

**PENGARUH KONSENTRASI MOLAR *DOUBLE LAYER* ZNO/ZNO:AG
TERHADAP SIFAT OPTIS DAN KRISTALINITASNYA**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana S1
dalam Ilmu Fisika



Oleh:

ACHMAD GHOZALI

1508026030

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2021**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Achmad Ghozali

NIM : 1508026030

Jurusan : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

"Pengaruh Konsentrasi Molar *Double Layer* ZnO/ZnO:Ag Terhadap Sifat Optis Dan Kristalinitasnya."

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 29 Desember 2021

Pembuat Pernyataan,

A 6000 Rupiah Indonesian postage stamp is shown with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text "PETERA TEMPEL", "A080FAFF 56222385", "6000", and "REPUBLIC OF INDONESIA".

Achmad Ghozali
NIM. 1508026030



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Prof Hamka Kampus II Ngaliyan, Kota Semarang, (50185) Telp. 024-76433366

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **PENGARUH KONSENTRASI MOLAR *DOUBLE LAYER* ZNO/ZNO:AG TERHADAP SIFAT OPTIS DAN KRISTALINITASNYA**
Penulis : Achmad Ghozali
NIM : 1508026030
Jurusan : Fisika

Telah diujikan dalam sidang *tugas akhir* oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam ilmu Fisika.

Semarang, 30 Desember 2021

Ketua

Dr. Hamdan Hadi Kusuma, S.Pd, M.Sc

NIP. 19711021 199703 1 002

Sekretaris

M. Izzatun Faqih, M.Pd

NIDN 2020059201

Penguji I

Irman Said Prasetyo, M.Sc
NIP: 19911228 201903 1 009

Penguji II

Andi Fadllan, M.Sc
NIP: 19800915 200501 1 006

Pembimbing I

Dr. Hamdan Hadi Kusuma, S.Pd, M.Sc

NIP. 19711021 199703 1 002

PEMBIMBING II

Shajila Rully Anggita, M.Si

NIP. 19900505 201903 2 017



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
FAKULTAS ILMU TARBIYAH DAN KEGURUAN

Jl. Prof. Dr. Hamka (Kampus II) Ngaliyan, Telp/Fax (024) 7601295/7615387 Semarang 50185

NOTA DINAS

Semarang, 24 Desember 2021

Kepada
Yth Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang
Di Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pengaruh Konsentrasi Molar Double Layer ZnO/ZnO:Ag Terhadap Sifat Optis dan Kristalinitasnya
Nama : Achmad Ghozali
NIM : 1508026030
Program Studi : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum wr.wb

Semarang, 23 Desember 2021
Pembimbing I

Dr. Hamdan Hadi Kusuma, S.Pd, M.Sc

NIP. 19711021 199703 1 002



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
FAKULTAS ILMU TARBİYAH DAN KEGURUAN

Jl. Prof. Dr. Hamka (Kampus II) Ngaliyan, Telp/Fax (024) 7601295/7615387 Semarang 50185

NOTA DINAS

Semarang, 24 Desember 2021

Kepada
Yth Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang
Di Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pengaruh Konsentrasi Molar Double Layer ZnO/ZnO:Ag Terhadap Sifat Optis dan Kristalinitasnya
Nama : Achmad Ghozali
NIM : 1508026030
Program Studi : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam sidang Munaqosah.
Wassalamu'alaikum wr.wb

Pembimbing II

Shajida Rully Auggita, M.Si

NIP. 19900505 201903 2 017

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umatnya dari gelapnya kebodohan dan kekufuran menuju pintu kebenaran yang hakiki.

Penyusunan skripsi yang berjudul " Pengaruh Konsentrasi Molar *Double Layer* ZnO/ZnO:Ag Terhadap Sifat Optis dan Kristalinitasnya.". Penulis menyadari bahwa skripsi ini memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Penyusun skripsi ini tidak lepas dari yang namanya hambatan dan kesulitan, namun berkat bantuan, berbagai pihak segala hambatan tersebut dapat diatasi dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini perkenankan penulis untuk menyampaikan rasa terima kasih kepada yang terhormat:

1. Prof. Dr. Imam Taufiq, M. Ag. Sebagai Rektor UIN Walisongo Semarang
2. Dr. H. Ismail, M. Ag sebagai Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang,
3. Agus Sudarmanto M.Si sebagai Ketua Program Studi Fisika UIN Walisongo Semarang
4. Dr. Hamdan Hadi Kusuma, M.Sc sebagai Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, motivasi, kritik dan saran selama penelitian dan penulisan skripsi ini.
5. Sheilla Rully Anggita, M.Si sebagai Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, motivasi , kritik dan saran selama penelitian dan penulisan skripsi ini.
6. Segenap dosen UIN Walisongo Semarang yang telah membekali ilmu pengetahuan kepada penulis selama belajar di UIN Walisongo hingga akhir penulisan skripsi. Semoga ilmu yang telah Bapak dan Ibu berikan mendapat berkah dari Allah SWT.
7. Segenap Staf Tata Usaha UIN Walisongo Semarang yang telah banyak membantu penulis selama mengikuti perkuliahan dan penulisan skripsi.
8. Kedua orang tua dan keluarga yang sangat mendukung dari awal sampai akhir menulis skripsi, Bapak Mujiono, Ibu Siti Mahrundoh, Muhammad Nur Rizki, Muhammad Bintang Fahlephy yang selalu memberikan dukungan, motivasi, nasehat, do'a dan pertanyaan "kapan lulus?" tanpa henti kepada penulis.
9. Segenap staf Laboratorium Fisika dan Kimia UIN Walisongo Semarang.
10. Teman-teman mahasiswa program studi fisika angkatan 2015, fisika angkatan 2016, para sahabat seperjuangan paskibra SMP 8 Tambun Selatan dan kerabat yang telah memberikan motivasi dan pertanyaan "kapan lulus?" tanpa henti.
11. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis tidak dapat memberikan balasan apa-apa selain ucapan terima kasih dan iringan do'a semoga Allah membalas semua amal kebaikan yang telah diberikan dengan sebaik-baik balasan. Akhir kata, semoga tulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan menambah khazanah keilmuan. Amin.

Semarang, 30 Desember 2021

Penulis,

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized letter 'G' followed by several loops and a vertical line extending upwards.

Achmad Ghozali

NIM. 1508026030

ABSTRAK

Berkembangnya industri semakin berkembang pesat tanpa diimbangi dengan pengolahan limbah yang baik menghasilkan limbah tekstil yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Limbah air zat warna yang sangat banyak ditemukan karena limbah anorganik sangat sulit untuk daur ulang. Fotokatalis merupakan salah satu cara pengolahan limbah dengan memutus reaksi kimia berbahaya dengan bantuan katalis dan katalis tersebut aktif ketika disinari cahaya (Risda, 2015). ZnO merupakan bahan fotokatalis yang efisien untuk proses pembuangan racun dari limbah air karena menghasilkan H₂O₂ lebih efisien dari pada fotokatalis lain. Doping Ag 4% dipilih karena memiliki potensi sebagai fotokatalitik yang baik (Anggita, 2020). Metode Sol-Gel dengan teknik deposisi Spray Coating dalam fotokatalis memiliki banyak keuntungan selain biaya yang lebih murah, tidak membutuhkan ruang vakum, komposisi lapisan tipis homogen, struktur mikro sangat baik dan ketebalan lapisan bisa dikontrol (Cheng, 2004). Penambahan lapisan menjadi double layer dapat meningkatkan efisiensi aktivitas fotokatalitik. Penambahan konsentrasi molar 0,1M, 0,3M, 0,5M dan 0,7M berpengaruh terhadap sifat optik dan aktivitas fotokatalitik (Sutanto, 2015). Tujuan penelitian untuk mengetahui, sifat optik, struktur kristal serta aktivitas katalitik dari lapisan *double layer* ZnO/ZnO:Ag untuk mendegradasi zat *methylene blue* dan *methyl yellow*.

Kata Kunci: Fotokatalis, *Double layer*, ZnO/ZnO:Ag, *sol-gel*, *spray coating*.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS	iv
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian.....	5
D. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	6
A. Kajian Teori.....	6
1. Semikonduktor	6
2. Fotokatalis.....	7
3. Kristal.....	10
4. Zinc Oxide (ZnO)	12
5. Perak (Ag).....	16
6. Metode Sol-Gel	17
7. Teknik <i>Thermal Spray Coating</i>	18
8. Pewarna Tekstil.....	20
9. Uv-Vis.....	22
10. XRD.....	24
B. Kajian Pustaka	26
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
A. Jenis dan Desain Penelitian.....	29
B. Alat dan Bahan.....	29
C. Waktu dan Tempat Penelitian.....	30
D. Prosedur Penelitian	31
E. Metode Pengumpulan Data.....	32
F. Metode Analisis Data.....	33
G. Diagram Alir.....	34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
A. Hasil Uji Karakterisasi Uv-Vis.....	35
B. Hasil Uji Karakterisasi XRD.....	38
C. Hasil Uji Karakterisasi Degradasi.....	40
BAB V PENUTUP.....	44
A. Kesimpulan.....	44
B. Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar.1 Daerah Energi Semikonduktor	7
Gambar.2 Eksitasi Fotokatalis Semikonduktor	8
Gambar.3 Susunan Atom	10
Gambar.4 Struktur Kristal Dua Dimensi.....	11
Gambar.5 Kisi Bravais	12
Gambar.6 Wurzite Koordinasi Tetrahedon.....	13
Gambar.7 Fotokatalitik struktur nano ZnO:Ag	17
Gambar.8 Mikrostruktur ZnO:Ag.....	17
Gambar.9 Spray coating	18
Gambar.10 Mikrostruktur Zno:Ag	20
Gambar.11 Struktur <i>Methylene Blue</i>	21
Gambar.12 Struktur <i>Methyl Yellow</i>	21
Gambar.13 Alat Uv-Vis Spectrocopy.....	22
Gambar.14 Prinsip Kerja Uv-Vis Spektrometer	23
Gambar.15 Spektrum Absorbansi Dan Transmittansi	24
Gambar.16 Difraksi Sinar-X.....	26
Gambar.17 Bahan Kimia Pembuatan ZnO/ZnO:Ag.....	30
Gambar.18 Grafik Transmittansi ZnO/ZnO:Ag	35
Gambar.19 Grafik <i>Band Gap</i> ZnO/ZnO:Ag.....	37
Gambar.20 Hasil Uji XDR	38
Gambar.21 Puncak [101] Pada Hasil Uji XRD	38
Gambar.22 Hasil Uji Degradasi <i>methylene blue</i>	40
Gambar.23 Hasil Uji Degradasi <i>methyl yellow</i>	42

DAFTAR TABEL

Tabel.1 7 Kristal dan 14 Kisi Bravais	11
Tabel.2 Konsentrasi Larutan Sol-Gel	32
Tabel.3 Nilai Band Gap	36
Tabel.4 Ukuran Kristal ZnO/ZnO:Ag	39
Tabel.5 Persentase Hasil Uji Karakterisasi Degradasi Methylene Blue	41
Tabel.6 Persentase Hasil Uji Karakterisasi Degradasi Methyl Yellow	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Proses Pembuatan Sampel ZnO/ZnO:Ag	49
Lampiran 1 Hasil Uji Degradasi Sampel ZnO/ZnO:Ag	51
Lampiran 1 Hasil Uji Karakterisasi XRD ZnO/ZnO:Ag	52
Lampiran 1 Hasil Uji Karakterisasi Uv-Vis ZnO/ZnO:Ag	56

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri semakin berkembang dengan pesat, mulai dari industri besar seperti pabrik-pabrik yang memproduksi dalam skala banyak maupun industri rumahan yang memproduksi dalam skala kecil. Menurut Baruah (2009), industri menghasilkan limbah yang banyak dan sulit untuk di daur ulang sehingga menjadi masalah yang sangat serius pada saat ini. Tidak banyak industri yang mampu mengolah atau mendaur ulang limbah mereka dengan baik, seperti industri plastik, logam, besi, kayu dan zat warna.

Menurut Darmono (2001), limbah dikelompokkan atas limbah padat dan limbah cair. Limbah padat adalah bahan sisa atau buangan yang sudah tidak berguna berbentuk padat berupa kaleng bekas minuman, daun bekas pembungkus dan kertas. Limbah cair adalah bahan sisa yang dibuang dalam bentuk larutan atau zat cair berupa air bekas mencuci pemurnian emas yang mengandung unsur-unsur merkuri, busa detergen dan industri tekstil (Palar, 2004). Limbah semakin meningkat dan di kelompokkan menjadi limbah organik dan anorganik.

Limbah anorganik adalah limbah yang tidak dapat didaur ulang dengan bakteri seperti limbah sabun cuci, limbah minyak, limbah pabrik, limbah plastik dan limbah logam. Limbah organik adalah limbah yang dapat diurai dengan bakteri seperti limbah kulit pohon, kulit telur, limbah sayuran, kotoran hewan dan limbah tulang hewan. Larangan pencemaran lingkungan telah dijelaskan dalam Al-qur'an pada surat Al-Baqarah ayat 60 sebagai berikut:

﴿ وَإِذِ اسْتَسْقَىٰ مُوسَىٰ لِقَوْمِهِ فَقُلْنَا اضْرِبْ بِعَصَاكَ الْحَجَرَ ۖ فَانفَجَرَتْ مِنْهُ اثْنَتَا عَشْرَةَ عَيْنًا ۗ قَدْ عَلِمَ كُلُّ أُنَاسٍ مَّشْرَبَهُمْ ۖ كُلُوا وَاشْرَبُوا مِنْ رِزْقِ اللَّهِ وَلَا تَعْتُوا فِي الْأَرْضِ مُفْسِدِينَ ۗ ﴾

Artinya: "Ingatlah ketika Musa memohon air untuk kaumnya, lalu Kami berfirman, "Pukullah batu itu dengan tongkatmu!" Maka memancarlah dari padanya dua belas mata air. Setiap suku telah mengetahui tempat minumannya masing-masing. Makan dan minumlah dari rezeki (yang diberikan) Allah, janganlah kamu melakukan kejahatan di bumi dengan berbuat kerusakan." Ayat tersebut menurut tafsir Jalalain menjelaskan makan dan minumlah rezeki yang diberikan Allah SWT dan janganlah kamu di muka bumi melakukan pengerusakan.

Pembuangan limbah berwarna langsung ke lingkungan dapat menimbulkan bahaya, efek toksik dan mengurangi penetrasi cahaya di perairan yang tercemar (Prado, dkk.2008). Dalam industri tekstil penggolongan zat warna dibedakan berdasarkan cara penerapannya pada bahan yaitu zat warna asam, basa, dispersi, reaktif, pigmen dan *direct* (Manurung, dkk. 2004). Zat warna reaktif merupakan zat warna yang banyak digunakan untuk pewarna tekstil seperti pencampuran batik baik dalam skala industri besar maupun industri rumahan (Nugroho, dkk. 2013). Pengolahan air limbah dapat dilakukan dengan proses fotokatalis. Fotokatalis adalah reaksi kimia yang berjalan dengan bantuan katalis yang aktif ketika disinari cahaya matahari (Risda, dkk. 2015). Fotokatalisis heterogen saat ini dianggap menjadi teknik yang menjanjikan untuk pemurnian air dibanding dengan metode konvensional lain (Baruah, 2009).

Peningkatan aktivitas fotokatalitik bisa dilakukan melalui doping logam atau non-logam membentuk komposit seperti semikonduktor-semikonduktor, semikonduktor-polimer atau semikonduktor–metal yang dibuat dari lapisan tipis. Lapisan tipis di pakai sebagai bahan untuk meningkatkan daya tahan dari korosi. Pada bidang elektronika. lapisan tipis yang biasa di pakai untuk membuat kapasitor semikonduktor dan sensor adalah InO, WO, SnO. TiO, ZnO, ITO (Andreas, dkk. 2014). Material yang menyediakan banyak keuntungan dalam berbagai aplikasi terutama untuk fotokatalis salah satunya adalah *Zinc Oxide* (ZnO) (Amornpitoksuk, dkk. 2012). Menurut Sakthivelu (2010), seng oksida (ZnO) telah menarik banyak perhatian sebagai bahan masa depan. ZnO merupakan material yang memiliki morfologi pertumbuhan seperti *nanobelts*, *nanocombs*, *nanorings*, *nanohelices/nanosprings*, *nanowire* dan *nanocages*. Nanostruktur ZnO sangat bermanfaat dalam optoelektronik, sensor, transduser, fotokatalis dan ilmu biomedis karena ramah lingkungan (Wang, 2012).

Menurut Kumar (2011), ZnO banyak diminati sebagai material bahan fotokatalis selain murah, katalisnya juga tidak beracun, korosi rendah, sintesis yang relatif mudah dan memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi. ZnO merupakan material semikonduktor tipe-n dengan lebar gap 3,37 eV dan energi ikat inti sebesar 60 eV (Tarwal, 2011). ZnO sangat efektif untuk fotokatalis lebih baik dari TiO₂ karena proses penyerapan sinar UV yang kuat dari spektrum matahari (Tanaka, dkk. 2000). ZnO bahan fotokatalis yang efisien untuk proses pembuangan racun dari limbah air karena menghasilkan H₂O₂ lebih bagus dari pada bahan fotokatalis lain (Carraway, dkk. 1994; Minamidate, dkk. 2010). Struktur kristal ZnO dapat di kelompokkan menjadi beberapa bentuk yaitu *wurtzite*, *zinc blende* and *cubic rock salt*. Bentuk dominan struktur kristal ZnO adalah *wurtzite* karena struktur ini yang paling baik dan stabil pada suhu kamar.

Bentuk *heksagonal* memiliki 2 sub kisi yaitu Zn^{2+} dan O^{2-} yang saling bergantian membentuk bidang dasar.

Prinsip kerja proses fotokatalisis terjadi apabila energi dari sinar yang diberikan sesuai dengan energi celah pita (*band gap energy*) dari material semikonduktor maka akan terjadi transformasi kimia (perubahan senyawa kimia di lingkungan) yang mengubah senyawa kimia organik menjadi air dan karbon dioksida (Fujisima, dkk. 2000). Eksitasi elektron terjadi dari pita valensi ke pita konduksi melalui celah pita ini dibutuhkan energi untuk eksitasi yang melalui celah pita ini yang disebut energi celah pita. Semakin besar celah pita pada semikonduktor, semakin besar pula energi yang dibutuhkan untuk eksitasi (Anggita, 2018). Aktivitas katalitik ZnO sangat lebih baik dari bahan lain, karena ZnO dapat menyerap cahaya spectrum yang lebih bagus di banding bahan lain, yang sebagian besar disebabkan oleh dosis dari katalis, konsentrasi reaktan, waktu pencahayaan, intensitas pencahayaan, nilai pH (Meng, 2008).

Penambahan doping di pilih bahan perak (Ag) karena berpotensi yang sangat baik sebagai katalitik, non-toksikitas dan relatif hemat biaya serta menunjukkan aktivitas antibakteri. Ag bisa menjebak fotogenerasi elektron dari semikonduktor serta memungkinkan *hole* untuk menjadi radikal hidroksil yang menghasilkan reaksi degradasi spesies organik (Saravanan, 2013). *Doping* perak (Ag) pada ZnO dapat mengoptimalkan aktifitas fotokatalitik (Zhi-gang, 2012). Sifat Ag sebagai antibakteri yang dimanfaatkan untuk mengontrol pertumbuhan bakteri pada berbagai aplikasi (Kim, 2007).

Penambahan konsentrasi molar mempengaruhi bentuk, sifat optis dan aktivitas fotokatalitik (Jia, dkk.2012). Penambahan konsentrasi pada larutan sangat mempengaruhi ketebalan lapisan serta berpengaruh pada morfologi dan sifat optoelektronik (Anggita, 2020). Penelitian ini akan di buat sistem degradasi air limbah tekstil menggunakan *double layer* ZnO dan ZnO doping Ag dengan memvariasi molar. Dengan meningkatkan konsentrasi molar, maka tingkat *energy* akan berubah dan menoptimalkan sifat fisik serta sifat optiknya. Penelitian terdahulu telah mengungkapkan dengan adanya penambahan konsentrasi molar ZnO menunjukkan peningkatan kristalinitasnya. Morfologi permukaan film mengungkapkan bahwa ukuran butir tergantung pada molaritas prekursor. Untuk peningkatan molaritas, transmisi film berkurang, rentang *band gap* ini terletak pada kisaran 3,32eV-3,08eV dan menurun dengan meningkatnya molaritas (Sakthivelu, dkk. 2011).

