, Tasikmalaya Jawa barat (Stiadi, 2013). Endapan bijih mangan dapat terbentuk dengan berbagai cara yaitu karena proses hidrotermal yang dijumpai dalam bentuk vein, metamorfik, sedimenter, ataupun residu. Endapan mangan sedimenter merupakan endapan mangan yang dijumpai dan mempunyai nilai ekonomis. Warna bijih mangan menurut Stiadi (2019) menunjukkan bahwa warnanya bervariasi sesuai dengan jenis masing-masingnya.



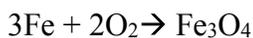
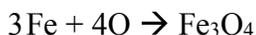
Gambar 2 Biji Mangan
(Sumber : Dokumentasi Penulis)

B. Fe₂O₃ (hematit)

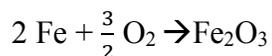
Biji besi terdiri atas oksigen dan atom besi yang berikatan bersama dalam molekul. Besi sendiri biasanya didapatkan dalam bentuk magnetit (Fe₃O₄), hematit (Fe₂O₃), goethit, limonit atau siderit. Bijih besi biasanya kaya akan besi oksida dan beragam dalam hal warna, dari kelabu tua, kuning muda, ungu tua, hingga merah karat. Saat ini, cadangan biji besi tampak banyak, namun seiring dengan bertambahnya penggunaan besi secara eksponensial berkelanjutan, cadangan ini mulai berkurang, karena jumlahnya tetap. Sebagai contoh, Lester Brown dari Worldwatch Institute telah memperkirakan bahwa bijih besi bisa habis dalam waktu 64 tahun berdasarkan pada ekstrapolasi konservatif dari 2% pertumbuhan per tahun (Septiana, dkk. 2013).

Biji besi di alam berbentuk magnetit (Fe₃O₄) dan hematit (Fe₂O₃). Reaksi kimia pembentukan bijih besi adalah sebagai berikut :

a. Magnetit(Fe₃O₄)



b. Hematit (Fe₂O₃)



Biji besi dalam bentuk hematit (Fe₂O₃) memiliki keunggulan diantaranya lebih ramah lingkungan, stabilitas kimia, kekuatan tinggi dalam pewarnaan, daya penutup dan tahan lama (daya tahan) baik (Cheng, dkk. 2017). Sifat fisik

hematite Fe_2O_3 dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Sifat fisik hematit

Sifat fisik	Deskripsi
Densitas	5,26 g/cm ³
Titik Leleh	1350°C
Sistem kristal	Rhombohedral, Hexagonal
Kemagnetan	Feromagnetik atau anti feromagnetik

(Sumber: Cornell dan Schwetmann.2003)

C. Fotokatalis

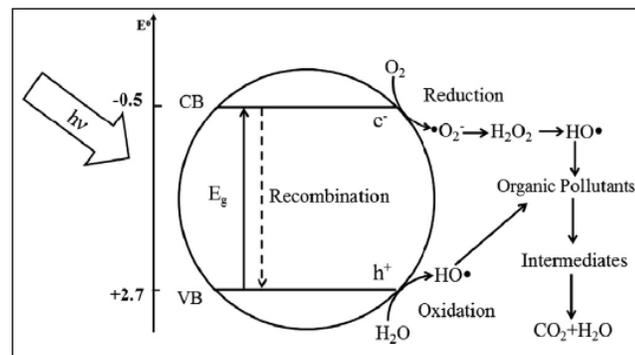
Fotokatalis diartikan sebagai proses transformasi kimia dengan adanya katalis dan bantuan cahaya. Pada proses ini cahaya berperan sebagai pemicu dan katalis sebagai pemercepat proses transformasi kimiawi tersebut. Pada fotokatalis, katalis haruslah memiliki kemampuan dalam menyerap energi foton. Keterserapan katalis yang dimanfaatkan dalam proses fotokatalis dimiliki oleh bahan semikonduktor (Sari, 2019).

Penggunaan bahan semikonduktor sebagai katalis pada proses fotokatalis memiliki beberapa manfaat diantaranya adalah dapat melakukan mineralisasi total terhadap polutan organik, biayanya murah, prosesnya relatif cepat, tidak beracun dan punya kemampuan penggunaan jangka panjang dan mampu mendegradasi sejumlah polutan .

Menurut Mukhidin (2013) Pada bahan semikonduktor terdapat istilah pita konduksi dan pita valensi. Pita konduksi dan pita valensi memiliki peranan penting dalam proses fotokatalis semikonduktor. Jarak antara pita

konduksi dan pita valensi ini dinamakan celah pita (bandgap). energi celah pita semikonduktor yang baik berada pada kisaran (0.5eV-3 eV). Jika jarak celah pita dari suatu senyawa atau unsur semakin besar efek fotokatalis semakin berkurang dan elektron akan semakin sulit untuk tereksitasi. Sulitnya elektron untuk tereksitasi ini disebabkan karena energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron tersebut semakin besar.

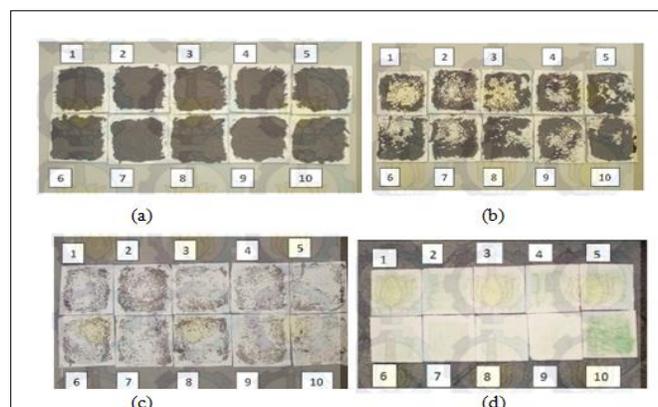
Suatu semikonduktor dapat mengalami proses fotoeksitasi apabila menyerap energi yang sesuai atau lebih besar dari energi celah pita. Saat proses eksitasi berlangsung terjadi transfer elektron dari pita valensi menuju ke pita konduksi. Hole positif akan terbentuk pada pita valensi yang ditinggalkan elektron. Sehingga pada proses fotoeksitasi dihasilkan elektron pada pita konduksi dan *hole* pada pita valensi. Pasangan elektron-*hole* sebagian besarnya akan berekombinasi kembali, sebagian yang lain dari dapat bertahan sampai di permukaan semikonduktor dan mengalami reaksi redoks terhadap molekul yang teradsorpsi pada permukaan fotokatalis. Hole dapat menginisiasi reaksi oksidasi dan elektron akan menginisiasi reaksi reduksi zat kimia yang ada disekitar permukaan semikonduktor yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Skema aktivitas fotokatalis

(Setiawati,dkk. 2019)

Aktivitas fotokatalisis semikonduktor dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor yang menentukan aktivitas fotokatalis adalah morfologi permukaan, luas permukaan, fasa kristal, kristalinitas dan ukuran kristal terutama dalam skala nano. Sifat fotokatalis dan material nano yang telah diteliti diantaranya dari partikel nano semikonduktor berupa TiO_2 (Setiawati, 2019) dengan dispersan polietilen glikol (PEG) 6000 sebagai pelapis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama penyinaran berpengaruh terhadap kemampuan mendegradasi kotoran. Pada Gambar 4 dapat dilihat perbedaan sampel sebelum dijemur dan setelah dijemur.



