



SKRIPSI – TK 141581

**FABRIKASI Ag/ZnO NANOCOMPOSITE DENGAN
MENGUNAKAN PIROLISA FLAME UNTUK APLIKASI
MATERIAL FOTOKATALITIK**

Oleh:

Robin Cahyadi

NRP. 2313100041

Antonius Steven

NRP. 2313100086

Dosen Pembimbing

Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng

NIP. 197612292009121001

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.

NIP. 195209161980031002

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL PROJECT – TK 141581

**FABRICATION Ag/ZnO NANOCOMPOSITE BY USING
FLAME PYROLYSIS FOR PHOTOCATALYTIC
MATERIAL APPLICATION**

**Robin Cahyadi
NRP. 2313100041
Antonius Steven
NRP. 2313100086**

**Supervisor
Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng
NIP. 197612292009121001
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.
NIP. 195209161980031002**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

FABRIKASI Ag/ZnO NANOKOMPOSIT DENGAN MENGUNAKAN PIROLISA FLAME UNTUK APLIKASI MATERIAL FOTOKATALITIK

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi S-1
Departemen Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

ROBIN CAHYADI
ANTONIUS STEVEN

2313100041
2313100086

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng
(Pembimbing 1)
2. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng
(Pembimbing 2)
3. Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
(Penguji I)
4. Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng
(Penguji II)
5. Dr. Widiyastuti, S.T., M.T.
(Penguji III)


.....
.....
.....
.....
.....



FABRIKASI Ag-ZnO NANOCOMPOSITE DENGAN MENGGUNAKAN PIROLISA FLAME UNTUK APLIKASI MATERIAL FOTOKATALITIK

Nama : Robin Cahyadi (2313100041)
Antonius Steven (2313100086)
Dosen Pembimbing : Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng

ABSTRAK

Zinc oksida adalah bahan semikonduktor yang telah banyak digunakan pada berbagai aplikasi salah satunya adalah fotokatalis. Dari semua semikonduktor oksida terutama untuk fotokatalis, zinc menjadi bahan yang paling banyak digunakan dan dipelajari secara lengkap dikarenakan karena stabil kimianya, tidak beracun terhadap lingkungan, biaya yang tidak tinggi dan mudah untuk didapatkan akan tetapi konversi untuk fotokatalis masih rendah dan terbatas pada sinar UV saja maka banyak cara yang dilakukan untuk meningkatkan aktifitas fotokatalis yang dimana salah satunya adalah dengan penambahan metal yang dimana adalah Ag atau perak hal ini dikarenakan perak dapat meningkatkan penyerapan pada wilayah sinar tampak dikarenakan adanya *localized surface plasmon resonance* (LSPR) sebagai *electron acceptor* sehingga sekarang banyak digunakan sebagai bahan aditif pada zinc oksida untuk membuat nanokomposit Ag/ZnO yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan fotokatalisnya. Partikel nanokomposit Ag/ZnO dapat diproduksi dengan berbagai cara seperti penggunaan metode *liquid phase and gas phase fabrication method*. *One step gas phase process* yaitu dengan menggunakan metode *flame pyrolysis* menjadi pilihan dalam sintesis partikel Ag-ZnO karena proses yang lebih mudah karena merupakan *one-step process* serta dapat menghasilkan

partikel nano yang murni karena adanya proses *flame*. Didapat hasil bahwa pembuatan Ag/ZnO melalui *flame pyrolysis* dapat dilakukan dan penambahan Ag 5% memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan dengan ZnO murni dan dibandingkan dengan penambahan Ag 0.01%, 0.05%, 0.1%, 1%, 5%, 20%. Didapat juga hasil bahwa semakin konsentrasi ZnO yang lebih tinggi (0.15 M) dapat mendegradasi lebih cepat dibandingkan dengan konsentrasi ZnO yang lebih rendah (0.1 M) baik pada kondisi sinar UV ataupun pada sinar matahari.

Kata kunci : LSPR, *one step deposition, flame pyrolysis*

FABRICATION Ag/ZnO NANOCOMPOSITE BY USING FLAME PYROLYSIS FOR PHOTOCATALYTIC MATERIAL APPLICATION

Name : Robin Cahyadi (2313100041)
Antonius Steven (2313100086)
Advisor : Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng

ABSTRACT

Zinc Oxide is a semi-conductor material which have been used for many applications such as photocatalyst. From many oxide semi-conductor especially for photocatalyst, zinc is the most used material and also has been studied for many times because of its chemical stabilization, non-toxic, low cost and commercially available but the efficiency of ZnO for photocatalyst is really low and it is limited in the UV light area therefore there are a lot of experiments have been done to increase the efficiency for its photocatalytic activity for example like adding noble metal (Ag) because silver can enhance absorbtion in visible-region wavelength because of localized surface plasmon resonance (LSPR) as electron acceptor and now it is being used as an additive for zinc oxide to enhance its photocatalyst activity and it is called as Ag/ZnO. Ag/ZnO nanocomposite can be produced in many different methods such as liquid phase and gas phase fabrication method. Flame Pyrolysis is an example of one step gas phase method and has been selected as our method to produce Ag/ZnO due to easier process and can produce pure Ag/ZnO nanoparticle because of flame process. The result of this experiment is that producing Ag/ZnO through flame pyrolysis can be done and 5% doping Ag does the photocatalyst process much better with higher efficiency than pure ZnO and 0.01%, 0.05%, 0.1%, 1%, 20% doped Ag/ZnO

and higher concentration of 0.15 M ZnO is quicker than 0.1 M whether in UV or sunlight condition.

Keyword : LSPR, *one step deposition, flame pyrolysis*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan YME karena atas rahmat dan karunia-Nya kami dapat melaksanakan Tugas Laporan Skripsi yang berjudul **Fabrikasi Ag-ZnO Nanocomposite dengan Menggunakan Pirolisa Flame untuk Aplikasi Material Fotokatalitik** dan menyelesaikan laporan ini tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan bagi mahasiswa tahap sarjana di Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Selama penyusunan laporan ini, kami banyak sekali mendapat bimbingan, dorongan, serta bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua serta seluruh keluarga kami atas doa, dukungan, bimbingan, perhatian dan kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
2. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
3. Bapak Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan membantu kami
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
5. Bapak Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.T., Ibu Dr. Siti Machmudah, S.T., M.T., selaku dosen kami di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran.
6. Bang Farid selaku Laboran Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran.
7. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS dan rekan – rekan dari Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran serta semua pihak yang telah membantu penyelesaian

penelitian ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu.

Kami menyadari bahwa penulisan laporan ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dan masukan yang konstruktif demi kesempurnaan laporan ini.

Surabaya, 10 Juli 2017

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Lembar Pengesahan	
Abstrak	i
Abstract	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Tinjauan Umum <i>Silver Zinc Oxide</i> (Ag/ZnO).....	5
II.2 Tinjauan Umum Perak.....	7
II.3 Metode Sintesis	8
II.4 Mekanisme Fotokatalis.....	14
II.5 Penelitian Tedahulu	16
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	
III.1 Bahan dan Alat.....	23
III.2 Prosedur Eksperimen.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Pengaruh Kondisi Operasi terhadap Partikel yang Dihasilkan.....	32
IV.2 Hasil Analisa XRD.....	34
IV.3 Pengaruh Diameter Kristal terhadap Degradasi <i>methylene blue</i>	37
IV.4 Hasil Analisa Fotokatalis	39
IV.5 Hasil Gambar Analisa Fotokatalis	48
IV.6 Hasil Analisa SEM/EDX	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan.....	59

V.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR NOTASI	
APPENDIKS	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Zinc Oksida.....	5
Gambar 2.2	Aplikasi Sol-Gel.....	9
Gambar 2.3	Konfigurasi Pencampuran Reaktan.....	12
Gambar 2.4	Contoh Proses <i>Spray Pyrolysis</i> yang Dikembangkan Zhao et al.....	14
Gambar 2.5	Mekanisme Fotokatalis Ag/ZnO.....	15
Gambar 2.6	Contoh Gambar SEM ZnO.....	16
Gambar 2.7	Hasil Degradasi RhB oleh ZnO dan Ag/ZnO Selama 30 Menit.....	18
Gambar 3.1	Skema Rangkaian Alat <i>Flame Pyrolysis</i>	25
Gambar 3.2	Skema Rangkaian Alat Uji Fotokatalitik.....	26
Gambar 3.3	Diagram Alir Pembuatan Partikel.....	28
Gambar 3.4	Diagram Alir Uji Fotokatalitik.....	29
Gambar 4.1.1	Kondisi Operasi.....	33
Gambar 4.1.2	Hasil Partikel.....	33
Gambar 4.2.1	Hasil Analisa XRD.....	35
Gambar 4.2.3	Warna Partikel yang Dihasilkan.....	36
Gambar 4.3.1	Plot Crystalline Size Vs Konsentrasi Ag.....	38
Gambar 4.4.2.1	Efisiensi Degradasi Metil Blue pada Sinar UV (0.1 M).....	40
Gambar 4.4.2.2	Plot ln (C/Co) vs Waktu pada Sinar UV (0.1M).....	41
Gambar 4.4.2.3	Efisiensi Degradasi Metil Blue pada Sinar UV (0.15 M).....	42
Gambar 4.4.2.4	Plot ln(C/Co) vs Waktu pada sinar UV (0.15 M).....	43
Gambar 4.4.2.5	Efisiensi Degradasi Metil Blue pada Sinar Matahari (0.1 M).....	44
Gambar 4.4.2.6	Plot ln(C/Co) vs Waktu pada sinar Matahari (0.1 M).....	45
Gambar 4.4.2.7	Efisiensi Degradasi Metil Blue pada Sinar Matahari (0.15 M).....	46

Gambar 4.4.2.8	Plot $\ln(C/Co)$ vs Waktu pada sinar Matahari (0.15 M).....	47
Gambar 4.5.1	Sebelum dan Sesudah Degradasi Sinar UV (0.1 M).....	48
Gambar 4.5.2	Sebelum dan Sesudah Degradasi Sinar UV (0.15 M).....	48
Gambar 4.5.3	Sebelum dan Sesudah Degradasi Sinar Matahari (0.1 M).....	49
Gambar 4.5.4	Sebelum dan Sesudah Degradasi Sinar Matahari (0.15 M).....	49
Gambar 4.6.1	SEM 0%/0.1M.....	50
Gambar 4.6.2	Spektra EDX 0%/0.1M.....	50
Gambar 4.6.3	SEM 0.01%/0.1M.....	50
Gambar 4.6.4	Spektra EDX 0.01%/0.1M.....	51
Gambar 4.6.5	SEM 0.1%/0.1M.....	51
Gambar 4.6.6	Spektra EDX 0.1%/0.1M.....	51
Gambar 4.6.7	SEM 1%/0.1M.....	52
Gambar 4.6.8	Spektra EDX 1%/0.1M.....	52
Gambar 4.6.9	SEM 5%/0.1M.....	52
Gambar 4.6.10	Spektra EDX 5%/0.1M.....	53
Gambar 4.6.11	SEM 20%/0.1M.....	53
Gambar 4.6.12	Spektra EDX 20%/0.1M.....	53
Gambar 4.6.13	SEM 0%/0.15M.....	54
Gambar 4.6.14	Spektra EDX 0%/0.15M.....	54
Gambar 4.6.15	SEM 0.01%/0.15M.....	54
Gambar 4.6.16	Spektra EDX 0.01%/0.15M.....	55
Gambar 4.6.17	SEM 0.1%/0.15M.....	55
Gambar 4.6.18	Spektra EDX 0.1%/0.15M.....	55
Gambar 4.6.19	SEM 1%/0.15M.....	56
Gambar 4.6.20	Spektra EDX 1%/0.15M.....	56
Gambar 4.6.21	SEM 5%/0.15M.....	56
Gambar 4.6.22	Spektra EDX 5%/0.15M.....	57
Gambar 4.6.23	SEM 20%/0.15M.....	57
Gambar 4.6.24	Spektra EDX 20%/0.15M.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya	19
Tabel 4.1 Diameter Partikel Ag/ZnO dengan Menggunakan <i>Scherrer Equation</i>	37

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun belakangan ini perkembangan industri semakin pesat dan semakin besar dan karena itu banyak pula limbah yang dikeluarkan baik limbah inorganik maupun limbah organik. Limbah-limbah tersebut harus di proses terlebih dahulu agar aman bila dibuang ke lingkungan salah satu contoh untuk degradasi limbah ini terutama limbah organik adalah dengan menggunakan semikonduktor fotokatalis. Belakangan ini minat terhadap fotokatalis yang digunakan untuk degradasi bahan organik semakin besar dikarenakan keuntungannya adalah laju oksidasi yang cepat serta tidak dibutuhkan produk *polycyclic* (Zhai et al., 2014). Contoh bahan fotokatalis ini adalah zinc oksida (ZnO) atau titanium oksida (TiO₂) yang mana memiliki mekanisme foto degrdasi yang sama (Han et al., 2012)

Semikonduktor fotokatalis sekarang ini sangat diperhatikan dikarenakan adanya banyak aplikasi terhadap perbaikan lingkungan terutama untuk menghilangkan polutan organik (Liu et al., 2015). Semikonduktor fotokatalis sudah digunakan sejak tahun 1972 sebagai bahan yang menjanjikan untuk mengurangi polusi lingkungan serta untuk mengurangi kekurangan energi (Sohrabnezhad dan Seifi, 2016)

Zinc Oksida (ZnO) merupakan salah satu bahan metal oksida yang penting yang dapat disintesis dengan mudah, ramah lingkungan serta menjadi banyak perhatian untuk berbagai aplikasi (Osman dan Mustafa, 2015) dan biasa digunakan dalam bahan cat, kosmetik, serta sensor gas (Demir et al., 2006). Partikel Zinc Oksida (ZnO) merupakan material semikonduktor yang sangat diminati terutama pada bidang *photodiodes*, fotokatalis, *sensing*, serta sel fotovoltaik (Bouزيد, et al., 2015). ZnO sebagai alternatif dari TiO₂ dipilih karena sangat stabil, tidak beracun, tersedia secara luas serta murah (Liu et al., 2015)

Penelitian tentang ZnO sudah banyak dilakukan dikarenakan besarnya luas permukaan serta tingginya

photosensitivity (Fageria et al., 2014). Fotoaktivitas ZnO terjadi karena proses kimia akibat transisi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Energi celah pita memiliki peran penting dalam transisi elektron yang dapat mengurangi efisiensi dari partikel semikonduktor fotokatalis tersebut. Partikel ZnO memiliki energi celah pita (*band gap*) 3.37eV dan karena hal itu aplikasi dari partikel ZnO sangatlah terbatas hanya pada batas sinar UV dengan panjang gelombang dibawah 385 nm (Fageria et al., 2014). Keterbatasan penggunaan fotokatalis partikel ZnO pada sinar UV menjadi penghalang untuk digunakan pada skala besar industri dikarenakan sinar UV hanya sebesar 3-5% dari spektrum matahari (Sohrabnezhad dan Seifi, 2016) yang dimana lubang elektron yang dapat di regenerasi hanya dengan sinar UV yang mana hanya 3-5% (Liu, et al.,2015), selain itu besarnya laju rekombinasi dari pasangan lubang elektron pada ZnO juga dapat mengurangi efisiensi untuk mendegradasi polutan organik (Bechambi et al., 2015). Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha untuk meningkatkan fotoaktifitas ZnO antara lain dengan cara memodifikasi permukaan dari ZnO dengan menambahkan logam mulia seperti Ag, Au (Fageria et al., 2014), Pt, dan Pd (Bouزيد et al., 2015)

ZnO dapat disintesis dengan berbagai metode, antara lain: metode sintesis *micro emulsion hydrothermal*, *direct deposition in aqueous solution*, *surfactant assisted hydrothermal orientation growth*, *alcohol solution refluxing* (Osman dan Mustafa, 2015), Proses sol-gel (Demir et al.,2006), plasma (Irie et al., 2003), Partikel ZnO dapat dihasilkan dengan menggunakan larutan zinc asetat dihidrat ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) atau Zinc Sulfat ($ZnSO_4$).

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi aktivitas fotokatalis ZnO antara lain dengan melakukan penambahan logam mulia Ag dan Au yang dilakukan oleh Fageria et al.pada tahun 2015 kemudian penambahan Ag pada ZnO dengan menggunakan metode sol-gel yang dilakukan oleh Bouزيد et al. pada tahun 2014 serta sintesis

Ag-ZnO dengan penambahan *urtica dioica leaf extract* yang dilakukan oleh Sohrabnezhad dan Seifi pada tahun 2016.

Zat pensensitif perak memiliki konduktivitas yang baik dan stabil secara kimiawi (Yeo et al., 2003). Golongan perak halida terkenal sebagai material yang peka cahaya dan secara luas digunakan sebagai bahan sumber dalam fotografis film menyerap foton dan melepaskan sebuah elektron dan lorong positif. Salah satu golongan perak halida yang digunakan adalah AgCl..

Beberapa metode terbaru menerapkan pembentukan partikel dalam skala nano, salah satunya adalah metode flame pyrolysis. Pada metode ini, flame sebagai sumber panas yang diperoleh dari pembakaran bahan bakar. Metode tersebut diadopsi untuk membuat bubuk yang berukuran nanometer. Kelebihan flame pyrolysis dibandingkan spray pyrolysis adalah sumber energi pemanas (LPG) harganya murah. Metode flame pyrolysis juga lebih mudah di scale up untuk kuantitas komersial daripada metode spray pyrolysis, sehingga hal inilah yang menjadi dasar pemilihan sintesis nanocomposite Ag-ZnO dengan metode flame pyrolysis.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka didapatkan beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Pengaruh kondisi operasi terhadap hasil partikel Ag-ZnO terhadap karakteristik dan daya fotokatalitik nanopartikel Ag-ZnO
2. Pengaruh komposisi AgNO₃ dan *Zinc Acetate Dihydrate* sebagai prekursor terhadap karakteristik dan daya fotokatalitik nanopartikel Ag-ZnO

I.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan latar belakang diatas maka dapat disimpulkan beberapa tujuan sebagai berikut :

1. Sintesis partikel Ag-ZnO dari perak nitrat (AgNO₃) dan *Zinc Acetate Dihydrate* (Zn(CH₃COO)₂.2H₂O)

2. Mengetahui kondisi operasi yang sesuai dalam meningkatkan daya fotokatalitik nanopartikel Ag-ZnO yang terbentuk
3. Mengetahui pengaruh komposisi AgNO_3 dan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sebagai prekursor terhadap karakteristik dan daya fotokatalitik nanopartikel Ag-ZnO

I.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan diatas maka diharapkan manfaat yang dapat didapatkan pada penelitian ini adalah :

1. Sebagai sarana referensi dalam penelitian berbasis ZnO dan sintesis nanopartikel
2. Sebagai pengembangan pengetahuan terhadap meminimalisir masalah lingkungan khususnya untuk penguraian limbah organik dan polutan udara

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Tinjauan Umum *Silver-Zinc Oxide (Ag/ZnO)*

Zinc oksida adalah bahan semikonduktor yang sangat menjanjikan dikarenakan besarnya potensi dari zinc oksida untuk digunakan dalam *photodiodes*, *photocatalysis*, *sensing*, dan *photovoltaic cell* (Bouzid et al., 2014). Sebelumnya zinc oksida digunakan sebagai bahan pewarna untuk cat, kosmetik dan juga dapat digunakan untuk sensor gas (Demir et al., 2015). Sebagai salah satu dari UVLD (*UV-Light Driven*) maka zinc oksida hanya bekerja untuk sinar UV dimana hanya 3-5% dari spektrum matahari, contoh partikel lain yang sekarang ini juga sedang diperhatikan adalah TiO_2 yang merupakan partikel berbasis UVLD (Sohrabnezhad dan Seifi, 2016).

Zinc Oksida merupakan material berwarna putih dengan luas permukaan yang besar dan diikuti dengan mesostruktur berpori yang sangat rapi, zinc oksida sendiri tidak larut dalam air dan sekarang banyak digunakan di berbagai industri (Demir et al., 2006).