Pendeposisian dengan menambahkan layer pada single layer semikonduktor dapat meningkatkan efisiensi aktivitas fotokatalitik. Menurut Sutanto (2015), telah melakukan penelitian tentang lapisan ganda ZnO/ZnO:Ag

diatas kaca preparat menggunakan metode sol-gel dengan teknik spray coating dan sampel yang divariasi konsentrasi doping Ag telah mendapatkan hasil struktur Kristal Wurtzite dengan puncak dominan [002] dan hasil uji Uv-Vis menghasilkan celah pita terkecil 3,038eV dan kemampuan untuk mendegradasi Direct Blue 71 sebesar 54,43% dengan laju konsentrasi sebesar $8,56 \times 10^{-3}$ /menit (sutanto, dkk. 2015). Menurut Anggita (2020) hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan menambahkan lapisan tunggal menjadi lapisan ganda ZnO/ZnO:Ag dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik dengan bertambahnya nilai absorbansi.

Penelitian terdahulu telah banyak yang menggunakan metode ini untuk mendeposisikan lapisan tipis sesuai yang di inginkan seperti *sol-gel*, *metal organic chemical vapor deposition*, *atom beam sputtering*, *combustion*, *spray pirolisis*, *pulsed laser deposition* dan *spray coating* (Sutanto, dkk. 2013). Setiap metode yang digunakan tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam melakukan sebuah penelitian tetapi perbedaan metode yang digunakan memiliki tujuan yang sama. Lapisan tipis dengan metode *sol-gel* memiliki beberapa keuntungan seperti biaya yang jauh lebih murah, tidak memerlukan ruang vakum, komposisi larutannya homogen, ketebalan lapisan bisa diatur dan menghasilkan struktur mikro cukup baik sehingga metode ini banyak di minati sebagai alternatif dalam pembuatan lapisan tipis (Cheng, 2004).

Menurut Anggita (2013), dengan menggunakan penambahan konsentrasi doping Ag sebanyak 4% paling efektif karena mampu mendegradasi zat warna paling maksimal dengan lama penyinaran selama 4jam dan mengontrol tiap jam waktu penyinaran dengan limbah zat warna *methylene blue*. Menurut Anggita (2020), Selain penambahan doping, penambahan konsentrasi larutan berpengaruh terhadap bentuk, sifat optis dan aktivitas fotokatalitiknya. Menurut Habik (2019), menggunakan teknik *spray coating* dengan suhu sintering sebesar 300°C merupakan suhu yang paling optimal yang digunakan karna pada suhu tersebut menghasilkan lapisan yang paling bagus serta memiliki *band gap* yang optimum dan proses degradasi paling maksimal.

Penelitian sebelumnya telah melakukan pendeposisian ZnO berdoping Ag (ZnO:Ag) untuk mengaplikasikan sebagai fotokatalisis dengan metode *sol-gel* dan teknik *spray pyrolysis*. Penelitian terdahulu sudah mendapatkan hasil yang maksimal dan tujuan penelitian ini utnuk mengembangkan dari penelitian terdahulu dengan menambahkan *single layer* ZnO di harapkan untuk meningkatkan aktifitas fotokatalitik dan mampu mendegradasi limbah anorganik dengan lebih optimal. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mempelajari pengaruh variasi konsentrasi molar *double layer* ZnO/ZnO:Ag terhadap sifat optik, struktur

kristal dan aktivitas fotokatalitiknya. Penelitian yang dilakukan pada kesempatan kali ini mengambil judul "*pengaruh konsentrasi molar double layer ZnO/ZnO:Ag terhadap sifat optis dan kristalinitasnya*".

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi molar *double layer ZnO/ZnO:Ag* terhadap sifat optisnya?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi molar *double layer ZnO/ZnO:Ag* terhadap kristalinitasnya?
3. Bagaimana pengaruh variasi molar *double layer ZnO/ZnO:Ag* terhadap aktivitas fotokatalitiknya?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui sifat optis yang dihasilkan pada *double layer ZnO/ZnO:Ag*
2. Untuk mengetahui struktur Kristal yang dihasilkan pada *double layer ZnO/ZnO:Ag*
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi molar *double layer ZnO/ZnO:Ag* terhadap aktivitas fotokatalitik

D. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Sebagai informasi bagi mahasiswa mengenai *material zinc oxide double layer* serta metode deposisinya.
2. Sebagai referensi bagi universitas, sehingga dapat dikembangkan penelitian lebih lanjut mengenai *material zinc oxide*.
3. Pembuatan *ZnO doping Ag double layer* dalam skala besar dapat dimanfaatkan untuk menjernihkan air di kali atau disungai Indonesia yang telah tercemar.
4. Sebagai informasi bagi penelitian lain untuk mempertimbangkan penelitian lebih lanjut mengenai perkembangan metode deposisi *zinc oxide double layer* yang memiliki kualitas yang baik untuk mendegradasi air dan mengurangi jumlah bakteri yang terkandung di dalamnya.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. KAJIAN TEORI

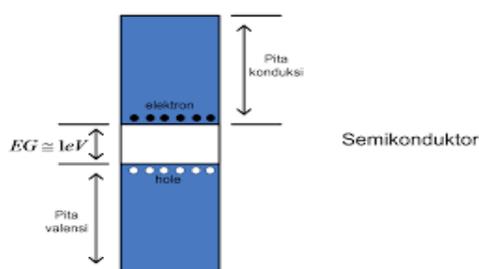
1. Semikonduktor

Semikonduktor adalah sebuah bahan yang memiliki konduktivitas listrik berada di antara isolator dan konduktor menurut ungkapan Rasyidi (2015). Semikonduktor bisa bersifat isolator ketika diberi arus listrik dengan besaran arus tertentu dan temperature serta tatacara tertentu, semikonduktor bisa memiliki sifat sebagai konduktor. Semikonduktor dapat di gunakan jika spesifikasi dan karakteristiknya memenuhi syarat operasinya jika tidak memiliki spesifikasi dan karakteristik tersebut maka alat semikonduktor tersebut tidak berfungsi.

Semikonduktor biasanya banyak di manfaatkan dalam bidang elektronik, karena konduktivitas yang bisa di atur dengan memberikan materi lain (pendonor elektron). Semikonduktor memiliki resistivitas dengan nilai sebesar 10^{-4} hingga $0,5\Omega\text{m}$ antara konduktor dan isolator. Semikonduktor memiliki sifat sebagai resistivitas lebih kecil dari isolator, tetapi lebih besar dari konduktor. Resistansi semikonduktor yang memiliki nilai koefisien negatif (menurun) akan memiliki kenaikan suhu, jika memiliki nilai koefisien positif (meningkat) maka akan terjadi penurunan suhu. Bertambahan suhu akan meningkatkan daya hantar listriknya, tetapi akan menurunkan hambatannya di saat semakin tinggi suhu akan semakin banyak electron yang meningkat berpindah ke pita konduksi yang disebabkan karena penyerapan *energy* panas (Rasyidi, 2015). Semikonduktor memiliki sifat konduksi yang arusnya berubah cukup besar jika ketidakmurnian metalik yang tepat seperti arsenik atau gallium ditambahkan kedalam semikonduktor (Anggita, 2018).

Semikonduktor memiliki beberapa ciri khas yaitu pita valensi, pita konduksi dan celah pita (*band gap*). Pita valensi adalah pita dengan energy terakhir yang terisi penuh dengan elektron dan terbentuk karena ikatan orbital molekul sedangkan pita konduksi yaitu pita dengan energy di atas pita valensi yang kosong atau terisi oleh sebagian elektron dan terbentuk karena tidak ada ikatan orbital molekul dan celah pita terbentuk karena adanya jarak antara pita valensi dan pita konduksi. Energi celah pita yaitu besarnya energi yang di perlukan electron supaya bisa bereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi dan besarnya bisa diukur menggunakan panjang gelombang cahaya yang dapat mengeksitasi elektron. Semikonduktor yang memiliki celah pita cukup lebar akan terjadi electron pada pita valensi tidak dapat tereksitasi menuju ke pita konduksi,

namun jika diberikan energi dari luar berupa energi foton, maka electron dapat tereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi (Arief, 2011).



Gambar.1 Daerah energi pada semikonduktor (Arief,2011)

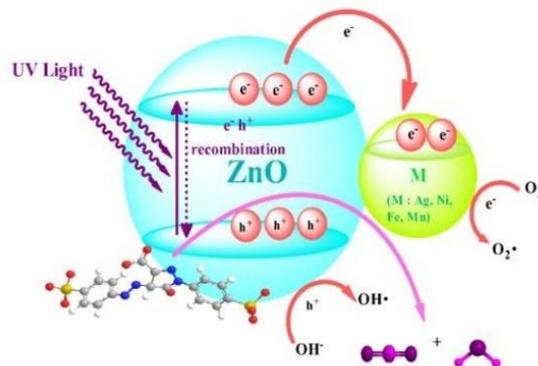
2. Fotokatalis

Fotokatalis di definisikan sebagai proses reaksi kimia yang terjadi jika di bantu oleh energy foton yang berasal dari cahaya matahari dan katalis padat (Haque dan Ningsih, 2012). Fotokatalis merupakan proses kombinasi antara fotokimia dan katalis, yaitu proses transformasi kimia yang menggunakan cahaya sebagai pemicu dan katalis untuk mempercepat terjadinya proses transformasi tersebut.

Degradasi fotokatalitik telah banyak di minati oleh ilmuwan karena memiliki efisiensi dalam pengurangan konsentrasi bahan pencemar organic di dalam air. Fotokatalis ini akan menghasilkan electron (e^-) pada pita konduksi dan *hole* (h^+) pada pita valensi maka akan bisa mengalami reaksi reduksi oksidasi (redoks) dan menciptakan spesies aktif reaktif seperti radikal hidroksil (OH), radikal superoksidasi (O_2), sehingga akan melakukan reaksi dengan sebagian besar senyawa organik yang berbahaya yang akan mengubah senyawa berbahaya tersebut menjadi senyawa yang tidak berbahaya atau termineralisasi menjadi CO_2 dan H_2O (Li,dkk. 2011). Material fotokatalis sangat sering di dimanfaatkan dalam proses degradasi penjernihan air dan pencemaran polutan organic dan juga polutan organic menjadi senyawa kimia yang sangat tidak berbahaya.

Proses fotokatalis akan terjadi ketika foton dengan energi $h\eta$ (ketetapan plank dan frekuensi) yang sama besar atau melebihi jumlah *energy* pada celah pita yang dimiliki oleh material katalis mengenai katalis, maka electron (e^-) dan pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi meninggalkan *hole* positif (h^+) sehingga menghasilkan pasangan *electron-hole*. Beberapa bagian pasangan *electron-hole* akan merekombinasi kembali naik ke permukaan (di bulk partikel). Tetapi, sebagian dari pasangan lain *electron-hole* dapat bertahan di permukaan semikonduktor dan akhirnya *hole* dapat menginisiasi reaksi oksidasi dan electron yang lain akan menginisiasi reaksi reduksi zat kimia yang terdapat pada sekitar permukaan semikonduktor.

Reaksi oksidasi bisa terjadi saat electron yang tereksitasi berdifusi ke atas katalis (permukaan katalis), khususnya (h+) bisa bereaksi dengan permukaan H₂O atau OH⁻ untuk menghasilkan radikal hidroksil (OH) dan reduksi terjadi saat electron bereaksi dengan oksigen untuk menjadi anion radikal superoksida. Radikal hidroksil itu akan memiliki sifat oksidator kuat dan memiliki potensial redoks yang sangat besar dengan nilai 2,8V. Potensial yang terdapat pada radikal hidroksil ini cukup kuat untuk mengoksidasi sebagian zat organik menjadi air, asam hidroksil dan karbon dioksida (Anggita, 2018).



Gambar.2 Eksitasi fotokatalis yang terjadi pada bahan semikonduktor (Bonanni, 2007)

Pemberian tambahan doping merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk mengontrol sifat semikonduktor dengan menambahkan atom pengotor ke dalam struktur semikonduktor pada permukaan semikonduktor karena atom pengotor dapat mempengaruhi sifat optik, magnetic dan electron dari bahan semikonduktor (Norris, 2008). Terdapat beberapa logam dari jenis logam transisi mulai di kembangkan untuk memodifikasi fotokatalis. Menguntungkan secara ekonomis, logam dari jenis ini juga menunjukkan hasil menyerupai (sebanding) dengan logam mulia. Pemakaian logam transisi sebagai doping dalam semikonduktor dapat mengoptimalkan sifat kemagnetan dari semikonduktor karena unsur senyawa tersebut memiliki electron tidak berpasangan sehingga menjadikan electron dan *hole* yang akan semakin banyak. Seperti pemberian doping Cu yang dapat menjadi sumber electron sehingga meningkatkan proses produksi electron yang dapat meningkatkan proses aktifitas fotokatalis (Bonanni, 2007).

- a. Ketika suhu nol, Semua electron dipegang sangat rapat oleh atom semikonduktor. Electron yang terdapat pada orbit dalam terikat sedangkan elektron valensi yang digunakan bersama dalam ikatan kovalen. Ketika suhu nol ikatan kovalen sangat lebih kuat dan tidak ada satu pun elektron bebas sehingga Kristal semikonduktor menjadi isolator sempurna. Pita *energy*, pita valensinya terpenuhi dan terjadi celah *energy* yang sangat besar antara pita

valensi dengan pita konduksi sehingga tidak ada electron valensi yang bisa mencapai pita konduksi sebagai electron bebas karena tidak ada persediaan electron bebas dalam semikonduktor sebagai isolator.

- b. Ketika suhu di atas nol, Beberapa ikatan kovalen dalam semikonduktor menjadi patah karena *energy* panas meningkat. Ikatan yang telah patah tersebut membuat electron yang digunakan bersama dalam formasi ikatan kimia ini menjadi bebas. Menjadikan sebagian electron bebas terdapat di dalam semikonduktor dan electron tersebut dapat menyebabkan arus listrik yang kecil bila beda potensial menyilang pada kristal semikonduktor tersebut. Hal tersebut menunjukkan bahwa resistansi semikonduktor menurun di iringi dengan mengingkatnya suhu dan dikatakan memiliki resistansi dengan koefisien suhu menjadi negatif. Pada suhu kamar, arus yang melalui semikonduktor sangat kecil, ketika suhu di tingkatkan beberapa electron valensi memiliki cukup *energy* untuk masuk ke dalam zona pita konduksi lalu kemudian electron tersebut menjadi elektron bebas. Ketika diberikan pengaruh medan listrik, electron bebas tersebut akan menimbulkan arus listrik. Setiap electron valensi masuk ke dalam pita konduksi, maka akan terbentuk *hole* di dalam pita valensi dan *hole* tersebut akan menimbulkan arus listrik, hal tersebut merupakan konsep utama dalam semikonduktor.

Semikonduktor amorf diperoleh dari bentuk selaput tipis dengan penguapan atau dari supercooling. Semikonduktor amorf, electron dan *hole* bisa membawa arus tetapi pembawa arus tersebut ditujukan untuk memperkuat struktur yang tidak beraturan (acak). Lintasan bebas menjadi berurutan dari jarak antar atom rata-rata sampai dekat pita dengan keadaan yang sangat berbeda terjadi lokalisasi dan konduksi oleh proses termal.

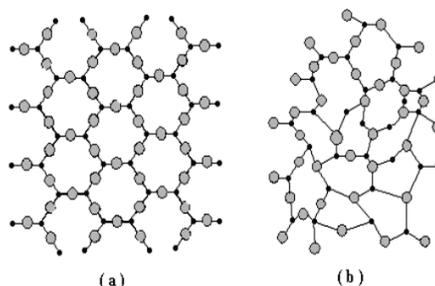
Secara umum penambahan semikonduktor yang tidak murni bisa berpengaruh dengan pembawa muatan, sehingga akan mempengaruhi susunan komponen yang akan dibuatnya, begitu sebaliknya semakin sempurna kristalnya berarti mempunyai kerusakan lapisan Kristal yang sedikit, kesempurnaan Kristal tersebut sangat mempengaruhi karakteristik dari komponen yang dibuatnya. Untuk mendapat semikonduktor yang optimal, hal terpenting adalah mendapatkan kemurnian dan kesempurnaan dari Kristal tunggal semikonduktor yang di gunakan sebagai bahan pembuat alat semikonduktor (Anggita, 2018). Material semikonduktor dapat dimanfaatkan dalam proses fotokatalis. Beberapa sifat yang harus diperlukan untuk membuat bahan semikonduktor untuk digunakan sebagai fotokatalisis yaitu bersifat fotoaktif, mampu memanfaatkan

cahaya tampak (ultraviolet dekat), bersifat inert secara biologis dan kimiawi serta bersifat fotostabil (Hartini, 2011).

3. Kristal

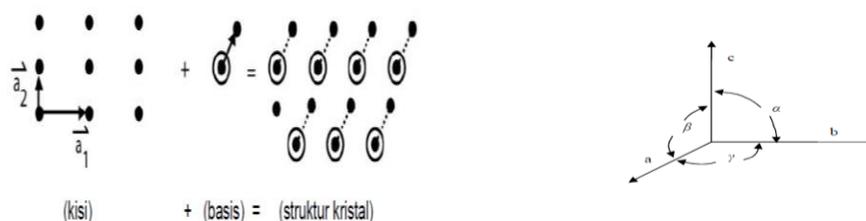
Kristal merupakan atom yang bergabung membentuk padatan yang solid dan mengatur dirinya sendiri dalam penataan tertentu (Malvino, 1981). Kristal juga didefinisikan sebagai komposisi atom zat padat yang memiliki susunan teratur dan periodik dalam pola tiga dimensi. Suatu kristal harus memiliki rentang yang panjang pada koordansi atom-atom atau ion dalam pola tiga dimensi sehingga menghasilkan rentang yang panjang sebagai karakteristik dari bentuk Kristal tersebut (Edi, 2000). Zat padat disebut kristal jika atom atau molekulnya tersusun dalam suatu pola tiga dimensi yang teratur. Tiap atom atau molekul berada pada kedudukan tertentu dalam ruang dan mempunyai jarak dan sudut yang tetap terhadap atom atau molekul lainnya (Tersusun secara periodik). Kristal mempunyai simetri *translational* yang jika digerakkan translasinya oleh suatu vektor yang menghubungkan dua atom, bentuk kristal tetap sama seperti semula (Yoshapat, 2008). Di lihat dari struktur atom penyusunnya, zat padat dibedakan menjadi Kristal tunggal, polikristal dan amorf.

Kristal tunggal merupakan suatu material dimana semua atomnya tersusun sendiri dalam satu arah. Polikristal yaitu suatu material yang tersusun atas beberapa kelompok atom atau butir (grain) yang memiliki orientasi yang berbeda satu sama lainnya. Sedangkan, *amorf* yaitu suatu material yang memiliki pola susunan atom-atom atau molekul-molekul yang acak dan tidak teratur secara berulang, amorf terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atom tidak menempati lokasi kisinya. Susunan khas atom-atom dalam kristal dinamakan struktur kristal. Struktur kristal dibangun oleh sel satuan (*unit cell*) yang merupakan sekumpulan atom yang tersusun secara khusus, secara periodik berulang dalam tiga dimensi dalam suatu kisi kristal (*crystal lattice*) (Sofyan, 2007).



Gambar.3 (a) susunan atom kristal, (b) susunan atom amorf (Sandi, 2017).

Struktur Kristal bisa terjadi jika ditempatkan suatu basis di setiap titik kisi sehingga terjadi gabungan antara struktur Kristal yang merupakan kisi kisi (*lattice*) dan basis. Kisi adalah suatu titik yang teratur dan periodik di dalam ruang. Sedangkan basis merupakan sekumpulan atom, dengan jumlah atom dalam sebuah basis dapat berisi satu atom atau lebih (Astra, 2015).