Gambar 4. Sampel percobaan fotokatalis (a), Sampel yang telah dijemur selama 10 jam (b), 20 jam (c), 40 jam (d) (Setiawati,2019).

Gambar 4 dapat diamati kemampuan fotokatalis semikonduktor seperti TiO₂ dalam mendegradasi kotoran dengan memanfaatkan cahaya matahari. Semakin lama penyinaran maka semakin bersih permukaan sampel uji. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama penyinaran aktifitas fotokatalis material semakin meningkat akibat setiap partikel semikonduktor yang berada pada material sample bekerja optimal dalam mendekomposisi kotoran.

Tidak hanya kotoran sampel kering yang dapat didegradasi oleh partikel semikonduktor, namun proses degradasi polutan (kotoran) pada media berair juga dapat didegradasi oleh partikel semikonduktor.

D. Sifat Fotokatalis

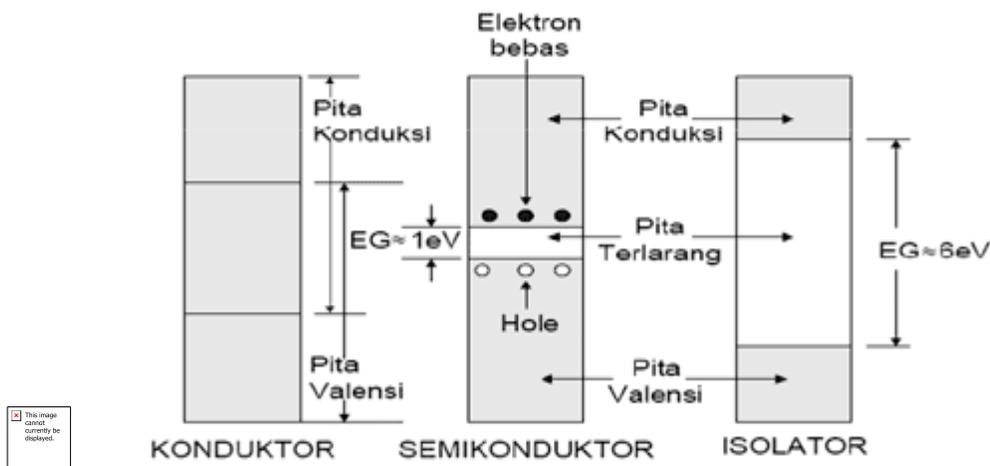
Sifat fotokatalis merupakan ciri khas yang menandakan adanya fotokatalis.

Sifat fotokatalis terdiri dari 2 yaitu fotodegradasi dan katalis.

1. Fotodegradasi

Fotodegradasi adalah suatu proses penguraian suatu senyawa (biasanya senyawa organik) dengan bantuan energi foton. Proses fotodegradasi memerlukan suatu fotokatalis yang umumnya merupakan bahan semikonduktor. Prinsipnya adalah loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada logam semikonduktor jika dikenai suatu energi foton. Loncatan elektron ini menyebabkan timbulnya hole (lubang elektron) yang dapat berinteraksi dengan pelarut air membentuk radikal. Semikonduktor Berdasarkan pita energinya zat padat dikelompokkan menjadi tiga macam, (Untari, 1996).

Konduktor memiliki struktur yang tidak terdapat celah antara pita valensi dan pita konduksi. Semikonduktor, memiliki pita valensi yang terisi penuh dengan celah energi yang sempit sehingga elektron cepat berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi yang kosong. Isolator, memiliki pita valensi terisi penuh dengan celah energy yang besar sehingga dibutuhkan energi yang besar untuk elektron berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi yang kosong, Gambar 6 bentuk pita energy.



Gambar 5. Jenis zat padat berdasarkan pita energi

2. Katalis

Katalis adalah suatu senyawa kimia yang menyebabkan reaksi menjadi lebih cepat untuk mencapai kesetimbangan tanpa mengalami perubahan kimiawi diakhir reaksi. Katalis tidak mengubah nilai kesetimbangan dan berperan dalam menurunkan energi aktivasi. Secara umum katalis mempunyai 2 fungsi yaitu mempercepat reaksi menuju kesetimbangan a dan meningkatkan hasil reaksi yang dikehendaki. Katalis sebagai suatu substansi kimia mampu mempercepat laju reaksi kimia yang secara termodinamika dapat berlangsung. Hal ini disebabkan karena kemampuannya

mengadakan interaksi dengan paling sedikit satu molekul reaktan untuk menghasilkan senyawa antara yang lebih aktif. Katalis yang digunakan biasanya bahan berupa semikonduktor. Katalis semikonduktor terdiri dari TiO_2 , Fe_2O_3 , ZnO , WO_3 , dan CdS , ZnS , CuS , FeS (Wicaksono, 2013).

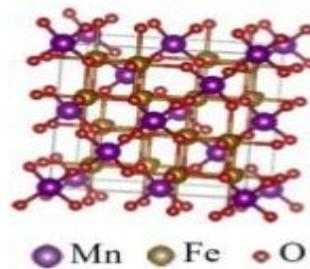
Dalam penelitian ini katalis yang digunakan yaitu Fe_2O_3 dikarenakan bahan ini termasuk kedalam katalis semikonduktor, yang memiliki energi band gap sekitar 2.2 eV yang mampu mempercepat eksitasi elektron. Selain itu Fe_2O_3 lebih ramah lingkungan, stabilitas kimia, kekuatan tinggi dalam pewarnaan, daya penutup dan tahan lama (daya tahan) baik (Cheng, dkk. 2017).

E. Nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS

Nanokomposit terdiri dari dua kata yaitu nano dan komposit. Nano artinya bahan yang berukuran $1,0 \times 10^{-9}$ m. Sedangkan komposit adalah gabungan dua bahan atau lebih yang terdiri dari matriks dan penguat. Dalam penelitian ini menggunakan MnO-Fe₂O₃/ PS dimana MnO-Fe₂O₃ berperan sebagai penguat dan polistiren (PS) sebagai matriks, dimana matriks adalah bahan pengikat pada komposit. Penguat adalah bahan yang bertindak sebagai pengisi dalam komposit. Nanokomposit adalah gabungan dua bahan atau lebih yang terdiri dari matriks dan penguat yang berukuran $1,0 \times 10^{-9}$ m yang disusun berulang-ulang dengan berbagai bentuk komplier. (Sriyanti, 2014).

Dalam penelitian ini MnO-Fe₂O₃ digabungkan menjadi satu dalam pembuatan lapisan nanokomposit, dimana apabila senyawa MnO dan Fe₂O₃ digabungkan maka membentuk senyawa mangan ferit. Mangan ferit merupakan salah satu senyawa spinel ferit dimana memiliki sifat mekanik

yang kuat dan (Senida, 2019). Mangan ferit mempunyai sifat mekanik yang kuat dan tidak mudah terkorosi dengan tingkat kestabilan terhadap pengaruh medan luar. Berikut merupakan struktur mangan ferit berbentuk kubik terlihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Struktur mangan ferit
(Senida, 2019)

F. Polistiren (PS)

Polistiren adalah sebuah polimer dengan monomer stirena, sebuah hidrokarbon cair yang dibuat secara komersial dari minyak bumi. Polistiren memiliki titik lebur yang digunakan pada polistiren dalam penelitian ini yaitu 0.5 gram hal sesuai pada penelitian Farha (2020) berada sekitar 413.5 °C