Gambar 2.1 Zinc Oksida

Secara umum, zinc oksida memiliki banyak kelebihan seperti sangat stabil, tidak beracun, mudah untuk ditemukan serta murah sehingga menjadi alasan mengapa zinc oksida banyak digunakan (Liu et al., 2015). Beberapa tahun ini, permintaan untuk

zinc oksida dengan performa tinggi sangat meningkat yang kemudian digunakan untuk elektroda dari sel surya dan untuk fotokatalis yang kemudian juga membuat dimulailah penelitian secara intensif untuk zinc oksida (Tani et al., 2002).

Salah satu faktor contoh peningkatan untuk zinc oksida adalah dengan cara menjadikan partikel tersebut *mesoporous* dan dengan menghasilkan zinc oksida yang *mesoporous* dapat meningkatkan kualitas optic dari partikel tersebut, kecilnya indeks refleksi, hasil kristal yang lebih kecil yang menghasilkan luas permukaan yang lebih besar, dan juga dapat meningkatkan aktifitas fotokatalitik (Bouزيد et al., 2014)

Partikel ZnO atau zinc oksida sendiri merupakan jenis partikel semikonduktor yang berdasarkan pada sinar UV atau UVLD. Dalam aplikasinya, ZnO menghasilkan aktifitas fotokatalis yang sangat tinggi namun terbatas pada sinar UV saja sehingga mengurangi efektifitas dari partikel (Sohrabnezhad dan Seifei, 2016). Sinar matahari sendiri hanya mengandung sinar UV yang kurang dari 5% sehingga untuk aplikasi besar sangat tidak efektif (Fageria et al., 2014). Partikel ZnO sendiri memiliki *band gap* yang tinggi yaitu 3.37eV dan energi ikat eksitasi sebesar 60meV (Bechambi et al., 2015) sehingga cocok untuk digunakan sebagai fotokatalis.

Semakin kecil *bandgap energy* maka akan semakin mudah juga fotokatalis menyerap foton, namun kemungkinan rekombinasi h^+ dan juga e^- juga semakin besar sehingga kedua aspek ini perlu diperhatikan dalam pemilihan katalis (Guritno,2012).

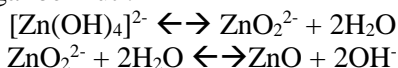
Namun penggunaan zinc oksida saja dianggap kurang efektif berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, menurut Liu et al. konversi energi yang dilakukan oleh zinc oksida terutama untuk efisiensi konversi fotokatalis masih sangat rendah yang dikarenakan oleh :

1. Besarnya laju dari penggabungan kembali pasangan *electron-hole* yakni sebesar 90% yang menandakan akan kembali bergabung sebelum sampai pada permukaan fotokatalis.

2. *Band gap* yang lebar namun hanya bekerja pada sinar UV yaitu kurang dari 5% dari total sinar yang dipancarkan oleh matahari.

Untuk mengatasi hal ini banyak yang telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari partikel ZnO sebagai contoh hibridisasi antara ZnO yang telah ditunjang dengan FeO dapat meningkatkan efisiensi dari aktifitas fotokatalis (Bechambi et al., 2015), cara yang lain yang sedang banyak digunakan adalah dengan memodifikasi permukaan dari ZnO dengan menggunakan logam mulia seperti Ag (perak), Au (Emas). Hal ini dapat meningkatkan kemampuan transfer elektron yang dapat meningkatkan efisiensi fotokatalis (Zhai et al., 2015)

Partikel ZnO sendiri dapat dibuat dari *zinc acetate dihydrate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dengan menggunakan metode-metode seperti *flame pyrolysis*, *spray pyrolysis*, *sol-gel method*, dan *hydrothermal synthesis*. Reaksi dari hasil *zinc acetate dihydrate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) menjadi zinc oksida sangatlah kompleks dan karena itu hanya diklasifikasikan menjadi 2 step paling penting sebagai berikut :



II.2 Tinjauan Umum Perak (Ag)

Logam mulia seperti Au, Ag dan Cu memiliki kelebihan yang sangat menarik karena keunikan mereka untuk penyerapan pada wilayah sinar tampak dikarenakan adanya *localized surface plasmon resonance* (LSPR) yang sudah lama digunakan untuk pewarnaan *stained glass* sejak lama (Hashimoto et al., 2005). *Localized surface plasmon resonance* sendiri bertanggung jawab untuk peningkatan medan electromagnet yang kemudian juga akan meningkatkan *surface enhanced Raman Scattering* (SERS) dan juga peningkatan untuk permukaan proses spektroskopis (Willems, 2006). Dari semua logam mulia yang disebutkan diatas, partikel perak (Ag) merupakan partikel yang nonlinier dikarenakan:

1. Cepatnya waktu respon non linear optis

2. Peningkatan kenonlinearan optis dikarenakan adanya LSPR

Silver atau perak telah banyak digunakan dan sekarang menjadi bahan yang secara komersial banyak digunakan untuk nano material terutama untuk agen anti mikroba yang dapat digunakan pada:

1. Tekstil
2. *Self-sterilizing polymer films*
3. Purifikasi udara dan air
4. Implant tulang

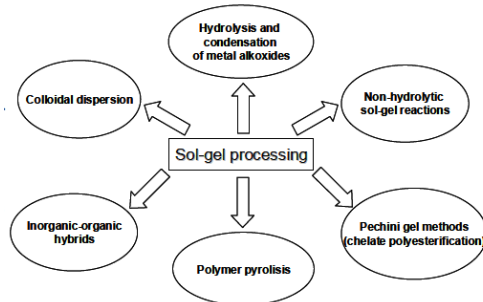
Selain itu juga perak juga digunakan pada penambahan partikel nano material untuk peningkatan performa fotokatalis dari partikel tersebut. Hal ini dikarenakan kemampuan dari spesies perka untuk mengisi lubang electron dengan berkombinasi yang mana dapat dijelaskan dengan property penerimaan elektron dari atom perak dan juga dapat dijelaskan melalui LSPR (Kusdianto et al., 2017)

II.3 Metode Sintesis

II.3.1 Sol-Gel Synthesis

Teknologi sol-gel merupakan teknologi yang sudah dikembangkan lebih dari 40 tahun yang biasanya digunakan untuk alternatif dalam persiapan pembuatan gelas-gelas dan keramik dalam temperatur rendah. Pembentukan *sol* merupakan suatu rangkaian operasi yaitu *gelling*, *drying*, *pressing*, *drawing* dan *casting* yang mana menghasilkan struktur yang bermacam-macam dan transformasi fase. Hal ini menghasilkan formasi seperti bubuk, fiber, *coating*, dll. *Sol-gel method* ditemukan oleh Geffecen dan Berger dari *Shott Company* pada tahun 1930 dengan menemukan layer oksidasi pada gelas industri setelah itu penggunaan teknologi sol-gel mulai digunakan banyak sejak tahun 1993 (Dimitriev et al., 2008)

Proses dari sol-gel sendiri dapat digunakan untuk berbagai hal, gambar dibawah menunjukkan proses dari proses sol-gel itu sendiri:



Gambar 2.2 Aplikasi Sol-Gel

Proses diatas merupakan proses secara umum yang menggunakan sol-gel, secara umum aplikasi dari sol-gel yaitu :

1. Pembuatan *solar cell*
2. Penerima cahaya fluorescence
3. Bahan penambah untuk meningkatkan peforma fotokatalis
4. Pembuatan kapasitor
5. Pembuatan semi konduktor transparan dan elektrolit solid
6. Keramik
7. Katalis
8. Implant untuk medis

(Dimitriev et al.,2008)

Metode sol-gel ini juga masih banyak digunakan untuk pembuatan partikel nano Ag-ZnO yang digunakan untuk fotokatalis. Metode ini dapat digunakan pada tekanan atmosferik dan juga temperature yang tidak terlalu tinggi sehingga lebih mudah untuk dilakukan namun metode ini membutuhkan proses yang lebih lanjut dikarenakan adanya residu atau impuritas pada hasil produk (Kusdianto et al., 2017) selain itu metode sol-gel ini juga memerlukan coating secara terus menerus untuk mendapatkan lapisan hasil produk (Yu et al.,2005)

II.3.2 *Flame Synthesis*

Proses *flame* merupakan proses yang sekarang ini digunakan secara luas untuk pembentukan nano partikel secara komersial. Salah satu contoh dari produk tersebut adalah *carbon black*. Salah satu keuntungan dari penggunaan *flame* adalah hasil

yang sangat murni dan juga *nonporous*. Pada metode *flame* untuk mendapatkan hasil produk yang diinginkan digunakan berbagai variasi konfigurasi untuk *flame* itu sendiri sebagai contoh konfigurasi adalah *premixed* dan *diffusion*. Pada *diffusion flame*, bahan bakar atau *fuel* serta *oxidizer* berdifusi satu dengan yang lain menentukan reaksi *flame* dan formasi partikel namun pada *premixed* prekursor dengan gas kombustibel dicampur satu dengan yang lain sebelum memasuki zona reaktor. Bergantung pada kecepatan gas dan geometri dari *burner*, *flame* dapat menjadi turbulent ataupun laminar. Pada proses percobaan di lab, *flame* laminar lebih diinginkan dikarenakan lebih mudahnya untuk di diskripsikan dengan model (Kammler et al., 2001)

Dalam proses *flame synthesis*, tipe precursor dapat dibedakan menjadi 2 yaitu gas dan liquid. Pertama, reactor flame melibatkan reaksi fase gas dari precursor yang terinjeksi secara difusi atau *premixed flame*, tipe ini dinamakan *Vapour-Fed Flame Synthesis*. Energi yang dihasilkan dari pembakaran digunakan untuk mengendalikan hasil reaksi kimia dalam pembentukan spesies dengan tekanan uap yang rendah dimana kemudian terjadi nukleasi untuk membentuk partikel bahkan *gas-feed flame synthesis* hanya digunakan untuk beberapa material yang bersifat volatile. Saat ini *liquid flame synthesis* dikembangkan dengan menggunakan bahan inorganic yang murah atau *non-volatile precursor*. (Strobel, 2007)

Dalam *liquid-fed flame synthesis*, liquid prekursor disemprotkan dan dikonversi membentuk produk partikel. Morfologi dari partikel akhir tergantung dari tipe prekursor dan kondisi operasi dari pembakaran. Kegunaan dari prekursor organik atau ditamahnya bahan bakar liquid seperti etanol, hidrogen pada prekursor adalah untuk menghasilkan partikel berukuran nanometer (Nugroho et al., 2011). Laju alir bahan bakar dan oksigen yang tinggi berguna untuk menghasilkan daerah pembakaran dengan temperatur tinggi, selain itu partikel submicron dapat disintesis dengan mekanisme yang hampir sama seperti *spray pyrolysis*.

Apabila dibandingkan dengan proses pada fase gas, *flame synthesis* dari suatu material tidak memerlukan tambahan sumber energi untuk mengkonversi prekursor seperti halnya plasma, laser atau dinding yang dipanasi secara elektrik sehingga dapat mengurangi capital investment proses. Pada flame proses, energi dihasilkan secara langsung oleh reaksi kimia untuk pembentukan partikel. Energi yang dihasilkan dibebaskan secara cepat melalui radiasi dan konveksi. Berbagai macam reaktor *flame* telah digunakan dan dikelompokkan menurut keadaan dan pensuplai prekursor

Vapor-fed aerosol flame synthesis (VAFS) adalah proses pembakaran prekursor yang volatile dalam komponen hidrokarbon, hidrogen, atau halide. Dalam proses ini partikel dibentuk setelah prekursor terkonversi melalui nukleasi dari fase gas dan kemudian tumbuh oleh reaksi permukaan atau koagulasi setelah itu saling berdekatan membentuk partikel yang lebih besar. VAFS banyak diaplikasikan pada industri untuk memproduksi partikel dari silika, alumina dan pigmen titanium bahkan ketersediaan volatil prekursor terbatas hanya pada sedikit bahan.

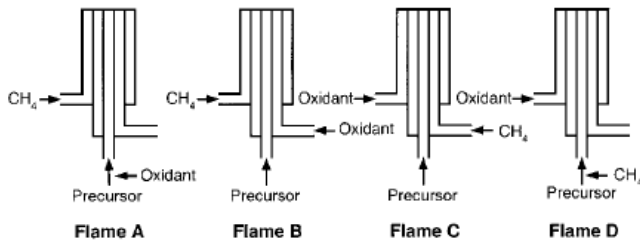
Liquid-fed aerosol flame synthesis (LAFS) lebih fleksibel karena digunakan non-volatil prekursor yang lebih mudah didapat. *Carbon Black* dibuat dengan metode LAFS atau dikenal dengan proses *furnace*. Pada umumnya larutan prekursor, emulsi atau *slurry* dispray dan terkonversi menjadi produk partikel evaporasi dari keseluruhan prekursor menunjukkan padatan nano partikel dalam VAFS, sedangkan droplet yang tidak terevaporasi secara sempurna menghasilkan partikel berbentuk hollow dan shell dengan ukuran micron.

Spraying disempurnakan dengan atomisasi larutan melewati alat bantu konvensional udara atau *nozzle ultrasonic* kemudian prekursor diuapkan dengan bantuan sumber panas luar untuk proses pembakaran. Untuk larutan organik dengan kandungan entalpi yang tinggi dipilih *small pilot flame* sehingga dapat menjadi sumber pemicu terjadinya pembakaran serta menjaga pembakaran spray. Proses ini dinamakan *flame spray*

pyrolysis (FSP), sedangkan prekursor inorganik dengan kandungan entalpi larutan yang rendah, digunakan pembakaran eksternal sebagai sumber panas yang dihasilkan oleh dinding pemanas dari *classic spray pyrolysis*. Proses ini dinamakan *flame-assisted spray pyrolysis* (FASP)

Temperatur dari *flame* dan waktu tinggal partikel merupakan parameter paling penting dalam menentukan properti dari produk. Dalam hal ini *flame* sendiri dipengaruhi oleh reaktan awal dan pencampurannya dan juga oleh geometri dari *burner*. Partikel titania sendiri dihasilkan di dalam *double inverted diffusion flame* yang mana dapat menghasilkan 10x lebih kecil dibandingkan *single classic diffusion flame*

Selain itu *flame* juga dipengaruhi oleh larutan prekursor itu sendiri serta juga dapat dipengaruhi dengan adanya penambahan bahan *additives* terutama untuk mengontrol hasil ukuran partikel (impuritas dapat ditoleransi) (Kammler et al.,2001)



Gambar 2.3 Konfigurasi Pencampuran Reaktan *Double Inverted* (A&B) serta *Single Classic* (C&D)

(Kammler et al.,2001)

Flame spray pyrolysis sendiri masuk kedalam metode *one-step deposition* dan menjadi salah satu metode yang luas dan banyak digunakan namun metode ini memiliki kekurangan yaitu dibutuhkan temperatur yang tinggi (diatas 550°C) untuk memastikan dekomposisi dari prekursor selain itu juga diperlukan penggunaan solvent untuk peleburan prekursor (Kusdianto et al.,2017)

Partikel yang dihasilkan pada proses pembakaran dapat dipisahkan dengan *filter*, *cyclone* atau *electrostatic precipitators* (EP). Sebagai alternatif dari pengumpulan produk dapat dilakukan deposisi langsung pada plat datar, *tube*, *fibre* atau substrat busa. Demikian juga deposisi dapat terjadi akibat perbedaan temperatur substrat dengan perbedaan morfologi partikel mempengaruhi struktur film dan tekstur partikel.

II.3.3 Spray Pyrolysis Synthesis

Proses yang berlangsung adalah reaksi pirolisis pada droplet yang dihasilkan spray. Pirolisis adalah reaksi kimia pada suhu tinggi. Jika yang dispray adalah larutan prekursor yang dapat bereaksi pada suhu tinggi maka dengan metode spray dapat dibuat lebih cepat. Proses pembentukan partikel hanya berlangsung beberapa detik. Metode semacam ini disebut spray pyrolysis.

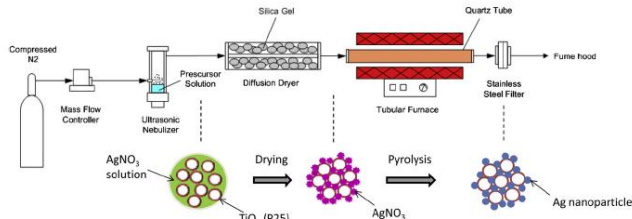
Spray pyrolysis dilakukan pada reaktor yang terdiri dari pembangkit droplet yang disebut *nebulizer* atau *atomizer*, reaktor berbentuk tabung dan penampung partikel. Tabung yang digunakan pada reaktor harus dari bahan yang tahan mendekati suhu 1000°C. Contoh bahan tersebut adalah alumina, quartz dan bisa juga stainless steel.

Droplet yang dihasilkan dialirkan masuk ke dalam tabung yang telah di set pada suhu tinggi dengan menggunakan *carrier gas*. Karena ukuran droplet yang kecil maka dengan cepat pelarut menguap habis sesaat setelah masuk disekitar ujung tabung reaktor dan tersisa mineral prekursor dalam bentuk padatan yang tetap mengalir bersama *carrier gas*. Karena berada dalam suhu tinggi maka terjadi pirolisis pada partikel dan sebelum meninggalkan reaktor telah terbentuk partikel sesuai dengan yang diharapkan. Partikel yang dihasilkan dikumpulkan pada kolektor partikel. Permasalahan utama dalam metode ini adalah sulit dalam pengontrolan morfologi dari produk.

Spray pirolisis dikembangkan dengan dua metode yaitu metode *liquid-solution* dan metode *gas-phase reaction*. Keuntungan dari metode *liquid solution reaction* adalah mampu mengendalikan komposisi dari serbuk oksida multi komponen

sedangkan keuntungan dari metode *gas-phase reaction* adalah mampu mengendalikan atau mengatur morfologi dari kristal.

Spray pirolisis juga telah diaplikasikan untuk membuat Ag-ZnO serbuk sebagai fotokatalis untuk pembuatan fotokatalis. Salah satu keuntungan spray pirolisis adalah tidak diperlukannya proses lebih lanjut seperti filtrasi, pengeringan dan kalsinasi namun kelemahannya hampir sama dengan *flame synthesis* yaitu dibutuhkan suhu yang sangat tinggi untuk melakukan dekomposisi serta dibutuhkan solvent pada reaksi agar didapatkan produk yang diinginkan



Gambar 2.4 Contoh Proses *Spray Pyrolysis* yang dikembangkan oleh Zhao et al. dalam pembuatan Ag-TiO₂

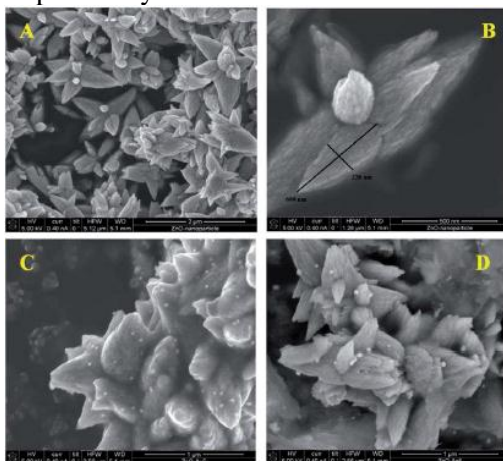
II.4 Mekanisme Fotokatalis

Pada dasarnya fotokatalis biasanya digunakan untuk mendegradasi polutan organik agar dibuang ke lingkungan dalam kondisi yang aman dan tidak beracun bagi kehidupan sekitar. Pada ZnO sebagai material UVLD (*UV-Light Driven*), elektron didalam VB (Valence Band) bergerak menuju ke CB (Covalence Band) dikarenakan adanya sinar UV yang menggerakkan elektron tersebut yang kemudian meninggalkan lubang H⁺ pada VB. Elektron yang bergerak ke CB kemudian bereaksi dengan oksigen terlarut sehingga membentuk anion superoksida radikal (O²⁻) yang kemudian bereaksi dengan air (H₂O) sehingga membentuk OH⁻ dan pada waktu yang bersamaan lubang pada VB (H⁺) bereaksi dengan OH⁻ atau molekul H₂O yang terserap untuk membentuk OH⁻ radikal. O²⁻ dan OH⁻ inilah yang bertanggung jawab untuk melakukan degradasi. Adanya logam mulia seperti Ag ataupun Au secara efektif menyerap elektron yang berada pada CB sehingga

II.5 Penelitian Terdahulu

Sebagai semikonduktor yang memiliki banyak potensi, beberapa tahun belakangan ini banyak peneliti yang meneliti ZnO yang dimana digunakan untuk fotokatalis untuk meningkatkan nilai efisiensi dari ZnO itu sendiri. Banyak cara yang dilakukan sebagai contoh dengan mengubah struktur dari ZnO itu sendiri ataupun dengan menambahkan logam mulia seperti perak (Ag) ataupun emas (Au).