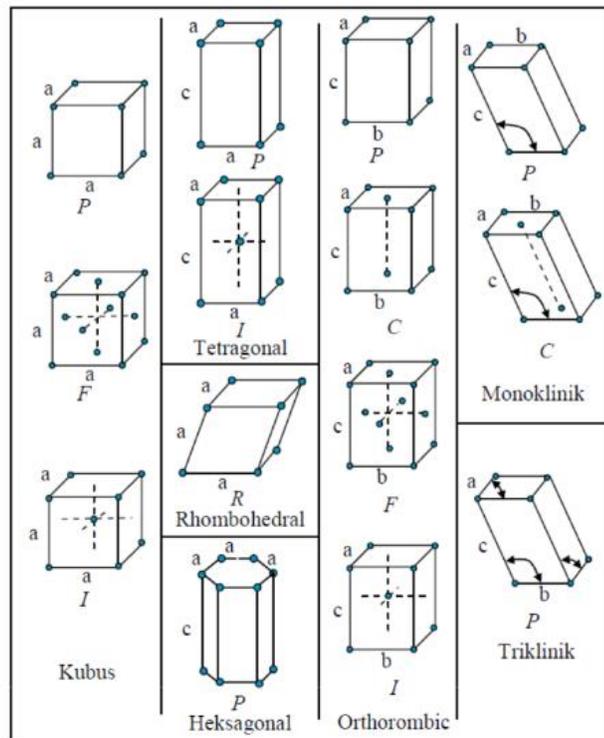


Gambar.4 struktur Kristal dua dimensi (Astra, 2015). Sumbu dan struktur antar Kristal (Edi, 2000)

Geometri kristal dalam ruang dimensi tiga yang merupakan karakteristik kristal memiliki pola yang berbeda-beda. Struktur kristal yang terdiri dari jutaan atom dapat dinyatakan dengan ukuran, bentuk, dan susunan sel satuan yang berulang dengan pola pengulangan yang menjadi ciri khas dari suatu kristal (Edi Istiyono, 2000). Sumbu a , b , c adalah sumbu-sumbu yang dikaitkan dengan parameter kisi kristal. Sedangkan untuk α , β , dan γ merupakan sudut antara sumbu-sumbu referensi kristal. Menurut anggapan Bravais (1848), berdasarkan kisi bidang dan kisi ruang kristal mempunyai 14 kisi dan perbandingan sumbu kristal dan hubungan susut satu dengan sudut yang lain, kristal dikelompokkan menjadi 7 sistem kristal

Tabel.1 7 Kristal dan 14 Kisi Bravais (Van. Vlack, 2004).

No	Sistem Kristal	Parameter Kisi	Kisi Bravais	Simbol
1.	Kubik	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel Pusat badan pusat muka	P I C
2.	Monoklinik	$a \neq b \neq c$ $a = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Simpel Pusat Dasar	P C
3.	Triklidik	$a \neq b \neq c$ $a = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Simpel	P
4.	Tetragonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel Pusat Badan	P I
5.	Orthorombik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel Pusat Dasar Pusat Badan Pusat Muka	P C I F
6.	Trigonal	$a = b = c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Simpel	P
7.	Hexagonal/Rombus	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Simpel	P



Gambar.5 Empat belas kisi bravais (Van. Vlack, 2004).

Untuk menghitung ukuran Kristal yang didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$D = K \frac{\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

D yaitu Ukuran kristal material,

K konstanta (0,9),

λ panjang gelombang sinar-X yang digunakan,

β nilai FWHM dari puncak yang dipilih, θ sudut difraksi.

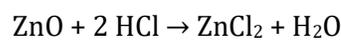
4. Zinc Oxide (ZnO)

Seng oksida adalah suatu senyawa anorganik dengan rumus kimia ZnO. ZnO merupakan bubuk putih yang tidak larut dalam air dan senyawa ini banyak digunakan sebagai aditif dalam berbagai material dan produk termasuk karet, plastic, minyak gosok, perekat, penutup, pigmen, makanan, baterai, ferit, pemadam api dan perban pertolongan pertama. Meskipun terdapat di alam sebagai material *zincite*, sebagian seng oksida diproduksi secara sintesis (D. L. Marcel, 2006).

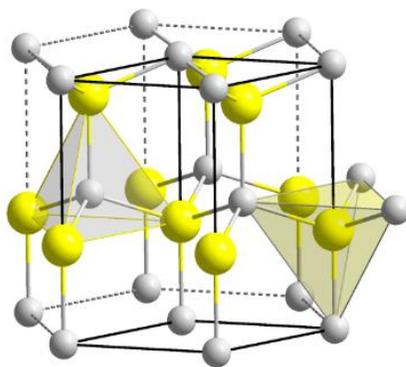
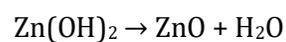
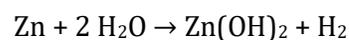
ZnO merupakan suatu semikonduktor dengan celah pita lebar pada grup semikonduktor II-VI. Doping aktif dari semikondor dikarenakan kekosongan oksigen atau interstisi seng adalah tipe-n (ozgur, 2005). Semikonduktor ini memiliki beberapa sifat yang menguntungkan, termasuk transparansi yang baik, mobilitas electron yang tinggi, celah pita lebar dan pendaran kuat pada suhu kamar. Sifat tersebut bernilai pada aplikasi di

negara berkembang untuk elektroda transparan di dalam penampil kristal cair, jendela yang hemat untuk *energy* atau melindungi panas dan elektronik sebagai transistor film tipis dan diode pemancar cahaya.

ZnO murni berbentuk serbuk putih, tapi di alam terdapat mineral langka zincite, yang biasanya mengandung mangan dan ketidakmurnian lainnya yang menimbulkan warna kuning hingga warna merah (Klingshirn, 2007). Kristal seng oksida bersifat termokromik, berubah dari putih ke kuning ketika dipanaskan di udara dan kembali menjadi putih pada pendinginan. Perubahan warna ini disebabkan oleh kehilangan kecil oksigen ke lingkungan pada suhu tinggi untuk membentuk $Zn_{1+x}O$ non-stokiometrik, dimana pada suhu $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $x = 0.00007$ (Wiberg, 2001). Seng oksida merupakan sebuah oksida atmosfer. Ia hampir tak larut dalam air, namun akan larut dalam kebanyakan asam seperti asam klorida (Greenwood, 2007).



Kristal tunggal yang besar (beberapa sentimeter kubik) bisa ditumbuhkan dengan transportasi gas (deposisi fasa uap), sintesis hidrotermal atau pertumbuhan leleh. Namun, karena tekanan uap yang tinggi dari ZnO, pertumbuhan dari lelehan menimbulkan masalah. Pertumbuhan dengan transportasi gas sulit dikendalikan, meninggalkan metode hidrotermal sebagai preferensi. Film tipis dapat diproduksi melalui deposisi uap kimia, epiktasi fasa uap metalorganik, elektrodeposisi, deposisi laser berdenyut, pemercikan (*sputtering*), sintesis sol-gel, deposisi lapisan atom, pirolisis semprot. Kebanyakan seng oksida bubuk putih dapat diproduksi di laboratorium dengan elektrolisis larutan natrium bikarbonat serta gas hydrogen dihasilkan. Seng hidroksida pada pemanasan akan terurai menjadi seng oksida.



Gambar.6 sel wurtzite ZnO, Zn kuning, O abu-abu. Koordinasi *tetrahedron* (Borysiewicz, 2019)

Seng oksida mengkristal dalam dua bentuk, heksagonal wurtzite (Fierro, 2006) dan kubik *zinblende*. Struktur *wurtzite* merupakan yang paling stabil pada kondisi ambien dan dengan demikian yang paling umum. Bentuk *zinblende* dapat distabilkan dengan menumbuhkan ZnO pada substrat dengan struktur kisi kubik. Dalam kedua kasus, pusat seng dan oksida merupakan tetrahedral, geometri yang paling karakteristik untuk Zn (II). ZnO berubah menjadi motif garam dapur pada tekanan tinggi relatif sekitar 10 GPa (Ozgur, 2005).

Polimorf *heksagonal* dan *zinblende* tidak memiliki simetri inversi (Refleksi kristal relatif terhadap suatu titik tertentu tidak mengubahnya menjadi dirinya sendiri). Hal ini dan sifat kisi simetri lainnya menghasilkan piroelektrik dari ZnO heksagonal dan *zinblende*, dan piroelektrisitas dari ZnO heksagonal. Struktur heksagonal memiliki point group 6 mm (notasi Hermann-Mauguin) atau C6v (notasi Schoenflies) dan grup ruangnya adalah P63mc atau C6v4. Konstanta kisinya adalah $a = 3.25 \text{ \AA}$ and $c = 5.2 \text{ \AA}$; rasio $c/a \sim 1.60$ mendekati nilai ideal untuk sel heksagonal $c/a = 1.633$ (Rossler, 1999). Seperti dalam kebanyakan material golongan II-VI, ikatan dalam ZnO sebagian besar adalah ionik ($\text{Zn}^{2+}-\text{O}^{2-}$) dengan jari-jari 0.074 nm untuk Zn^{2+} dan 0.140 nm untuk O^{2-} . Sifat ini menjelaskan pembentukan preferensial dari struktur heksagonal dari pada *zinblende* (Klingshirn, 2010), serta sifat piroelektrisitas yang kuat pada ZnO. Karena ikatan Zn-O yang polar, bidang seng dan oksigen bermuatan listrik. Untuk menjaga netralitas listrik, bidang tersebut merekonstruksi pada tingkat atom dalam sebagian besar material relatif, namun tidak dalam ZnO - permukaannya adalah datar secara atomik, stabil dan tidak menunjukkan rekonstruksi. Anomali ZnO ini tidak sepenuhnya dijelaskan (Baruah, dkk. 2009).

Sifat mekanik ZnO adalah material yang relatif lembut dengan kekerasan perkiraan sebesar 4.5 pada skala Mohs (Hernandezbattez, 2008). (Skala kekerasan mineral Mohs mengklasifikasikan resistensi goresan terhadap berbagai mineral melalui kemampuan suatu bahan keras menggores bahan yang lebih lunak) konstanta elastisnya lebih kecil dibandingkan dengan semikonduktor III-V yang relevan, seperti GaN. Kapasitas panas serta konduktivitas termal yang tinggi, ekspansi termal yang rendah dan suhu lebur yang tinggi dari ZnO menguntungkan bagi keramik (Porter, 1991). ZnO menunjukkan suatu fonon optik E2 (rendah) yang sangat lama tinggal dengan masa tinggal mencapai 133 ps pada 10 K (Millot, 2010).

Sifat kelistrikan ZnO memiliki celah pita langsung yang relatif besar yakni $\sim 3.3 \text{ eV}$ pada suhu kamar. Keuntungan yang terkait dengan celah pita

yang besar meliputi tegangan breakdown yang lebih tinggi, kemampuan untuk mempertahankan medan listrik yang besar, menurunkan suara elektronik, serta suhu tinggi dan operasi berdaya tinggi. Celah pita ZnO lebih lanjut dapat disetel pada 3 – 4 eV melalui campurannya dengan magnesium oksida atau cadmium oksida (Ozgun, 2005).

Struktur nano ZnO dapat disintesis menjadi berbagai morfologi termasuk kawat nano, *nanorod*, tetrapoda, *nanobelt*, *nanoflower*, nanopartikel dan sebagainya. Struktur nano dapat diperoleh dengan sebagian besar teknik yang disebutkan di atas, pada kondisi tertentu, dan juga dengan metode uap-cair-padat (Baruah, dkk. 2009). Sintesis ini biasanya dilakukan pada suhu sekitar 90 °C, dalam suatu larutan berair ekimolar dari seng nitrat serta heksamina, yang terakhir menyediakan lingkungan basa. Bahan tambahan tertentu, seperti polietilena glikol atau *polietilenimina*, dapat meningkatkan aspek rasio kawat nano ZnO (Ying Zhou, dkk. 2008). Doping dari kawat nano ZnO telah dicapai dengan menambahkan nitrat logam lainnya ke dalam larutan pertumbuhan (Ciu.jingbiao, 2006). Morfologi struktur nano yang dihasilkan dapat disetel dengan mengubah parameter yang berkaitan dengan komposisi prekursor (seperti konsentrasi seng dan pH) atau perlakuan termal (seperti tingkat suhu dan pemanasan) (Elen, dkk. 2009).

Sifat optis dan piezoelektrik yang unik dari ZnO dipasangkan dengan karakteristik kelistrikan non-trivial. Semikonduktor golongan II-IV, ZnO menunjukkan konduktivitas tipe-n dengan mobilitas pembawa tinggi dalam kisaran 100cm²/Vs. O_v sebagai donor dalam yang tidak dapat bertanggung jawab atas konduktivitas tipe-n dan Zn_i merupakan donor dangkal, memiliki *energy* formasi yang besar dan cepat menyebar, sehingga menjadi tidak stabil. Zn_v sebagai bahan akseptor dalam dengan *energy* formasi rendah di bawah kondisi yang menyebabkan pertumbuhan tipe-n, maka dari itu dapat mengkompensasi muatan tipe-n (Cuscos, 2007). O_i , oksigen dan antisit seng dianggap memiliki *energy* formasi yang terlalu besar untuk ada dalam konsentrasi yang signifikan dalam material. Oleh karena itu, konduktivitas tipe-n intrinsik film ZnO disebabkan oleh ketidakmurnian yang ada selama proses pertumbuhan (Kohan, 2000).

Sifat ZnO dikenal yaitu konduktivitas termal tinggi dan perilaku optik non-linier yang kuat yang membuat material menarik masing-masing untuk aplikasi luar angkasa, generator termoelektrik dan elemen optik non-linier. Tantangan dalam teknologi ZnO adalah fabrikasi material tipe-p yang stabil contohnya untuk aplikasi homojunction di LED atau dioda laser, tetapi untuk berbagai perangkat elektronik biopolar bahan tersebut tidak hanya

menunjukkan sifat transport yang stabil, tetapi juga memiliki kualitas Kristal yang tinggi, tanpa agregasi/pemisahan akseptor batas butir serta dengan kepadatan rendah pusat rekombinasi non-radiasi (Borysiewicz, 2019).

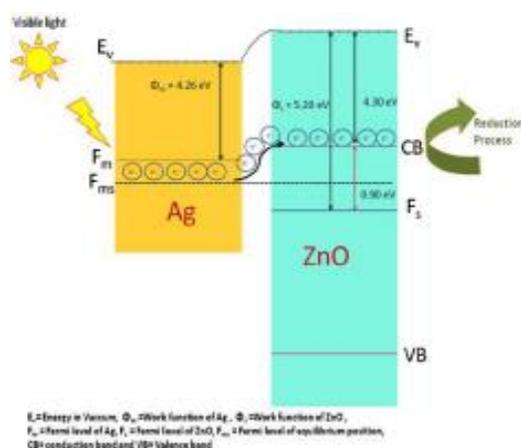
5. Perak (Ag)

Doping merupakan teknik untuk menambahkan sejumlah atom pengotor kecil dalam struktur kristal semikonduktor dengan tujuan untuk mengoptimalkan suatu bahan material sehingga menghasilkan efisiensi yang paling bagus. Penambahan doping dalam katalis merupakan usaha untuk meningkatkan aktivitas katalis. Penambahan doping juga memberikan perubahan morfologi katalis, menurunkan tingkat agresi, memperluas permukaan dan memperkecil ukuran partikel yang memiliki tujuan untuk memodifikasi semikonduktor dengan mengaplikasikannya untuk fotokatalis (Anggita, 2018).

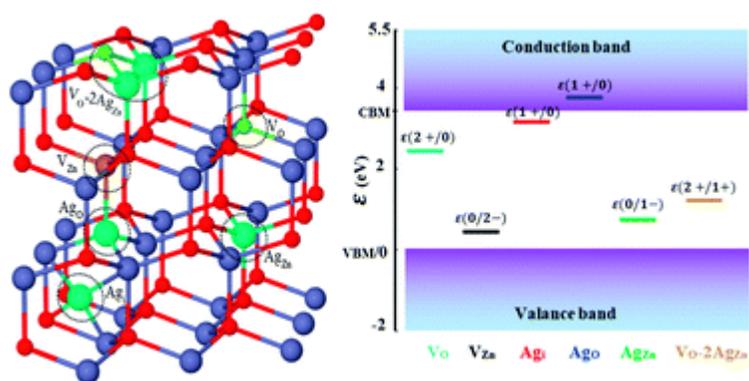
Beberapa bahan doping digunakan untuk aplikasi mendoping semikonduktor dengan logam transisi seperti Ag dan Ni, yang menunjukkan bahwa doping logam tersebut berpengaruh dalam *energy* celah pita, ukuran butir, struktur elektronik dan *energy band-gap* (Zhi-Gang, 2012). Perak saat ini banyak disintesis menjadi nanopartikel yang banyak di aplikasikan dalam bidang fotografi, katalis dan fotonik serta dapat melakukan proses oksidasi dari zat lain karena memiliki sifat toksik rendah dan sifatnya netral dalam air. Doping perak sangat bagus untuk menstabilkan panas dan cahaya panjang gelombang UV. Perak disintesis dalam bentuk nanopartikel sehingga sering dijadikan sebagai pengujian (Setiawan. H, 2019). Perak juga digunakan sebagai doping untuk menambahkan efisiensi fotokatalitik dari ZnO, serta dapat menghasilkan elektron *hole* yang lebih banyak sehingga meningkatkan aktivitas fotokatalitik dan katalis ZnO/Ag (Zhi-Gang, 2012).

Cahaya matahari memiliki sedikit kandungan UV dan banyak cahaya tampak, sehingga akan lebih ekonomis apabila dapat memanfaatkan cahaya tampak dari sinar matahari dibandingkan harus mengolah dari cahaya UV sinar matahari. *Energy* celah pita yang dimiliki oleh semikonduktor ZnO cukup besar sehingga kurang efisien untuk fotokatalis dengan penyinaran cahaya matahari. Nanostruktur doping logam transisi adalah metode yang paling efektif untuk menyelesaikan masalah *energy* tingkat permukaan pada ZnO yang dapat di rekayasa dengan melakukan perubahan konsentrasi material yang di doping, sehingga sifat-sifat fisik terutama sifat optis dari material dapat ditingkatkan (Chauhan, 2010).

Mekanisme antimikroba nanopartikel Ag terkait dengan pembentukan radikal bebas yang menyebabkan kerusakan membran berikutnya karena antioksidan radikal bebas mungkin berasal dari nanopartikel Ag dan berkaitan erat dengan aktivitas antimikroba (Kim, 2007). Keterlibatan radikal bebas dalam aktivitas antibakteri nanopartikel perak dikarenakan adanya interaksi antara spesies oksigen reaktif yang dihasilkan nanopartikel Ag dengan kematian sel bakteri. DNA bakteri atau mitokondria dapat dipengaruhi oleh adanya spesies oksigen reaktif, sehingga nanopartikel Ag menunjukkan efek antibakteri dan antivirus yang baik dengan menghasilkan spesies oksigen reaktif seperti anion superoksida, radikal hidroksil dan singlet oksigen yang dapat merusak protein, DNA dan organ intraseluler lainnya (Kim, 2011).



Gambar.7 fotokatalitik struktur nano ZnO *doping* Logam (Anggita, 2020)



Gambar.8 mikrostuktur ZnO *doped* Ag (Masoumi, 2018).

6. Metode Sol-Gel

Teknik yang lebih mudah adalah deposisi sol-gel, suspensi koloid dibuat dengan cara mencampurkan precursor yang dipilih dalam pelarut dengan penstabil dan selanjutnya dilapisi dengan spin pada substrat yang dipilih. Untuk ZnO precursor Zn biasa adalah asetat, nitrat atau klorat. Pelarut biasanya berupa alcohol, penstabil yang ditambahkan ke dalam campuran biasanya amina seperti

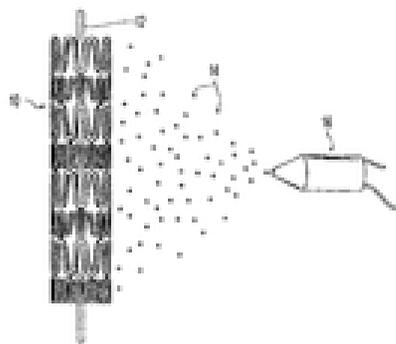
monoetanolamina atau MEA. Dengan pencampuran secara homogen tersebut didapat larutan sol-gel yang homogen dengan melakukan deposisi seperti *spin*, *spray* dan lain-lain lalu film mengalami beberapa tahapan pengeringan dan anil antara suhu 100°C sampai 500°C membentuk lapisan film akhir (Wu. Y, 2010).

Berkembangnya metode sol-gel dengan partikel berukuran nano membuat metode tersebut terjadi beberapa tahapan yaitu hidrolisis terjadi pergantian reaksi dari gugus alkoksida -OR oleh gugus karboksil -OH. Pada proses hidrolisis ini bisa terjadi dalam kondisi asam maupun basa. Pada kondisi asam, gugus alkoksida akan terprotonasi dengan cepat. Sedangkan pada kondisi basa gugus alkoksida terprotonasi lebih lama dibandingkan dengan kondisi asam karena pada kondisi asam cenderung oksigen alkoksida menolak gugus -OH. Reaksi kondensasi ini akan terjadi sebelum reaksi hidrolisis selesai.