Tabel 3. Komposisi polistiren

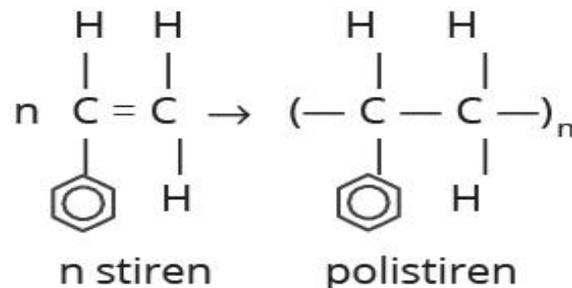
Sample	T ₅₀ °C	T ₁₀₀ °C	T _P °C	T _m °C
PS-0	401	440	403.3	412.3
PS-0.5	409.3	441	410.8	413.5
PS-0.7	409	445	410.7	413.5
PS-1.0	412	451	413.2	414.4
PS-3.0	405.5	445	408.3	412.8

(Farha,dkk 2020)

Pada suhu ruangan, polistiren bersifat termoplastik padat, dapat mencair pada suhu yang lebih tinggi. Polistiren adalah molekul yang memiliki berat molekul ringan, terbentuk dari monomer stirena yang berbau harum. Polistirena

merupakan polimer hidrokarbon paraffin yang terbentuk dengan cara reaksi polimerisasi (Kemala,dkk. 2010).

Polistiren merupakan salah satu polimer yang ditemukan pada sekitar tahun 1930, dibuat melalui proses polimerisasi adisi dengan cara suspensi. Stiren dapat diperoleh dari sumber alam yaitu petroleum. Stiren merupakan cairan yang tidak berwarna menyerupai minyak dengan bau seperti benzena dan memiliki rumus kimia $C_6H_5CH=CH_2$ atau ditulis sebagai C_8H_8 . Berikut adalah struktur dari polistiren ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 7 Struktur Polistiren
(Sumber : Putri, 2018)

Polistiren padat murni adalah sebuah plastik tak berwarna, keras dengan fleksibilitas yang terbatas yang dapat dibentuk menjadi berbagai macam produk dengan detail yang bagus. Penambahan karet pada saat polimerisasi dapat meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan kejut. Polistiren jenis ini dikenal dengan nama High Impact Polystyrene (HIPS). Polistiren murni yang transparan bisa dibuat menjadi beraneka warna melalui proses *compounding*. Polistiren banyak dipakai dalam produk-produk elektronik sebagai casing, kabinet dan komponen-komponen lainnya. Polistiren dapat ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 8 Polistiren
(Sumber : Dokumentasi penulis)

G. Self Cleaning

Self cleaning adalah kemampuan suatu material untuk tetap menjadi bersih. *Self cleaning* merupakan suatu metode yang memanfaatkan efek fotokatalis maupun efek lotus yang dihasilkan dari senyawa kimia tertentu sehingga mampu membersihkan substrat dari kontaminan. Terdapat dua mekanisme *self cleaning* yang didasarkan pada gaya aksi terhadap air pada suatu bahan yang membuat permukaan material tersebut bersifat superhidrofilik dan superhidrofobik. Mekanisme ini melibatkan efek fotokatalis sehingga aktivitasnya memerlukan paparan sinar matahari atau sinar UV untuk mendegradasi kontaminan, (Li dkk, 2013). Kelebihan dari mekanisme ini yaitu tidak membutuhkan adanya air pada permukaan karena mekanisme ini memanfaatkan sinar matahari untuk proses degradasinya, fenomena *self cleaning* dapat diamati pada kemampuan daun lotus dalam membersihkan diri dari kotoran dan debu. Teknologi *self cleaning* banyak dimanfaatkan sebagai pelapis permukaan seperti kaca, bangunan, tekstil, keramik, dan sebagainya. Teknologi *self cleaning* mempermudah perawatan sehingga biayanya jadi lebih murah. Material *self-cleaning* merupakan material yang memiliki daya membersihkan diri sendiri. Pengembangan material *self-cleaning*

dalam dunia tekstil ditandai dengan adanya pakaian/baju steril. Material *self-cleaning* di bidang industri kini dikembangkan dalam produk cat. Dinding dengan lapisan cat *self cleaning* membuat kotoran tidak akan menempel di permukaan dinding. Dalam penelitian ini self cleaning dimanfaatkan sebagai mendegradasi lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS menggunakan metilen orange. Selain aplikasi tersebut *self cleaning* dapat diaplikasikan juga pada pembuatan cat akrilik, serta berperan dalam bahan pelapis genteng terbuat dari tanah liat (Rahayu,2020).

H. Parameter fotokatalis

Ada beberapa parameter fotokatalis yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

1) pH

Ukuran partikel katalis sangat dipengaruhi oleh pH. Semakin asam atau basa suatu limbah maka ukuran katalis akan semakin kecil, sehingga luas permukaannya semakin besar. Dalam keadaan asam maka permukaan katalis akan bermuatan positif, sehingga daya tolak antar partikel katalis akan semakin besar yang menyebabkan katalis akan terdistribusi merata diseluruh spesi cairan. Begitu pula sebaiknya dalam keadaan basa (Sari, dkk.2019)

2) Berat katalis

Berat katalis dipengaruhi oleh laju reaksi awal, baik dalam keadaan statis ataupun dalam aliran dinamis pada fotokatalis. Semakin tinggi berat katalis yang digunakan maka laju reaksi awalnya menjadi lebih besar sampai pada berat tertentu laju reaksi awalnya menjadi konstan (Mahmoodi,2015).

3) Temperatur

Temperatur yang digunakan dalam penelitian ini yaitu temperatur sintering.

Temperatur sintering berpengaruh pada fotokatalis yaitu berperan dalam mendegradasi lapisan nanokomposit, dimana semakin tinggi temperatur sintering maka semakin cepat penguraian. Serta diperkuat oleh penelitian Pradana (2017) mengatakan bahwa semakin tinggi temperatur sintering menyebabkan lapisan mengalami penipisan sehingga absorbansi (penyerapan) meningkat dan mudah terdegradasi.

I. Karakterisasi Sifat Fotokatalis

1. Spektrofotometer Uv-Vis

Spektrofotometer sinar tampak dan ultraviolet (Uv-Vis) merupakan suatu alat yang melibatkan spektra energi dan spektrofotometri. Spektrofotometri Sinar Tampak (Uv-Vis) adalah pengukuran energi cahaya oleh suatu sistem kimia pada panjang gelombang tertentu (Day and Underwood, 2002). Sinar ultraviolet (Uv) mempunyai panjang gelombang antara 180-380 nm, dan sinar tampak (visible) mempunyai panjang gelombang 380-780 nm. Pengukuran menggunakan spektrofotometer melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometer Uv-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif dibandingkan kualitatif. Konsentrasi dari analisis di dalam larutan sampel bisa ditentukan dengan mengukur absorbansi sinar oleh sampel pada panjang gelombang tertentu dengan menggunakan hukum Lambert-Beer (Rohman, 2007). Hukum Lambert-Beer menyatakan hubungan linieritas antara absorbansi dengan konsentrasi larutan analit dan berbanding terbalik dengan transmittan. Dalam hukum Lambert-Beer terdapat beberapa batasan, yaitu:

- a. Sinar yang digunakan dianggap monokromatis.

- b. Penyerapan terjadi dalam suatu volume yang penampang sama
- c. Senyawa yang menyerap dalam larutan tidak tergantung larutan lain
- d. Tidak terjadi fluoresensi atau fosforisensi.
- e. Indeks bias tidak tergantung pada konsentrasi larutan.