Salah satu penelitian untuk meningkatkan efisiensi dari ZnO dilakukan oleh Frageria et al. pada tahun 2014 dengan metode *one-step synthesis* yang disebut oleh Frageria et al. dengan metode *surfactant mediated route* dimana digunakan bubuk ZnO dan CTAB (*cetyltrimethylammonium bromide*) yang digunakan sebagai agen kontrol untuk membentuk partikel *nanoflower* ZnO kemudian ditambahkan *hydrazine hydrate* sebagai agen pereduksi yang kemudian ditambahkan AgNO_3 atau HAuCl_4 agar Ag atau Au dapat tertempel pada permukaan ZnO. Hasil yang didapatkan adalah partikel berbentuk seperti bunga dengan adanya Ag atau Au di permukaan partikelnya.



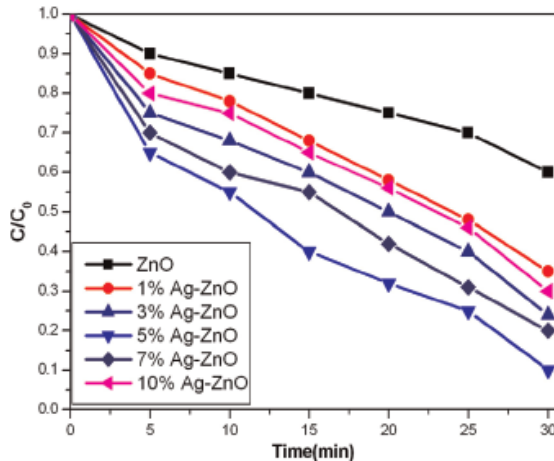
Gambar 2.6 Contoh Gambar SEM ZnO (A)(B) Partikel ZnO (C) Partikel ZnO yang Ditambahkan Au (D) Partikel ZnO yang Ditambahkan Ag

Untuk hasil pada fotokatalis, didapatkan hasil dimana ZnO murni memiliki waktu yang paling lama untuk mendegradasi MB dibanding dengan Ag/ZnO dan Au/ZnO dan juga didapatkan bahwa Au/ZnO memiliki efisiensi 20x lebih besar dibanding Ag/ZnO dibawah lampu tungsten (sumber sinar tampak) dan bila pada degradasi polutan organik yaitu fenol didapat nilai efisiensi Au/ZnO 2.5x lebih besar dibanding Ag/ZnO dibawah sinar matahari dengan hasil degradasi selama 6 jam untuk Au/ZnO sebesar 96% dan Ag/ZnO sebesar 72%

Penelitian lainnya dalam memodifikasi permukaan ZnO dilakukan oleh Bouzid et al. pada tahun 2014 dengan membuat kristal Ag/ZnO yang mesoporus dengan metode sol-gel dimana didapat hasil bahwa semakin besar penambahan Ag pada ZnO maka nilai *bandgap* nya akan semakin kecil dan didapatkan nilai banyaknya penambahan Ag yang optimum pada permukaan ZnO sebesar 1% berat. Hal ini didapatkan setelah dilakukan penelitian degradasi MB dengan penambahan Ag pada ZnO sebesar 0.5%, 1%, 3% dan 10% berat dan didapatkan hasil yang hanya memiliki beda yang sangat tipis antara 1%, 3% dan 10%.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Zhai et al. pada tahun 2014 dengan menggunakan metode *solvothermal process* dengan variabel perbandingan rasio mol Ag terhadap ZnO yaitu 0%, 1%, 3%, 5%, 7%, dan 10%. Dan didapat hasil bahwa 5% mol rasio Ag/ZnO mendapatkan hasil terbaik dibanding penambahan Ag yang lebih sedikit maupun yang lebih banyak. Banyaknya penambahan Ag mengurangi efektifitas, hal ini dikarenakan Ag memiliki kemungkinan untuk menjadi pusat rekombinasi *photo-generated electron* dan lubang sehingga menjadi tidak konduktif untuk pemisahan lubang elektron sehingga mengurangi kemampuan fotokatalis.

Sample	ZnO	1%Ag-ZnO	3%Ag-ZnO	5%Ag-ZnO	7%Ag-ZnO	10%Ag-ZnO
AgNO ₃ : Zn(CH ₃ COO) ₂	0	1:99	3:97	5:95	7:93	10:90
Degradation rate (30 min)	35%	65%	82%	90%	80%	75%



Gambar 2.7 Hasil Degradasi RhB oleh ZnO dan Ag/ZnO Selama 30 Menit

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Sohrabnezhad dan Seifi pada tahun 2016 dengan menggunakan ekstrak dari tanaman *urtica dioica* sebagai agen pereduksi. Dilakukan juga penambahan perak (Ag) dan 1% MMT (*montmorillonite*) untuk meningkatkan efisiensi dari aktifitas fotokatalis ZnO dan didapatkan hasil degradasi dari MB dalam waktu 50 menit yang paling besar adalah dengan menggunakan Ag/ZnO-MMT dengan hasil degradasi sebesar 82.5% dibanding dengan Ag/ZnO yang hanya sebesar 37.57%.

Selain penelitian diatas banyak penelitian mengenai semikonduktor fotokatalis UVLD (*UV-Light Driven*) terutama ZnO untuk meningkatkan efisiensi dari aktifitas fotokatalisnya agar dapat juga digunakan pada sinar tampak atau *visible light*. Tabel dibawah menunjukkan ringkasan dari penelitian-penelitian

sebelumnya untuk ZnO yang dimodifikasi untuk meningkatkan kemampuan fotokatalisnya :

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya

Peneliti	Judul	Hasil / Keterangan
Fageria et al. (2014)	Synthesis of ZnO/Au and ZnO Nanoparticles and Their Photocatalytic Application Using UV and Visible Light	Didapatkan bahwa penambahan Ag atau Au menambah efisiensi fotokatalis ZnO dan penambahan Au lebih efektif dibanding Ag
Bouزيد et al. (2014)	Synthesis of Mesoporous Ag/ZnO Nanocrystals with Enhanced Photocatalytic Activity	Sintesis Ag/ZnO dengan metode sol-gel dan didapat hasil optimum yaitu Ag/ZnO 1% berat dan didapatkan pula hasil semakin banyak Ag maka efektifitas makin besar
Sohrabnezhad dan Seifi (2016)	The Green Synthesis of Ag/ZnO in Monmorillonite with Enhanced Photocatalytic Activity	Sintesis dengan metode <i>green method</i> dengan menggunakan <i>urtica dioica</i> dan dengan penambahan Ag + MMT dan didapat hasil Ag/ZnO MMT memiliki efektifitas paling besar
Liu et al. (2015)	Synthesis of Spherical Ag/ZnO Heterostructural Composites with	Sintesis dengan metode <i>two-steps chemical</i> dan didapat hasil bahwa Ag/ZnO

	Excellent Photocatalytic Activity Under Visible Light and UV Radiation	dengan konsentrasi 0.1 M berhasil mendegradasi RhB hingga 97% dalam 180 menit dengan k 10 kali lebih besar dibanding ZnO
Wang et al. (2012)	Microwave-assisted Synthesis and Photocatalytic Performance of Ag-doped Hierarchical ZnO Architectures	Sintesis dengan bantuan <i>microwave</i> dalam skala besar berhasil dilakukan dan didapatkan hasil Ag/ZnO 1% wt berhasil mendegradasi 99% RhB dalam 120 menit dibanding dengan ZnO yang hanya 36% dalam waktu yang sama
Zhai et al. (2014)	Direct Sunlight Responsive Ag-ZnO Heterostructure : Enhanced Degradation of Rhodamine B	Sintesis dengan menggunakan metode <i>solvothermal process</i> dan didapatkan hasil 5% mol rasio dari Ag/ZnO berhasil mendegradasi 90% dari RhB dalam 30 menit dan didapatkan juga hasil 5% mol rasio memiliki efektifitas lebih besar dibanding ZnO dan 10% Ag/ZnO

<p>Bechambi et al. (2015)</p>	<p>Photocatalytic Activity of ZnO Doped with Ag on The Degradation of Endocrine Disrupting under UV Irradiation and The Investigation of its Antibacterial Activity</p>	<p>Sintesis dilakukan dengan metode <i>hydrothermal process</i> dan didapatkan hasil 1% mol rasio dari Ag/ZnO merupakan yang paling efektif dalam mendegradasi BPA dan NP (H₂O₂) dan juga didapatkan hasil Ag/ZnO lebih antibakteri dibanding ZnO murni</p>
--------------------------------------	---	---

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan berfokus pada pembuatan partikel nanokomposit Ag-ZnO dengan menggunakan metode flame pyrolysis, serta untuk mengetahui pengaruh dari variasi konsentrasi larutan dan variasi konsentrasi doping Ag terhadap ukuran, bentuk partikel dan sifat optic partikel. Hasil partikel yang terbentuk kemudian divalidasi secara kualitatif dan kuantitatif melalui beberapa analisa yaitu SEM-EDX dan XRD. Aktivitas fotokatalitik dari partikel yang terbentuk juga dianalisa dengan cara mengukur daya degradasi fotokatalitik larutan Methylene Blue di bawah sinar UV dalam ruang gelap. Parameter kondisi operasi pada penelitian ini meliputi: laju alir LPG sebesar 0,1 L/min; laju alir Carrier Gas sebesar 36,67 L/menit, dan laju alir oxidizer sebesar 2 L/menit. Adapun variasi konsentrasi larutan sebesar 0,1 M dan 0,15 M; serta variasi konsentrasi doping Ag untuk tiap konsentrasi larutan sebesar 0; 0,01; 0,05; 0,1; 1; 5; dan 20 % berat.

III.1 Bahan dan Alat

III.1.1 Bahan Penelitian

1. Kristal Zinc Acetate Dihydrate ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 99,5% (E. Merck, D-6100 Darmstadt, F.R. Germany)
2. Kristal Silver Nitrate (AgNO_3)
3. Gas LPG 14,3 kg (propana 50% dan butana 50%)
4. Udara bebas
5. Methylene Blue bubuk

III.1.2 Peralatan Penelitian

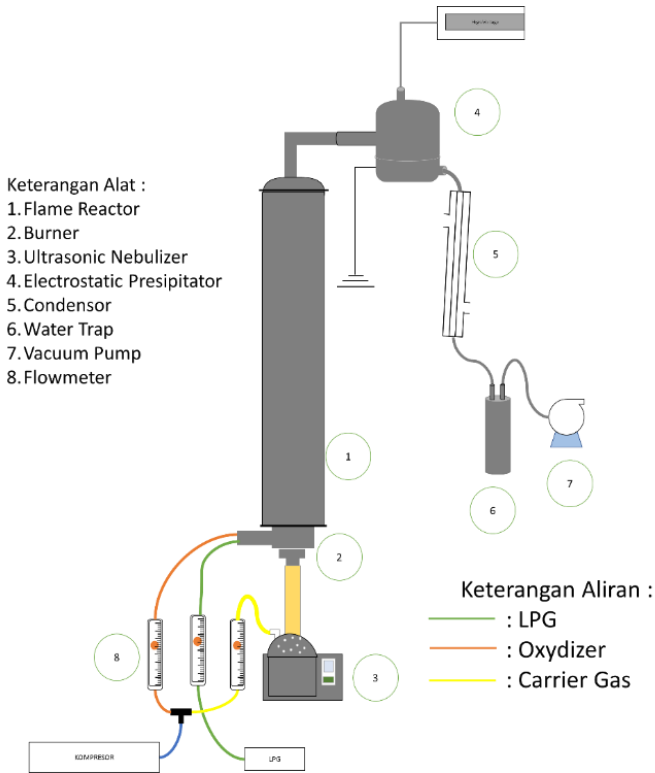
III.1.2.1 Peralatan Reaktor Flame Pyrolysis

Rangkaian alat flame pyrolysis terdiri atas beberapa peralatan berikut:

1. Kompresor (Hitachi Bebicon) yang dilengkapi dengan oil filter dan lubricator berfungsi sebagai sumber udara dan meningkatkan tekanan udara sehingga udara sebagai carrier gas dapat mengalir menuju ultrasonic nebulizer
2. Ultrasonic Nebulizer (OMRON, NE-U17) yang berfungsi sebagai penghasil droplet larutan precursor yang akan

dialirkan menuju burner. Alat ini dioperasikan pada frekuensi 1,7 MHz dan dihubungkan dengan aliran udara dari kompresor

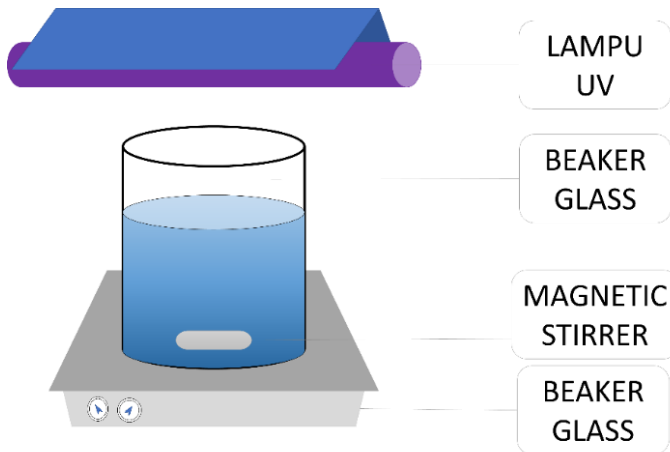
3. Burner yang berfungsi sebagai sumber api pada reactor yang dibutuhkan untuk reaksi pyrolysis. Burner yang digunakan adalah tubular burner yang dilengkapi dengan side entering fuel dan oxygen, dan co-current droplet flow
4. Tubular Glass Reactor yang berfungsi sebagai badan reactor utama dalam proses pyrolysis.
5. Powder Collector yang berfungsi untuk menangkap partikel yang dihasilkan pada proses flame pyrolysis. Alat ini dilengkapi dengan electrostatic precipitator yang dialiri voltase tinggi dengan bantuan DC High Voltage serta dilakukan pemanasan dengan bantuan heater jacket.
6. Flowmeter berfungsi sebagai pengukur laju alir udara (carrier gas) dan LPG.
7. Condensor yang berfungsi untuk mendinginkan udara panas yang keluar dari Powder Collector, berupa spiral glass condenser yang dilengkapi dengan pompa dan chiller.
8. Water Trap yang berfungsi menangkap uap air, larutan, serta partikel yang lolos powder collector sehingga tidak merusak vacuum pump.
9. Vacuum Pump (Gast P504 BN) yang berfungsi menciptakan aliran pada rangkaian alat flame pyrolysis.
10. Lightmeter (Lutron LX 1102) yang berfungsi mengukur intensitas cahaya matahari pada uji fotokatalitik.



Gambar III.1 Skema Rangkaian Alat *Flame Pyrolysis*

III.1.2.2 Peralatan Analisa Fotokatalitik

1. Centrifuge (One Med 0805-I) digunakan untuk memisahkan supernatant dari solid pada tiap interval Analisa sebelum diukur absorbansi-nya menggunakan spektrofotometer UV-Vis.
2. Spektrofotometer UV-Vis yang digunakan sebagai alat untuk mengukur absorbansi larutan methylene blue yang digunakan sebagai uji fotokatalitik
3. Rangkaian alat pada uji fotokatalitik meliputi: Lampu UV (10 watt) sebagai sumber cahaya dan Stirrer sebagai media homogenasi larutan.



Gambar III.2 Skema Rangkaian Alat Uji Fotokatalitik

III.2 Prosedur Eksperimen

Prosedur eksperimen dibagi menjadi 3 tahap yaitu:

1. Persiapan Bahan Baku
2. Proses Pembuatan Partikel (Flame Pyrolysis)
3. Analisa Hasil Partikel

III.2.1 Prosedur Persiapan Bahan Baku

Larutan precursor dipersiapkan dengan melarutkan Kristal Zinc Acetate Dihydrate ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dengan aquadest, dengan proses homogenasi menggunakan sonikator selama 10 menit. Kemudian Silver Nitrate (AgNO_3) dilarutkan ke dalam larutan Zinc Acetate diikuti proses homogenasi kembali selama 10 menit. Larutan precursor kemudian dimasukkan ke dalam ultrasonic nebulizer.

III.2.2 Prosedur Pembuatan Partikel

Terlebih dahulu dilakukan pemanasan powder collector dengan bantuan heater jacket hingga mencapai suhu 120°C , kemudian menyalakan kompresor, vacuum pump, dan condenser pump untuk mengatur aliran LPG, carrier gas, dan oxidizer sesuai dengan parameter di atas untuk mendapatkan nyala api biru dan stabil. Lalu menyalakan DC High Voltage dan mengatur voltage menjadi 40 kVa dan menyalakan ultrasonic nebulizer. Larutan

precursor akan dinebulasi, menghasilkan droplet yang mengalir dan berkontak dengan api pada burner sehingga terbentuk partikel Ag-ZnO yang ditangkap dengan adanya listrik tegangan tinggi pada powder collector. Proses berhenti ketika larutan precursor sudah habis. Partikel yang tertangkap pada powder collector dikumpulkan untuk dianalisa lebih lanjut.

III.2.3 Prosedur Analisa Partikel

Terdapat beberapa Analisa yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu: SEM, XRD, dan uji fotokatalitik. Analisa SEM digunakan untuk mengetahui morfologi partikel, sedangkan XRD digunakan untuk mengetahui struktur partikel, dan uji fotokatalitik untuk mengetahui daya fotokatalis dari partikel Ag-ZnO dalam mendegradasi zat warna methylene blue.

Uji Fotokatalitik dilakukan dengan 2 media cahaya yaitu sinar matahari dan lampu UV. Terlebih dahulu dilakukan dengan membuat larutan induk methylene blue dengan konsentrasi 250 ppm, yang kemudian diencerkan untuk dibuat kurva kalibrasi dengan bantuan Spektrofotometer UV-Vis. Dalam membuat kurva kalibrasi, didapatkan panjang gelombang optimum untuk methylene blue sebesar 665 nm. Dengan panjang gelombang serupa, dibuat kurva kalibrasi dengan cara mengukur absorbansi larutan methylene blue yang telah diencerkan menjadi 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, dan 15 ppm. Kurva tersebut berguna untuk mengetahui konsentrasi larutan dengan absorbansi tertentu.