Molekul yang sudah terhidrolisis akan membentuk ikatan siloksan, dua logam yang digabungkan menjadi rantai oksigen. Reaksi kondensasi ada dua macam yaitu asam dan basa. *Aging* (pematangan). Pada proses ini, terjadi reaksi pembentukan jaringan gel yang lebih kaku, kuat dan menyusut didalam larutan. Pada fase cair yang masih mengandung partikel padat dan menggumpal akan bereaksi dan akan mengembun saat gel mengering. Gel yang dihasilkan sangat fleksibel. *Drying* (pengeringan) Pada fase pelarut melalui proses pengeringan ini tujuannya untuk mengubah struktur jaringan gel. Gel dikeringkan dengan penguapan maka jaringan gel akan runtuh dan menghasilkan *xerogel*. Proses *drying* ini dilakukan dengan cara menguapkan larutan untuk mendapatkan struktur sol-gel yang memiliki luas permukaan yang tinggi maka cairan tidak didinginkan(Liza, 2016).

7. Teknik *Thermal Spray Coating*

Deposisi dengan metode *spray* merupakan proses *feedstock* sebagai partikel individu didorong dengan aliran gas bertekanan ke suatu permukaan substrat dan menempel pada permukaan sehingga membentuk permukaan tipis yang sesuai (Prawara, 2006).



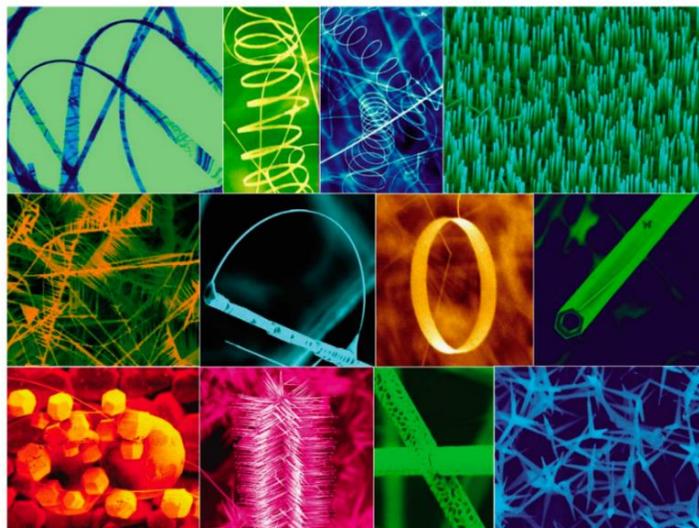
Gambar.9 Teknik *Spray Coating* (Weber, 2004)

Thermal spray coating adalah pelapisan dengan cara perangkta/sistem khusus dengan bahan cair disemprotkan dengan kecepatan tinggi ke suatu komponen yang telah dibersihkan dan siap digunakan dengan proses bahan baku lapisan dilebr oleh sumber panas. Bahan cair kemudian didorong oleh gas dan disemprotkan ke bahan dasar, dimana lapisan akan mengeras/mengendap dan membentuk lapisan (Sulzer, 2013). Metode tersebut memiliki berbagai metode diantaranya *flame spray, flame spray-fuse, transferred plasma arc, high velocity oxyfuel and detonation gun* (Tucker, 2013). Mikrostruktur metode ini terdiri dari banyak lapisan tipis yang saling tumpang tindih dan partikel yang dasarnya pipih. Mikrostruktur penampang lapisan tipis dengan metode *detonation gun* umumnya semakin tinggi partikel maka proses pelapisannya dengan kecepatan padat sehingga menghasilkan lapisan lebih padat dan terikat baik secara kohesif (percikan ke percikan) maupun adhesif (lapisan ke substrat) (Tucker, 2013).

Secara adhesif paling cocok digunakan karena dari lapisan ke substrat didominasi oleh ikatan mekanik. Perlakuan subsrtat sebelum di *coating* sangat penting dengan pembersihan dan pemanasan hal ini dapat mengaktifkan *energy* permukaan bebas dan menawarkan manfaat dari peningkatan luas permukaan untuk ikatan partikel disemprot. Dampak pelapisan partikel cair dengan kecepatan tinggi menyebabkan partikel terbentuk dan menyebar pada substrat. Panas yang di transfer ke partikel, sehingga partikel menyusut, mengeras dan menyatu dengan bahan substrat yang kasar karena adanya adhesi lapisan. Pemanasan pada proses ini membantu proses difusi partikel ke dalam substrat dan dapat meningkatkan ikatan yang terjadi antara partikel sehingga prioritas hamper tidak ada dan memiliki ketahanan korosi yang sangat baik (Sulzer, 2013).

Teknik elektrodposisi hanya digunakan untuk melapisi substrat dengan film konduksi. Substrat menjadi elektroda yang direndam dalam larutan seng, asetat atau nitrat dalam pelarut yang dipanaskan di atas suhu 50°C dalam air. Sebuah elektroda dengan kutub anoda dan katoda juga direndam dalam larutan tersebut menutup rangkaian dengan memberi jarak sehingga akan mengalami perpindahan massa Zn^{2+} ion ke elektroda dan evolusi ion hidroksida dari larutan elektroda mengarah ke pembentukan seng hidroksida di permukaannya. Peningkatan suhu larutan diperlukan untuk dehidrasi akhir seng hidroksida menjadi ZnO dan air. Prosesnya cepat dan memungkinkan pelapisan geometri kompleks pada substrat skala besar bermanfaat dalam aplikasi fotokatalisis. Pada teknik tersebut difokuskan pada celah pita dan rekayasa keadaan elektronik,

penggunaan ZnO sebagai oksidator konduktor transparan, pelapis optic sel surya dan perangkat berbasis transistor serta doping tipe-p (Manzano, 2011).

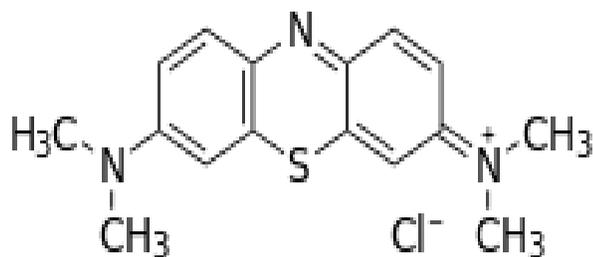


Gambar.10 struktur Nano ZnO *doping* Ag yang disintesis dengan penguapan termal (Wang. Z. L, 2004)

8. Pewarna Tekstil

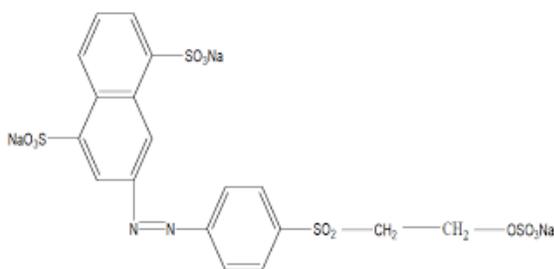
Menurut Berneth (2008), *Methylene blue*(MB) pada awalnya disintesis pada tahun 1876 sebagai warna yang berbasis anilin untuk industri tekstil. Menurut Oz (2009), Zat pewarna *methylene blue* juga digunakan sebagai antiseptik dalam terapi klinis. Menurut Fadillah (2009), *methylene blue*(MB) merupakan salah satu pewarna kationik yang banyak digunakan dalam sebuah industri seperti pabrik kulit, pabrik pelapisan logam, industri cat dan industri tekstil. Pewarna organik *methylene blue* memiliki struktur cincin benzene yang sangat sulit terurai dalam air. Zat warna *methylene blue* rumus kimianya yaitu $C_{16}H_{18}N_3S$ senyawa hidrokarbon aromatik yang beracun dan memiliki daya adsorpsi yang sangat kuat. Zat limbah ini sangat berbahaya karena mengakibatkan polutan dalam jumlah yang berlebih (Sistesya, 2013).

Methylene blue merupakan senyawa yang berupa kristal berwarna hijau gelap. Dan apabila dilarutkan ke dalam air maupun alkohol akan menghasilkan larutan berwarna biru. Berat dari *methylene blue* yaitu 319.86 gr/mol, dengan titik lebur di $105^{\circ}C$ dan memiliki daya larut sebesar $4,36 \times 10^4$ mg/L. Struktur molekul dari *methylene blue* (Palupi, 2006) seperti gambar berikut

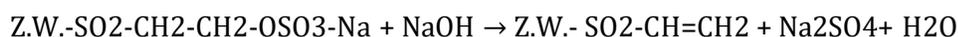


Gambar.11 Struktur molekul kimia *methylene blue*(Palupi,2006)

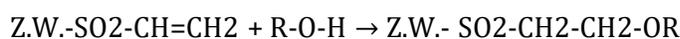
Menurut Rasjid (1976) pewarna tekstil kuning dengan gugus reaktif merupakan bagian dari zat warna dan mudah lepas, sehingga bagian zat yang berwarna mudah bereaksi dengan serat. Reaksi dapat berjalan dengan baik memerlukan penambahan alkali atau asam sehingga mencapai suatu pH tertentu. Dalam larutan alkali akan terjadi reaksi seperti pada persamaan:



Gambar.12 Struktur molekul kimia *methyl yellow*



Z.W. adalah zat warna dan gugusan $-\text{SO}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$ adalah senyawa vinil sulfon, dimana gugus $-\text{SO}_2-$ menyebabkan terjadinya kepolaran yang kuat pada gugus radikal vinil. Z.W.- $\text{SO}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$ Ikatan rangkap dari senyawa bereaksi dengan gugus hidroksil dari air, alkohol dan selulosa dalam reaksi:



Disamping terjadi reaksi antara zat warna dan serat dengan membentuk ikatan primer kovalen yang merupakan ikatan ester atau eter. Molekul airpun dapat juga mengadakan reaksi hidrolisa dengan molekul zat warna, dengan memberikan komponen zat warna yang tidak reaktif lagi. Reaksi hidrolisa tersebut akan bertambah cepat dengan kenaikan suhu (Rasjid, 1976). Produksi limbah cair industri tekstil bersumber dari proses pencelupan (dyeing), pencucian (washing), pengukuran (sizing), pencetakan (printing) dan penyempurnaan (finishing). Limbah hasil pewarnaan pada industri tekstil mengandung komponen di antaranya sisa zat warna (dye stuff), garam (glauber salt), soda kaustik (caustic soda) dan bahan-bahan aditif seperti urea, sodium alginate, sodium bicarbonat serta air (sisa pewarnaan dan pencucian). Kurang lebih 24% dari zat warna, 67% dari garam-garam yang digunakan pada proses pewarnaan lolos sebagai limbah. Zat aditif umumnya dapat dimurnikan secara

fisis dengan koagulasi dan filtrasi, namun warna limbahnya secara fisis tidak dapat dihilangkan, karena zat warna mengandung gugus-gugus kromofor yang sangat stabil. Gugus-gugus kromofor tersebut yang menyebabkan limbah cair industri tekstil hasil pengolahan yang sudah jernih menjadi berwarna kembali setelah kurang lebih 5 menit kontak dengan udara (teroksidasi).

Menurut Hoffman (1995), Aplikasi semikonduktor untuk mengatasi beberapa kontaminan telah dilakukan pada beberapa senyawa seperti alkana, alkohol alifatik, asam karboksilat aromatik, zat warna, PCB, alkana, surfaktan dan pestisida. Dalam beberapa kasus bahkan semikonduktor mampu mendegradasi sampai mineralisasi komplet senyawa-senyawa organik, misalnya oksidasi hidrokarbon terklorinasi menjadi CO₂ dan H₂O oleh TiO₂ dengan adanya foton.

9. UV-Vis

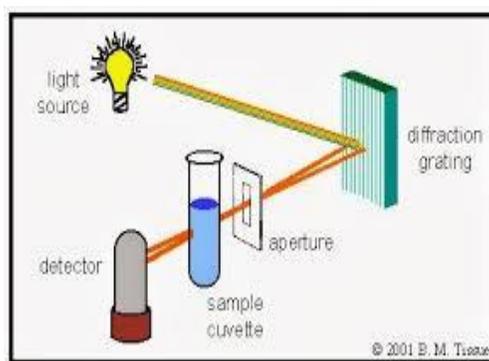
Spektrofotometer Ultraviolet-Visible digunakan untuk mengetahui sifat absorpsi panjang gelombang material dalam rentang 200nm sampai 700nm. UV-Vis NIR merupakan perkembangan UV-Vis *near infrared* yang digunakan untuk mendeteksi sifat absorpsi sampai infrared (Abdullah, 2009). Spektrofotometer UV-Vis juga digunakan untuk molekul dan ion anorganik dalam larutan. Spektrum mempunyai bentuk lebar yang digunakan untuk pengukuran secara kuantitatif (Dachryanus, 2004). Fotometer berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya yang di absorbs. Absorbansi dan transmitansi dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif zat kimia (Sistesya, 2013).



Gambar.13 Alat UV-Vis *spectroscopy* (Apratiwi, 2016)

Susunan komponen alat-alat pada spektrofotometer diatas diantaranya yaitu sumber radiasi/cahaya, monokromator, cuvet dan detektor. Sumber cahaya ini, pancaran energi sebesar 350nm sampai 2200 nm. Monokromator sebagai penggerak cahaya polikromatis menjadi beberapa komponen tertentu sehingga menjadi cahaya monokromatis yang berbeda. Cuvet sebagai wadah larutan yang akan ditembakkan cahaya. Detektor digunakan sebagai mengubah cahaya menjadi sinyal listrik yang selanjutnya akan menampilkan angka panjang gelombangnya (Hasibuan, 2015). Prinsip kerja pada alat spektrofotometer UV-Vis yaitu sinar tampak dari suatu sumber yang bisa memancarkan cahaya di pancarkan melalui

monokromator. Monokromator berguna sebagai menguraikan sinar yang masuk dari sumber cahaya, menjadi pita-pita panjang gelombang yang diinginkan untuk pengukuran suatu zat tertentu yang menunjukkan bahwa setiap gugus kromofor mempunyai panjang gelombang maksimum yang berbeda. Setelah itu dari monokromator cahaya radiasi diteruskan serta diserap oleh suatu larutan yang akan diperiksa dalam kuvet. Jumlah cahaya yang diserap oleh larutan akan menghasilkan signal elektrik pada detektor, sinyal ini sebanding dengan cahaya yang diserap oleh larutan tersebut. Besarnya signal elektrik yang dialirkan akan dapat dilihat dalam bentuk angka (Triyati, 1985).



Gambar.14 Prinsip kerja UV-Vis *spectrometer* (Witjaksono, 2011)

Hubungan absorbansi dengan konsentrasi dapat ditentukan dengan hukum Lambert-Beer, syarat jika sinar yang digunakan harus monokromatik. Pengukuran dengan spektrofotometer UV-Vis akan menghasilkan spektrum, sehingga kita bisa mengetahui serapan dari sampelnya. Hubungan absorbansi dan konsentrasi larutan akan dihitung dengan persamaan hukum Lambert-Beer, persamaan sebagai berikut

$$A = \epsilon b C \quad (\text{Persamaan 2.2})$$

Keterangan: A= Absorbansi

ϵ = Absorptivitas molar($M^{-1}cm^{-1}$),

b= tebal kuvet (cm)

C= konsentrasi larutanya(M)

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (\text{Persamaan 2.3})$$

α adalah koefisien absorpsi, $h\nu$ adalah energi foton (eV) dan A adalah konstanta. Koefisien absorpsi (α) ditentukan berdasarkan data absorbansi atau transmitansi untuk setiap panjang gelombang melalui hubungan fundamental seperti persamaan berikut.

$$I = I_0 \exp(-\alpha t) \quad (\text{Persamaan 2.4})$$

I adalah intensitas cahaya yang ditransmisikan melewati lapisan sampel,

I_0 adalah intensitas cahaya datang dan t adalah ketebalan lapisan sampel.

Untuk menghitung nilai absorbansi bisa dicari dengan menggunakan persamaan.

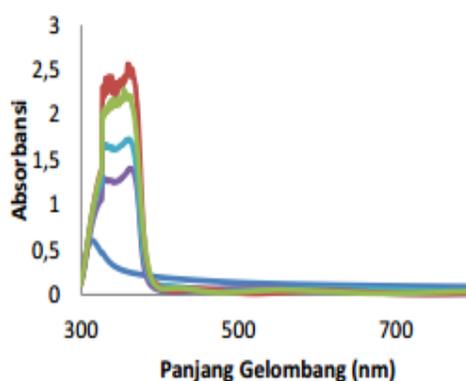
$$A = \log \frac{I_0}{I} = -\log T \quad (\text{Persamaan 2.5})$$

Sehingga koefisien absorpsi (α) didefinisikan dalam persamaan.

$$\alpha = \frac{2,303 A \rho}{L c} \quad (\text{Persamaan 2.6})$$

A adalah absorpsi, c adalah konsentrasi larutan, L adalah panjang garis edar (L=1cm). Plot $\alpha h\nu$ vs $h\nu$ dengan mengekstrapolasi bagian linier dari kurva ke garis absorpsi nol memberikan nilai *band gap* energi untuk transisi langsung.

Salah satu karakterisasi UV-Vis dapat dilihat pada gambar di bawah yaitu nilai absorbansi dan transmitansi. Dan terjadi nilai absorbansi seiring dengan semakin banyak persen Ag yang diberikan. Nilai transmitansinya menunjukkan bahwa peningkatan persen transmitansi yang tajam menunjukkan bahwa susunan material kimianya relatif homogen.



Gambar.15 Spektrum absorpsi UV-Vis lapisan tipis dengan variasi %Ag (Sistesya, 2013).

10. XRD

X-Ray Diffraction atau Sinar-X adalah metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristal hingga non-kristal yang terkandung dalam suatu bahan dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik dari sinar-X (Anisa. N, 2016). Sinar-X mempunyai gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang 0,5 Å – 2,5 Å dengan rentang energi radiasi elektromagnetik 200eV – 1eV sehingga dapat difraksikan oleh atom-atom dengan mengamati pola atom-atom tersebut maka struktur material dapat ditentukan (Abdullah, 2009). Data yang didapatkan dari karakterisasi XRD berupa sudut Bragg. Sudut difraksi sangat bergantung pada lebar celah kisi yang dapat mempengaruhi pola difraksi, sedangkan intensitas cahaya difraksi bergantung pada banyaknya kisi Kristal yang mempunyai orientasi yang sama.

XRD dapat digunakan untuk menentukan sistem Kristal, parameter kisi, derajat kristalinitas dan fasa yang terbentuk (Hardiyanti, 2013). Berkas sinar yang dihamburkan oleh atom bila sefasa akan mengakibatkan terjadinya

interferensi saling menguatkan (Interferensi konstruktif), bila tidak sefasa maka akan saling meniadakan. Interferensi sinar-X dengan material dapat digunakan untuk menghasilkan pola difraksi tertentu yang dapat dipakai analisis kualitatif dan kuantitatif material (Setiabudi, 2012).

Prinsip difraksi sinar-X yaitu terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif (Astuti, 2016). Prinsip kerja XRD adalah jika terdapat suatu senyawa dengan susunan atom yang memiliki bentuk bidang tertentu, maka partikel cahaya (foton) yang datang pada sudut tertentu akan menghasilkan pola difraksi yang khas. Ciri khas pada pola difraksi tersebut yang menjadikan landasan dalam analisa kualitatif untuk membedakan suatu senyawa dengan senyawa lain menggunakan instrumen XRD. Analisa struktur kristal pada XRD dapat dilakukan dengan menggunakan metode difraksi serbuk (*powder diffraction method*) (Setiabudi, 2012).

Prinsip kerja XRD secara umum adalah terdiri dari tiga bagian utama yaitu tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti, detektor sinar-X (Artawa, 2014). Sinar-X dihasilkan di tabung sinar-X yang berisi katoda memanaskan filamen, sehingga menghasilkan elektron. Perbedaan tegangan menyebabkan percepatan elektron akan menembaki objek. ketika elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar-X. Detektor merekam dan memproses sinyal sinar-X dan mengolahnya dalam bentuk grafik (Astuti, 2016).

Ketika berkas cahaya terdifraksi oleh susunan kristal pada material sampel, maka akan berlaku Hukum Bragg.