Hukum Lambert-Beer dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$A = E \cdot b \cdot c \quad (\text{Efendi, dkk. 2014})$$

dimana: A = absorbansi

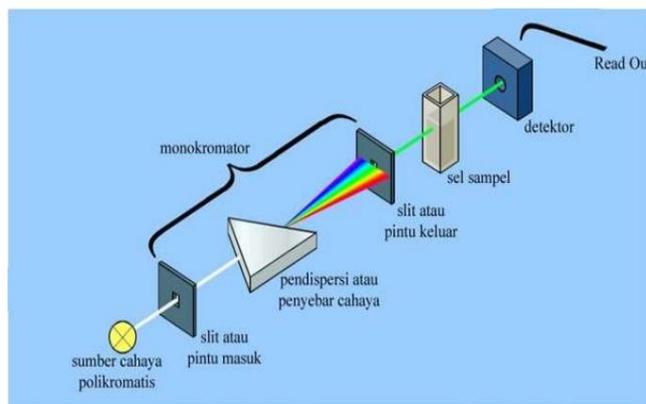
E = absorptivitas molar

b = tebal kuvet (cm)

c = konsentrasi

Adapun prinsip kerja spektrofotometer Uv-Vis yaitu cahaya lampu yang bersifat polikromatis teruskan melalui lensa deuterium menuju ke monokromator pada spektrofotometer dan filter cahaya pada fotometer. Monokromator kemudian akan mengubah cahaya polikromatis menjadi cahaya monokromatis (tunggal). Berkas-berkas cahaya dengan panjang tertentu kemudian akan dilewatkan pada sampel yang mengandung suatu zat dalam konsentrasi tertentu. Oleh karena itu, terdapat cahaya yang diserap (diabsorpsi) dan ada pula yang dilewatkan. Cahaya yang dilewatkan ini kemudian diterima oleh detektor. Detektor kemudian akan menghitung cahaya yang diterima dan mengetahui cahaya yang diserap oleh sampel. Cahaya yang diserap sebanding dengan konsentrasi zat yang terkandung dalam sampel sehingga akan diketahui konsentrasi zat dalam sampel secara kuantitatif dengan membandingkan

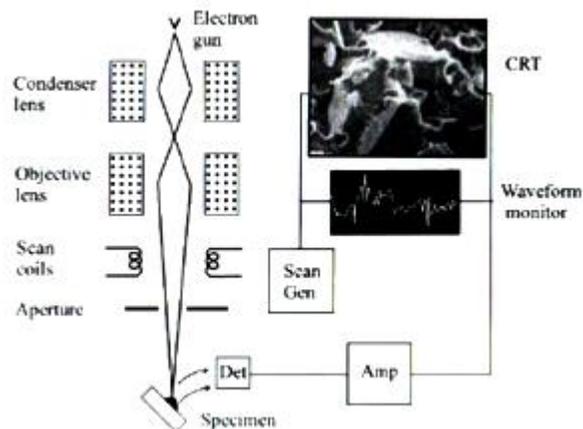
absorbansi sampel dan kurva standar. Skema kerja dari spektrofotometer Uv-Vis ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 9 Skema Kerja Spektrofotometer Uv-Vis
(Efendi, 2014)

2. Scanning Elektrone Microscope (SEM)

Mikroskop pemindai elektron (SEM) digunakan untuk mempelajari secara detail bentuk permukaan sel (atau struktur jasad renik lainnya), dan obyek diamati secara tiga dimensi (Vilas.Mendez, 2007). Cara terbentuknya gambar pada SEM berdasarkan deteksi elektron baru (elektron sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut dipindai dengan sinar electron. Seperangkat SEM seperti yang terlihat pada Gambar 11.



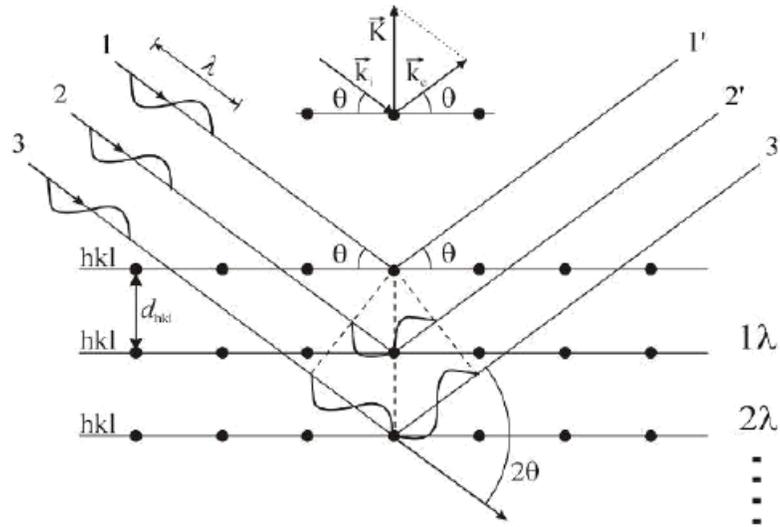
Gambar 10. Skematis komponen-komponen utama dari SEM
(Putri, 2018)

Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi sinyalnya diperkuat, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (cathode ray tube). Di layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pada proses operasinya, SEM tidak memerlukan sampel yang ditipiskan, sehingga bisa digunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang 3 dimensi (Goodhew. Peter J, 2004).

3. X-ray Diffraction (XRD)

Sinar X merupakan gelombang elektromagnetik yang dapat digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan fasa suatu material. Bila sinar X dengan panjang gelombang λ diarahkan kesuatu permukaan kristal dengan sudut datang, maka sebagian sinar dihamburkan oleh bidang atom dalam kristal. Berkas sinar X yang dihamburkan dalam arah-arrah tertentu akan menghasilkan puncak-puncak difraksi yang dapat diamati dengan peralatan XRD (*X-Ray Diffraction*) (Cullity, 1978). Fenomena interaksi dan difraksi sudah dikenal pada ilmu optik. Standart pengujian laboratorium fisika adalah untuk menentukan jarak antara

dua gelombang dengan mengetahui panjang gelombang sinar, dengan mengukur sudut berkas sinar yang terdifraksi. Pengujian ini merupakan aplikasi langsung dari pemakaian sinar-X untuk menentukan jarak antar atom dalam kristal.



Gambar 11 Diffraksi bragg (Culity,1956)

Gambar 12. suatu berkas sinar X dengan panjang gelombang λ , jatuh pada sudut θ pada sekumpulan bidang atom berjarak d . Sinar yang dipantulkan dengan sudut θ hanya dapat terlihat jika berkas dari setiap bidang yang berdekatan dan menempuhkan jarak sesuai dengan perbedaan kisi yaitu sama dengan panjang gelombang $n \lambda$. Menurut syarat terjadinya difraksi, beda lintasan merupakan kelipatan bilangan bulat dari panjang, sehingga hal tersebut dirumuskan W.L.Brag

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (1)$$

dimana n adalah orde difraksi ($n = \text{bilangan bulat } 1, 2, 3, \dots$), λ merupakan

panjang gelombang sinar-X, d jarak antar bidang dan θ sudut difraksi .