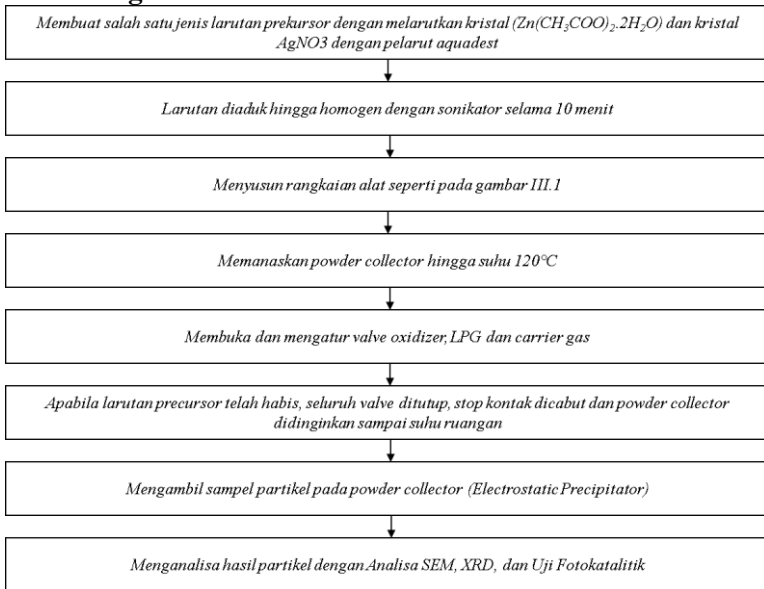
Proses uji fotokatalitis dilakukan dengan membuat 40 ml larutan methylene blue sebanyak variasi konsentrasi larutan Ag-ZnO dan variasi konsentrasi doping Ag. Larutan induk methylene blue diencerkan menjadi 10 ppm pada masing masing gelas dan ditambahkan partikel Ag-ZnO yang telah dibuat, lalu diaduk menggunakan stirrer selama 30 menit dalam kondisi tanpa terkena cahaya (gelap). Selain itu, dibuat juga larutan methylene blue 10 ppm tanpa penambahan partikel sebagai larutan pembanding (base solution).

Pertama-tama, diambil 4 ml larutan pembanding dan diukur absorbansinya dan dengan kurva kalibrasi dapat diketahui

konsentrasi awal larutan. Setelah itu, seperti pada gambar III.2, larutan disinari dengan sinar matahari atau sinar UV disertai pengadukan konstan selama 210 menit. Masing-masing larutan diambil 4 ml pada setiap interval 30 menit dan diputar dengan kecepatan 1000 rpm dengan bantuan centrifuge selama 5 menit. Supernatant kemudian diukur absorbansi-nya dan dibuat grafik waktu vs. konsentrasi larutan untuk mendapatkan nilai konstanta laju reaksi degradasi methylene blue.

III.3 Diagram Alir Percobaan

III.3.1 Diagram Alir Pembuatan Partikel



Gambar III.3 Diagram Alir Pembuatan Partikel

III.3.2 Diagram Alir Uji Fotokatalitik



Gambar III.4 Diagram Alir Uji Fotokatalitik

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dipelajari pengaruh kondisi operasi terhadap hasil partikel ZnO dan Ag-ZnO terhadap karakteristik dan daya fotokatalitik nanopartikel ZnO dan Ag-ZnO serta juga pengaruh konsentrasi Ag dari AgNO₃ (perak nitrat) terhadap ZnO yang berasal dari Zn(CH₃COO)₂·2H₂O (zinc acetat dihidrat). Pada penelitian ini juga digunakan metode *flame pyrolysis* sehingga dapat terbentuk ZnO dan Ag-ZnO dalam bentuk kristal (*solid*) dengan reaksi seperti berikut :

1. Evaporasi *solvent* aquades
$$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_{(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}_{(g)}$$
2. Reaksi dekomposisi precursor
$$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 2\text{H}_2\text{O}_{(g)}$$
3. Reaksi interpartikel
$$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 2\text{H}_2\text{O}_{(g)} \rightarrow \text{ZnO}_{(s)} + 2\text{CH}_3\text{COOH}_{(g)}$$

(Hidayat et al., 2008)

Sedangkan untuk pembentukan Ag-ZnO sendiri terjadi reaksi seperti berikut didalam proses *flame pyrolysis* :

1. $\text{Zn}^{2+} + 4\text{OH}^- \rightarrow \text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$
2. $\text{Ag}^+ + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{OH})_2^-$
3. $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-} + \text{Ag}(\text{OH})_2^- \rightarrow \text{Ag}_2\text{O}/\text{ZnO} + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{OH}^-$
4. $\text{Ag}_2\text{O}/\text{ZnO} \rightarrow \text{Ag}/\text{ZnO} + \frac{1}{2}\text{O}_2$

(Yang et al., 2011)

Pada peneilitian ini digunakan variabel Zn(CH₃COO)₂·2H₂O pada konsentrasi 0.1 M serta 0.15 M dan untuk AgNO₃ digunakan 0.01%, 0.05%, 0.1%, 1%, 5% dan 20% dari massa Zn(CH₃COO)₂·2H₂O serta untuk kondisi operasi I yang dijalankan digunakan oksidiser sebesar 33.333 L/min, LPG sebesar 0.4 L/min dan carrier gas 3 L/min sedangkan pada kondisi operasi II, oksidiser sebesar 50 L/min dengan LPG sebesar 1.5 L/min dan carrier gas yang sama yaitu 3 L/min. Hasil eksperimen yang berupa nanopartikel kemudian diuji bentuk serta ukuran kristalnya dan

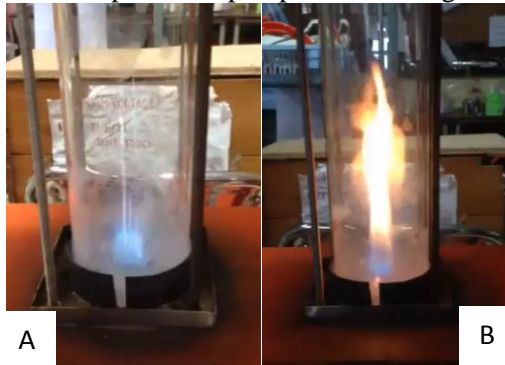
fotokatalisnya dengan membandingkan antara ZnO dengan partikel Ag-ZnO dibawah sinar UV dan sinar matahari.

Pada penelitian ini, untuk mengetahui kemampuan fotokatalis dari tiap nanopartikel maka dilakukan uji fotokatalis dilihat dengan melihat laju degradasi dari *methylene blue* yang sudah dimasukan nanopartikel ZnO dan Ag-ZnO dan kemudian diletakan dibawah sinar UV dan sinar matahari yang kemudian dilihat hasil absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer. Hasil percobaan sendiri didapatkan hasil bahwa penambahan Ag 5% memiliki hasil yang terbaik pada sinar matahari dan UV.

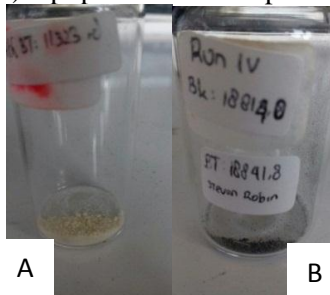
IV.1 Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Hasil Partikel

Kondisi operasi pada penelitian ini sangat menentukan hasil partikel dari ZnO dan Ag-ZnO sendiri dikarenakan adanya penggunaan *flame* (api) pada penelitian ini. Dari eksperimen yang telah dilakukan dengan 2 kondisi operasi yang berbeda didapatkan hasil partikel yang juga jauh berbeda. Pada hasil partikel dengan menggunakan kondisi operasi I yaitu dengan menggunakan oksidiser sebesar 33.333 L/min, LPG 0.4 L/min dan *carrier gas* 3 L/min dihasilkan api yang sangat stabil dan berwarna biru yang menunjukkan pembakaran yang sempurna. Dari hasil perhitungan secara teoritis oksigen minimal yang adalah sebesar 0.1 mol per menit atau 2.4 L/min pada kondisi pembakaran sempurna dan kondisi optimal dengan asumsi komposisi pada LPG C₃H₈ (propana) sebesar 50% dan C₄H₁₀ (butana) sebesar 50% sehingga kebutuhan udara teoritis yang dibutuhkan adalah 0.476 mol/min atau sebesar 11.48 L/min namun agar tidak terjadi pembakaran dengan produk sekunder maka digunakan excess sebesar 1.9x dari yang dibutuhkan sehingga didapat hasil mol udara yang dibutuhkan sebesar 1.39 mol/min atau sebesar 33.333 L/min udara dan pada kondisi operasi ini didapatkan hasil produk partikel yang berwarna putih-kekuningan (ZnO) dan untuk Ag-ZnO berwarna coklat muda hingga coklat kehitaman bergantung pada kandungan Ag sendiri. Untuk kondisi operasi II digunakan oksidiser 50 L/min dengan LPG sebesar 1.5 L/min dan laju *carrier gas* sebesar 3 L/min didapat nyala api yang besar, berwarna merah-biru dan tidak stabil.

Dari hasil perhitungan sendiri didapatkan kebutuhan O_2 minimal pada kondisi operasi II ini adalah sebesar 0.375 mol/min (tanpa eksek) sehingga udara minimal yang dibutuhkan adalah 1.79 mol per menit atau 42.86 L/min namun agar bereaksi sempurna maka diperlukan eksek udara yakni maka dibulatkan menjadi 50 L/min karena kapasitas dari alat maksimal pada nilai ini. Adanya api berwarna merah menandakan adanya pembakaran yang tidak sempurna sehingga menghasilkan *ash* berwarna hitam yang kemudian tercampur dengan partikel produk sehingga pada kondisi operasi II ini hasil dari produk partikel berwarna hitam baik pada ZnO maupun Ag-ZnO yang dimana tidak sesuai dengan warna ZnO yang berwarna putih ataupun putih kekuningan.



Gambar 4.1.1 Kondisi Operasi (A) Api pada Kondisi Operasi I
(B) Api pada Kondisi Operasi II



Gambar 4.1.2 (A) Hasil Partikel Kondisi Operasi I (B) Hasil Partikel Kondisi Operasi II

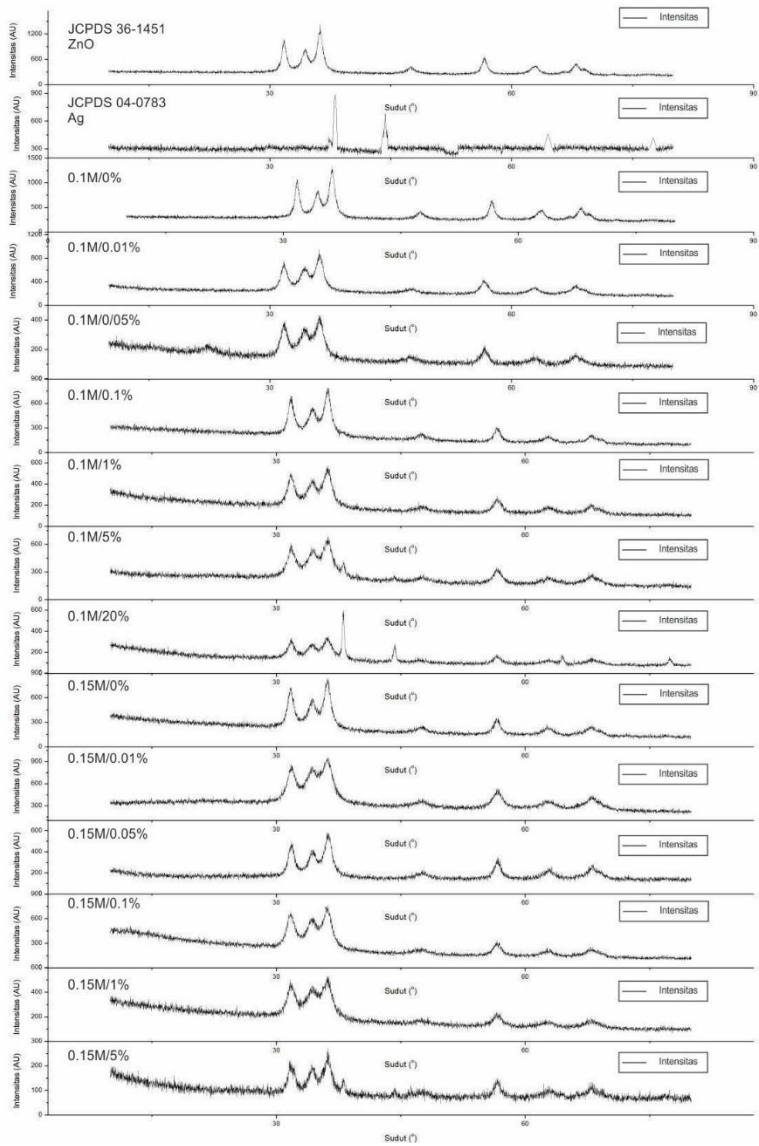
IV.2 Hasil Analisa XRD

XRD dilakukan untuk mengetahui kristalinitas, fase dan kemurnian dari partikel yang ada didalamnya dengan bantuan JCPDS serta digunakan juga untuk mengukur kemungkinan ukuran kristal (*crystalline size*). XRD dilakukan di Teknik Metalurgi dan Material-FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan sudut pengukuran 10° hingga 80°

Dari eksperimen yang telah dilakukan dengan variabel 0.1 M dan 0.15 M $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan 0.01%, 0.05%, 0.1%, 1%, 5%, 20% AgNO_3 terhadap massa $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ didapatkan partikel ZnO dan Ag-ZnO yang dapat dilihat dari hasil analisis XRD dibawah ini

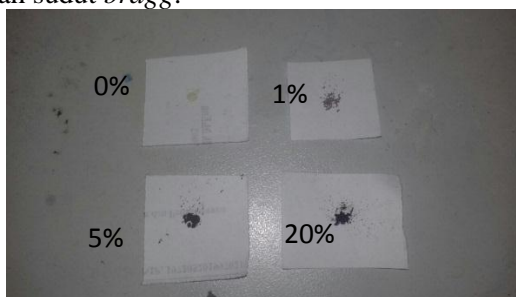
Gambar dibawah untuk yang pertama dan yang kedua merupakan referensi untuk ZnO dan Ag yang didapatkan dari JCPDS yang dimana untuk ZnO murni JCPDS 36-1451 sedangkan untuk Ag menggunakan JCPDS 04-0783.

Berdasarkan grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.2.1 dari hasil analisa XRD diatas terdapat kecocokan untuk JCPDS 36-1451 dengan hasil analisa XRD yang dapat dilihat dari adanya peak yang sangat mencolok antara sudut 30° - 40° yakni pada sudut 31.8° , 34.43° , 36.28° . Hal ini menunjukkan adanya kandungan ZnO pada partikel yang dibuat dengan menggunakan metode *flame pyrolysis* sehingga dapat disimpulkan bahwa metode sintesis *flame pyrolysis* dapat digunakan untuk membentuk nanopartikel ZnO dengan kandungan yang murni. Dari hasil analisa XRD diatas serta dengan mencocokkan dengan JCPDS maka dapat diketahui bahwa bentuk dari partikel ZnO yang didapat memiliki bentuk *wurtzite* dengan diameter kristal yang bervariasi.



Gambar 4.2.1 Hasil Analisa XRD

Pada gambar 4.2.1 juga dapat dilihat hasil nanokomposit Ag/ZnO dimana untuk melihat adanya Ag pada ZnO dapat dilihat dari JCPDS 04-0783 pada sudut 38.1° , 44.3° , 64.5° , 77.5° (Liu et al., 2015). Pada hasil 0.1 M ZnO dengan penambahan Ag 0.01% hingga 1% seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.2.2 diatas tidak terlihat adanya peak pada sudut 38.1° , 44.3° , 64.5° , ataupun pada sudut 77.5° sehingga terlihat tidak adanya peak Ag pada nanokomposit Ag/ZnO, hal ini dikarenakan adanya kemungkinan terlalu kecilnya konsentrasi dari Ag sehingga tidak terdeteksi oleh XRD sehingga tidak menunjukkan adanya peak yang signifikan namun pada penambahan Ag 5% pada ZnO terlihat adanya peak pada sudut 38.1° yang menunjukkan adanya Ag pada ZnO. Peak pada sudut 38.1° semakin naik dengan adanya kenaikan pada konsentrasi Ag yang semakin menunjukkan bahwa adanya Ag pada ZnO sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode *flame pyrolysis* dapat digunakan untuk membuat nanokomposit Ag/ZnO. Adanya Ag pada sudut 38.1° menunjukkan bahwa Ag berbentuk FCC (*Face Center Cubic*). Dari hasil analisa XRD ini pula juga dapat digunakan *Scherrer equation* untuk mencari diameter kristal dengan menggunakan rumus $D_p = (k \cdot \tau) / (\beta \cdot \cos\theta)$ dimana k adalah konstan *Scherrer* yang memiliki angka 0.94, τ sendiri adalah panjang gelombang X-Ray dimana biasanya memiliki nilai 1.54178 Å, β adalah FWHM atau *Full Width Half Maximum* yang merupakan lebar maksimum dari peak pada $\frac{1}{2}$ total tinggi dari peak dan θ adalah sudut *bragg*.



Gambar 4.2.3 Warna Partikel yang Dihasilkan untuk 0% hingga 20%

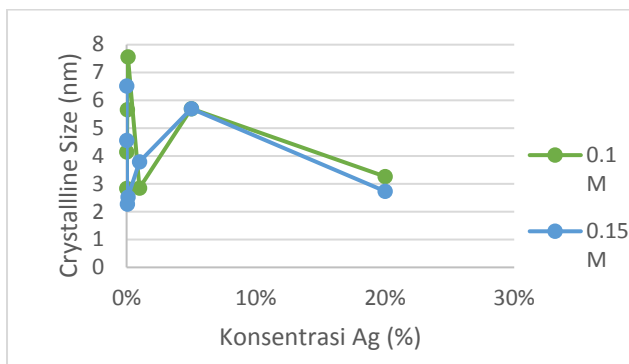
Gambar diatas menunjukkan warna partikel yang semakin gelap dengan bertambahnya konsentrasi Ag baik pada 0.1 M ataupun pada 0.15 M dimana hasil ini menunjukkan adanya doping Ag yang dihasilkan melalui *flame pyrolysis*. Terlihat pada gambar 4.2.3 hasil doping Ag 0% hingga 0.1% memiliki warna yang sama pada gambar untuk partikel ZnO murni yaitu putih. Partikel dengan kandungan Ag 1% memiliki warna coklat muda seperti pada gambar diatas dan Ag 5% memiliki warna coklat kehitaman sedangkan Ag 20% memiliki warna paling gelap yaitu hitam.

IV.3 Pengaruh Diameter Kristal Terhadap Degradasi *Methylene blue*

Tabel 4.1 Diameter Kristal Ag/ZnO dengan Menggunakan *Scherrer Equation*

Sampel		Diameter Ukuran Kristal (nm)
Kandungan ZnO	Kandungan Ag	
0.1 M	0%	4.144
	0.01%	2.84
	0.05%	5.67
	0.10%	7.56
	1%	2.85
	5%	5.7
	20%	3.26
0.15 M	0%	6.512
	0.01%	4.56
	0.05%	2.28
	0.10%	2.53
	1%	3.79
	5%	5.7
	20%	2.73

Diameter kristal diatas dihitung dengan menggunakan *Scherrer equation* dan dapat dilihat bahwa hasil yang didapatkan sangat bervariasi. Hal ini memperlihatkan adanya kemungkinan partikel yang teraglomerasi sehingga tidak dapat didapatkan hasil yang akurat dengan menggunakan *Scherrer equation*.



Gambar 4.3.1 Plot Crystalline Size Vs Konsentrasi Ag

Dari hasil eksperimen terlihat ukuran kristal dari Ag/ZnO yang bervariasi. Dilihat hasil partikel pada konsentrasi 0.1 M pada konsentrasi Ag 0.01% memiliki diameter kristal yang paling kecil dengan diameter 2.84 nm yang dimana memiliki luas permukaan yang paling luas dibanding dengan yang lain, namun dari hasil fotokatalis baik pada kondisi dibawah sinar UV ataupun tidak memiliki pengaruh terhadap kemampuan fotokatalisnya. Terlihat dari grafik pada gambar 4.3.2.5 penambahan Ag 5% pada Ag/ZnO tetap memiliki nilai yang paling tinggi dalam mendegradasi *methylene blue*. Terlihat pula pada Ag 20% meskipun memiliki diameter yang lebih kecil namun tetap lebih efektif partikel dengan penambahan Ag sebesar 5% dibanding yang lain.

Pada hasil eksperimen dengan membandingkan pengaruh konsentrasi ZnO baik 0.1 M ataupun 0.15 M terlihat juga tidak ada pengaruh yang signifikan pada perbedaan diameter kristal Ag/ZnO. Terlihat hasil dimana konsentrasi ZnO yang lebih besar dengan kandungan Ag yang sama memiliki hasil degradasi yang lebih cepat dibandingkan dengan konsentrasi yang lebih kecil.