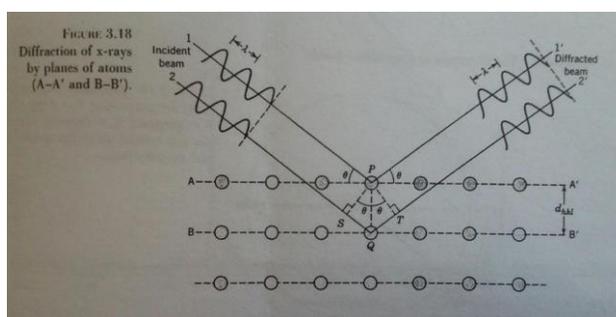
$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (\text{Persamaan 2.7})$$

Dengan : n = Orde difraksi

λ = Panjang gelombang sinar X

d = Jarak antar kisi

θ = Sudut difraksi



Gambar.16 Difraksi Sinar-X (William. Dkk, 1940).

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, bidang kristal akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan ditangkap oleh detector kemudian diterjemahkan bagi sebuah puncak difraksi (Sandewi, 2017). Semakin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, maka semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkan. Setiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material, stndarnya dinamakan JCPDS (*Joint Committee of Power Diffraction Standard*) (Astuti, 2016).

Jarak antar kisi atau *d-spacing* yaitu besarnya jarak antar bidang yang didapatkan dengan menentukan nilai indeks Miller (h, k, l) dan menggunakan hasil indeks Miller tersebut kedalam rumus masing-masing sistem kristal (kubus, tetragonal, ortogonal, monoklin, triklin, trigonal, dan heksagonal) (Setiabudi, 2012).

B. KAJIAN PUSTAKA

Penelitian dilakukan dengan merujuk pada beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Sebagai bahan pertimbangan untuk membandingkan masalah-masalah yang diteliti baik dalam segi metode maupun objek penelitian.

1. Penelitian yang dilakukan Agres Taringan, dkk (2017), tentang kinetika fotodegradasi *remazol yellow* menggunakan fotokatalis ZnO dan ZnO:Ag dengan variasi konsentrasi sebesar 1% sampai 9% yang memiliki kenaikan 2% pada setiap sampel menggunakan metode kopresipitasi. Memiliki kesimpulan bahwa peningkatan doping logam diikuti kenaikan laju degradasi larutan warna yang mengindikasikan bahwa semakin meningkat kemampuan aktifitas fotokatalis juga semakin meningkat. Kenaikan konsentrasi doping berpengaruh pada nilai band-gap yang berkaitan dengan sub *band gap* yang terbentuk ketika proses doping sehingga memperpendek celah pita valensi dengan pita konduksi. Penambahan doping logam juga meningkatkan kecepatan reaksi fotokatalitik sehingga meningkatkan degradasi.
2. Penelitian yang dilakukan Nurhasni tentang efek penggunaan ZnO sebagai fotokatalis yang diimobilisasi pada plat kaca terhadap larutan zat warna *cibacron-red* menggunakan metode perendaman di reaktor fotokatalitik dengan variasi waktu penyinaran rentang waktu 0,5jam, 1jam, 2jam, 4jam dan 6jam yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh ZnO terhadap larutan

zat warna yang diradiasi dengan sinar UV dan mengetahui tingkat keefektifan penggunaan katalis ZnO sebagai pereduksi limbah cair. Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah tidak ada penurunan tingkat absorbansi pada katalis ZnO tanpa iradiasi sinar UV.

3. Penelitian yang dilakukan Heri Susanto, dkk (2015), tentang sintesis lapis tipis *double layer* ZnO/ZnO:Ag menggunakan metode sol-gel *spray coating* untuk fotodegradasi *direct blue 71* bertujuan untuk mensintesis dan karakterisasi lapisan tipis *single/double layer* untuk mendegradasi zat warna dengan variasi doping Ag sebesar 2mol, 4mol, 6mol dan 8mol. Kesimpulan dari penelitian ini adalah seluruh lapisan tipis hasil sintesis mempunyai struktur Kristal wurtzite dengan puncak dominan pada bidang (002) sedangkan hasil uji Uv-Vis spectrum transmitansi dari lapis tipis semakin menurun dengan kenaikan konsentrasi doping Ag. Pada variasi 6mol menunjukkan hasil celah pita terkecil yaitu 3,038eV dan kemampuan degradasi tertinggi dengan efisiensi degradasi sebesar 54,43% dan laju fotodegradasi sebesar $8,56 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$.
4. Penelitian yang dilakukan oleh Sheilla Rully Anggita, dkk (2013), tentang deposisi lapisan tipis ZnO:Ag dengan metode sol-gel dan aplikasinya pada degradasi zat warna pada limbah tekstil yang memvariasi konsentrasi doping Ag sebesar 0%, 2%, 3%, 4% dan 5% suhu *annealing* 400°C menggunakan teknik *thermal spray coating*. Kesimpulan dari penelitian tersebut semakin besar presentase doping Ag maka nilai absorbansi cenderung meningkat dan semakin kecil nilai celah pita energinya. Fotodegradasi lapisan ZnO:Ag pada larutan *methylene blue* menunjukkan bahwa fotokatalis mendegradasi zat warna mencapai 97,37% dengan waktu penyinaran 4jam menunjukkan semakin lama waktu penyinaran maka semakin besar presentase degradasinya.
5. Penelitian yang dilakukan oleh Shiella Rully Anggita (2018), tentang penjernihan air limbah organik dengan seng oksida doping perak dengan variasi suhu *annealing* terhadap mikrostruktur dan fotokatalitik menggunakan metode *sol-gel thermal spray coating*. Suhu yang digunakan sebesar 250°C sampai 400°C dengan kenaikan suhu 50°C tiap sampel, dengan kesimpulan mikrostruktur dengan rentang suhu 200°C sampai 300°C adalah *hexagonal wurzite* sedangkan rentang suhu 350°C sampai 400°C adalah *amorf*. Peningkatan suhu berdampak pada ukuran bulir yang semakin menurun dan berpengaruh pada permukaannya. Untuk pengujian fotokatalitiknya dengan iradiasi sinar matahari selama 4jam menghasilkan bahwa pada suhu 300°C paling optimum untuk menekan laju pertumbuhan

bakteri paling baik dengan besarnya luas permukaan yang mengakibatkan kontak dengan bakteri semakin meningkat sehingga meningkatkan aktifitas fotokatalitiknya.

6. Penelitian yang dilakukan oleh Heri Susanto (2015), tentang sintesis *double layer* ZnO/ZnO:Ag dengan metode Sol-Gel untuk fotodegradasi *direct blue* 71 variasi doping Ag 2%, 4%, 6% dan 8% mol untuk menganalisis mikrostruktur dan sifat optic. Pada penelitian ini, penambahan Ag ke dalam ZnO tidak terlalu berpengaruh terhadap struktur Kristal tetapi meningkatkan puncak dominan pada bidang (002). Dengan meningkatkan doping maka lapis tipis lapisan ganda meningkatkan ukuran Kristal dan memperkecil celah pita.
7. Penelitian yang dilakukan oleh Achmad Ghazali (2020), tentang efek konsentrasi lapisan ganda ZnO/ZnO:Ag terhadap sifat optic dan fotokatalitik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi 0,1M, 0,3M, 0,5M lapisan ganda ZnO/ZnO:Ag meningkat dengan bertambahnya nilai absorbansi dengan rentang *energy gap* sebesar 3,2-3,3eV. Pengujian fotodegradasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan sampel untuk aktivitas fotokatalitik dengan ditunjukkan oleh persentase degradasi paling tinggi.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. JENIS DAN DESAIN PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium Fisika Material MIPA UIN Walisongo Semarang. Penelitian ini dilakukan untuk mendeposisikan ZnO doping Ag yang dilakukan pada media substrat kaca dengan menggunakan metode *Spray Coating* variasi molaritas larutan. Dilakukan pengujian XRD untuk mengetahui struktur kristal dan UV-Vis untuk mengetahui sifat optis. Adapun untuk mengetahui kemampuan fotokatalitik dengan pengujian degradasi zat warna *methylene blue* dan *methyl yellow*.

B. ALAT DAN BAHAN

1. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- a. *Beaker glass* berfungsi sebagai media untuk membuat, mengaduk dan memanaskan larutan. Gelas *beaker* yang digunakan pada penelitian ini berukuran 50 mL, 100 mL, 250 mL dan 500 mL dengan merek Iwaki.
- b. Pipet tetes berfungsi untuk memindahkan cairan dari satu wadah ke wadah yang lain dalam jumlah yang sedikit.
- c. Spatula berfungsi untuk mengambil bahan yang berbentuk padatan.
- d. *Spray hole* berfungsi untuk menyemprotkan larutan *gel* ke substrat kaca. *Spray hole* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Krisbow dengan diameter 0,5 mm.
- e. Kompresor digunakan sebagai sistem pneumatik pada *spray hole*. Kompresor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kompresor Mollar dengan type MLR-AC-1008S yang memiliki tekanan udara 8/116 bar/psi, dengan tenaga 750 W/ 1HP dengan kecepatan 2850 rpm.
- f. Timbangan digital berfungsi untuk mengukur massa bahan yang digunakan. Timbangan digital yang digunakan pada penelitian ini adalah Timbangan digital Krisbow *KW 0600378*, dengan kapasitas maksimal 500 gram dan ketelitian 0,01 gram.
- g. *Hotplate dan magnetic stirrer* berfungsi untuk memanaskan larutan dan mengaduk larutan untuk pembentukan sol-gel dan digunakan untuk memanaskan substrat dalam proses deposisi (pelapisan). *Hotplate* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Hotplate DLAB MS7-H-550* dengan temperature 0-400°C.

- h. *Furnace* berfungsi untuk memanaskan substrat kaca yang sudah di deposisi ZnO doping Ag supaya lapisan tipis yang sudah terdeposisi semakin menempel lebih kuat pada substrat kaca serta untuk membentuk kristal ZnO:Ag. *Furnace* yang digunakan pada penelitian ini adalah Xinyoo Muffle Furnace dengan type XY-1200Mini, temperature maksimalnya 1250°C dengan ukuran 200 x 200 x 200 mm dan daya sebesar 4KW.
2. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:
- Kaca preparat digunakan sebagai substrat pendeposian film ZnO/Ag.
 - Zinc Asetat dihidrat* ($\text{Zn}(\text{COOCH}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) digunakan sebagai prekursor dalam pembentukan serbuk kristal ZnO. Memiliki kemurnian sebesar 99,998 % dengan merek *Merck* dari Jerman.
 - Silver Nitrat* memiliki kemurnian 99,8 % dengan merek *Merck* dari Jerman.
 - 2-Propanol ($\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$) memiliki kemurnian 99,8 % dengan merek *Merck*, Chemical.
 - Monoethanolamine* (MEA: $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$) memiliki kemurnian 99,8 % dengan merek *Merck*, Chemical.
 - Aseton* (CH_3COCH_3) memiliki kemurnian sebesar 99,8 % dengan molaritas 58,08 g/mol dan produsen dari *Merck*, Jerman.
 - Metanol* (CH_3OH) memiliki kemurnian sebesar 99,8 % dengan molaritas 32,4 g/mol dan produsen dari *Merck*, Jerman.
 - Aquabides* digunakan untuk pencucian substrat kaca sebelum dilapisi oleh ZnO/Ag.



Gambar.17 Bahan kimia dalam pembuatan ZnO/ZnO:Ag.

C. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

Proses sintesis *double layer* ZnO doping Ag mendeposisikan pada substrat kaca preparat yang dilakukan di Laboratorium Fisika Material dan Laboratorium Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang. Pengujuan UV-Vis

dan XRD dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.

D. PROSEDUR PENELITIAN

1. Pembuatan larutan Sol-Gel ZnO.

Pembuatan larutan Sol-Gel ZnO menggunakan beberapa variasi Molar yaitu perlakuan pertama *Zinc Acetate dihidrat* ($\text{Zn}(\text{COOCH}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sebanyak 1,14gr untuk variasi 0,1M, 3,42gr untuk variasi 0,3M, 5,7gr untuk variasi 0,5M dan 8gr untuk variasi 0,7M. *Zinc Acetate* tersebut dilarutkan kedalam larutan 2-propanol ($\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$) sebanyak 52ml pada gelas beker yang diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan suhu 75°C selama 30menit dengan kecepatan magnetic stirrer 200rpm sampai homogen. Kemudian larutan tersebut di teteskan Monoethanola;mine (MEA) sebanyak 0,3ml pada variasi 0,1M, 0,9ml pada variasi 0,3M, 1,5ml pada variasi 0,5M dan 2,2ml pada variasi 0,7M. setelah penambahan MEA dengan variasi sesuai kemolaran maka larutan tersebut akan membentuk sol-gel. Lalu larutan gel yang telah dicampurkan hingga homogen, laruta tersebut dibagi dua guna mendapatkan larutan gel ZnO dan larutan gel ZnO dengan menambahkan doping Ag. Semua perlakuan tidak dilakukan perbedaan perbuatan dan penambahan kecuali perbedaan gramasi yang bertujuan untuk mendapatkan variasi molar yang digunakan untuk sampel penelitian.

2. Pembuatan larutan Sol-Gel ZnO:Ag

Pembuatan larutan Sol-Gel ZnO yang telah mendapatkan sampel larutan. Setiap variasi molar, larutan tersebut dibagi dua yang bertujuan untuk membuat larutan ZnO dengan menambahkan doping Ag dan larutan yang 1 digunakan untuk larutan murni ZnO. Utnuk membuat larutan ZnO:Ag yaitu melakukan penambahan doping Ag dengan konsentrasi 4% pada setiap variasi, 0,04gr variasi 0,1M, 0,11gr variasi 0,3M, 0,18gr variasi 0,5M, 0,26gr variasi 0,7M yang dicampurkan pada larutan ZnO yang akan ditambahkan doping Ag secara homogen dengan menggunakan magnetic stirrer dengan suhu 75°C selama 30menit pada masing-masing variasi dengan kecepatan magnetic stirrer 200rpm. Semua langkah dan bahan tidak dilakukan perbedaan perlakuan, yang membedakan hanya gramasi pada setiap variasi sampel. Didapatkan larutan gel ZnO:Ag dengan variasi 0,1M, 0,3M, 0,5M dan 0,7M.

3. Pembuatan larutan single layer ZnO

Deposisi larutan sol-gel dengan menggunakan teknik *thermal spray coating*. Perlakuan pertama yaitu membersihkan substrat dengan metode RCA (*Radio Corporation of America*) kaca dibersihkan dengan aseton dan methanol selama 15menit dengan menggunakan ultrasonic dengan tujuan untuk menghilangkan pengotor yang menempel pada substrat. Setelah itu membilas substrat dengan aquabides lalu mengeringkan substrat tersebut. Substrat kaca yang telah kering lalu di letakkan pada hot plate dengan menggunakan suhu sebesar 300°C. Setelah mencapai suhu yang diinginkan kemudian mendeposisikan substrat kaca dengan larutan sol-gel mendeposisikan larutan yang diinginkan lalu dilakukan pendeposisian larutan gel tersebut menggunakan alat kompresor dengan spray berukuran 0,1mm. Langkah tersebut dilakukan pada setiap variasi molar 0,1M, 0,3M, 0,5M dan 0,7M untuk mendapatkan sampel single layer pada masing-masing molar.

4. Deposisi larutan *double layer* ZnO/ZnO:Ag.

Double layer ZnO/ZnO:Ag mendeposisikan secara berurutan seperti melakukan deposisi larutan gel ZnO terlebih dahulu lalu mendeposisikan larutan ZnO:Ag diatas substrat yang sudah terdeposisi larutan ZnO dengan demikian menjadi hasil substrat/sampel *double layer* ZnO/ZnO:Ag dan melakukan yang sebaliknya untuk mendapatkan hasil substrat/sampel *double layer* ZnO:Ag/ZnO. Langkah ini dilakukan secara berulang tanpa perbedaan perlakuan dengan menggunakan variasi molar untuk mendapatkan sampel yang diinginkan. Setelah itu semua sampel yang didapat langsung di furnace selama 1jam sengan suhu 500°C.

Tabel.2 Konsentrasi Larutan Sol-Gel

No	Sample	Komposisi			
		ZnO (gr)	Ag (gr)	Isopropanol (ml)	Methanolamine (MEA) (ml)
1.	ZnO/ZnO:Ag (0,1M)	1,14	0,04	52	0,3
2.	ZnO/ZnO:Ag (0,3M)	3,42	0,11	52	0,9
3.	ZnO/ZnO:Ag (0,5M)	5,71	0,18	52	1,5
4.	ZnO/ZnO:Ag (0,7M)	8	0,26	52	2,2

E. METODE PENGUMPULAN DATA

1. Uji degradasi larutan dilakukan untuk mengetahui pengurangan kadar warna pada larutan dengan menghitung persentase warna dan konsentrasi larutan yang terurai.
2. Uji karakteristik UV-Vis dilakukan untuk mengetahui sifat optik dan aktivitas fotokatalitik dalam mendegradasi pewarna tekstil.
3. Uji karakteristik XRD dilakukan untuk mengetahui struktur Kristal lapisan tipis dengan memvariasi molaritas.

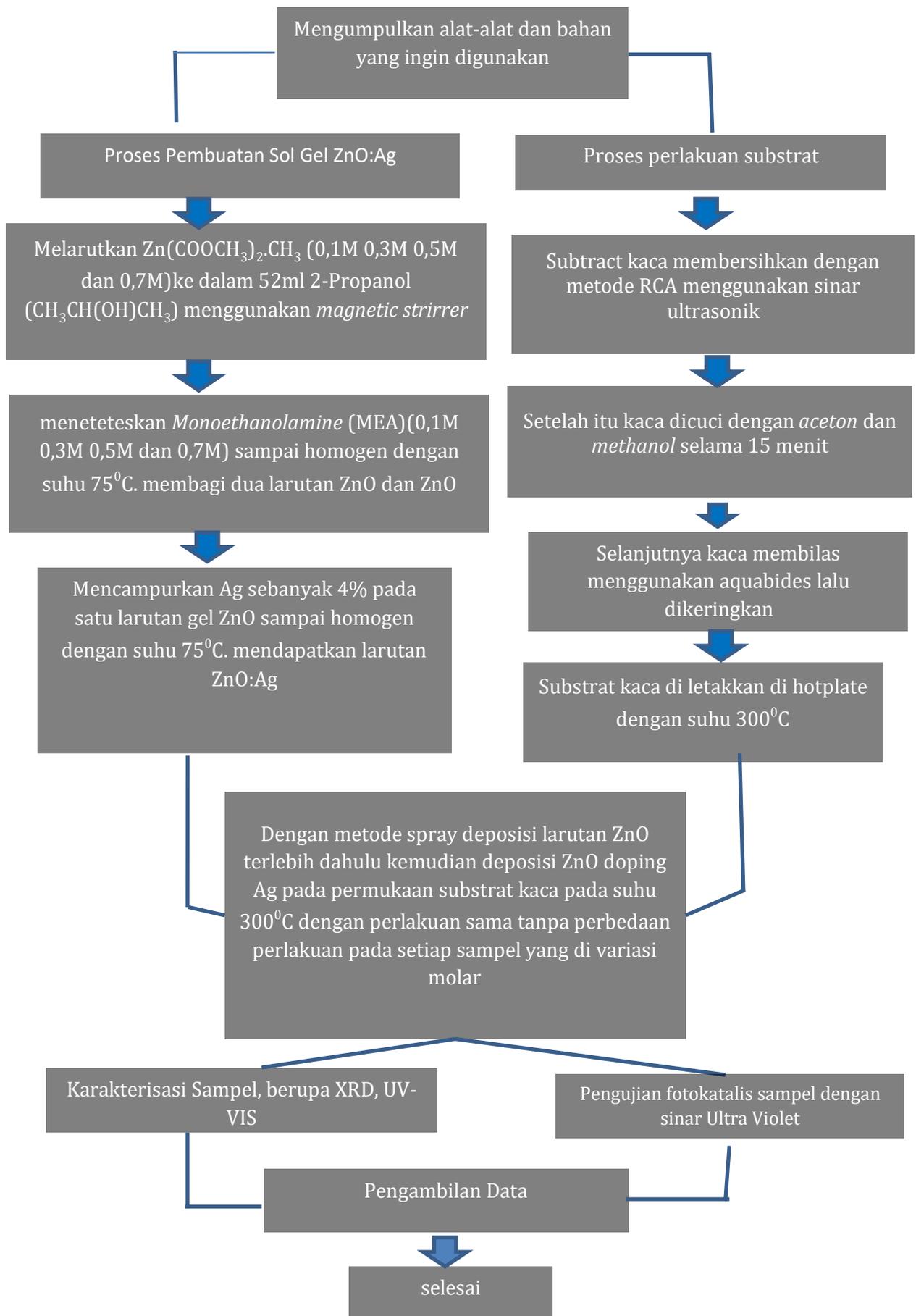
F. METODE ANALISIS DATA

1. Uji Karakteristik XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dan ukuran butir yang dibentuk pada lapisan tipis ZnO:Ag. Ukuran kristal dicari dengan menggunakan metode *Scherrer*, metode ini dilakukan berdasarkan pelebaran puncak difraksi sinar-x. Perhitungan nilai kristal dengan menggunakan Persamaan 2.1. (Sumadiyasa & Manuaba, 2018).
2. Uji Karakteristik UV-Vis digunakan untuk mencari nilai *band gap* energi lapisan tipis ZnO:Ag yang diperoleh melalui skema data absorpsi menggunakan transisi langsung dengan persamaan 2.3 sampai 2.6
3. Uji Degradasi zat warna *methylene blue* dan *methyl yellow* digunakan untuk mengetahui berapa persentase lapisan tipis ZnO:Ag dalam mendegradasi zat warna *methylene blue* dan *methyl yellow*. Metode yang dilakukan untuk mengumpulkan data tersebut dengan cara mengambil sedikit sampel setiap jam selama 4jam yang bertujuan sebagai sampel uji karakterisasi Uv-Vis untuk menghitung persentase uji degradasi. Untuk menghitung persentase degradasi menggunakan persamaan.

$$\% \text{degradasi} = (C_0 - C_t) / C_0 \times 100\%$$

C_0 adalah konsentrasi awal, C_t yaitu konsentrasi akhir.