Mengetahui fasa dan struktur material yang diamati dapat dilakukan dengan cara sederhana, yaitu dengan cara membandingkan nilai d yang terukur dengan nilai d pada data standart. Data d standart dapat diperoleh melalui *Joint Commitee On Powder Difrraction Standart* (JCPDS). Derajat kristalinitas yaitu besaran yang menyatakan banyaknya kandungan kristal dalam suatu material dengan membandingkan luasan kurva kristal dengan total luasan amorf dan kristalit. Derajat kristalinitas dihitung menggunakan parameter *Full Width at Half Maximum* (FWHM) hubungan antara ukuran kristal dengan lebar puncak difraksi sinar-X dapat diproksimasi dengan persamaan Debye-Scherrer berikut (Cullity, 1956):

$$D = K \frac{\lambda}{B \cos \theta_B} \quad (2)$$

Dimana D merupakan diameter rata-rata, K merupakan faktor keadaan, B merupakan perluasan *Full Width at Half Maximum* (FWHM) puncak difraksi yang dihitung dalam radian, dan λ merupakan panjang gelombang sinar-x dan θ merupakan sudut difraksi Bragg (Skoog, 1998).

4. *Fourier Transformed Infrared* (FTIR)

Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR) atau spektoskopi inframerah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75 - 1.000 μm atau pada Bilangan Gelombang 13.000 - 10 cm^{-1} . Radiasi elektromagnetik dikemukakan pertama kali oleh James Clark Maxwell, yang

menyatakan bahwa cahaya secara fisis merupakan gelombang elektromagnetik, artinya mempunyai vektor listrik dan vektor magnetik yang keduanya saling tegak lurus dengan arah rambatan.

Bila radiasi infra merah dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul molekulnya dapat menyerap (mengabsorpsi) energi terjadilah transisi antara tingkat vibrasi dasar (ground state) dan tingkat vibrasi tereksitasi (excitedstate). Pengabsorpsian energi pada berbagai frekuensi dapat dideteksi oleh spektrofotometer inframerah, yang akan memplot jumlah radiasi infra merah yang diteruskan melalui suatu cuplikan sebagai fungsi frekuensi (atau panjang gelombang) radiasi. Plot tersebut disebut spektrum infra merah yang akan memberikan informasi penting tentang gugus fungsional suatu molekul.

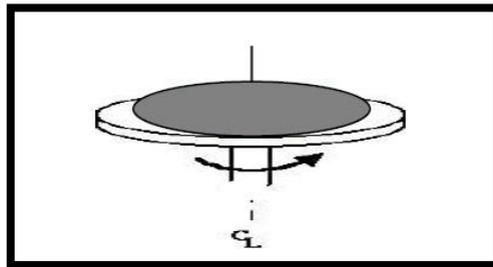
Vibrasi ulur dan tekuk adalah cam vibrasi yang dapat diekstitasi oleh sinardengan bilangan gelombang (jumlah gelombang per satuan panjang) dalam rentang 1200-4000 cm^{-1} . Sedangkan daerah antara 2000 - 400 cm^{-1} seringkali sangat rumit, lama vibrasi regangan maupun bengkokan mengakibatkan absorpsi pada daerah tersebut. Dalam daerah 2000 - 400 cm^{-1} tiap senqawa organik mempunyai absorpsi yang unik. FTIR yang digunakan Merk Shimadzu Type: IRPESTIGE 21 Seperti terlihat pada Gambar 13.



Gambar 12. Alat FTIR

J. Metode Spin Coating

Spin coating merupakan satu metode untuk mendeposisikan lapisan tipis dengan cara menyebarkan larutan keatas substrat terlebih dahulu kemudian substrat diputar dengan kecepatan konstan tertentu agar dapat diperoleh endapan lapisan di atas substrat atau metode percepatan larutan pada substrat yang diputar (Purwanto dan Prajitno, 2013). Gambar 13 merupakan metode dari *spin coating* :



Gambar 13 Metode *Spin Coating*

(Zulianingsih, 2012)

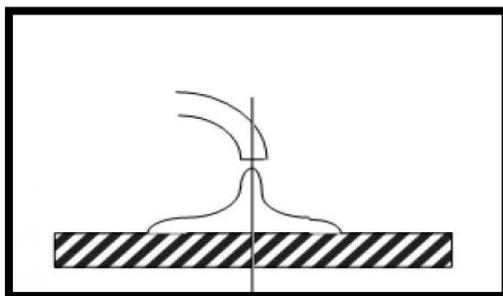
Prinsip kerja pembuatan lapisan tipis dengan metode spin coating adalah larutan dituangkan di atas gelas substrat yang diletakkan diatas spin coater dengan kecepatan tinggi (rpm) dalam waktu tertentu. Semakin cepat putaran akan diperoleh lapisan tipis yang semakin homogeny dan tipis.

Dengan spin coating dimungkinkan dapat diperoleh kualitas lapisan tipis yang semakin sempurna, (Purwanto and Prajitno, 2013).

Metode spin coating ini memuat empat tahapan dasar yaitu, tahapan penetesn cairan, tahapan percepatan spin coating, tahapan perataan, dan tahapan pengeringan.

1. Tahapan penetesn cairan (dispense)

Pada bagian ini cairan dideposisikan diatas permukaan substrat, kemudian diputar dengan kecepatan tinggi. Seperti Gambar 15.



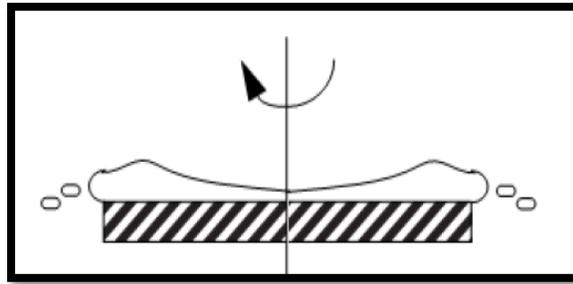
Gambar 14 Tahapan penetesn

(Zulianingsih, 2012)

Kemudian lapisan tipis yang telah dibuat akan dikeringkan sampai pelarut pada lapisan tersebut benar-benar sudah menguap. Proses ini dibagi menjadi dua macam yaitu : *Static dispense* : Proses disposisi sederhana yang dilakukan pada larutan diatas pusat substrat. *Dinamic dispense* : proses deposisi dengan kecepatan putar yang kecil kira-kira 500 rpm (Purwanto and Prajitno, 2013).

2. Tahapan percepatan *spin coating*

Setelah tahapan penetesn cairan, larutan dipercepat dengan kecepatan yang relative tinggi. Seperti Gambar 16.



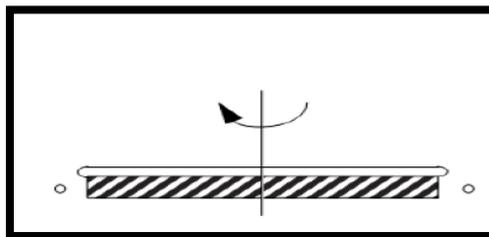
Gambar 15. Tahapan percepatan

(Zulianingsih, 2012)

Kecepatan yang digunakan pada substrat ini akan mengakibatkan adanya gaya sentrifugal dan turbulensi cairan. Kecepatan yang digunakan antara 1500-6000 rpm dan tergantung pada sifat cairan terhadap substrat yang digunakan. Waktu yang digunakan kira-kira 10 menit, (Purwanto and Prajitno, 2013).