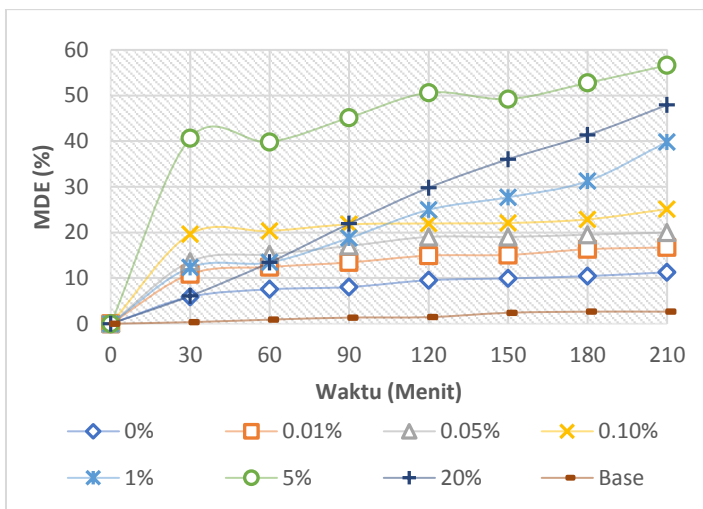
IV.4 Hasil Analisa Fotokatalis

4.4.1 Kalibrasi *Methylene Blue*

Kalibrasi *methylene blue* dilakukan untuk menemukan kurva kalibrasi antara absorbansi dengan konsentrasi dari *methylene blue* sehingga dapat diketahui konsentrasi *methylene blue* pada absorbansi tertentu. Kurva ini digunakan untuk analisa fotokatalis dalam mendegradasi *methylene blue* oleh Ag/ZnO pada konsentrasi Ag tertentu. Dari eksperimen yang telah dilakukan didapatkan hasil kurva kalibrasi dengan persamaan $y = 0.2024x$ dengan $R^2 = 0.993$ pada panjang gelombang 665 nm dengan nilai konsentrasi metilen blue maksimal adalah sebesar 15 ppm.

4.4.2 Analisa Fotokatalis

Analisa fotokatalis dilakukan dalam 2 kondisi yang berbeda yaitu kondisi pertama pada ruangan tertutup dan pada kondisi gelap serta hanya diberikan sinar UV sebagai sumber cahaya utamanya. Lampu UV yang digunakan adalah EVACO dengan spesifikasi 220V ; 50Hz ; T8 10W; 365nm dengan intensitas maksimal yang diukur dengan lux meter sebesar 230.8 lux. Pada kondisi yang kedua berada pada diluar ruangan dan diberikan sinar matahari sebagai sumber cahaya utamanya yang digunakan untuk melihat % efisiensi dari penambahan Ag pada UV dan matahari. Sinar matahari diukur dengan menggunakan light meter LT Lutron LX-1102 pada pagi hingga siang hari. Hasil dari analisis fotokatalis dengan menggunakan degradasi dari *methylene blue* hingga jangka waktu 3.5 jam dalam kondisi pengadukan dengan interval pengambilan sampel analisa setiap 30 menit yang bertujuan agar pada kondisi kesetimbangan (equilibrium adsorpsi-deadsorpsi). Analisa fotokatalis dilakukan dengan cara menghitung degradasi larutan *methylene blue* kemudian dengan asumsi *pseudo-first order* (Liu et al., 2015). Aktifitas fotokatalitik ditentukan dengan cara mengukur *methylene blue degradation efficiency* (MDE) dengan rate constant $\ln(C_0/C)$. Hasil dari analisa *methylene blue* pada sinar UV seperti berikut :

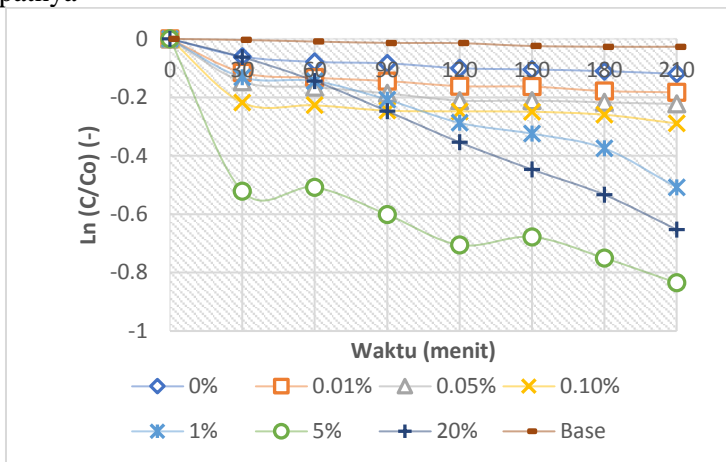


Gambar 4.4.2.1 Efisiensi Degradasi *Methylene blue* pada Sinar UV (0.1 M)

Dari hasil eksperimen analisa fotokatalis yang dilakukan pada ruang gelap dengan sinar UV dapat dilihat dari gambar grafik 4.3.2.1 diatas, sampel dengan konsentrasi Ag 5% berhasil mendegradasi *methylene blue* hingga 56.615% pada jangka waktu hingga 3.5 jam yang kemudian diikuti oleh Ag/ZnO dengan kandungan Ag sebesar 20%. Hal ini dikarenakan terlalu banyaknya kandungan Ag menyebabkan Ag menjadi pusat rekombinasi *photo-generated electron* dan menjadi lubang rekombinasi sehingga mengurangi kemampuan fotokatalis (Zhai et al., 2014).

Dilihat dari grafik degradasi dibawah 4.3.2.2 dapat dilihat adanya penurunan yang sangat curam pada kandungan Ag 5%. Pada grafik dibawah nilai koefisien terlihat hampir sama pada nilai Ag 20% dan 5% dengan nilai $k = 0.003/\text{menit}$ namun dapat dilihat bahwa kemampuan degradasi 5% lebih besar dibanding dengan 20% yang hanya dapat mendegradasi 47.93% sedangkan 5% bisa mencapai hingga 56.615%. Nilai koefisien terbesar setelah 5% dan 20% kemudian diikuti dengan kandungan Ag pada nilai 1%. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar kandungan Ag maka nilai

koefisiennya akan semakin besar yang dimana akan menghasilkan reaksi fotokatalis yang jauh lebih cepat dibanding dengan ZnO murni ataupun hanya bila disinari matahari. Penambahan Ag 5% dapat meningkatkan efisiensi degradasi *methylene blue* hingga 5x lipatnya



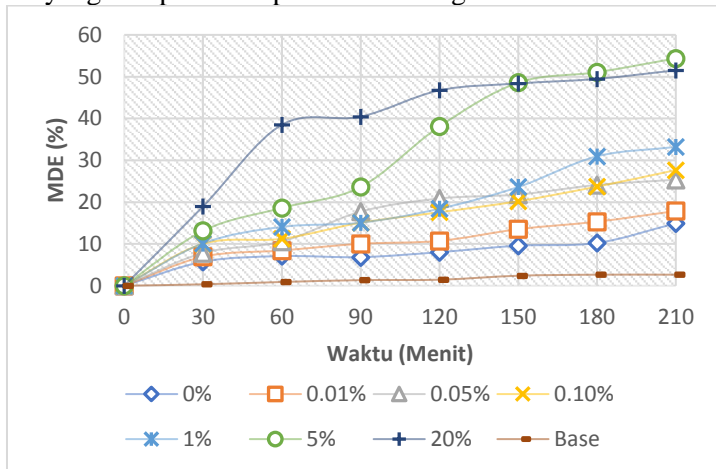
Gambar 4.4.2.2 Plot ln(C/Co) vs Waktu pada Sinar UV (0.1M)

Gambar diatas sesuai dengan banyak penelitian terdahulu yang telah dilakukan dalam meneliti Ag-ZnO dalam sinar UV dimana nilai untuk penambahan Ag sebesar 5% lebih efektif dibanding lebih ataupun kurang dari nilai tersebut. Menurut Yang Zhongmei, et al. hasil menurunnya kemampuan degradasi dari Ag/ZnO dengan kandungan yang lebih besar dikarenakan karena 3 hal yaitu adanya penggabungan yang terlalu banyak (agregasi) yang kemudian mengurangi permukaan aktif dari Ag/ZnO kemudian yang kedua adanya kemungkinan Ag menghalangi penyerapan sinar UV oleh ZnO yang kemudian juga akan mengurangi kemampuan fotokatalis lalu yang terakhir adalah Ag menjadi pusat rekombinasi yang dikarenakan adanya ketertarikan elektrostatis dari Ag yang negatif terhadap lubang yang positif.

Dilihat dari gambar 4.3.2 grafik degradasi *methylene blue* ln(C/Co) terhadap waktu memperlihatkan adanya tambahan Ag menghasilkan rate yang lebih cepat dibanding dengan ZnO murni.

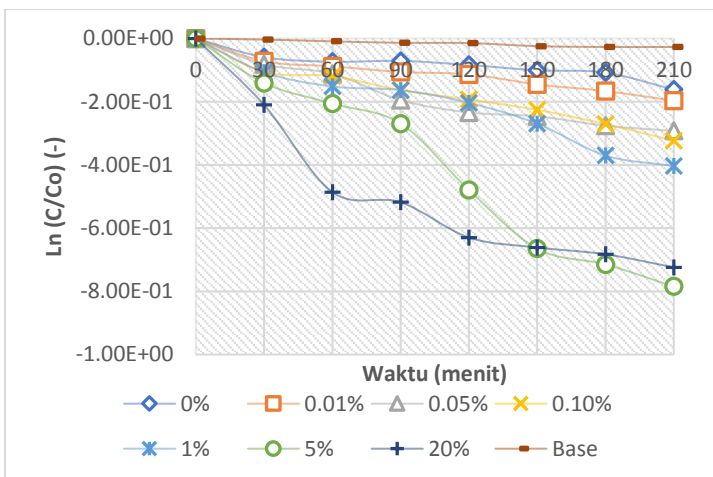
Didapatkan bahwa hasil degradasi 5% memiliki rate yang paling cepat dengan $k = 0.003/\text{menit}$ yang dimana 6x lebih cepat dibandingkan dengan ZnO murni.

Untuk ZnO 0.15 M dilakukan test juga dengan kondisi yang sama dibawah sinar UV untuk mendegradasi *methylene blue*. Hasil yang didapatkan dapat dilihat dari grafik dibawah ini :



Gambar 4.4.2.3 Efisiensi Degradasi *Methylene blue* pada Sinar UV (0.15 M)

Dari hasil eksperimen yang dilakukan pada kondisi yang sama untuk variabel 0.15 M dengan penambahan Ag yang sama yaitu 0.01% hingga 20% didapatkan hasil % degradasi untuk 5% yang menempati hasil yang paling baik dimana dapat mendegradasi hingga 54.37% dimana hampir 4x dari kemampuan ZnO murni yang hanya dapat mendegradasi sebanyak 14.93% dari *methylene blue*. Pada hasil diatas terlihat kemiripan terhadap hasil 0.1 M namun pada hasil 0.15 M untuk penambahan Ag 20% terlihat degradasi yang sangat cepat hingga menit ke 120 kemudian terlihat terjadi kenaikan yang stabil hingga mencapai hasil degradasi 51.52%. Hal ini dikarenakan seperti pada yang terjadi di 0.1 M karena banyaknya kandungan Ag pada ZnO sehingga terjadi penurunan kemampuan fotokatalis dari Ag/ZnO sendiri.

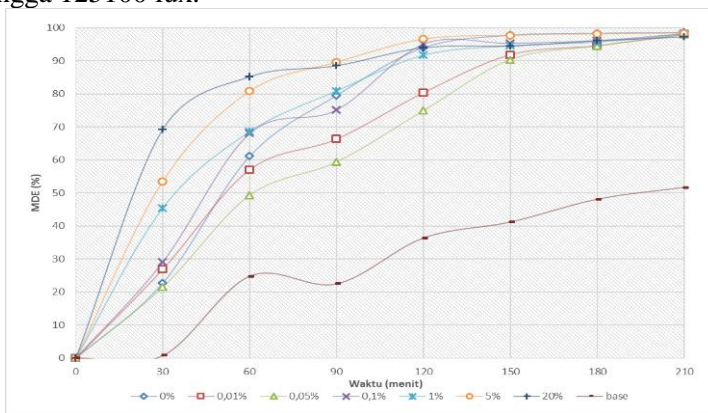


Gambar 4.4.2.4 Plot $\ln(C/Co)$ vs Waktu pada sinar UV (0.15 M)

Dari hasil grafik 4.3.2.4 terlihat hasil penurunan yang sangat cepat pada Ag/ZnO dengan kandungan Ag sebanyak 20% pada menit hingga 120 menit hingga kemudian disusul oleh Ag/ZnO dengan kandungan sebesar 5%. Terlihat pada grafik diatas hanya ada perbedaan yang tidak terlalu signifikan pada penambahan 5% dan 20% namun pada grafik antara 1% dan 5% terlihat perbedaan yang sangat signifikan sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan 5% merupakan penambahan yang optimum pada eksperimen ini dikarenakan hasil yang jauh lebih cepat serta % degradasi yang lebih besar dibanding 20%. Bila dilihat pada grafik 4.3.2.4 diatas terlihat bahwa hasil yang tidak linear maka dikarenakan konsentrasi dari Ag/ZnO yang tidak berubah maka dapat dianggap sebagai *pseudo-1st kinetic reaction* seperti pada 0.1 M sehingga didapatkan rate dari degradasi *methylene blue* dengan penambahan Ag pada Ag/ZnO sebanyak 5% memiliki k yang paling besar yaitu $k = 0.0039/\text{menit}$ dimana 6x lebih besar dibanding dengan ZnO murni. Hasil ini juga menunjukkan bahwa 0.1 M ZnO memiliki rate yang lebih lambat dibandingkan dengan 0.15 M ZnO dimana terdapat perbedaan

hingga 0.009 pada k yaitu untuk 0.1 M memiliki k sebesar $k = 0.003/\text{menit}$ sedangkan untuk 0.15 M sebesar $k = 0.0039/\text{menit}$

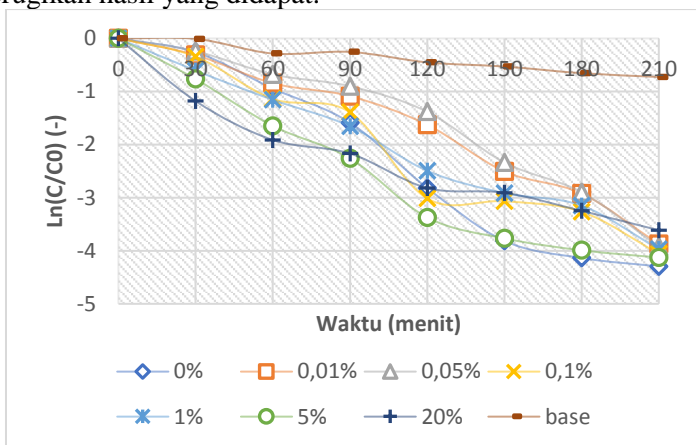
Pada analisa fotokatalis yang kedua digunakan matahari sebagai sumber pencahayaannya, analisa dilakukan antara jam 10.30 hingga jam 14.30 dengan kondisi matahari cerah dan intensitas cahaya yang diukur dengan lux meter antara 74600 lux hingga 125100 lux.



Gambar 4.4.2.5 Efisiensi Degradasi *Methylene blue* pada Sinar Matahari (0.1 M)

Pada grafik 4.3.2.5 untuk persen degradasi *methylene blue* pada 0.1 M Ag/ZnO diatas terlihat bahwa semakin besarnya kandungan Ag pada Ag/ZnO maka semakin cepat pula degradasi yang terjadi namun pada menit ke 90 terlihat adanya degradasi yang stagnan baik pada 1%, 5% ataupun 20%. Hal ini dikarenakan karena *methylene blue* yang terdegradasi hampir menyentuh titik maksimal (warna menjadi bening seperti air) sehingga degradasi yang terjadi konstan. Degradasi yang terjadi mencapai 96.6% pada menit 90 yang kemudian konstan hingga angka 98% baik pada 0% hingga 20% kandungan Ag pada Ag/ZnO. Pada grafik diatas terlihat antara 5% dan 20% hanya terjadi peningkatan yang tidak terlalu signifikan namun antara 1% kebawah dengan 5% terjadi peningkatan yang sangat besar sehingga kembali dapat disimpulkan pada kondisi dibawah sinar matahari terlihat hasil 5%

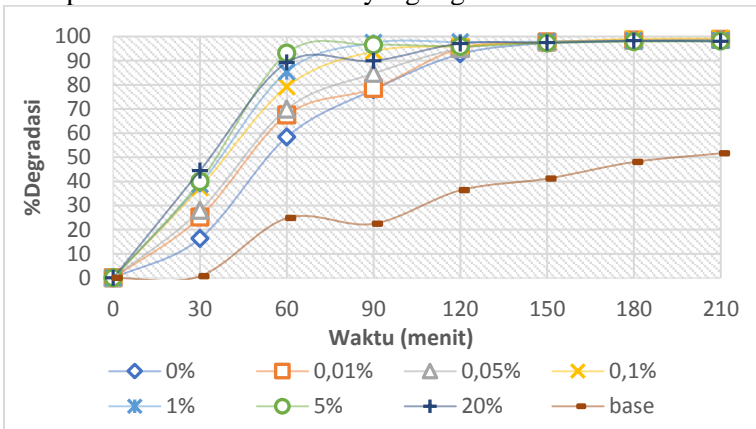
kandungan Ag merupakan titik optimum dalam penambahan Ag pada Ag/ZnO karena penambahan lebih hanya akan menambah kemampuan fotokatalis yang tidak signifikan sehingga dapat merugikan hasil yang didapat.



Gambar 4.4.2.6 Plot $\ln(C/C_0)$ vs Waktu pada sinar Matahari (0.1 M)

Dari hasil grafik diatas antara 4.3.2.6 antara $\ln(C/C_0)$ vs waktu terlihat bahwa penambahan Ag 5% pada Ag/ZnO memiliki degradasi paling cepat hingga menit 120 yang kemudian mengalami penurunan konstan hingga menit 210. Hasil diatas memperlihatkan hasil yang signifikan bila dibanding ZnO murni pada 90 menit. Hasil degradasi pada menit ke 90 dari 5% mencapai 89.6% dimana 1.2x lebih cepat dibandingkan dengan ZnO murni. Alasan cepatnya degradasi dengan penambahan adanya Ag terutama dengan penambahan Ag 5% dikarenakan karena berkurangnya rekombinasi pada lubang elektron yang kemudian memberikan efek pada naiknya kemampuan fotokatalis dari Ag/ZnO selain itu menurut Bouzid et al. juga menyatakan naiknya kemampuan fotokatalis ini dikarenakan kemampuan partikel dalam mengabsorpsi cahaya tampak karena adanya SPR (*Surface Plasmon Resonance*) dari Ag dimana adanya Ag menambah kemampuan untuk mengabsorpsi cahaya tampak. Dengan

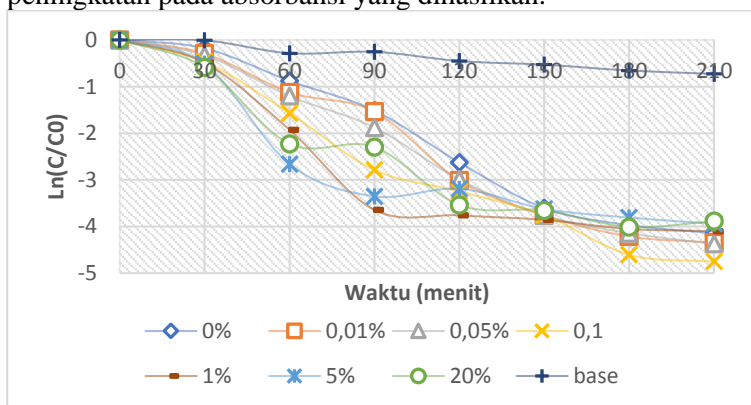
mengasumsi *pseudo-1st kinetic reaction* didapat k untuk 5% adalah 0.0208/menit. Adanya sedikit kenaikan pada 1%, 5% dan 20% pada eksperimen diatas dikarenakan adanya kemungkinan partikel Ag/ZnO yang masih ikut didalamnya meskipun setelah dilakukan sentrifugasi. Pada hasil terakhir degradasi membuat *methylene blue* menjadi berwarna bening seperti air namun adanya partikel Ag/ZnO 1% hingga 20% yang berwarna gelap membuat larutan sedikit berwarna gelap sehingga menyebabkan naiknya absorbansi pada spektrofotometer UV-Vis yang digunakan.