G. DIAGRAM ALIR PENELITIAN

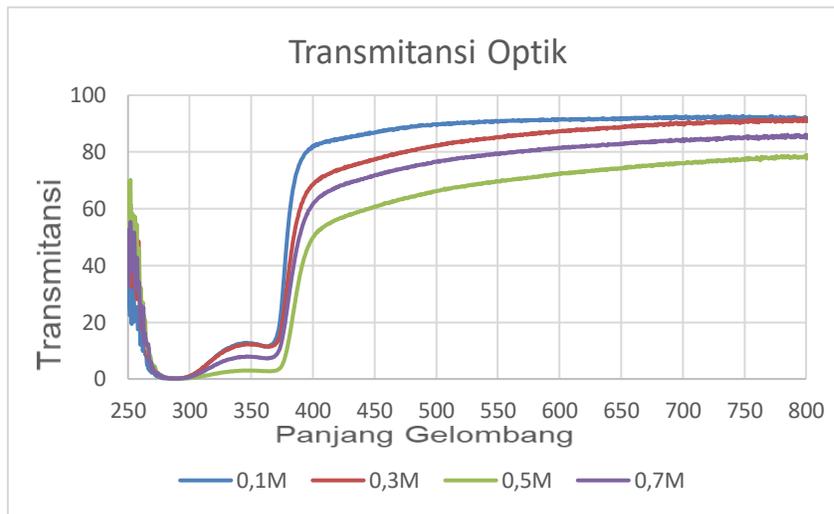


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Karakterisasi Uv-Vis

1. Grafik transmitansi



Gambar.18 Grafik Transmittansi Optik *double layer* ZnO/ZnO:Ag

Gambar.18 menunjukkan nilai transmittansi mengalami perubahan pada setiap sampel saat panjang gelombang mencapai 360nm dan hasil transmittansi terlihat perbedaan saat panjang gelombang mencapai 400nm. Analisis data dari hasil data yang diperoleh menunjukkan bahwa variasi molaritas mempengaruhi persentase transmittansi. Pada variasi molar 0,1M menunjukkan hasil transmittansi pada nilai 92,3%, pada variasi molar 0,3M menunjukkan hasil transmittansi pada nilai 91,5%, ketika variasi molar 0,5M hasil transmittansi mencapai nilai 78,9% dan ketika variasi molar 0,7M transmittansi mencapai hasil 86,1%.

Nilai transmittansi tertinggi ketika variasi 0,1M dibandingkan dengan variasi yang lain. Menurut Sulhadi (2015), dengan tingginya persentase transmittansi menunjukkan bahwa hasil lapisan tipis tersebut mempunyai kualitas Kristal lebih rendah dan kerapatan struktur Kristal lebih besar dan hasil persentase transmittansi paling rendah terdapat pada variasi molar 0,5M. Menurut Surono (2014), menurunnya nilai transmittansi terjadi karena disebabkan deposisi yang tidak merata serta tidak homogen sehingga atom-atom penyusun banyak dalam titik tertentu yang mengakibatkan cahaya sulit untuk melewatinya dan ketika cahaya dengan panjang gelombang tertentu mengenai suatu zat, maka cahaya dengan panjang gelombang tersebut yang akan diserap.

Menurut ungkapan Anggita (2013) semakin rendah konsentrasi molar, atom penyusun pada *energy* fermi sedikit sehingga memudahkan cahaya tertransmittansi sehingga menyebabkan nilai transmittansi meningkat. Sedangkan, semakin tinggi nilai konsentrasi molar akan mengakibatkan sulitnya

cahaya yang melewati celah atom (tertransmitansi) karena banyaknya atom penyusun pada *energy* fermi maka nilai transmitansi akan menurun. Nilai transmitansi yang tinggi disebabkan karena terjadinya difusi ion Ag⁺ ke dalam kisi ZnO yang melewatkan cahaya pada panjang gelombang yang lebih tinggi.

2. Nilai *band gap*

Tabel.3 Nilai *Band Gap*

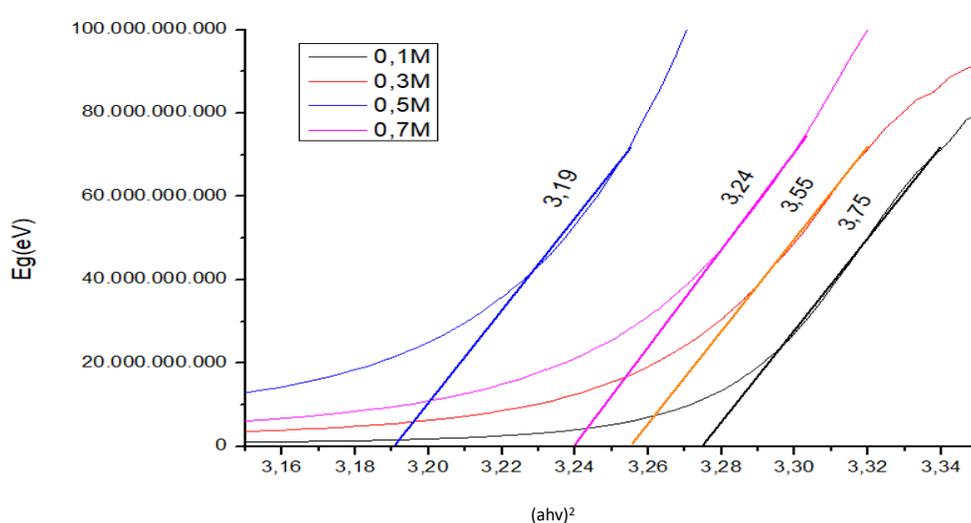
Sampel	Nilai <i>band gap</i> (eV)
ZnO/ZnO:Ag 0,1M	3,75
ZnO/ZnO:Ag 0,3M	3,55
ZnO/ZnO:Ag 0,5M	3,19
ZnO/ZnO:Ag 0,7M	3,24

Tabel ini merupakan nilai *band gap* yang diperoleh dari hasil data pada setiap sampel variasi molar. Variasi molar 0,1 mencapai nilai 3,75eV, variasi molar 0,3 mencapai nilai 3,55eV sedangkan variasi molar 0,5 mencapai nilai 3,19eV dan variasi molar 0,7 mencapai nilai 3,24eV. Variasi nilai *band gap* akan mempengaruhi jarak antara pita valensi dengan pita konduksi, semakin kecil nilai *band gap* maka *energy* yang dibutuhkan elektron akan semakin kecil sehingga dapat memudahkan elektron untuk berpindah. Nilai *band gap* paling rendah terdapat pada variasi molar 0,5M mencapai nilai 3,19eV. Variasi nilai *band gap* karna komposisi larutan tidak stokiometrik dan masih terdapat atom impuritas yang menyebabkan transisi pita ke *energy gap* tidak berada tepat pada pita valensi ke pita konduksi tetapi pada atom impuritas yang bertindak sebagai shallow donor (Sutanto, 2013).

Menurut Anggita (2021), nilai *band gap* pada *single layer* ZnO memiliki nilai 3,24eV sedangkan ZnO yang diberikan doping Ag memiliki nilai 3,25eV. Pada penelitian ini didapatkan nilai *band gap double layer* lebih rendah dengan nilai 3,19eV pada konsentrasi 0,5M dan nilai lebih tinggi pada *energy gap* terdapat pada konsentrasi 0,7M dengan nilai 3,75. Besarnya *energy gap* menunjukkan besarnya *energy* yang digunakan dalam melintasi pita valensi menuju pita konduksi. *Energy gap* semakin kecil karena banyak molekul ZnO yang mengisi Menurut Anggita (2020). Banyaknya atom ZnO akan mengakibatkan nilai absorbansi yang semakin meningkat sehingga *energy* yang diserap akan semakin banyak menurut Doyan (2017). Apabila *energy gap* kecil maka transisi elektron pada pita valensi menuju pita konduksi akan semakin banyak sehingga lapisan akan semakin konduktif karena menyebabkan penyempitan jarak antar pita

sehingga proses eksitasi elektron antar pita semakin kecil dan *energy* yang dibutuhkan juga semakin kecil. Penyempitan *energy gap* akan berpengaruh pada proses degradasi.

Menurut Anggita (2018), variasi nilai *band gap* itu terjadi karena faktor pemberian doping Ag dengan konsentrasi yang pas tidak terlalu banyak akan menghasilkan nilai *band gap* yang kecil. Nilai *band gap* yang rendah memudahkan foton untuk mengeksistansi elektron untuk fotodegradasi. Elektron akan bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan radikal anion superoksida, sedangkan *hole-hole* akan bereaksi dengan molekul air untuk menghasilkan radikal hidroksil.

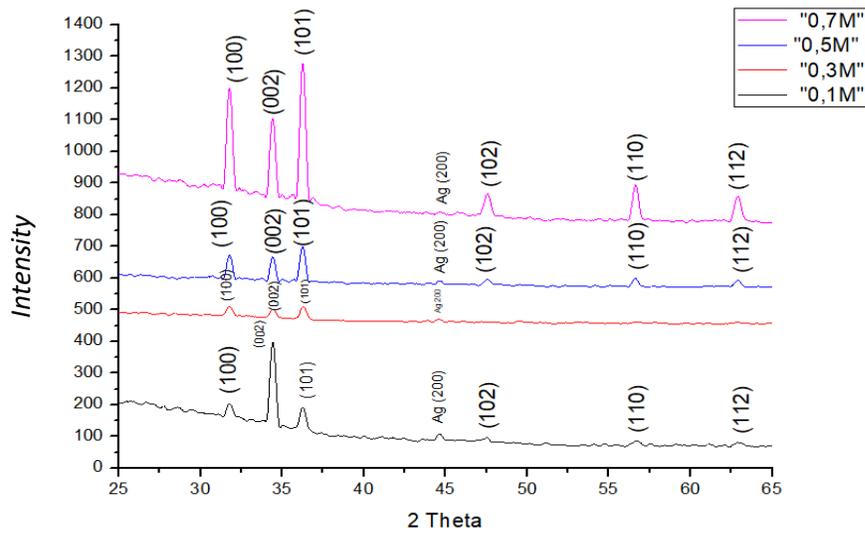


Gambar.19 Grafik Nilai *Band Gap double layer ZnO/ZnO:Ag*

Reaksi elektron dan *hole* dengan mereaksikan masing-masing reaksi akan saling bekerja sama untuk mengurai senyawa organik dan dengan adanya doping Ag dapat meningkatkan efisiensi fotokatalitiknya dengan mencegah terjadinya rekombinasi sehingga fotogenerasi elektron pada pita konduksi ZnO dapat berpindah ke partikel Ag.

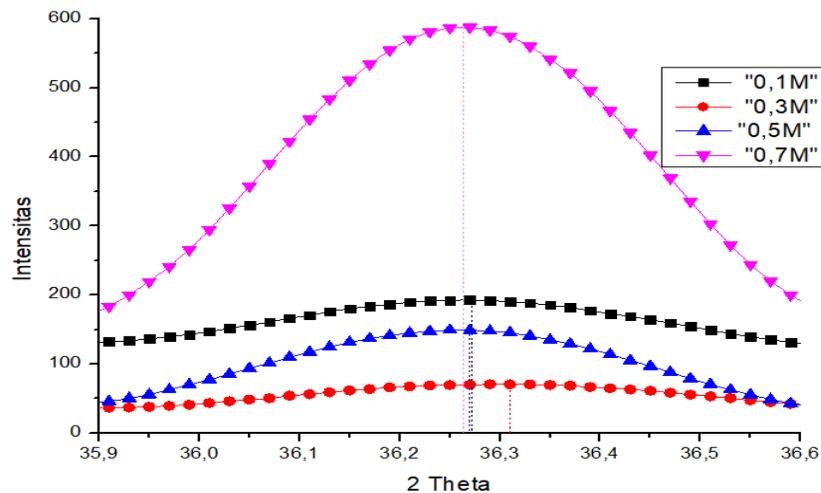
Menurut Karunakaran (2011), semakin kecil nilai *band gap* maka akan meningkatkan fotoelektron dan percepatan eksitasi, sehingga nilai *band gap* yang semakin kecil akan berpengaruh pada hasil degradasi yang diperoleh. Penurunan *band gap* pasti akan terjadi penyempitan *band gap* dan proses eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi semakin kecil dan energi yang dibutuhkan juga akan semakin kecil dengan terjadinya penyempitan *band gap*. Nilai *band gap* yang kecil dan penambahan doping Ag menyebabkan loncatan energi yang dibutuhkan sangat kecil sehingga mobilitas elektron sangat cepat dan terjadilah aktivitas fotokatalitik yang semakin baik (Welderfael, 2013).

B. Hasil Uji Karakterisasi XRD



Gambar.20 Hasil uji karakterisasi XRD pada *double layer* ZnO/ZnO:Ag

Gambar.20 merupakan hasil uji karakterisasi XRD pada lapisan *double layer* ZnO/ZnO:Ag dengan variasi molar 0,1M, 0,3M, 0,5M, 0,7M dengan variasi puncak bidang [100], [002], [101], [200], [102], [110], [112] yang menunjukkan bahwa lapisan tersebut masuk kedalam jenis heksagonal *wurtzite* menurut Nagayasamy (2013). Menurut Mcmurdie (1986) Puncak yang mendominasi yaitu ada 3 yang terletak pada bidang [100], [002] dan [101] puncak-puncak ini sesuai dengan data JCPDS (Joint Commite on Powder Diffraction Standart) ZnO Nomor 1314-13-2.



Gambar.21 puncak [101] pada hasil uji karakterisasi XRD *double layer* ZnO/ZnO:Ag

Menurut Anggita (2020), semakin tinggi intensitas puncak maka ukuran Kristal akan semakin kecil. Tingginya intensitas puncak menunjukkan bahwa atom penyusun yang terdapat pada lapisan semakin banyak dan memiliki ukuran Kristal yang semakin kecil yang menunjukkan bahwa semakin baik fotokatalis yang dihasilkan.

Tabel.4 Hasil Uji Karakterisasi XRD *Double Layer ZnO/ZnO:Ag*

Temperatur Deposisi	2θ (°)	Bidang Difraksi	FWHM (°)	D (nm)
0,1M	33,94	(100)	38,889	0,215
	34,43	(101)	17,261	0,482
	36,46	(002)	15,077	0,555
	47,89	(102)	20,323	0,428
0,3M	31,66	(100)	26,481	0,312
	34,4	(101)	12,64	0,658
	36,28	(002)	10,509	0,795
	44,64	(102)	36,937	0,235
0,5M	31,78	(100)	21,86	0,377
	34,34	(101)	35,812	0,232
	36,2	(002)	26,552	0,315
	44,89	(102)	22,552	0,381
0,7M	31,78	(100)	25,086	0,311
	34,41	(101)	26,497	0,311
	36,26	(002)	29,536	0,283
	45,4	(102)	36,364	0,237

Tabel hasil uji karakterisasi XRD *double layer ZnO/ZnO:Ag* merupakan hasil analisis uji XRD untuk mengetahui nilai FWHM dan ukuran Kristal pada sampel yang digunakan. Pada sampel 0,1M memiliki rata-rata ukuran Kristal sebesar 0,42nm, sampel 0,3M memiliki rata-rata ukuran Kristal sebesar 0,5nm, sampel 0,5M memiliki rata-rata ukuran Kristal sebesar 0,326nm dan sampel 0,7M memiliki rata-rata ukuran Kristal sebesar 0,285nm. Menurut Anggita (2020) semakin kecil ukuran Kristal yang didapat maka akan mempengaruhi pada proses fotokatalis. Semakin kecil ukuran Kristal menunjukkan banyaknya atom penyusunnya dan memudahkan untuk proses degradasi. Dengan ukuran Kristal yang besar akan menyulitkan atom untuk melakukan proses degradasi karena memiliki atom penyusun yang lebih sedikit dan membutuhkan *energy* yang banyak untuk memutus ikatan atom yang terdapat pada larutan limbah. Menurut XinKun (2004) perbedaan nilai FWHM dan ukuran kristal terjadi karena pergeseran pada saat mendeposisikan sampel yang menunjukkan bahwa atom Ag masih mensubstitusi oksigen pada ZnO yang menyebabkan puncak yang dibentuk masih kecil dan belum stabil atom Ag yang akan berpengaruh pada ukuran Kristal.

Menurut Meriche (2015) hasil data dari uji karakterisasi XRD dapat digunakan untuk menghitung nilai FWHM (Full Width Half Maximum) untuk menentukan nilai ukuran Kristal pada deposisi dengan variasi molar. Ukuran

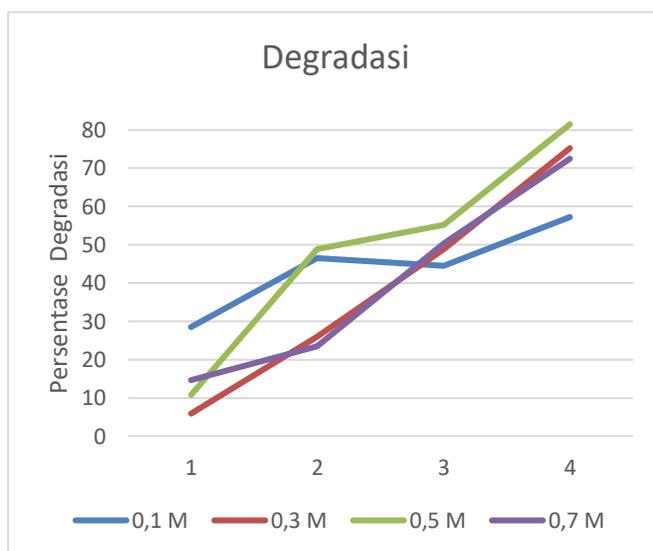
Kristal dengan variasi deposisi dapat dihitung dengan persamaan Scherrer dengan memasukkan nilai FWHM pada bidang difraksi.

C. Hasil Uji Karakterisasi Degradasi

Pengujian fotodegradasi dilakukan untuk mengetahui aktivitas fotokatalis *double layer* ZnO/ZnO:Ag terhadap zat warna *methylene blue* dan *methyl yellow* dengan konsentrasi larutan 10ppm (*part per million*). Penelitian ini telah menunjukkan hasil perubahan warna pada kedua zat larutan tersebut yang terlihat perubahannya secara fisik. Zat larutan yang awalnya berwarna biru pekat dan kuning pekat telah terfotodegradasi menjadi warna yang lebih pudar atau lebih bening.

Hasil uji fotodegradasi dapat dilihat pada grafik degradasi menunjukkan peningkatan nilai persentase yang meningkat dengan variasi waktu yang digunakan sehingga terjadi penurunan konsentrasi pada zat larutan tersebut. Fotokatalis yang dilakukan menggunakan cahaya dari sinar Ultraviolet mampu mengeksitasi elektron pada atom penyusun dari pita valensi ke pita konduksi yang akan menghasilkan elektron, sehingga dapat menyebabkan kekosongan atom yang berperan sebagai muatan positif.