3. Tahap perataan

Setelah melalui tahapan percepatan maka akan terjadi perataan larutan diatas substrat. Perataan ini agar lapisan tidak terjadi ketebalan pada salah satu bagiannya. Gambar 17 merupakan tahapan perataan :



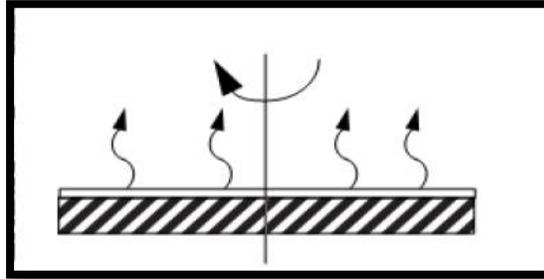
Gambar 16 Tahap Perataan

(Zulianingsih, 2012)

4. Tahapan pengeringan

Pada tahap ini terbentuk lapisan tipis murni dengan suatu ketebalan

tertentu. Seperti Gambar 18.



Gambar 17 Tahapan pengeringan
(Zulianingsih, 2012)

Tingkat ketebalan lapisan yang terbentuk bergantung pada tingkat kelembaban dasar substrat. Adanya kelembaban yang kecil menyebabkan kelebihan lapisan murni yang terbentuk akan menjadi semakin kecil (Purwanto and Prajitno, 2013).

K. Pengaruh Temperatur Sintering Lapisan Nanokomposit MnO-Fe₂O₃ Terhadap Sifat Fotokatalis

Sintering adalah proses pemadatan dari sekumpulan serbuk atau dapat berupa lapisan pada temperatur tinggi di bawah titik leburnya hingga terjadi perubahan struktur mikro seperti pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butir, penyusutan, dan peningkatan densitas. Adanya perlakuan panas menyebabkan terjadinya ikatan antar partikel pada lapisan dan meningkatkan kekuatan dari produk yang dihasilkan. Temperatur sintering biasanya diatur antara 0,7 dan 0,9 dari titik lebur bahan (absolute scale). Proses sintering akan berpengaruh cukup besar pada pembentukan fasa kristal bahan. fasa yang terbentuk umumnya bergantung pada waktu dan temperatur sintering. Semakin besar temperatur sintering dimungkinkan semakin cepat proses pembentukan kristal tersebut, sedangkan sintering yang cukup akan menyebabkan partikel halus menjadi lebih padat. Tinggi rendahnya temperatur juga berpengaruh pada bentuk serta

ukuran celah dan juga berpengaruh pada struktur pertumbuhan kristal (Darvina, 2019).

Pengaruh temperatur sintering terhadap sifat fotokatalis lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS untuk aplikasi self cleaning adalah berpengaruh dalam menentukan % degradasi dari lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS. % Degradasi yang besar membuat lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS dapat diaplikasikan sebagai self cleaning karena mampu menguraikan kotoran atau limbah *methyl orange* sehingga nantinya dapat membersihkan diri sendiri. Berdasarkan jurnal penelitian Akpan (2009) temperatur sintering juga berpengaruh terhadap sifat fotokatalis, berdasarkan jurnal yang diperoleh bahwa temperatur sintering mempengaruhi pergerakan aktivitas fotokatalis. Aktivitas dari fotokatalis membuat partikel-partikel dari lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS terangkat ini sehingga mampu terdegradasi (terurai) didalam larutan *methyl orange*. Hal ini diperkuat juga dalam penelitian Hayati (2019) yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin cepat penguraian. Serta diperkuat oleh penelitian Pradana (2017) mengatakan bahwa semakin tinggi temperatur menyebabkan lapisan mengalami penipisan sehingga absorbansi (penyerapan) meningkat dan mudah terdegradasi. Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa temperatur sintering telah berpengaruh dalam fotokatalis yaitu berperan dalam mendegradasi lapisan nanokomposit menggunakan *methyl orange*.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Pengaruh temperatur sintering terhadap sifat fotokatalis lapisan naokomposit MnO-Fe₂O₃/PS untuk aplikasi *self cleaning* yaitu berpengaruh untuk menentukan % degradasi lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS dari *metil orange*. Hasil penelitian fotokatalis menunjukkan lapisan MnO-Fe₂O₃ sudah bersifat *self cleaning* dikarenakan lapisan ini mampu terdegradasi dengan baik didalam larutan *methyl orange*, dengan % degradasi yang dihasilkan sebesar 65.86%. Untuk ukuran kristal ditentukan berkisar 21.84 nm, gugus fungsi yang dihasilkan C=C, C-H menunjukkan adanya polistiren serta MnO- Fe₂O₃ berada pada bilangan gelombang 924.39cm⁻¹ untuk ukuran butir berkisar 64.148 nm hal ini sudah membuktikan bahwa lapisan yang terbentuk sudah berbentuk nano yaitu berada pada ukuran (0- 100) nm.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran peneliti yaitu untuk memvariasikan waktu penyinaran fotokatalis, dikarenakan pada penelitian ini hanya menggunakan waktu penyinaran selama 4 jam, dikarenakan keterbatasan dalam membuat lapisan nanokomposit MnO-Fe₂O₃/PS. Jika semakin lama waktu penyinaran maka % degradasi yang dihasilkan juga semakin besar.

Daftar Pustaka

- Ahmed, K. A. M., Peng, H., Wu, K., & Huang, K. (2011). Hydrothermal preparation of nanostructured manganese oxides (MnOx) and their electrochemical and photocatalytic properties. *Chemical engineering journal*, 172(1), 531-539.
- Akpan, U. G., & Hameed, B. H. (2009). Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO₂-based photocatalysts: a review. *Journal of hazardous materials*, 170(2-3), 520-529.
- Andani, R. (2015). Pengaruh Doping MnO₂ Dan Temperatur Sintering Terhadap Sifat Ferroelektrik Dan Magnetik PbTiO₃ Dengan Metode Mechanical Alloying (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Cullity, B. D. 1956. *Elements of X-Ray Diffraction*. Canada: Addison Wesley Publishing Company Inc.
- Cheng, Y., Lu, S., Xu, W., & Tao, H. (2017). Fabrication of Cu–CuO–Fe₂O₃/Fe anti-sticky and superhydrophobic surfaces on an iron substrate with mechanical abrasion resistance and corrosion resistance. *New Journal of Chemistry*, 41(12), 5205-5214.
- Cornell, R.M, dan Udo Schwertmann. 2003. *The Iron oxide: structure, properties, reactions, occurrences, and uses*. 2nd completely rev. And extended ed ed Weinheim :Wiley-VCH.
- Dahlan, D. (2013). Analisis Sifat Hidrofobik Dan Sifat Optik Lapisan Tipis TiO₂. *Prosiding SEMIRATA 2013*, 1(1).
- Damiyanti, E., Sembiring, S., & Simanjuntak, W. (2013). Pengaruh Suhu Sintering terhadap Karakteristik Struktur dan Mikrostruktur Komposit MgO-SiO₂ Berbasis Silika Sekam Padi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 1(1).
- Darvina, Y., & Desnita, D. (2019). Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Sifat Penyerap Gelombang Mikro Dari Nanokomposit CoFe₂O₄/PVDF Yang Di Preparasi Dengan Metode Sol-Gel. *PILLAR OF PHYSICS*, 12(2).
- Dhamayanti, Y., Wijaya, K., & Tahir, I. (2005). Fotodegradasi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan Fe₂O₃-Montmorillonit dan Sinar Ultraviolet. In *Prosiding Seminar Nasional DIES ke 50 FMIPA UGM* (pp. 22-29).
- Durmus, Z., Kavas, H., Toprak, M. S., Baykal, A., Altınçekiç, T. G., Aslan, A., ... & Coşgun, S. (2009). L-lysine coated iron oxide nanoparticles: synthesis, structural and conductivity characterization. *Journal of Alloys and Compounds*, 484(1-2), 371-376.