Gambar 4.4.2.7 Efisiensi Degradasi *Methylene blue* pada Sinar Matahari (0.15M)

Pada grafik 4.3.2.7 untuk persen degradasi *methylene blue* pada sinar matahari untuk 0.15 M Ag/ZnO terlihat hasil yang sama dimana kandungan Ag 5% pada Ag/ZnO dapat melakukan degradasi paling cepat dibanding 20% ataupun 0% hingga 1% namun terlihat sedikit perbedaan dimana hasil tertinggi dari degradasi tercapai hanya pada menit ke 60 kemudian terjadi peningkatan yang tidak signifikan atau konstan hingga mencapai persen degradasi 99%. Hal ini dikarenakan adanya sedikit perbedaan intensitas cahaya matahari saat dilakukannya eksperimen. Pada eksperimen di menit ke 60 terlihat hasil degradasi 5% hingga mencapai 93.02% dimana 1.6x lebih cepat dibanding dengan hanya menggunakan ZnO murni, hal ini terjadi

karena hal yang sama seperti pada 0.1 M dimana berkurangnya rekombinasi pada lubang elektron dan adanya Ag meningkatkan kemampuan untuk menyerap sinar pada rentang cahaya tampak dan tidak hanya sinar UV sehingga terjadi peningkatan kemampuan fotokatalis untuk mendegradasi *methylene blue* oleh Ag/ZnO. Terjadinya peningkatan pada 1% hingga 20% penambahan Ag pada Ag/ZnO juga dikarenakan adanya kemungkinan partikel yang ikut pada saat analisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis sehingga terjadi sedikit peningkatan pada absorbansi yang dihasilkan.



Gambar 4.4.2.8 Plot $\ln(C/C_0)$ vs Waktu pada sinar Matahari (0.15 M)

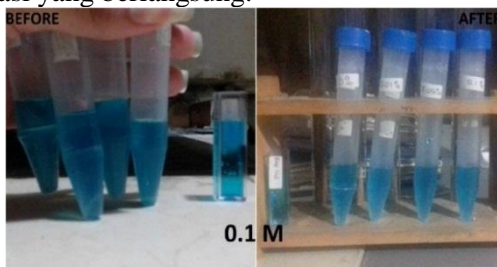
Pada gambar grafik 4.3.2.8 untuk $\ln(C/C_0)$ vs waktu untuk 0.15 M Ag/ZnO terlihat hasil penambahan Ag 5% pada Ag/ZnO memiliki rate degradasi yang paling cepat pada menit ke 60 dibandingkan dengan yang lain kemudian terjadi peningkatan yang konstan hingga mencapai 99% degradasi seperti yang dapat dilihat pada grafik 4.3.2.7. Hasil yang didapatkan kemudian diasumsikan seperti pada variabel sebelumnya dan didapatkan dari grafik untuk 5% Ag ada Ag/ZnO memiliki k dengan nilai sebesar 0.0186/menit.

Dari hasil eksperimen yang dilakukan pada pengadukan selama 30 menit tidak terlihat adanya penurunan absorbansi dari *methylene blue* sehingga adanya kemungkinan belum adanya

adsorpsi selama 30 menit tersebut sehingga pada eksperimen ini adsorpsi dari Ag/ZnO tidak dapat terlihat.

IV.5 Hasil Gambar Analisa Fotokatalis

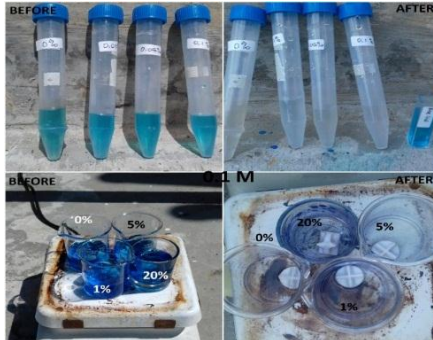
Dari eksperimen yang telah dilakukan didapatkan gambar sebelum dan setelah degradasi pada saat titik 0 menit hingga ke titik 210 menit. Dilihat pada gambar dibawah bahwa hasil degradasi dari *methylene blue* pada kondisi dibawah sinar matahari pada titik hingga 210 menit terlihat memiliki warna yang bening seperti air namun pada kondisi yang diletakan dibawah sinar UV terlihat hingga 210 menit warna *methylene blue* berwarna biru yang lebih muda dibanding pada titik 0 menit sehingga terlihat bahwa semakin tingginya konsentrasi Ag dan ZnO maka semakin cepat rate degradasi dari *methylene blue*. Hal ini dapat dilihat dari tingginya peak dari XRD antara 0.1M dan 0.15M yang memperlihatkan semakin tingginya peak XRD maka semakin cepat rate degradasi yang berlangsung.



Gambar 4.5.1 Gambar Sebelum dan Sesudah Degradasi pada Sinar UV (0.1 M)



Gambar 4.5.2 Gambar Sebelum dan Sesudah Degradasi pada Sinar UV (0.15 M)



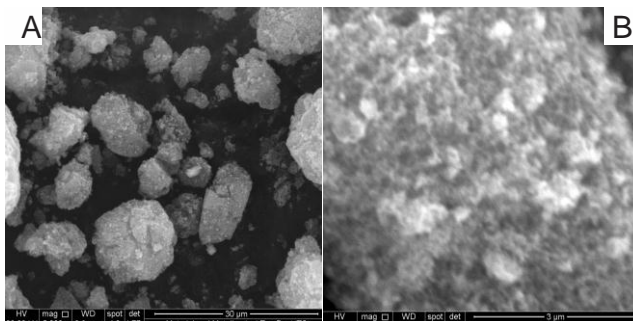
Gambar 4.5.3 Gambar Sebelum dan Sesudah Degradasi pada Sinar Matahari (0.1 M)



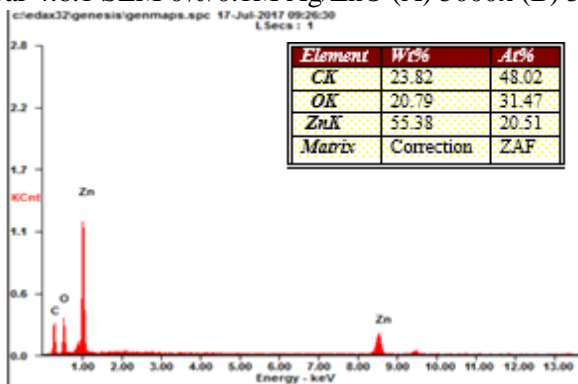
Gambar 4.5.4 Gambar Sebelum dan Sesudah Degradasi pada Sinar Matahari (0.15 M)

IV.6 Hasil Analisa SEM/EDX

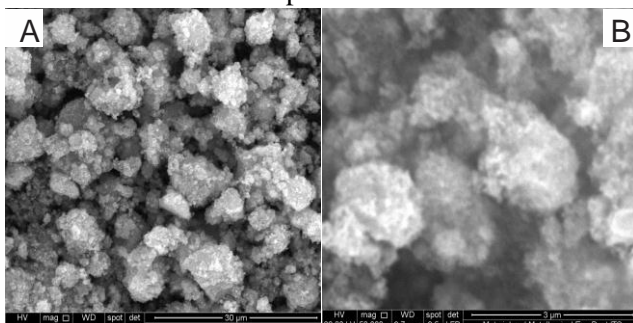
Analisa SEM/EDX dilakukan di Departemen Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan menggunakan perbesaran 5000x, 15000x, 25000x dan 50000x. Hasil yang didapatkan dari hasil uji analisa SEM ini didapatkan partikel seperti bentuk *sphere* tidak beraturan yang memiliki ukuran yang bervariasi, hal ini dikarenakan adanya kemungkinan partikel dari Ag/ZnO yang teraglomerasi sehingga saat dilakukan test terlihat seperti bongkahan berbentuk *sphere* tidak beraturan. Hasil gambar SEM yang ditampilkan dibawah ini diambil dalam perbesaran 5000x dan 50000x.



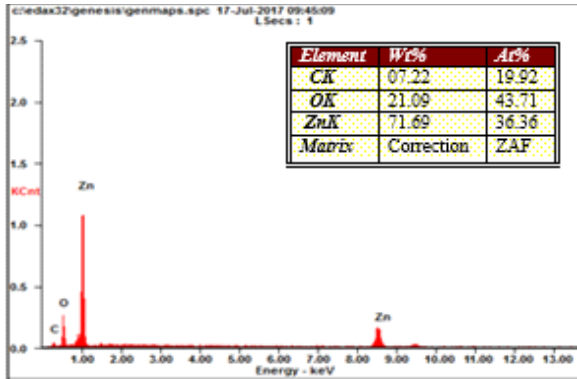
Gambar 4.6.1 SEM 0%/0.1M Ag/ZnO (A) 5000x (B) 50000x



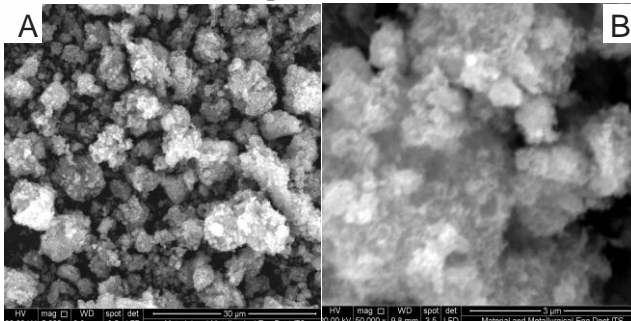
Gambar 4.6.2 Spektre EDX 0%/0.1M



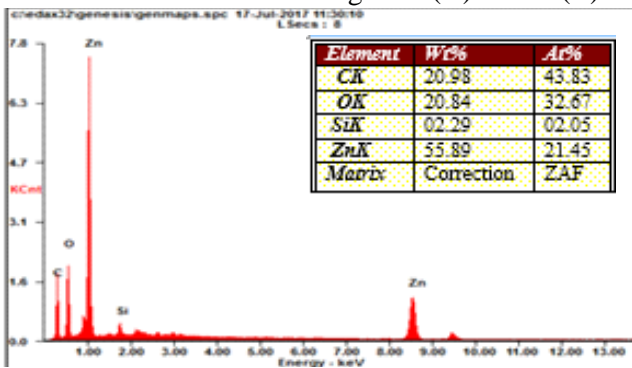
Gambar 4.6.3 SEM 0.01%/0.1M Ag/ZnO (A) 5000x (B) 50000x



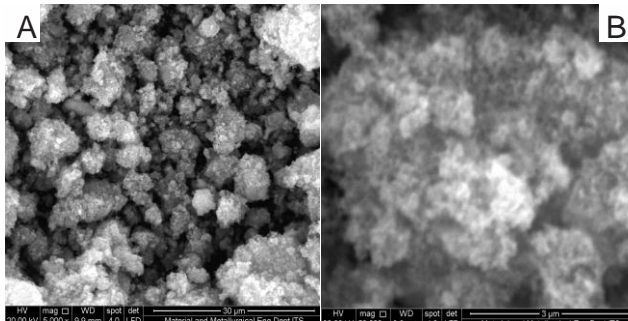
Gambar 4.6.4 Spektra EDX 0.01%/0.1M



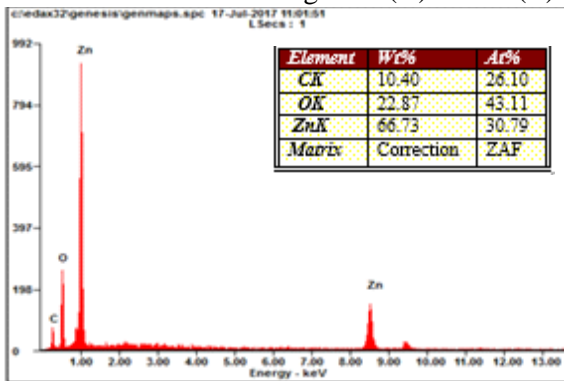
Gambar 4.6.5 SEM 0.1%/0.1M Ag/ZnO (A) 5000x (B) 50000x



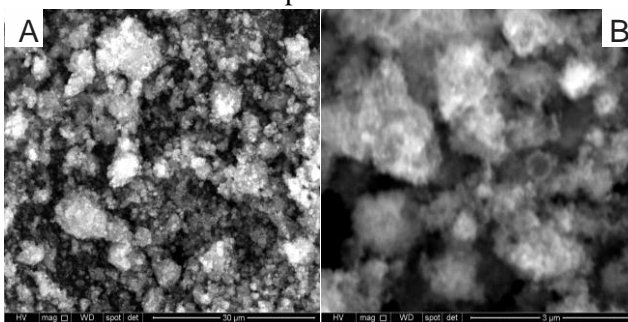
Gambar 4.6.6 Spektra EDX 0.1%/0.1M



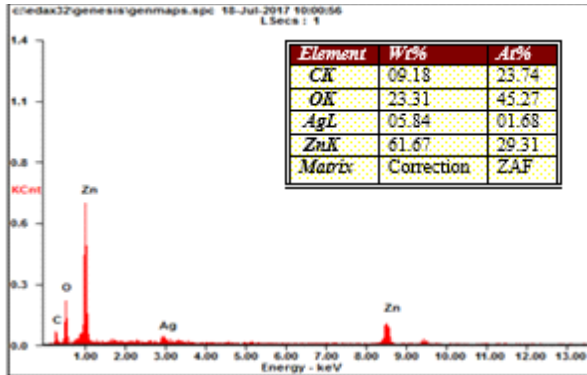
Gambar 4.6.7 SEM 1%/0.1M Ag/ZnO (A) 5000x (B) 50000x



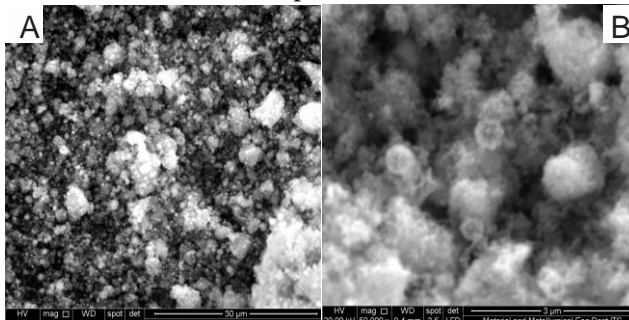
Gambar 4.6.8 Spektra EDX 1%/0.1M



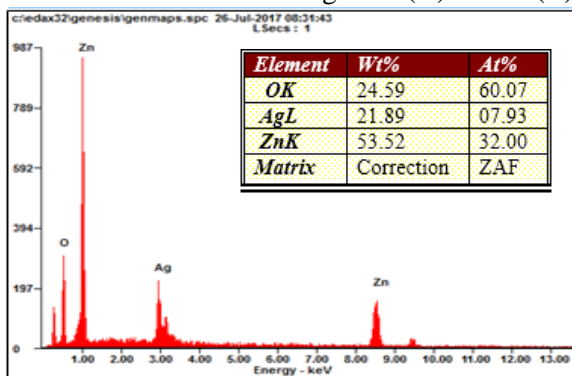
Gambar 4.6.9 SEM 5%/0.1M Ag/ZnO (A) 5000x (B) 50000x



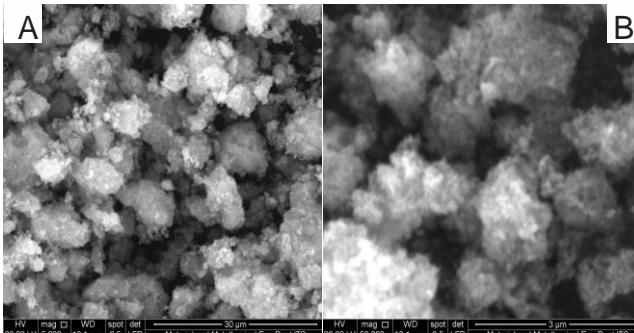
Gambar 4.6.10 Spektra EDX 5%/0.1M



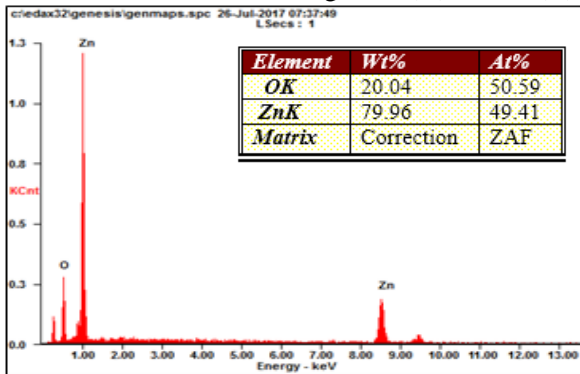
Gambar 4.6.11 SEM 20%/0.1M Ag/ZnO (A) 5000x (B) 50000x



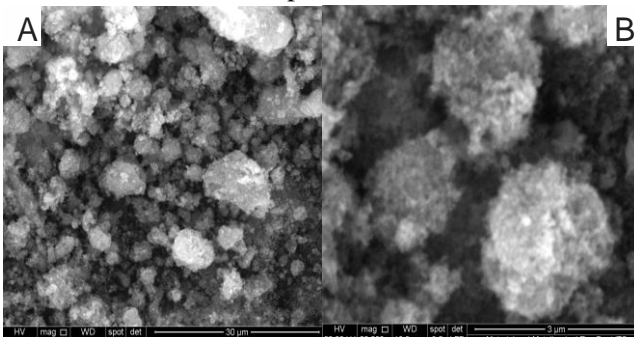
Gambar 4.6.12 Spektra EDX 20%/0.1M



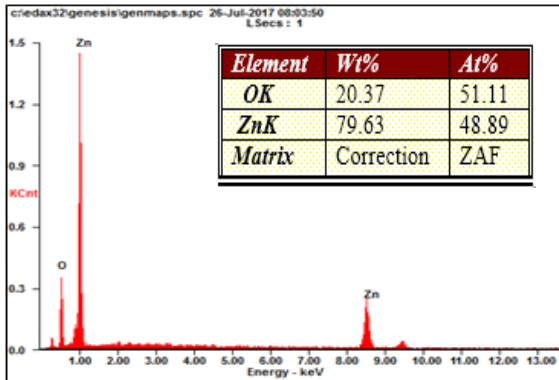
Gambar 4.6.13 SEM 0%/0.15M Ag/ZnO (A) 5000x (B) 50000x



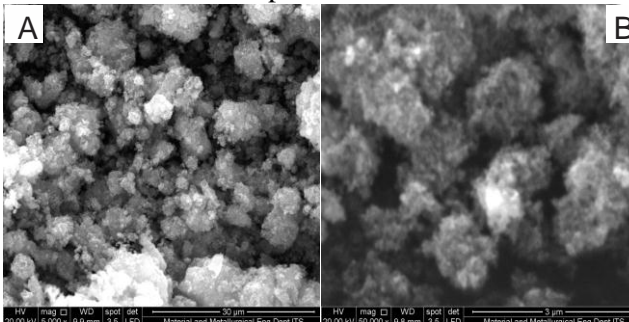
Gambar 4.6.14 Spektra EDX 0%/0.15M



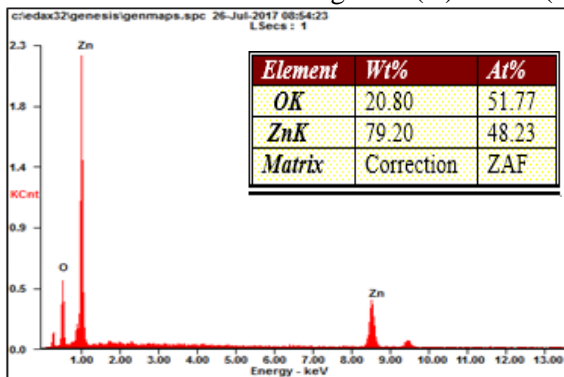
Gambar 4.6.15 SEM 0.01%/0.15M Ag/ZnO (A) 5000x (B) 50000x