1. Methylene Blue



Gambar.22 grafik hasil pengujian karakterisasi Uv-Vis pada zat warna *methylene blue*

Menurut Liu, 2015 elektron yang terdapat pada permukaan semikonduktor akan terjebak oleh partikel Ag dalam hidroksida logam dan dapat bereaksi dengan penangkap elektron yang ada dalam larutan seperti O_2 membentuk superoksida. Selanjutnya *hole* akan bereaksi dengan hidroksida logam seperti *zinc* yang terdapat dalam larutan H_2O membentuk radikal hidroksil sebagai oksidator kuat untuk mengoksidasi larutan zat warna tersebut.

Radikal tersebut yang akan berinteraksi dengan zat warna sehingga zat kimia yang terdapat pada zat warna akan terdegradasi secara terus-menerus selama lapisan *double layer ZnO/ZnO:Ag* disinari cahaya.

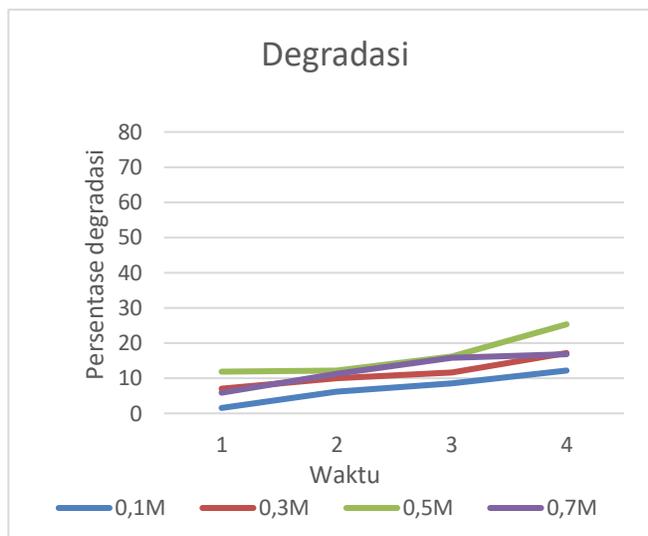
Pemberian *doping Ag* (logam) juga meningkatkan aktivitas fotokatalitik, karena logam dapat menjebak elektron sehingga mengakibatkan cacat pada oksigen. Menurut Habibi, 2013 partikel kristal Ag dan ZnO yang terdapat pada kaca, akan menyesuaikan posisi level energi fermi. Atom Ag memiliki level energi fermi yang lebih tinggi dibandingkan ZnO yang mengakibatkan energi dari level fermi Ag akan dikirim ke level fermi ZnO hingga membentuk level energi baru. Ketika elektron terjebak dan terjadi transfer elektron pada *energy* fermi akan mempengaruhi ukuran Kristal serta hasil presentasei degradasi pada zat larutan warna (Yilidrim, 2018).

Tabel.5 Presentase Hasil Uji Karakterisasi Degradasi *Methylene Blue*

<i>Methylene blue</i>	0,1M	0,3M	0,5M	0,7M
1jam	28,5	5,88	10,75	14,63
2jam	46,5	26	48,88	23,5
3jam	44,5	48,88	55,25	50,38
4jam	57,25	75,25	81,5	72,5

Besarnya nilai degradasi berkaitan dengan ukuran kristal yang terbentuk, hal ini menunjukkan bahwa cacat atom ZnO dan partikel Ag yang masih banyak mensubstitusi oksigen menyebabkan rekombinasi partikel masih meningkat sehingga masih sulit mendegradasi zat larutan tersebut. Hasil degradasi paling optimum terdapat pada variasi 0,5M dengan presentase sebesar 81,5% pada zat larutan *methylene blue* yang bisa terjadi karena penurunan ukuran kristal seiring dengan peningkatan lamanya waktu degradasi. Ukuran kristal pada variasi 0,5M yang didapat sekitar 0,23nm-0,38nm yang bisa terjadi karena pengaruh penurunan ukuran Kristal menunjukkan perjadinya penurunan cacat dan kekosongan atom pada lapisan ZnO:Ag. Hal ini menyebabkan atom pada lapisan *double layer ZnO/ZnO:Ag* yang menyebabkan penurunan proses rekombinasi partikel sehingga efisiensi katalitiknya lebih baik menurut ungkapan (Zhang, 2014).

2. Methyl Yellow



Gambar.23 grafik hasil pengujian karakterisasi Uv-Vis pada zat warna *methyl yellow*

Menurut Sutanto 2021, untuk mendegradasi limbah *methyl yellow* membutuhkan *energy* besar agar dapat memutus rantai senyawa yang ada didalam air limbah tersebut. Untuk kadar air limbah yang digunakan untuk memutus senyawa limbah yang ada dalam *methyl yellow* hanya sekitar 10-50ppm yang dapat mendegradasi atau memutus ikatan senyawa kimia yang ada dalam larutan limbah *methyl yellow*. Dengan menggunakan kadar 100ppm sangat sulit untuk memutus senyawa yang ada didalam limbah *methyl yellow*. Jika diperhatikan dalam grafik degradasi *methyl yellow* pada penelitian yang telah dilakukan ini hasil yang didapatkan kurang maksimal karena pada penelitian ini menggunakan kadar air limbah sebesar 100ppm. Sedangkan untuk mendegradasi senyawa limbah *methyl yellow* membutuhkan kadar air 10-50ppm.

Tabel.6 Persentase Hasil Uji Karakterisasi Degradasi *Methyl Yellow*

<i>Methyl yellow</i>	0,1M	0,3M	0,5M	0,7M
1jam	1,54	7,03	11,86	5,88
2jam	6,16	10	12,18	11,24
3jam	8,49	11,55	16,13	15,79
4jam	12,18	17,16	25,32	16,82

Hasil degradasi paling optimum terdapat pada variasi 0,5M dengan presentase sebesar 25,32% pada zat larutan *methyl yellow*. Selain ukuran kristal, penambahan *doping* Ag juga dapat memperbesar serapan larutan yang akan mempengaruhi pada hasil degradasi zat larutan tersebut. Aktivitas fotokatalitik pada partikel ZnO meningkat dengan adanya penambahan *doping* Ag sehingga meningkatkan cacat oksigen yang akan menyebabkan reaksi elektron pada pita

konduksi dengan adanya oksigen reaktif yang akan mendegradasikan senyawa zat larutan tersebut. Tingkat energi partikel fermi Ag lebih tinggi dari tingkat level energi ZnO yang menjadikan elektron mengalir dari tingkat level fermi Ag ke level *energy* ZnO yang menunjukkan cacat kekosongan oksigen pada partikel tersebut.

Partikel Ag pada permukaan ZnO dapat mencegah rekombinasi lubang elektron sehingga memperkecil energi gap dan menghasilkan aktivitas fotokatalitik yang optimum Menurut ungkapan Hosseini, (2015).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil uji karakterisasi Uv-Vis bertujuan untuk mengetahui sifat optis bahan. Nilai transmitansi dari hasil uji Uv-Vis bervariasi diakibatkan karena deposisi yang tidak merata serta tidak homogen larutan sehingga atom-atom penyusun banyak dalam titik tertentu yang mengakibatkan cahaya sulit untuk melewatinya, semakin rendah nilai transmitansi maka mempunyai kualitas Kristal lebih baik dan kerapatan struktur lebih bagus. Hasil nilai transmitansi paling rendah terdapat pada variasi molar 0,5M dengan hasil persentase 78,9%. Nilai *band gap* juga berpengaruh pada sifat optis, semakin kecil nilai *band gap* maka proses eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi semakin kecil dan *energy* yang dibutuhkan juga semakin rendah. Hasil uji *band gap* yang terkecil terdapat pada variasi molar 0,5M dengan nilai *band gap* 3,19eV.
2. Hasil uji karakterisasi XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristalinitas bahan dengan hasil uji semua variasi molar memiliki struktur heksagonal wurtzite dengan puncak indeks miller yang dominan [100], [002], [101] yang telah disesuaikan dengan data JCPDS (Joint Commite on Powder Diffraction Standart) ZnO nomor 1314-13-2.
3. Hasil uji degradasi bertujuan untuk mengetahui aktivitas fotokatalitik yang diuji coba pada limbah larutan *methylene blue* dan *methyl yellow* dengan irradiasi sinar ultraviolet selama 4jam. Hasil penelitian menunjukkan adanya penambahan aktivitas fotokatalitik di setiap jam. Semakin besar persentase degradasi maka aktivitas fotokatalitik semakin meningkat. Variasi molar 0,5M memiliki persentase paling maksimal dengan nilai persentase 25,32% pada larutan *methyl yellow* dan 81,5% pada *methylene blue*. Hal ini disebabkan semakin kecil ukuran Kristal maka akan menghasilkan aktivitas fotokatalitik yang maksimal.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan ukuran kaca yang lebih proporsional sehingga lebih efektif dalam mendegradasi senyawa bakteri pada limbah tersebut. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai *double layer* ZnO/ZnO:Ag dengan variasi molar dan lama pemaparan menggunakan irradiasi sinar ultraviolet.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin & Khairurrijal. 2009. *Review: Karakterisasi Nanomaterial*. Jurnal Nanosains & Nanoteknologi.
- Alfaro Cruz, M.R.; Ceballos-Sanchez, O.; Luévano-Hipólito, E.; Torres-Martínez, L.M. 2018. *ZnO Thin Films Deposited by RF Magnetron Sputtering: Effects of the Annealing and Atmosphere Conditions on the Photocatalytic Hydrogen Production*. Journal Hydrogen Energy.
- Amornpitoksuk, P., Suwanboon, S., Sangkanu, S., Sukhoom, A., Muensit, N., & Baltrusaitis, J. 2012. *Synthesis, Characterization, Photocatalytic And Antibacterial Activities Of Ag-Doped ZnO Powders Modified With A Diblock Copolymer*. Powder Technology.
- Anggita, S. R. 2018. *Pengaruh Dopan Ag Pada ZnO Terhadap Kekasaran Permukaan Dan Aktivitas Fotokatalitiknya*. Semarang.
- Anggita, S. R. 2018. *Sistem Penjernihan Air Limbah Organik Dengan Zinc Oksida Doping Perak*. Semarang.
- Anggita, S.R. 2020. *Deposisi Double Layer ZnO/ZnO:Ag dengan Variasi Konsentrasi untuk Degradasi Limbah Tekstil Methylene Blue*. UIN Walisongo Semarang
- Arief, M. 2011. *Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) dengan Metode Proses Pengendapan Kimia Basah dan Hidrotermal untuk Aplikasi Fotokatalisis*.
- Astuti. 2016. *Karakterisasi Material*. Semarang. Universitas Diponegoro.
- Baruah, S. 2009. *Nanotechnology Applications in Pollution Sensing and Degradation in Agriculture*. Environmental Chemistry Letters.
- Baruah, S. And Dutta, J.; Dutta. 2009. *Hydrothermal Growth of ZnO Nanostructures*. Science Technology.
- Bonanni, A. 2007. *Ferromagnetic Nitride-Based Semiconductors Doped with Transition Metals and Rare Earth*. Semiconductors Science and Technology.
- Borysiewicz, M.A.; Pasternak, I.; Dynowska, E.; Jakieła, R.; Kolkovki, V.; Du'zy 'nska, A.; Kami 'nska, E.; Piotrowska, A. 2011. *ZnO Thin Films Deposited on Sapphire by High Vacuum High Temperature Sputtering*. Acta Physics.
- Borysiewicz, Michal. 2019. *Review ZnO Sebagai Material Fungsional*. Warsawa, Polandia.
- Chauhan, Ruby, dkk. 2010. *Synthesis and Characterisation of Silver Doped ZnO Nanoparticles*. Journal of Scholar Research Library.
- Cui, Jingbiao; Et Al. 2006. *Synthesis and Magnetic Properties of Co-Doped ZnO Nanowires*. Journal of Applied Physics.
- Cusco, R; Alarcon-Llado, E, dkk. 2007. *Temperature dependence of Raman scattering in ZnO*. Physics.
- Dawson W J. 1988, *Hydrothermal synthesis of advanced ceramic powders Am. Ceram. Soc. Bull.* Vol. 67, No. 10, pp. 1673-1678, 1988
- Elen, K.; Et Al. 2009. *Hydrothermal Synthesis of ZnO Nanorods: A Statistical Determination*

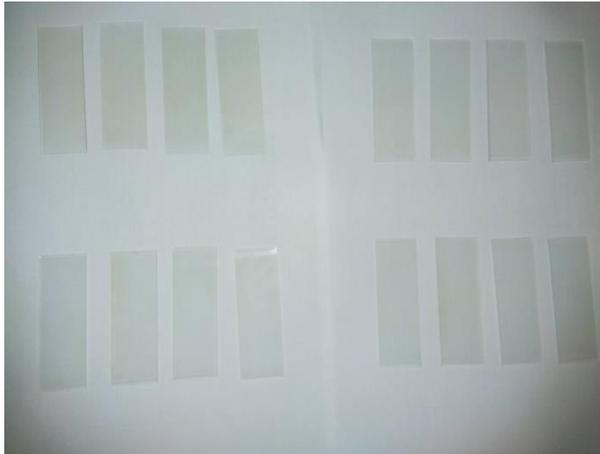
- of the Significant Parameters in View of Reducing the Diameter Nanotechnology.*
- Fierro, J. L. G. 2006. *Metal Oxides: Chemistry & Applications*. CRC Press.
- Greenwood, Norman N.; Earnshaw, A. 1997. *Chemistry of The Elements (Edisi Ke-2nd)*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Hartini, Eni. 2011. *Modifikasi Zeolit Alam dengan ZnO untuk Mendegradasi Fotokatalisis Zat Warna*. Universitas Indonesia.
- Hasibuan, E. (2015). *Karya Tulis Ilmiah ini Telah Disetujui oleh Kepala Laboratorium Terpadu Kultur Sel dan Jaringan*. Fakultas Kedokteran Universitas Sumatera Utara.
- Hernandezbattez, A; Gonzalez, R.; Viesca, J.; Fernandez, J.; Diazfernandez, J.; Machado, A.; Chou, R.; Riba, J. 2008. *Cuo, Zro2 and ZnO Nanoparticles as Antiwear Additive in Oil Lubricants*.
- Hoffman, M.R., S.T. Martin, W.J. Choi, D.W. Bahnemann. 1995, Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis, *Chem.Rev.*, 95, Hal 69-96.
- Kim, S, H, dkk. 2011. *Antibacterial Activity of Silver-Nanoparticles Against Staphylococcus Aureus and Escherichia Coli*. Korean Journal Microbiologi Biotechnologi
- Klingshirn, C. 2007. *Zno: Material, Physics and Applications. Chemphyschem*.
- Klingshirn, Dkk. 2010. *Zinc Oxide: From Fundamental Properties Towards Novel Applications. Springer*.
- Kohan, A, F; Morgan, D, dkk. 2000. *First-Principles Study of Native Point Defects in ZnO*. Physics.
- Lim, S.J.; Kwon, S.-J.; Kim, H.; Park, J.-S. 2008. *High Performance Thin Film Transistor with Low Temperature Atomic Layer Deposition Nitrogen-Doped ZnO*. Application Physics.
- Liza, L. M. (2016). *SOL GEL : Principle and Technique*
- Marcel De Liedekerke. 2006. *Zinc Oxide (Zinc White): Pigments, Inorganic, 1 in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH. Weinheim.
- Masoumi, Saeed; Nadimi, Ebrahim; Babaei, Faramarz, Hoessein. 2018. *Electronic Propertised of Ag Doped ZnO: DFT Hybrid Functional Study*. Journal Physical Chemistry Chemical Physics.
- Millot, M.; Tena-Zaera, R.; Munoz-Sanjose, V.; Broto, J. M.; Gonzalez, J. 2010. *Anharmonic Effects in ZnO Optical Phonons Probed by Raman Spectroscopy*. Applied Physics Letters.
- Norris, D, J; Efros, A, L; Erwin, S, C. 2008. *Doped Nanocrystals*. Science.
- Özgür, Dkk. 2005. *A Comprehensive Review of ZnO Materials and Devices*. Journal of Applied Physics.
- Porter, F. 1991. *Zinc Handbook: Properties, Processing, And Use in Design*. CRC Press.
- Prawara, B. 2006. *Rancang Bangun Thermal Spray Coating dengan Menggunakan Sistem*

- Hight Velocity Oxygen Fuel*. Rekayasa Peralatan.
- Rasjid. 1976. *Teknologi Pengelantangan, Pencelupan dan Pencapan*. Institut Teknologi Tekstil, Bandung. Hal 133-135.
- Rosler, U. 1999. *Landolt-Bornstein, New Series, Group III. Vol. 17B, 22, 41B*. Springer, Heidelberg.
- Sakthivelu, dkk (2010). *Structural, Morphological and Optical Studies of Molarity Based ZnO Thin Films*. journal of ovonic vol.7
- Saragi Togar, dkk. 2016. *Karakterisrik Kristal dan Optik Nanopartikel Zinc Oxide: Kajian Efek Molaritas dalam Proses Hidrothermal*. Spektra Jurnal Fisika dan Aplikasinya.
- Setiabudi Agus, dkk. 2012. *Karakterisasi Material*. Bandung: UPI PRESS.
- Setiawan, Habik. 2019. *Pengaruh Suhu Annealing Lapisan Tipis ZnO:Ag Terhadap Kemampuan Fotokatalitik dalam Degradasi Methylene Blue*. Semarang.
- Sisteya, D., & Sutanto, H. (2013). *Sifat Optis Lapisan ZnO:Ag yang Dideposisi di Atas Substrat Kaca Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition (CSD) dan Aplikasinya pada Degradasi Zat Warna Methylene Blue*. Youngster Physics Journal
- Solid Manzano, C.V.; Alegre, D.; Caballero-Calero, O.; Alén, B.; Martín-González, M.S. 2011. *Synthesis and Luminescence Properties of Electrodeposited ZnO Films*. Journal Application Physics.
- Sulzer. 2013. *An Introduction to Thermal Spray*. Metco Issue 4.
- Susanto Heri. Dkk, 2013. *Deposisi Lapisan Tipis Fotokatalis ZnO Berukuran Nano dengan Teknik Penyemprotan dan Aplikasinya untuk Mendegradasi Pewarna Methylene Blue*. UNDIP Semarang.
- Takahashi, Kiyoshi; Yoshikawa, Akihiko; Sandhu, Adarsh. 2007. *Wide Bandgap Semiconductors: Fundamental Properties And Modern Photonic and Electronic Devices*. Springer.
- Triyati, E. (1985). *Spektrofotometri Ultra-Violet dan Sinar Tampak Serta Aplikasinya dalam Oseanologi*. Jurnal Oseana.
- Tucker, R, C, Jr. 1994. *Thermal Spray Coating, ASM Handbook Volume 5*. Surface Engineering.
- Turkyilmas, Senay, Sen; Guy, Nuray; Mahmut, Ozacar. 2017. *Photocatalytic Efficiencies of Ni, Mn, Fe, Ag, Doped ZnO Nanostructures Synthesized by Hydrothermal Method: The Synergistic/Antagonistic Effect Between ZnO and Metals*. Journal Elsevier.
- Wang, C. 2012. *Antibacterial Effects of Zinc Oxide Nanoparticles on Escherichia Coli K88*. African Journal of Biotechnology.
- Wang, Z, L. 2004. *Nanostructures of Zinc Oxide*. Journal Physics.
- Weber, J; Grove, M; Kocur, G, J; Lakes, L. 2004. *Method for Spray-Coating a Medical Device Having a Turbular Wall Such as a Stent*. US.
- Wiberg, E. & Holleman, A. F. 2001. *Inorganic Chemistry*. Elsevier.

- William, D, Callister, Jr. *Material Science and Engineering Fifth Edition*. University of Utah.
- Witjaksono, A. (2011). *Karakterisasi Nanokristalin ZnO Hasil Presipitasi dengan Perlakuan Pengeringan, Anil dan Pasca-Hidrotermal*.
- Wu, Y.; Girgis, E.; Ström, V.; Voit, W.; Belova, L.; Rao, K.V. 2010. *Ultraviolet Light Sensitive in-Doped ZnO Thin Film Field Effect Transistor Printed by Inkjet Technique*. Physics Status
- Ying Zhou; Et Al. 2008. *Hydrothermal Synthesis of ZnO Nanorod Arrays with The Addition of Polyethyleneimine*. *Materials Research Bulletin*.
- Zhi-Gang, J. 2012. *Preparation And Photocatalytic Performance of Porous ZnO Microrods Loaded With Ag*. Transactions of Nonferrous Metals Society of China.
- Zhi-Gang, jia, dkk. 2012. *Preparation and Photocatalytic Performance of Porous ZnO Microrods Loaded with Ag*. Journal of Trans. Nonferrous Met.