- Efendi, N. H., & Sutanto, H. (2014). Pengaruh Temperatur Sintering terhadap Sifat Optik Lapisan Tipis Zinc Oxide (Zno) yang Dideposisi Diatas Substrat Kaca dan Aplikasinya untuk Mendegradasi Pewarna Methylene Blue. *Youngster Physics Journal*, 3(2), 135-142.
- Fardood, S. T., Moradnia, F., & Ramazani, A. (2019). Green synthesis and characterisation of ZnMn₂O₄ nanoparticles for photocatalytic degradation of Congo red dye and kinetic study. *Micro & Nano Letters*, 14(9), 986-991.
- Farha, A. H., Al Naim, A. F., & Mansour, S. A. (2020). Thermal Degradation of Polystyrene (PS) Nanocomposites Loaded with Sol Gel-Synthesized ZnO Nanorods. *Polymers*, 12(9), 1935.
- Firnando, H. G. (2015). Pengaruh Suhu Pada Proses Sonikasi Terhadap Morfologi Partikel dan Kristalinitas Nanopartikel Fe₃O₄. *Jurnal Fisika Unand*, 4(1).
- Fisli, A., Hamsah, D., Wardiyati, S., & Ridwan, R. (2018). Pengaruh Suhu Pembuatan Nanokomposit Oksida Besi Bentonit. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 9(2), 145-149.
- Fraditasari, R., Wardhani, S., & Khunur, M. M. (2015). Degradasi Methyl Orange menggunakan fotokatalis TiO₂-N: Kajian Pengaruh Sinar dan Konsentrasi TiO₂-N. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*, 1(1), pp-606.
- Gibson, Ronald, 1994. "Principles of Composite Material Mechanics". *Internasional Edition*, MC.Graw – HillInc, New York.
- Goodhew, Peter J, dkk. 2004. *Mikroskopi dan Analisis dengan Elektron*. Departemen Metalurgi dan Material. Universitas Indonesia.
- Hayati, S. (2019). Semiconductor-Based Photocatalysts Degradation of Methyl Orange Using CuO-Fe₂O₃ Nanocomposites. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 15(1), 01-05.
- Hadiyawardman, Rijal, A., Nuryadin, B. W., Abdullah, M., dan Khairurrijal, 2008, Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1:1, 14-21
- Hidayanto, E., Sutanto, H., Firdausi, K. S., & Arifin, Z. (2013). Pembuatan Lapisan Fotokatalis Zinc Oxide (ZnO) dengan Teknik Spray Coating dan Aplikasinya pada Pengering Jagung. *Berkala Fisika*, 16(4), 119-124.
- Jumari, A., & Hisbullah, H. (2013). Pengaruh Laju Alir Gas Pembawa Terhadap

- Pembuatan Katalis Heterogen Nanokomposit ZnO/Fe₂O₃. *EKUILIBRIUM Journal of Chemical Engineering*, 14(1), 1-6.
- Jumari, A., Nurrokhimah, D. D., & Indriyanti, F. S. (2014). Pengaruh Laju Alir Gas Pembakar (Lpg) Terhadap Pembuatan Katalis Heterogen Nanokomposit ZnO/Fe₂O₃. *Ekulibrium Journal of Chemical Engineering*, 13(2), 35-40.
- Kaltsum, U., Kurniawan, A. F., Priyono, P., & Nurhasanah, I. (2017). Pengujian Sifat Fotokatalis Lapisan Tipis TiO₂ pada Produk Degradasi Jelantah Menggunakan Elektrooptis. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 7(2), 61-67.
- Kemala, T., Fahmi, M. S., & Achmadi, S. S. (2010). Pembuatan Dan Pencirian Polipaduan Polistiren-Pati. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12(1), 30-35.
- Kurniawan, C., Waluyo, T. B., & Sebayang, P. (2011, July). Analisis ukuran partikel menggunakan free software Image-J. In *Seminar Nasional Fisika*.
- Kustomo, K., & Santosa, S. J. (2019). Studi Kinetika dan Adsorpsi Zat Warna Kation (Metilen Biru) dan Anion (Metil Orange) pada Magnetit Terlapis Asam Humat: Adsorption and Kinetic Studies of Cationic (Methylene Blue) and Anionic (Methyl Orange) Dyes onto Magnetite Coated with Humic Acid. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 1(2), 64-69.
- Li, S., Ma, Z., Zhang, J., Wu, Y., & Gong, Y. (2008). A comparative study of photocatalytic degradation of phenol of TiO₂ and ZnO in the presence of manganese dioxides. *Catalysis Today*, 139(1-2), 109-112.
- Mansur, D., & Haryono, A. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Sodium-polistiren Sulfonat dan Identifikasi Penempelan Gugus Sulfonat dengan Metode Ft-ir dan Nmr. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 16(1), 36-42.
- Mahmoodi, N. M. (2015). Manganese ferrite nanoparticle: Synthesis, characterization, and photocatalytic dye degradation ability. *Desalination and Water Treatment*, 53(1), 84-90.
- Maulida, Y, Ratnawulan, R. (2019). Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Sifat *Hydropobic* dari Lapisan Nanokomposit Silika/ Polietilen *Pillar Of Physics*, 12(2).
- Mukhidin, M., Sutanto, H., & Nurhasanah, I. (2013). Kajian Sifat Optik Lapisan Tipis Fotokatalis Nano Komposit ZnO/TiO₂ Yang Dideposisi Di Atas Kaca Dengan Metode Sol-Gel. In *1 st Diponegoro Physics Conference*.
- Nanosains, J. Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan

Menggunakan Metode Simple Mixing. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi ISSN, 1979*, 0880.

- Panjaitan, R. R. (2011). Kajian Pemanfaatan Batu Mangan (Senyawa Mangan Dalam Industri). *Vol: 11 No. 2. Litbang Industri*.
- Parshetti, G. K., & Doong, R. A. (2010). Dechlorination and photodegradation of trichloroethylene by Fe/TiO₂ nanocomposites in the presence of nickel ions under anoxic conditions. *Applied Catalysis B: Environmental, 100*(1-2), 116-123.
- Pradana, A., Sutanto, H., & Hidayanto, E. (2017). Deposisi, karakterisasi sifat optik dan uji degradasi Db71 pada lapisan tipis Zn: Co konsentrasi tinggi. *Youngster Physics Journal, 6*(3), 242-248.
- Putri, T. A., Ratnawulan, R., & Ramli, R. (2018). Sintesis Lapisan Hydrophobic Nanokomposit Mangan Oksida/Polystyrene (MnO₂/Ps) Untuk Aplikasi Self Cleaning. *Pillar Of Physics, 11*(2).
- Putri, N., & Puryanti, D. (2020). Sintesis Nanopartikel Manganese Ferrite (MnFe₂O₄) dari Pasir Besi dan Mangan Alam dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Fisika Unand, 9*(3), 375-380.
- RAHAYU, M. (2020) Potensi Aplikasi Nanopartikel tio₂ Sebagai Bahan Pelapis Genteng Tanah Liat Yang Bersifat Self Cleaning Dan Thermal Reducing (Doctoral dissertation, Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Rekha, K., Nirmala, M., Nair, M. G., & Anukaliani, A. (2010). Structural, optical, photocatalytic and antibacterial activity of zinc oxide and manganese doped zinc oxide nanoparticles. *Physica B: Condensed Matter, 405*(15), 3180-3185.
- Riana, Y. (2015). Karakterisasi Dan Analisis Gugus Fungsi Pada Nanopartikel Magnetik Manganese Ferrite (MnFe₂O₄) Dengan Polietilen Glikol (Peg-4000) Sebagai Template (Doctoral Dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Rofiko, H., & Suryana, R. (2017). Pengaruh Suhu Sintering pada Pembuatan Strontium Titanat (SrTiO₃) terhadap Konstanta Dielektrik menggunakan Metode Co-Precipitation. *Indonesian Journal of Applied Physics, 7*(1), 28-35.
- Sari, M. I. (2019). Pengaruh Penambahan Tio₂-Powder Terhadap Kandungan Cod Pada Limbah Sintetis Ci Reactive Red 2 Dengan Metode Fotokatalisis. *Jurnal Teknik Patra Akademika, 10*(01), 4-12.