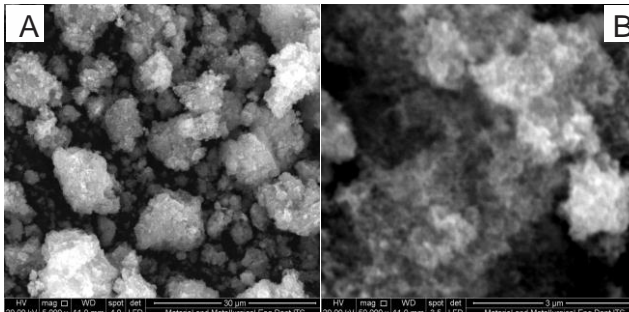
Gambar 4.6.16 Spektra EDX 0.01%/0.15M



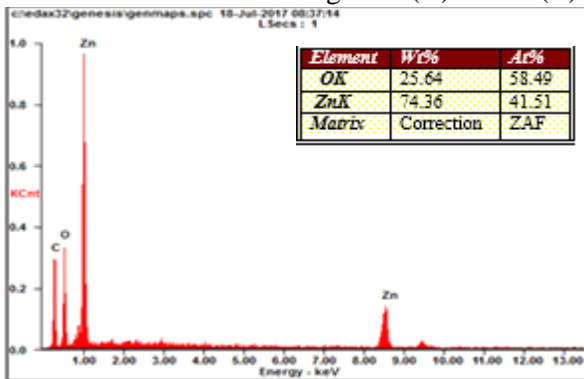
Gambar 4.6.17 SEM 0.1%/0.15M Ag/ZnO (A) 5000x (B) 50000x



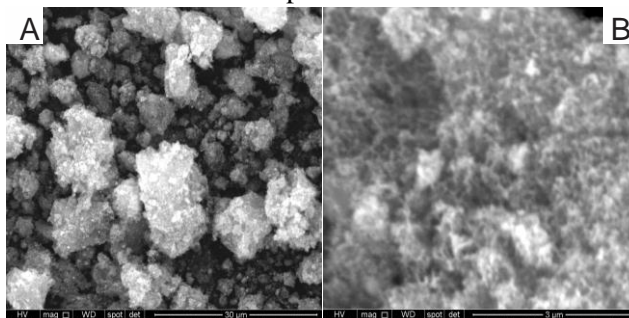
Gambar 4.6.18 Spektra EDX 0.1%/0.15M



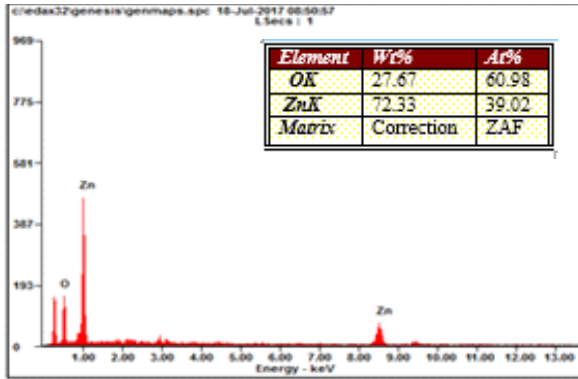
Gambar 4.6.19 SEM 1%/0.15M Ag/ZnO (A) 5000x (B) 50000x



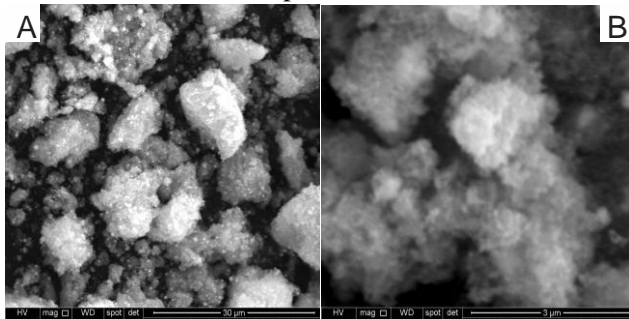
Gambar 4.6.20 Spektra EDX 1%/0.15M



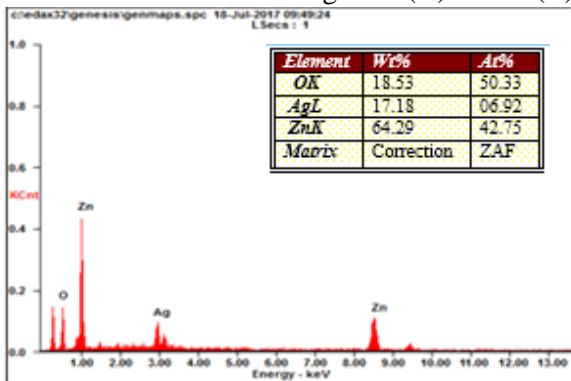
Gambar 4.6.21 SEM 5%/0.15M Ag/ZnO (A) 5000x (B) 50000x



Gambar 4.6.22 Spektra EDX 5%/0.15M



Gambar 4.6.23 SEM 20%/0.15M Ag/ZnO (A) 5000x (B) 50000x



Gambar 4.6.24 Spektra EDX 20%/0.15M

Dari hasil grafik diatas dapat dilihat adanya peak Ag yang terdeteksi pada 0.01% hingga 20% yang dapat ditunjukkan dengan adanya peak pada energi 3.00 keV sehingga dapat disimpulkan bahwa pembentukan nanokomposit Ag/ZnO berhasil dengan adanya peak yang menunjukan adanya Zn, O dan Ag. Dengan menggunakan aplikasi ImageJ maka didapatkan ukuran rata-rata partikel memiliki diameter antara 155nm hingga 240nm.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Partikel nanokomposit Ag/ZnO berhasil dibuat dengan flame pyrolysis yang dilakukan secara kontinyu
2. Pengaruh rasio konsentrasi Ag/ZnO yang optimum didapatkan pada 5% berat Ag yang ditambahkan
3. Daya fotokatalitik yang paling baik pada kedua konsentrasi prekursor yaitu pada rasio konsentrasi doping Ag sebesar 5% dengan nilai k sebesar 0,0208/menit pada 0,1M dan 0,0186/menit pada 0,15M.

V.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, hasil yang didapatkan kurang optimal, terutama pada proses flame pyrolysis dimana hasil partikel yang didapat kurang optimal secara kuantitas. Maka kami menyarankan untuk penelitian selanjutnya dalam fabrikasi Ag/ZnO nanocomposite dengan menggunakan flame pyrolysis untuk aplikasi material fotokatalitik antara lain sebagai berikut:

1. Memperbaiki kinerja rangkaian alat flame pyrolysis seperti penggantian flowmeter yang lebih akurat, rangkaian alat dibuat lebih tertutup, kondisi operasi dilakukan dalam keadaan vakum, serta memperbaiki powder collector agar dapat menangkap partikel dengan lebih optimal.
2. Memperbaiki baik peralatan maupun pengerjaan uji fotokatalitik seperti persiapan larutan dilakukan di ruang gelap, pengambilan sampel pada periode waktu yang lebih singkat dan akurat, menggunakan kertas saring pada pengambilan sampel serta memastikan penyinaran matahari secara merata dan stabil.
3. Melakukan Analisa BET untuk mengetahui luas permukaan partikel secara lebih spesifik agar dapat

diketahui pengaruh variasi luas permukaan terhadap daya fotokatalitik dalam degradasi Methylene Blue.

4. Menggunakan TEM untuk mengetahui morfologi dari partikel secara lebih jelas dan lebih tepat

DAFTAR PUSTAKA

- Bechambi, O., Chalbi, M., Najjar, W., dan Sayadi, S.,” Photocatalytic Activity of ZnO Doped with Ag On the Degradation of Endocrine Disrupting Under UV Irradiation and The Investigation of Its Antibacterial Activity”, *Applied Surface Science*, 347 (2015), 414-420
- Biskos, G., Vons, V., Yurteri, C. U., dan Schmidt-Ott, A., “Generation and Sizing Particles for Aerosol-Based Nanotechnology”, *KONA Powder and Particle Journal*, 26 (2008), 13-35
- Bouزيد, H., Faisal, M., Harraz, F. A., Al-Sayari, S. A., dan Ismail, A. A.,” Synthesis of Mesoporous Ag/ZnO Nanocrystals with Enhanced Photocatalytic Activity”, *Catalyst Today*, 252 (2015), 20-26.
- Chipera, S. J. dan David, L. B. 2013. *Fitting Full X-Ray Diffraction Patterns for Quantitative Analysis: A Method for Readily Quantifying Crystalline and Disordered Phase*. Indiana. Indiana University
- Demir, M. M., Espi, R. M., Lieberwirth, I., dan Wegner, G.,”Precipitation Of Monodisperse ZnO Nanocrystals Via Acid-Catalyzed Esterification Of Zinc Acetate”, *Journal Of Materials Chemistry*, 16 (2006), 2940-2947.
- Dimitriev, Y., Ivanova, Y., dan Iordanova, R.,” History of Sol-Gel Science and Technology”, *Journal of The University of Chemical Technology and Metallurgy Vol. 43, 2* (2008), 181-192
- Fageria, P., Gangopadhyay, S., dan Pande, S.,” Synthesis of ZnO/Au and ZnO/Ag Nanoparticles and Their Photocatalytic Application Using UV And Visible Light”, *Royal Society of Chemistry Advances*, 4 (2014), 24962-24972.
- Guritno, Ario. 2012. *Sintesis dan Uji Kinerja Katalis Komposit Ag/TiO₂-Zeolit Alam Lampung-Karbon Aktif serta Rekayasa Alat untuk Purifikasi Udara Ruang*. Depok. Universitas Indonesia

- Han, Z., Ren, L., Cui, Z., Chen, C., Pan, H., dan Chen, J.,” Ag-ZnO Flower Heterostructures As A Visible-Light Driven Photocatalyst Via Plasmon Resonance”, *Applied Catalysis B: Environmental*, 126 (2012), 298-305.
- Haque, E., Lo, V., Minett, A. I., Harris, A. T., dan Church, T. L.,” Supplementary Information For: Dichotomous Adsorption Behaviour Of Dyes on An Amino – Functionalized Metal- Organic Framework, Amino - MIL-101(Al)”, *Royal Society of Chemistry, A* (2014), S1-S18
- Hwang, N. dan Barron, A. R., “BET Surface Area Analysis of Nanoparticles”, *OpenStax-CNIX module: m38278* (2011), 3-11.
- Hashimoto, K., Irie, H., dan Fujishima, A.,” TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects”, *Japanese Journal of Applied Physics Vol. 44, No. 12* (2005), pp. 8269-8285.
- Hashimoto, N., Hashimoto, T., Nasu, H., Yamamoto, Y., dan Nijima, S.,” Tunable Localized-Surface-Plasmon-Resonance Characteristics of Independently Prepared Ag-TiO₂ Particles”, *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, 4 (2006), 566-569.
- Kammler, H. K., Madler, L., dan Pratsinis, S. E., “Flame Synthesis of Nanoparticles”, *Chemical Engineering Technologies Vol. 24, 6* (2001), 583-596
- Kusdianto, K. Jiang, D., Kubo, M., dan Shimada, M.,” Fabrication of TiO₂-Ag Nanocomposite Thin Films Via One-Step Gas-Phase Deposition”, *Ceramics International*, (2017), 1-5.
- Licciulli, Antonio. 2002. *Self-Cleaning Glass*. Italia. *Universita Degli Studi Di Lecce*
- Liu, H., Hu, Y., Zhang, Z., Liu, X., Jia, H., dan Xu, B.,” Synthesis of Spherical Ag/Zno Heterostructural Composites with Excellent Photocatalytic Activity Under Visible Light and UV Irradiation”, *Applied Surface Science*, 355 (2015), 644-652.

- Nugroho, Agung et al. 2011. Analisis Pembentukan Partikel Hydroxyapite pada Reaktor Flame Difusi. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Osman, D. A. M., dan Mustafa, M. A., "Synthesis And Characterization Of Zinc Oxide Nanoparticles Using Zinc Acetate Dihydrate And Sodium Hydroxide", Journal Of Nanoscience And Nanoengineering Vol. 1, No. 4 (2015), Pp. 248-251.
- Pant, B., Park, M., Kim, H. Y., dan Park, S. J., "Ag-Zno Photocatalyst Anchored on Carbon Nanofibers: Synthesis, Characterization, And Photocatalytic Activities", Synthetic Metals, 220 (2016), 533-537.
- Sanda, F. M., Victor, M. E., Monica, T. A., dan Alina, C., "Spectrophotometric Measurements Techniques for Fermentation Process", Hungary-Romania Cross-Border Co-operation Programme 2007-2013, 10001/121/2.2.2, (2012).
- Shieh, Y. N., Huang, J. J., dan Chen, J. H., "Antibacterial Activity of Ag/TiO₂ Nanocomposite Films on Ceramic Plate", World Congress on New Technologies Paper, no. 414 (2015), 414-1 – 414-8
- Sohrabnezhad, Sh., dan Seifi, A., "The Green Synthesis Of Ag/ZnO In Montmorillonite With Enhanced Photocatalytic Activity", Applied Surface Science, 386 (2016), 33-40.
- Strobel, R., "Aerosol Flame Synthesis of Supported Metal Particles and Their Catalytic Applications", Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Diss. ETH No. 16592 (2006).
- Strobel, R. dan Pratsinis, S. E., "Flame Synthesis of Supported Platinum Group Metals for Catalysis and Sensors", Platinum Metal Review, 53 (2009), 11-20.
- Sun, F., Tan, F., Wang, W., Qiao, X., dan Qiu, X., "Facile Synthesis Of Ag/Zno Heterostructure Nanocrystals With Enhanced Photocatalytic Performance", Materials Research Bulletin, 47 (2012), 3357-3361.

- Tadano, Shigeru dan Bijay Giri. 2011. X-ray Diffraction as A Promising Tool to Characterize Bone Nanocomposites. Hokkaido. IOP Publishing
- Tani, T., Madler, L., dan Pratsinis, S. E., "Homogenous ZnO Nanoparticles By Flame Spray Pyrolysis", Journal of Nanoparticle Research, 4 (2002), 337-343
- Wang, L., Hu, Q., Li, Z., Guo, J., dan Li, Y., "Microwave-Assisted Synthesis And Photocatalytic Performance Of Ag-Doped Hierarchical ZnO Architectures", Materials Letter, 79 (2012), 277-280.
- Willems, K. A., dan Van Duyn, R. P., "Localized Surface Plasmon Resonance Spectroscopy and Sensing", The Annual Review of Physical Chemistry, 58 (2007), 267-97
- Yang, Z., Zhang, P., Ding, Y., Jiang, Y., Long, Z., dan Dai, W., "Facile Synthesis Of Ag/ZnO Heterostructures Assisted By UV Irradiation : Highly Photocatalytic Property And Enhanced Photostability", Material Research Bulletin, 46 (2011), 1625-1631.
- Yu, J., Xiong, J., Cheng, B., dan Liu, S., "Fabrication and Characterization of Ag-TiO₂ Multiphase Nanocomposite Thin Films with Enhanced Photocatalytic Activity", Journal of Applied Catalysis B: Environmental, 60 (2005), 211-221.
- Zhai, H., Wang, L., Sun, D., Han, D., Qi, B., Li, X., Chang, L., dan Yang, J., "Direct Sunlight Responsive Ag-ZnO Heterostructure Photocatalyst: Enhanced Degradation of Rhodamine B", Journal of Physics and Chemistry of Solids, 78 (2015), 35-40.
- Zhao, Cunyu, Andy Krall, Huilei Zao, Qianyi Zhang, dan Ying Li. 2012. Ultrasonic Spray Pyrolysis Synthesis of Ag/TiO₂ Nanocomposite Photocatalyst for Simultaneous H₂ Production and CO₂ Reduction". Milwaukee. Elsevier

DAFTAR NOTASI

NOTASI	KETERANGAN	SATUAN
m	Massa Zat	[kg]
V	Volume larutan	[liter]
BM	Berat molekul zat	[gr/mol]
M	Molaritas larutan	[mol/liter]
D _p	Diameter partikel	[nm]
λ	Panjang gelombang	[nm]
C	Konsentrasi zat	[ppm]

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

APPENDIKS

I. Perhitungan Kebutuhan Oksigen (O₂)

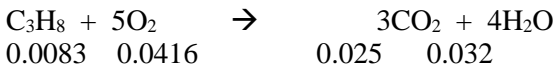
Digunakan LPG 0.4 L/menit maka konversi ke mol :

$$n = \frac{V}{24 \text{ L/mol}}$$
$$n = \frac{0.4 \text{ L/min}}{24 \text{ L/mol}}$$

Maka mol yang dihasilkan adalah 0.00416 mol/menit

Maka bila diasumsikan propane dan butana memiliki komposisi yang ekuivalen

• Reaksi 1



• Reaksi 2



Sehingga kebutuhan O₂ per menit adalah 0.1 mol/menit

Sehingga kebutuhan udara minimal adalah

$$\text{Mol udara} = \frac{\text{mol oksigen}}{0.21}$$

Sehingga didapat kebutuhan minimal udara adalah 11.43 L/min

Bila diinginkan excess O₂ adalah sebesar 90% maka didapatkan :

$$\% \text{ mol excess} = \frac{\text{mol excess} - \text{mol teoritis}}{\text{mol teoritis}} \times 100\%$$
$$200\% = \frac{\text{mol excess} - 0.1}{0.1} \times 100\%$$

Maka mol O₂ yang dibutuhkan dengan excess 100% sebesar 0.3 mol/menit

Bila diasumsikan kandungan udara 21% O₂ dan 79% N₂ maka didapatkan hasil udara minimal yang dibutuhkan adalah sebesar :

$$\text{Mol udara} = \frac{\text{mol oksigen}}{0.21}$$

Sehingga didapatkan hasil 34.3 L/menit udara yang dibutuhkan

Mol dari carrier gas bila 3L/menit adalah 0.125 mol udara/menit sehingga bila diasumsikan 21% O₂ dan 79% N₂ maka didapatkan

hasil 0.027 mol/menit sehingga O₂ yang ikut terbakar adalah 0.63 L/menit maka keseluruhan O₂ yang ikut terbakar adalah sebesar 0.327 mol/menit atau setara 7.85 L/menit

II. Perhitungan Scherrer Equation

$$Dp = \frac{k \times \tau}{\beta \times \cos \theta}$$

Bila diasumsikan k merupakan 0.94 untuk kristal *spherical* dengan simetris kubik dan τ merupakan panjang gelombang XRD Cu yaitu 1.54178 maka :

$$Dp = \frac{0.94 \times 1.54178}{0.368 \times \cos (18.19)}$$

Sehingga diameter kristal sebesar 4.144 nm

Sampel		Diameter Ukuran Kristal (nm)
Kandungan ZnO	Kandungan Ag	
0.1 M	0%	4.144
	0.01%	2.84
	0.05%	5.67
	0.10%	7.56
	1%	2.85
	5%	5.7
	20%	3.26
0.15 M	0%	6.512
	0.01%	4.56
	0.05%	2.28
	0.10%	2.53
	1%	3.79
	5%	5.7
	20%	2.73