Lampiran 1 Proses Pembuatan Sampel *Double Layer ZnO/ZnO:Ag*

Gambar sampel setelah di furnace dengan suhu 500°C



Gambar mesin furnace saat melakukan sintering sampel selama 1jam dengan suhu 500°C



Gambar sampel ZnO/ZnO:Ag 0,7M saat setelah dilakukan teknik deposisi spray coating dengan suhu 300°C



Gambar sampel ZnO/ZnO:Ag 0,7M setelah di lakukan sintering dengan suhu 300°C selama 1jam



Gambar larutan Sol-Gel ZnO/ZnO:Ag



LAMPIRAN 2 Hasil Uji Karakterisasi Degradasi

Gambar sampel yang akan di uji karakterisasi Uv-Vis



Gambar sampel *methyl yellow* setelah di uji karakterisasi degradasi

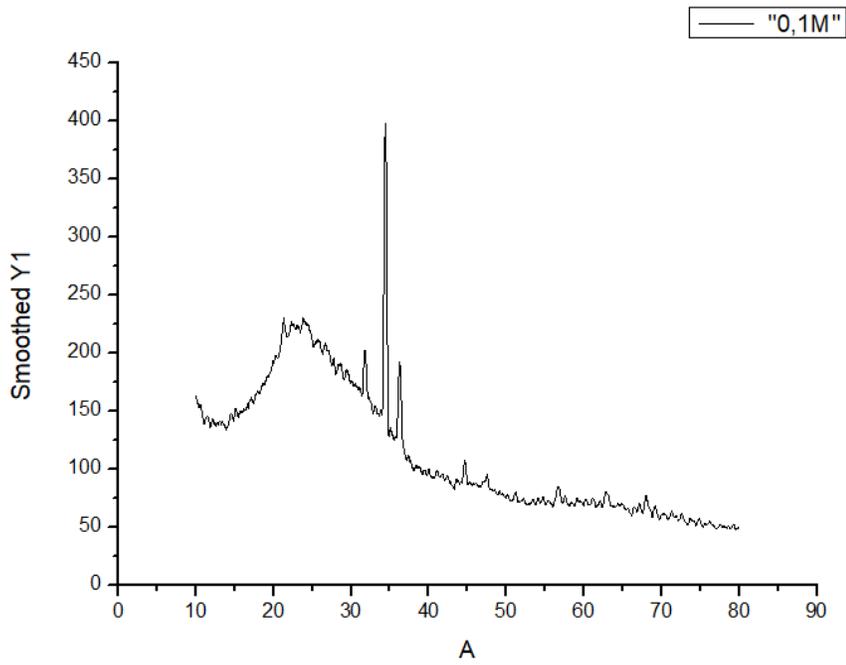


Gambar sampel *methylene blue* setelah diuji karakterisasi degradasi



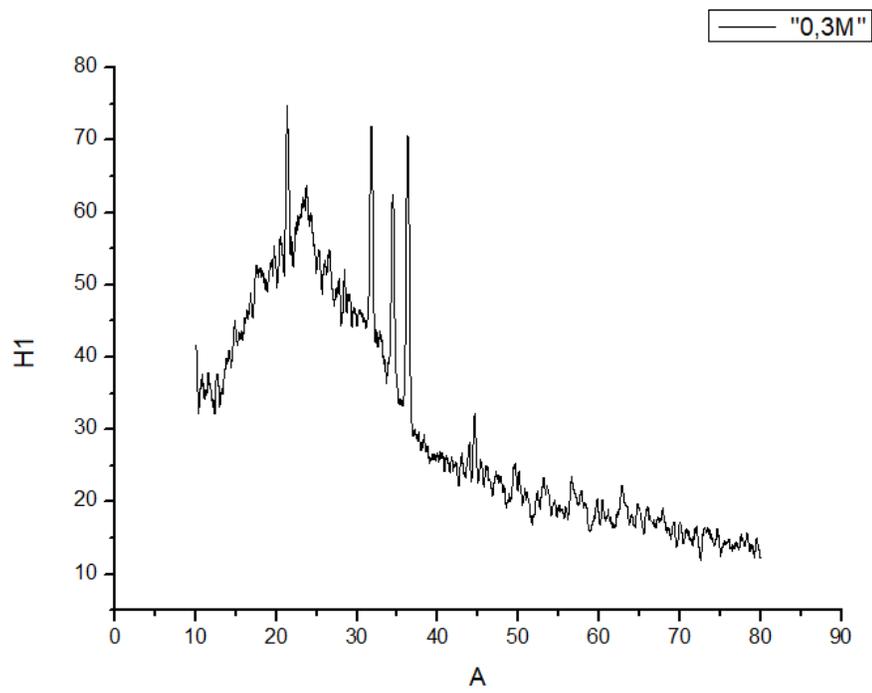
Lampiran 3 Hasil Uji Karakterisasi XRD

Data uji karakterisasi XRD ZnO/ZnO:Ag 0,1M



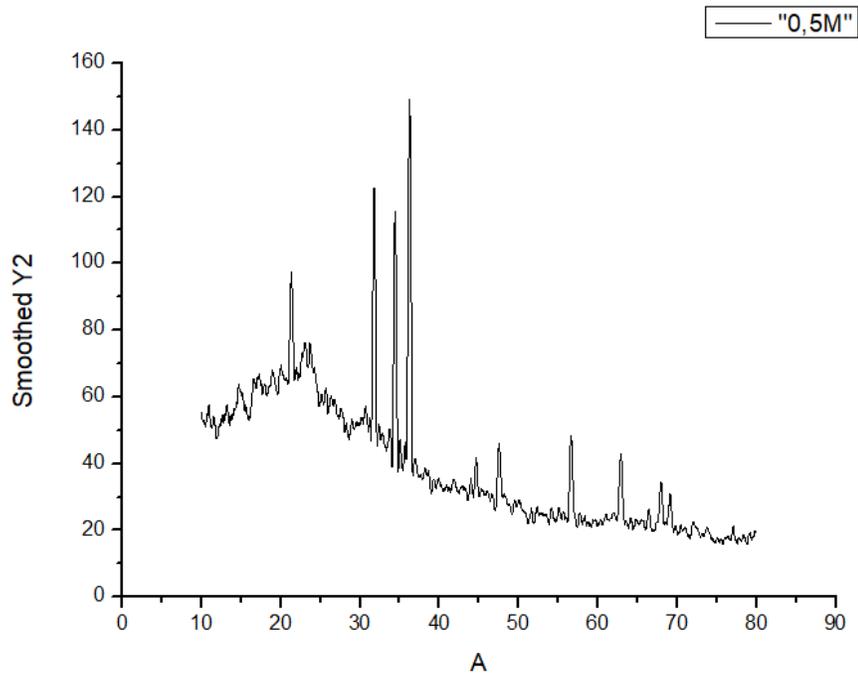
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
31,77	46,50	0,31	2,81	15,35
34,42	302,88	0,27	2,60	100
36,26	77,72	0,31	2,47	25,66
44,69	16,60	0,31	2,02	5,48

Data uji karakterisasi XRD ZnO/ZnO:Ag 0,3M



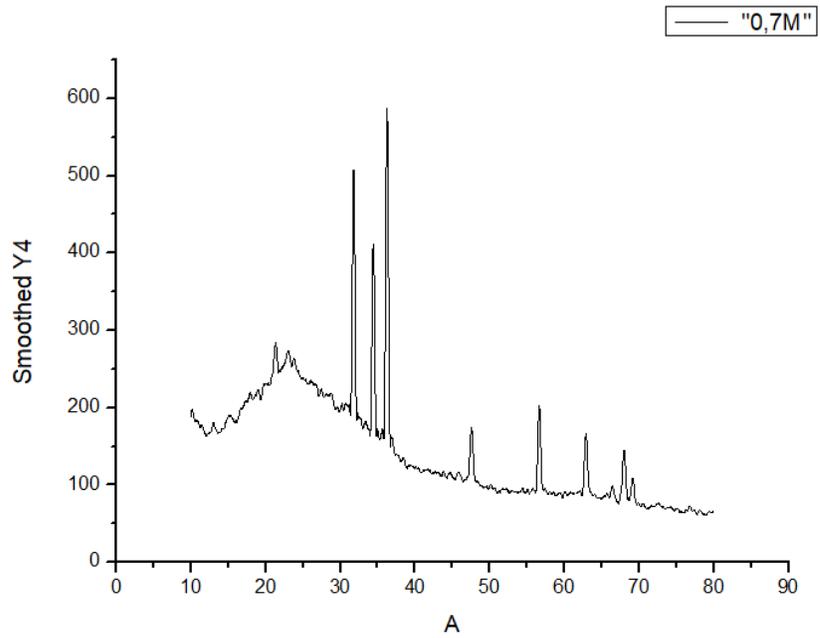
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d- spacing [Å]	Rel. Int. [%]
31,75	96,92	0,27	2,81	66,40
34,42	94,17	0,23	2,61	64,52
36,24	145,96	0,23	2,47	100
44,65	9,62	0,23	2,02	6,59

Data uji karakterisasi XRD ZnO/ZnO:Ag 0,5M



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d- spacing [Å]	Rel. Int. [%]
31,80	17,11	0,23	2,81	77,01
34,33	11,89	0,19	2,61	53,53
36,23	13,38	0,39	2,47	60,23
44,56	6,28	0,31	2,03	28,26

Data uji karakterisasi XRD ZnO/ZnO:Ag 0,7M



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
31,81	371,74	0,31	2,81	70,98
34,41	315,37	0,27	2,61	60,22
36,26	523,69	0,27	2,47	100
47,55	76,02	0,31	1,91	14,52

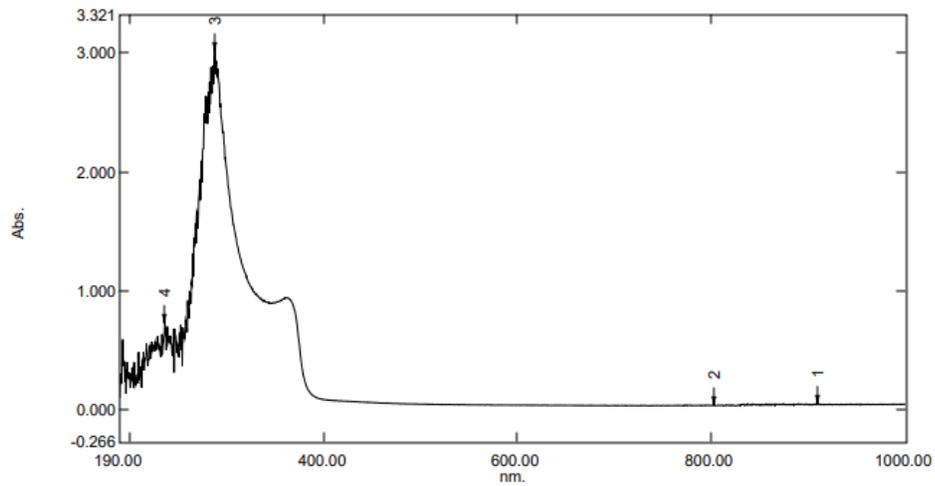
Lampiran 4 hasil uji karakterisasi Uv-Vis

Data uji karakterisasi Uv-Vis ZnO/ZnO:Ag 0,1M

Spectrum Measurement Report

Report Created: 07/28/2020 11:28:34 AM

Data set: ZnO 0,1 - RawData



Software Information
Software Name: UVPProbe
Version: 2.70
Mode: Normal Mode

Data Information
Data is: Original
Analyst:
Date/Time: 07/28/2020 11:25:13 AM
Comments:

Instrument Information
Instrument Name: Instrument 1
Instrument Type: UV-2600 Series
Model (S/N): UV-2600 (A11665780201)

[Measurement Properties]
Wavelength Range (nm.): 190.00 to 1000.00
Scan Speed: Medium
Sampling Interval: 0.5
Auto Sampling Interval: Enabled
Scan Mode: Single

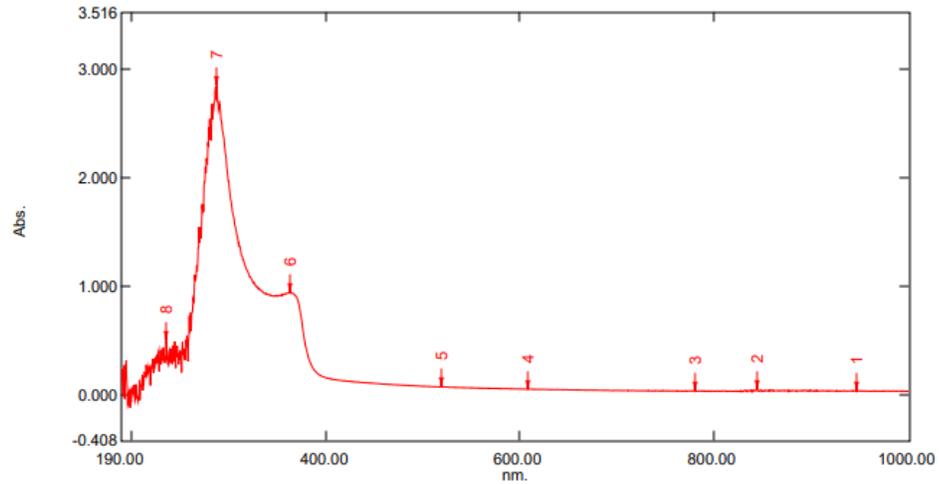
[Instrument Properties]
Instrument Type: UV-2600 Series
Measuring Mode: Absorbance
Slit Width: 1.0
Accumulation time: 0.1 sec.
Light Source Change Wavelength: 323.0 nm
Detector Unit: External(2Detector)
Detector Change Wavelength: 830.0 nm

Data uji karakterisasi Uv-Vis ZnO/ZnO:Ag 0,3M

Spectrum Measurement Report

Report Created: 07/28/2020 11:36:13 AM

Data set: ZnO 0,3 - RawData



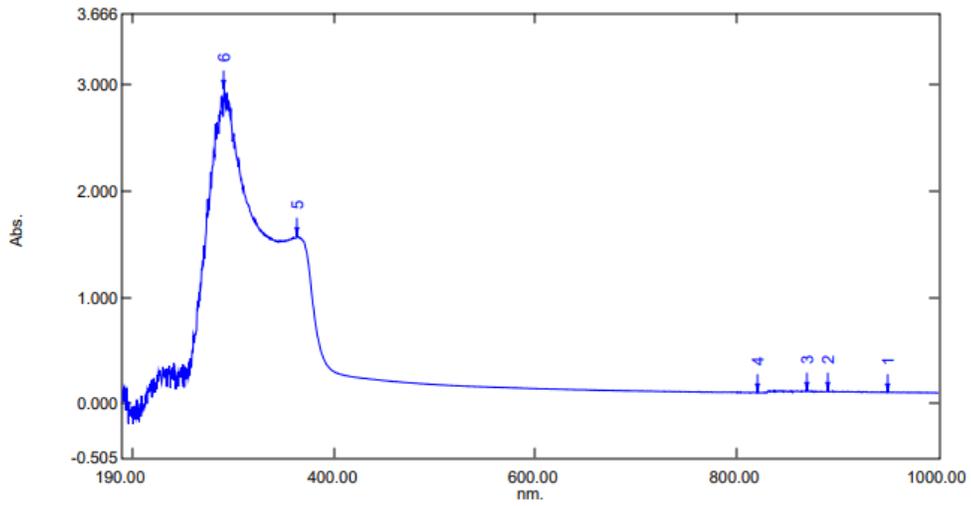
Software Information Software Name: UVProbe Version: 2.70 Mode: Normal Mode		[Measurement Properties] Wavelength Range (nm.): 190.00 to 1000.00 Scan Speed: Medium Sampling Interval: 0.5 Auto Sampling Interval: Enabled Scan Mode: Single	
Data Information Data is: Original Analyst: Date/Time: 07/28/2020 11:34:37 AM Comments:		[Instrument Properties] Instrument Type: UV-2600 Series Measuring Mode: Absorbance Slit Width: 1.0 Accumulation time: 0.1 sec. Light Source Change Wavelength: 323.0 nm Detector Unit: External(2Detector) Detector Change Wavelength: 830.0 nm	
Instrument Information Instrument Name: Instrument 1 Instrument Type: UV-2600 Series Model (S/N): UV-2600 (A11665780201)			

Data uji karakterisasi Uv-Vis ZnO/ZnO:Ag 0,5M

Spectrum Measurement Report

Report Created: 07/28/2020 11:42:12 AM

Data set: ZnO 0,5 - RawData



Software Information
 Software Name: UVProbe
 Version: 2.70
 Mode: Normal Mode

Data Information
 Data is: Original
 Analyst:
 Date/Time: 07/28/2020 11:41:22 AM
 Comments:

Instrument Information
 Instrument Name: Instrument 1
 Instrument Type: UV-2600 Series
 Model (S/N): UV-2600 (A11665780201)

[Measurement Properties]
 Wavelength Range (nm.): 190.00 to 1000.00
 Scan Speed: Medium
 Sampling Interval: 0.5
 Auto Sampling Interval: Enabled
 Scan Mode: Single

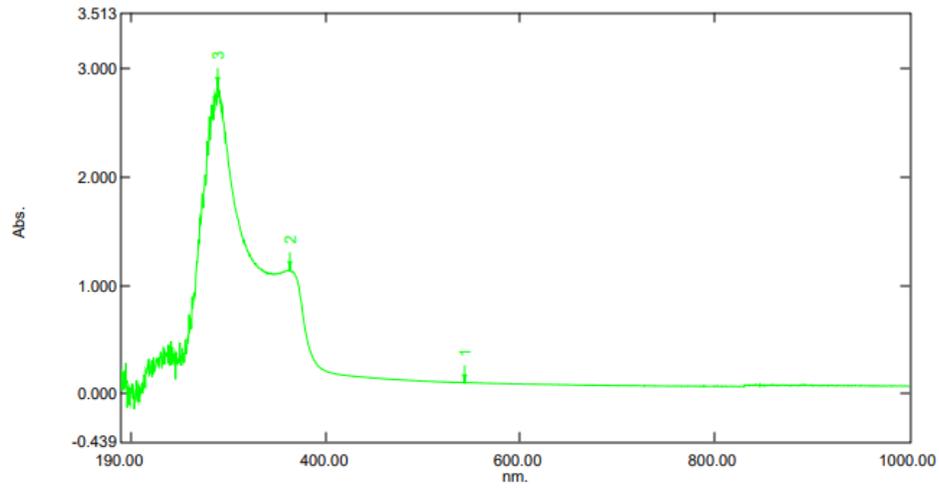
[Instrument Properties]
 Instrument Type: UV-2600 Series
 Measuring Mode: Absorbance
 Slit Width: 1.0
 Accumulation time: 0.1 sec.
 Light Source Change Wavelength: 323.0 nm
 Detector Unit: External(2Detector)
 Detector Change Wavelength: 830.0 nm

Data uji karakterisasi Uv-Vis ZnO/ZnO:Ag 0,7M

Spectrum Measurement Report

Report Created: 07/28/2020 11:49:02 AM

Data set: ZnO 0,7 - RawData



Software Information		[Measurement Properties]	
Software Name:	UVProbe	Wavelength Range (nm.):	190.00 to 1000.00
Version:	2.70	Scan Speed:	Medium
Mode:	Normal Mode	Sampling Interval:	0.5
		Auto Sampling Interval:	Enabled
		Scan Mode:	Single
Data Information		[Instrument Properties]	
Data is:	Original	Instrument Type:	UV-2600 Series
Analyst:		Measuring Mode:	Absorbance
Date/Time:	07/28/2020 11:48:13 AM	Slit Width:	1.0
Comments:		Accumulation time:	0.1 sec.
		Light Source Change Wavelength:	323.0 nm
Instrument Information		Detector Unit:	External(2Detector)
Instrument Name:	Instrument 1	Detector Change Wavelength:	830.0 nm
Instrument Type:	UV-2600 Series		
Model (S/N):	UV-2600 (A11665780201)		