- Sawitri, D., Adiati, R. F., Febiola, C. C., Taufan, I., & Fadhilah, N. (2014). Studi Komparasi Sifat Fotokatalis Dan Aglomeritas Nanopartikel TiO_2 Sebagai Pengaruh Dispersant Etilen Glikol Dan Triton X 100 Dalam Dirt-free Paint. *Jurnal Fisika*, 4(1).
- Senida, Z. E. (2019). Pengaruh Variasi Komposisi MnFe_2O_4 Terhadap Sifat Magnetik Nanokomposit $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{PANi}$ yang Disintesis dengan Metoda Sol-Gel Spin Coating. *PILLAR OF PHYSICS*, 12(2).
- Septiana, K. D., Priyono, P., Rochman, N. T., Yuswono, Y., Rahman, T. P., Nugroho, D. W & Maulana, N. N. (2013). Sintesis dan Karakterisasi Pigmen Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dari Bijih Besi Alam Melalui Metode Presipitasi. *Youngster Physics Journal*, 2(3), 95-100.
- Setiawati, T., Amalia, I. S., Sulistioso, G. S., & Wisnu, A. A. (2019). Sintesis Lapisan Tipis TiO_2 dan Analisis Sifat Fotokatalisnya. *Jurnal sains materi indonesia*, 141-146.
- Shirtcliffe, N. J., McHale, G., Newton, M. I., Chabrol, G., & Perry, C. C. (2004). Dual-scale roughness produces unusually water-repellent surfaces. *Advanced Materials*, 16(21), 1929-1932.
- Simamora, P., & Krisna, K. (2015, October). Sintesis Dan Karakterisasi Sifat Magnetik Nanokomposit Fe_3O_4 “Montmorilonit Berdasarkan Variasi Suhu. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)* (Vol. 4, pp. SNF2015-VII).
- Sriyanti, I., Agustina, L., Selviana, I., & Marlina, L. (2014). High Compressive Strength of Palm Oil Empty Fruit Bunches (*Elaeis guineensis*) Composites. In *Advanced Materials Research* (Vol. 896, pp. 557-561). Trans Tech Publications Ltd.
- Stiadi, Y. (2013). Fotokatalis Komposit Magnetik $\text{TiO}_2\text{-MnFe}_2\text{O}_4$. *Prosiding SEMIRATA 2013*, 1(1).
- Subagja, R., Royani, A., Suharyanto, A., Andriyah, L., & Natasha, N. C. (2017). Pengaruh Temperatur Dan Waktu Kalsinasi Terhadap Perubahan Fasa TiO_2 [Effect Of Temperature And Calcination Time Of Changes In TiO_2 Phase]. *Metalurgi*, 29(3), 245-254.
- Sutanto, H., Hidayanto, E., Subagiyo, A., Widiyandari, H., Nugroho, I. A., & Rahmawati, Z. (2011). Pembuatan Sistem Pengolah Air Bersih Menggunakan Material Fotokatalis Titania (TiO_2). *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, 1(1).

- Sutanto, H., & Wibowo, S. Semikonduktor Fotokatalis Titania dan Seng Oksida:(Sintesis, Deposisi, dan Aplikasi).
- Sutrisno, H., Arianingrum, R., & Ariswan, A. (2009). Silikat dan Titanium Silikat Mesopori-Mesotruktur Berbasis Struktur Heksagonal dan Kubik. *Jurnal Matematika dan Sains*, 10(2), 69-74.
- Tawainella, R. D., Riana, Y., Fatayati, R., Kato, T., Iwata, S., & Suharyadi, E. (2014). Sintesis Nanopartikel Manganese Ferrite ($MnFe_2O_4$) dengan Metode Koplesipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya (Halaman 1 sd 7). *Jurnal Fisika Indonesia*, 18(52).
- Ullah, R., & Dutta, J. (2008). Photocatalytic degradation of organic dyes with manganese-doped ZnO nanoparticles. *Journal of Hazardous materials*, 156(1-3), 194-200.
- Usman, D. N. (2015). Ketersediaan Potensi Endapan Bijih Besi Indonesia Dalam Mendukung Industri Besi Dan Baja Nasional.
- Vilas, Mendez dan J.Diaz. 2007. Scanning Electron Microscopy and Transmission Electron Microscopy of Mollicutes: Challenges Opportunities.
- Wang, Y., Xia, X., Zhu, J., Li, Y., Wang, X., & Hu, X. (2010). Catalytic activity of nanometer-sized CuO/Fe₂O₃ on thermal decomposition of AP and combustion of AP-based propellant. *Combustion Science and Technology*, 183(2), 154-162.
- Wibowo, E. A. P. (2017). Sintesis Komposit N-TiO₂/Bentonit dan Karakterisasi Menggunakan FTIR. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 5(1), 96-99.
- Wicaksono, A. P. (2013). Pengaruh Ion Logam Co²⁺ dan Cu²⁺ Pada Proses Fotodegradasi Direct Blue 3R Menggunakan Fotokatalis Komposit ZnO-Karbon Aktif. *Chem Info Journal*, 1(1), 316-327.
- Widianti, I. S. (2015). *Pengaruh Variasi pH dan Temperatur Sintering Terhadap Nilai Sensitivitas Material TiO₂ Sebagai Sensor Gas CO* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Xu, X., Zhang, Z., Guo, F., Yang, J., Zhu, X., Zhou, X., & Xue, Q. (2012). Fabrication of bionic superhydrophobic manganese oxide/polystyrene nanocomposite coating. *Journal of Bionic Engineering*, 9(1), 11-17.
- Zaidah, A. (2015). Pengaruh Temperatur Sintering pada Konstanta Dielektrik Barium Stronsium Titanat ($Ba_0, 2Sr_0, 8TiO_3$) yang dibuat dengan Metode Reaksi Fasa Padat. *JFA (Jurnal Fisika dan Aplikasinya)*, 11(2), 82-85.

Zhao, N., Xu, J., Xie, Q., Weng, L., Guo, X., Zhang, X., & Shi, L. (2005). Fabrication of Biomimetic Superhydrophobic Coating with a Micro-Nano-Binary Structure. *Macromolecular rapid communications*, 26(13), 1075-1080.

Zulianingsih Anes, Munasir. 2012. Analisis Komposit Fe₃O₄/C-SiO₂ Dari Pasir Talaud Dan Pasir Lumajang, *Jurnal Inovasi Indonesia (Ifi)* Volume 05 Nomor 02 Tahun 2012 Hal 5-8.