III. Perhitungan Konsentrasi Metil Blue dan Koefisien Reaksi (k)

Dari data didapatkan kurva kalibrasi dengan persamaan

$$Y = 0.2024X$$

Sehingga bila data menunjukkan absoransi 2.003 maka hasil konsentrasi didapat :

$$2.003 = 0.2024 X$$

Maka konsentrasi yang didapatkan sebesar 9.896 ppm

1. UV

PPm awal : 9.896245									
Konsentrasi	Konsentrasi	Waktu (menit)							
	Ag (%)	0	30	60	90	120	150	180	210
0,1 M	0	9.896245	9.313241	9.150198	9.100791	8.952569	8.913043	8.863636	8.779644
	0.01	9.896245	8.81917	8.666008	8.567194	8.418972	8.40415	8.280632	8.241107
	0.05	9.896245	8.547431	8.389328	8.211462	8.013834	8.013834	7.964427	7.91996
	0.1	9.896245	7.954545	7.885375	7.742095	7.722332	7.712451	7.633399	7.411067
	base	9.896245	9.86166	9.807312	9.762846	9.752964	9.659091	9.634387	9.634387
0,1 M	0	9.896245	9.313241	9.150198	9.100791	8.952569	8.913043	8.863636	8.779644
	1	9.896245	8.675889	8.567194	8.038538	7.425889	7.15415	6.80336	5.953557
	5	9.896245	5.874506	5.953557	5.424901	4.886364	5.024704	4.673913	4.293478
	20	9.896245	9.293478	8.567194	7.727273	6.94664	6.329051	5.805336	5.153162
PPm awal : 9.896245									
Konsentrasi	Konsentrasi	Waktu (menit)							
	Ag (%)	0	30	60	90	120	150	180	210
0.15 M	0	9.896245	9.328063	9.194664	9.219368	9.100791	8.947628	8.883399	8.418972
	0.01	9.896245	9.209486	9.061265	8.903162	8.833992	8.557312	8.379447	8.12747
	0.05	9.896245	9.120553	8.848814	8.142292	7.831028	7.737154	7.509881	7.386364
	0.1	9.896245	8.903162	8.784585	8.40415	8.157115	7.895257	7.549407	7.159091
	base	9.896245	9.86166	9.807312	9.762846	9.752964	9.659091	9.634387	9.634387
0.15 M	0	9.896245	9.328063	9.194664	9.219368	9.100791	8.947628	8.883399	8.418972
	1	9.896245	8.893281	8.502964	8.40415	8.073123	7.559289	6.833004	6.610672
	5	9.896245	8.596838	8.05336	7.559289	6.126482	5.088933	4.841897	4.51581
	20	9.896245	8.018775	6.086957	5.894269	5.271739	5.108696	5	4.797431

Sehingga didapat grafik $\ln(C/C_0)$ vs waktu

$$\ln \frac{C}{C_0} = \ln \frac{9.328}{9.896} = -0.06072$$

PPm awal : 9.896245									
Konsentra	Konsentra	Waktu (menit)							
	Ag (%)	0	30	60	90	120	150	180	210
0.1 M	0	0	-0.06072	-0.07838	-0.08379	-0.10021	-0.10464	-0.11102	-0.11972
	0.01	0	-0.11523	-0.13275	-0.14422	-0.16167	-0.16343	-0.17824	-0.18302
	0.05	0	-0.14652	-0.16519	-0.18662	-0.21099	-0.21099	-0.21717	-0.22277
	0.1	0	-0.21841	-0.22715	-0.24548	-0.24804	-0.24932	-0.25962	-0.28918
	base		-0.0035	-0.00903	-0.01357	-0.01458	-0.02426	-0.02682	-0.02682
0.1 M	0	0	-0.06072	-0.07838	-0.08379	-0.10021	-0.10464	-0.11102	-0.11972
	1	0	-0.13161	-0.14422	-0.20791	-0.28718	-0.32446	-0.37474	-0.50817
	5	0	-0.52153	-0.50817	-0.60116	-0.70571	-0.67779	-0.75016	-0.83506
	20	0	-0.06284	-0.14422	-0.2474	-0.3539	-0.44701	-0.53338	-0.65254
PPm awal : 9.896245									
Konsentra	Konsentra	Waktu (menit)							
	Ag (%)	0	30	60	90	120	150	180	210
0.15 M	0	0	-0.05913	-0.07353	-0.07085	-0.08379	-0.10077	-0.10797	-0.16167
	0.01	0	-0.07192	-0.08815	-0.10575	-0.11355	-0.14537	-0.16637	-0.19691
	0.05	0	-0.08162	-0.11187	-0.19508	-0.23406	-0.24612	-0.27594	-0.29252
	0.1	0	-0.10575	-0.11916	-0.16343	-0.19326	-0.22589	-0.27069	-0.32377
	base	0	-0.0035	-0.00903	-0.01357	-0.01458	-0.02426	-0.02682	-0.02682
0.15 M	0	0	-0.05913	-0.07353	-0.07085	-0.08379	-0.10077	-0.10797	-0.16167
	1	0	-0.10686	-0.15174	-0.16343	-0.20362	-0.26938	-0.37039	-0.40347
	5	0	-0.14076	-0.20607	-0.26938	-0.47953	-0.66509	-0.71485	-0.78457
	20	0	-0.21037	-0.48601	-0.51817	-0.6298	-0.66121	-0.68272	-0.72407

Sehingga didapat k melalui grafik $y = ax + b$ dimana konstanta k adalah a

Untuk perhitungan % degradasi digunakan rumus :

$$\% \text{ degradasi} = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100\%$$

$$\% \text{ degradasi} = \frac{(9.89 - 9.32)}{9.89} \times 100\% = 5.89\%$$

PPm awal : 9.896245									
Konsentra	Konsentra	% Degradasi							
	Ag (%)	0	30	60	90	120	150	180	210
0.1 M	0	0	5.891163	7.538692	8.037943	9.535696	9.935097	10.43435	11.28308
	0.01	0	10.88367	12.43135	13.42986	14.92761	15.07738	16.32551	16.72491
	0.05	0	13.62956	15.22716	17.02446	19.02147	19.02147	19.52072	19.97004
	0.1	0	19.62057	20.31952	21.76735	21.96705	22.06669	22.8657	25.11233
	base	0	0.349476	0.898652	1.347978	1.447828	2.396405	2.646031	2.646031
0.1 M	0	0	5.891163	7.538692	8.037943	9.535696	9.935097	10.43435	11.28308
	1	0	12.3315	13.42986	18.77184	24.96256	27.70844	31.25312	39.84024
	5	0	40.63904	39.84024	45.18223	50.62406	49.22616	52.77084	56.61508
	20	0	6.090864	13.42986	21.91712	29.80529	36.04593	41.33799	47.92811
PPm awal : 9.896245									
Konsentra	Konsentra	% Degradasi							
	Ag (%)	0	30	60	90	120	150	180	210
0.15 M	0	0	5.741388	7.089366	6.83974	8.037943	9.585622	10.23465	14.92761
	0.01	0	6.939591	8.437344	10.03495	10.7339	13.52971	15.32701	17.87319
	0.05	0	7.838243	10.58412	17.72341	20.8687	21.81727	24.11383	25.36196
	0.1	0	10.03495	11.23315	15.07738	17.57364	20.21967	23.71443	27.65851
	base	0	0.349476	0.898652	1.347978	1.447828	2.396405	2.646031	2.646031
0.15 M	0	0	5.741388	7.089366	6.83974	8.037943	9.585622	10.23465	14.92761
	1	0	10.1348	14.07888	15.07738	18.42237	23.61458	30.95357	33.2002
	5	0	13.1303	18.62207	23.61458	38.09286	48.57713	51.07339	54.36845
	20	0	18.97154	38.49226	40.43934	46.72991	48.37743	49.47579	51.52272

2. Sinar Matahari

Konsen awal : 12.411									
ppm	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	
Ag (%)	0	30	60	90	120	150	180	210	
0	12.41107	8.364625	5.034585	2.332016	0.800395	0.311265	0.251976	0.217391	
0.01	12.41107	7.91502	5.563241	3.843874	2.633399	1.151186	0.849802	0.331028	
0.05	12.41107	8.502964	6.571146	4.634387	3.364625	1.363636	0.869565	0.316206	
0.1	12.41107	7.677866	4.140316	2.835968	0.657115	0.657115	0.602767	0.27668	
0	12.41107	5.943676	4.110672	2.060277	1.04249	0.657115	0.62747	0.251976	
1	12.41107	5.909091	4.071146	2.178854	1.106719	0.76581	0.676877	0.301383	
5	12.41107	5.034585	2.490119	1.190711	0.459486	0.326087	0.291502	0.256917	
20	12.41107	3.325099	1.912055	1.304348	0.800395	0.770751	0.612648	0.429842	
Lux	95900	109900	91900	104300	88800	84300	13810	13560	
base line	12.41107	10.74605	9.743083	8.848814	8.532609	8.310277	8.201581	7.717391	
0	12.41107	8.364625	5.034585	2.332016	0.800395	0.311265	0.251976	0.217391	
0.01	12.41107	7.480237	3.932806	2.277668	0.543478	0.266798	0.197628	0.177866	
0.05	12.41107	7.203557	3.636364	1.620553	0.55336	0.266798	0.212451	0.172925	
0.1	12.41107	6.259881	2.519763	0.652174	0.429842	0.266798	0.133399	0.118577	
1	12.41107	6.131423	1.763834	0.27668	0.256917	0.242095	0.232213	0.227273	
5	12.41107	6.007905	0.844862	0.370553	0.454545	0.306324	0.296443	0.266798	
20	12.41107	5.5583	1.304348	1.067194	0.321146	0.296443	0.242095	0.281621	
Lux	100800	125100	103400	118200	113300	109200	93700	91300	

Konsen awal : 12.411									
ZnO	ppm	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30
Ag (%)	0	30	60	90	120	150	180	210	
0.1 M	0	0	-0.39458	-0.90226	-1.67186	-2.74124	-3.6857	-3.89701	-4.04464
	0.01	0	-0.44983	-0.80241	-1.17211	-1.55031	-2.3778	-2.68134	-3.62414
	0.05	0	-0.37817	-0.6359	-0.98508	-1.30527	-2.20843	-2.65835	-3.66995
	0.1	0	-0.48025	-1.09782	-1.47621	-2.93849	-2.93849	-3.02481	-3.80348
	0	0	-0.73626	-1.105	-1.79575	-2.47698	-2.93849	-2.98465	-3.89701
	1	0	-0.74209	-1.11466	-1.73978	-2.41718	-2.7854	-2.90885	-3.71796
	5	0	-0.90225	-1.60625	-2.34403	-3.29623	-3.63917	-3.75129	-3.87759
	20	0	-1.31708	-1.8704	-2.25288	-2.74123	-2.77897	-3.00855	-3.36292
Lux	95900	109900	91900	104300	88800	84300	13810	13560	
base line	0	-0.14405	-0.24203	-0.33831	-0.37469	-0.4011	-0.41426	-0.47511	
0.15 M	0	0	-0.39457	-0.90225	-1.67185	-2.74123	-3.68569	-3.897	-4.04464
	0.01	0	-0.50632	-1.14923	-1.69543	-3.12835	-3.83985	-4.13995	-4.24531
	0.05	0	-0.54401	-1.2276	-2.03582	-3.11033	-3.83985	-4.06763	-4.27348
	0.1	0	-0.68443	-1.59442	-2.94603	-3.36293	-3.83985	-4.533	-4.65078
	1	0	-0.70516	-1.9511	-3.80348	-3.87759	-3.93701	-3.97869	-4.00019
	5	0	-0.72551	-2.68717	-3.51135	-3.30705	-3.7017	-3.73449	-3.83985
	20	0	-0.8033	-2.25289	-2.45356	-3.65445	-3.73449	-3.93701	-3.78578
Lux	100800	125100	103400	118200	113300	109200	93700	91300	

Konsen awal : 12.411									
ZnO	ppm	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30
	Ag (%)	0	30	60	90	120	150	180	210
0.1 M	0	0	32.60314	59.43449	81.21009	93.55092	97.49202	97.96973	98.2484
	0.01	0	36.22577	55.17492	69.02849	78.78173	90.72447	93.15283	97.33279
	0.05	0	31.48848	47.05385	62.65903	72.88998	89.01268	92.99359	97.45222
	0.1	0	38.13661	66.63995	77.14956	94.70539	94.70539	95.14329	97.77069
	0	0	52.10961	66.8788	83.39959	91.60027	94.70539	94.94424	97.96973
	1	0	52.38828	67.19727	82.44417	91.08275	93.82958	94.54615	97.57164
	5	0	59.43449	79.9362	90.406	96.29775	97.3726	97.65126	97.92993
	20	0	73.20845	84.59387	89.49039	93.55092	93.78978	95.06367	96.53661
	Lux	95900	109900	91900	104300	88800	84300	13810	13560
	base line	0	13.41561	21.49682	28.70223	31.25	33.0414	33.9172	37.81847
0.15 M	0	0	32.60314	59.43449	81.21009	93.55092	97.49202	97.96973	98.2484
	0.01	0	39.72897	68.31193	81.64799	95.621	97.85031	98.40763	98.56687
	0.05	0	41.95828	70.70048	86.9426	95.54138	97.85031	98.28821	98.60668
	0.1	0	49.5621	79.69745	94.74522	96.53662	97.85032	98.92516	99.04459
	1	0	50.59713	85.78822	97.7707	97.92994	98.04936	98.12898	98.16879
	5	0	51.59236	93.19268	97.01433	96.33758	97.53185	97.61146	97.85032
	20	0	55.21497	89.49045	91.40127	97.41242	97.61146	98.04936	97.73089
		Lux	100800	125100	103400	118200	113300	109200	93700

Untuk melakukan validasi maka semua harus dijadikan ke intensitas matahari awal dengan rumus :

$$C_{validasi} = C x \frac{Lux\ akhir}{Lux\ awal}$$

$$C_{validasi} = 8.346 x \frac{109000}{95900} = 9.487$$

Sehingga didapat ln (C/Co) koreksi adalah :

Konsen awal : 12.411									
ZnO	ppm	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30
	Ag (%)	0	30	60	90	120	150	180	210
0.1 M	0	2.22E-16	-0.25831	-0.94486	-1.58789	-2.81816	-3.81462	-4.13751	-4.29581
	0.01	2.22E-16	-0.31356	-0.84501	-1.08814	-1.62723	-2.50672	-2.92184	-3.87531
	0.05	2.22E-16	-0.24191	-0.67851	-0.90112	-1.38219	-2.33736	-2.89885	-3.92112
	0.1	2.22E-16	-0.34398	-1.14042	-1.39224	-3.0154	-3.06741	-3.26531	-4.05465
	0	2.22E-16	-0.6	-1.14761	-1.71178	-2.5539	-3.06741	-3.22515	-4.14817
	1	2.22E-16	-0.60583	-1.15727	-1.65582	-2.49411	-2.91433	-3.14935	-3.96913
	5	2.22E-16	-0.76599	-1.64886	-2.26007	-3.37315	-3.7681	-3.9918	-4.12876
	20	2.22E-16	-1.18082	-1.91301	-2.16892	-2.81816	-2.9079	-3.24905	-3.61409
	Lux	95900	109900	91900	104300	88800	84300	75400	74600
	base line	2.22E-16	-0.00779	-0.28464	-0.25434	-0.45161	-0.53002	-0.65476	-0.72628
0.15 M	0	2.22E-16	-0.1786	-0.87679	-1.51262	-2.62434	-3.60566	-3.97005	-4.14363
	0.01	2.22E-16	-0.29035	-1.12377	-1.5362	-3.01145	-3.75981	-4.213	-4.3443
	0.05	2.22E-16	-0.32804	-1.20214	-1.87658	-2.99343	-3.75981	-4.14067	-4.37247
	0.1	2.22E-16	-0.46845	-1.56896	-2.78679	-3.24603	-3.75981	-4.60604	-4.74977
	1	2.22E-16	-0.48919	-1.92563	-3.64424	-3.76069	-3.85697	-4.05173	-4.09918
	5	2.22E-16	-0.50954	-2.6617	-3.35211	-3.19015	-3.62166	-3.80753	-3.93884
	20	2.22E-16	-0.58732	-2.22742	-2.29432	-3.53755	-3.65445	-4.01005	-3.88477
		Lux	100800	125100	103400	118200	113300	109200	93700

Sehingga % degradasi koreksi adalah :

Konsen awal : 12.411									
ZnO	ppm	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30
	Ag (%)	0	30	60	90	120	150	180	210
0.1 M	0	-1.4E-14	22.7646	61.1267	79.56437	94.02841	97.7954	98.40374	98.63745
	0.01	-1.4E-14	26.91606	57.04481	66.31584	80.35274	91.84648	94.61654	97.9252
	0.05	-1.4E-14	21.48723	49.26252	59.38851	74.89722	90.34175	94.49134	98.01811
	0.1	-1.4E-14	29.10584	68.03157	75.14819	95.0974	95.34584	96.1815	98.26584
	0	-1.4E-14	45.11861	68.26046	81.94564	92.22219	95.34584	96.025	98.42068
	1	-1.4E-14	45.43796	68.56565	80.90654	91.74299	94.57598	95.71201	98.11101
	5	-1.4E-14	53.51277	80.77316	89.56571	96.57187	97.69042	98.15335	98.38971
	20	-1.4E-14	69.29745	85.23654	88.5699	94.02841	94.54099	96.1189	97.30586
	Lux	95900	109900	91900	104300	88800	84300	75400	74600
	base line	-1.4E-14	0.775547	24.77119	22.45717	36.33994	41.14067	48.04334	51.62938
0.15 M	0	-1.4E-14	16.35613	58.38839	77.96671	92.75122	97.28304	98.11275	98.41349
	0.01	-1.4E-14	25.19976	67.49476	78.4802	95.07799	97.67118	98.5198	98.70194
	0.05	-1.4E-14	27.96648	69.9449	84.68873	94.9885	97.67118	98.40879	98.738
	0.1	-1.4E-14	37.40297	79.17378	93.83815	96.10714	97.67118	99.00087	99.13463
	1	-1.4E-14	38.68751	85.42164	97.38588	97.67323	97.88681	98.26077	98.34137
	5	-1.4E-14	39.92266	93.01709	96.49895	95.88341	97.32617	97.77971	98.05292
	20	-1.4E-14	44.41858	89.21937	89.91697	97.09154	97.41242	98.18676	97.94475
	Lux	100800	125100	103400	118200	113300	109200	93700	91300

BIODATA PENULIS



Antonius Steven lahir di Jakarta, 1 April 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan TB Hanafia Nurtanio dan Ninik. Penulis telah menempuh pendidikan di TK Marsudirini (1999-2001), SD Marsudirini (2001-2007), SMP Marsudirini (2007-2010), SMA Kolese Kanisius Jakarta (2010-2013) Lalu penulis melanjutkan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Departemen Teknik Kimia pada tahun 2013-2017. Pada 2016 beliau pernah Kerja Praktek di PT. Pindodeli Pulp & Paper. Dan pada tahun terakhirnya di Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS penulis mengerjakan tugas akhir di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran Bersama Partnernya Robin Cahyadi dan dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng. dan Dr. Kusdianto S.T., M.Sc.Eng. Penulis berhasil menyelesaikan Pra Desain Pabrik “Bioethanol dari Molasses” dan penulisan buku skripsi ini.

DATA PRIBADI PENULIS

Nama : **Antonius Steven**

Nomor HP : **+6281316389910**

Email : **stevennurtanio@gmail.com**

BIODATA PENULIS



Robin Cahyadi lahir di Malang, 7 November 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Antonius Sugiono dan Wenny Atmajaya. Penulis telah menempuh pendidikan TK Borobudur Malang (1999-2001), SDK Santo Yusuf II Malang (2001-2007), SMPK Santa Maria II Malang (2007-2010), SMAK Santa Agnes Surabaya (2010-2013). Kemudian penulis melanjutkan

studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Departemen Teknik Kimia pada tahun 2013-2017. Pada 2016 beliau pernah Kerja Praktek di PT. Pindodeli Pulp & Paper, Karawang, dan pada tahun terakhirnya di Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS penulis mengerjakan tugas akhir di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran Bersama Partnernya Antonius Steven dan dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng. dan Dr. Kusdianto S.T., M.Sc.Eng. Penulis berhasil menyelesaikan Pra Desain Pabrik “Bioethanol dari Molasses” dan penulisan buku skripsi ini.

DATA PRIBADI PENULIS

Nama : Robin Cahyadi

Nomor HP : +6283856279511

Email : arobincahyadi@gmail.com