

**PENGGUNAAN KOMPOSIT ZnO-CuO YANG DISINTESIS
SECARA *SONOCHEMISTRY* YANG DIGUNAKAN SEBAGAI
KATALIS UNTUK FOTODEGRADASI METIL ORANGE
DAN ZAT ANTIBAKTERI**

TESIS

Oleh :

**NOLA YULIA KASUMA
1021207021**



**PROGRAM STUDI KIMIA
PASCASARJANA UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2012**

**PENGGUNAAN KOMPOSIT ZnO-CuO YANG DISINTESIS SECARA
SONOCHEMISTRY YANG DIGUNAKAN SEBAGAI KATALIS UNTUK
FOTODEGRADASI METIL ORANGE DAN ZAT ANTIBAKTERI**

Oleh
Nola Yulia Kasuma (1021207021)
Dibimbing oleh Prof. Dr. Safni, M.Eng, dan Dr. Syukri Darajat

ABSTRAK

ZnO (seng oksida) merupakan katalis alternatif pengganti TiO_2 dengan kemampuan fotodegradasi yang hampir sama. ZnO mempunyai celah pita (*bandgap*) 3,2–3,5 eV (elektron volt) sehingga ZnO dapat teraktivasi dengan radiasi sinar UV (ultraviolet) yang mengakibatkan efisiensi fotokatalitik ZnO rendah di bawah sinar tampak (*visible*). Peningkatan aktifitas fotokatalitik ZnO di bawah sinar tampak dapat dilakukan dengan cara penambahan semikonduktor lain yang mempunyai *bandgap* sempit seperti CuO. Sintesis komposit ZnO-CuO dilakukan dengan menggunakan metode *sonochemistry*. Metode ini dapat digunakan untuk menghasilkan partikel yang seragam. CTAB (*cetyltrimethylammonium bromide*) juga ditambahkan pada sintesis untuk menjaga orientasi pertumbuhannya sehingga dihasilkan partikel berbentuk batang. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa komposit ini terdiri dari ZnO yang mempunyai struktur *hexagonal wurtzite* sesuai dengan standar JCPDS NO.05-0664 yang mempunyai puncak tertinggi pada sudut $2\theta=36,250^\circ$, sedangkan CuO yang dihasilkan mempunyai struktur *monoclinic* yang mempunyai puncak tertinggi pada sudut $2\theta=35,545^\circ$. Aktifitas fotodegradasi komposit ini lebih tinggi pada daerah sinar tampak yang optimum terjadi pada pH basa (10) dengan persentase degradasi sebesar 95,04 %. Komposit ZnO-CuO ini juga mempunyai aktifitas antibakteri yang lebih tinggi daripada *single* semikonduktor ZnO dan CuO dalam menghambat pertumbuhan bakteri gram positif (*S.aureus*) sebesar 88,67 % dan gram negatif (*E.coli*) sebesar 97,65 %.

Kata kunci : *Komposit ZnO-CuO, sonochemistry, fotodegradasi metil orange, sifat antibakteri.*

**APPLICATION OF ZnO-CuO COMPOSITE SYNTHESIZED BY
SONOCHEMICAL METHOD to PHOTODEGRADATION OF METHYL
ORANGE AND ANTIBACTERIAL ACTIVITY**

By :

Nola Yulia Kasuma (1021207021)

Advised by Prof. Dr. Safni, M.Eng, and Dr. Syukri Darajat

ABSTRACT

ZnO (zinc oxide) is alternative catalyst to TiO₂ which is the same photocatalytic activity. ZnO has *bandgap* 3,2–3,5 eV (electron volt) that make ZnO can only be excited for photocatalysis under UV light irradiation which results in the low-photocatalytic efficiency in visible light. In principle the coupling of different semiconductor oxides can reduce its band gap, extend its absorption range to visible light region like CuO. ZnO-CuO composite prepared by *sonochemistry method*. This methods can produced composite in high homogeneity. CTAB (*cetyltrimethylammonium bromide*) using in this system as growth controller to form ZnO nanorod. Characterization of this composite show that this composite consist of *hexagonal wurtzite* ZnO, all the diffraction peaks are in good agreement with the JCPDS NO.05-0664 with highest peak at $2\theta=36,250^\circ$, and *monoclinic* CuO with highest peak at $2\theta=35,545^\circ$. The ZnO-CuO composite showed an enhanced photocatalytic activity compared to the monocomponent CuO and ZnO catalysts for the photodegradation of methyl orange under the visible light at base solution (pH=10) with percentage of degradation 95,04 %. This composite also has the highest bacterial activity than *single* semiconductor ZnO and CuO to gram positive bacteria (*S.aureus*) 88,67 % and gram negative bacteria (*E.coli*) 97,65 %.

Keyword : *ZnO-CuO Composite, sonochemistry, photodegradation methyl orange, antibactetial activity*

PENGGUNAAN KOMPOSIT ZnO-CuO YANG DISINTESIS SECARA SONOCHEMISTRY YANG DIGUNAKAN SEBAGAI KATALIS UNTUK FOTODEGRADASI METIL ORANGE DAN ZAT ANTIBAKTERI

Oleh :
NOLA YULIA KASUMA (10 212 070 21)
(Di bawah bimbingan Prof. Dr. Safni, M.Eng, Dr. Syukri Darajat , dan
Dr. Muhammad Nasir)

RINGKASAN

ZnO (seng oksida) merupakan katalis alternatif pengganti TiO₂ dengan kemampuan fotodegradasi yang hampir sama. ZnO mempunyai celah pita (*bandgap*) 3,2–3,5 eV (elektron volt) sehingga ZnO dapat teraktivasi dengan radiasi sinar UV (ultraviolet) yang mengakibatkan efisiensi fotokatalitik ZnO rendah di bawah sinar tampak (*visible*). Peningkatan aktifitas fotokatalitik ZnO di bawah sinar tampak dapat dilakukan dengan cara penambahan semikonduktor lain yang mempunyai *bandgap* sempit seperti CuO.

Sintesis komposit ZnO-CuO dilakukan dengan menggunakan metode *sonochemistry*. Metode ini dapat digunakan untuk menghasilkan partikel yang seragam. CTAB (*cetyltrimethylammonium bromide*) juga ditambahkan pada sintesis untuk menjaga orientasi pertumbuhannya sehingga dihasilkan partikel berbentuk batang. Partikel dengan bentuk batang mempunyai aktifitas fotokatalitik yang lebih bagus dibandingkan partikel dengan bentuk bulat

Karakterisasi komposit ZnO-CuO yang dihasilkan dengan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan serapan ZnO berada pada $\lambda=373,9$ nm dan setelah dikompositkan dengan CuO serapan ZnO bergeser ke arah sinar

tampak yaitu pada $\lambda=775,3$ nm. Morfologi ZnO-CuO nanokomposit setelah dianalisis menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menunjukkan partikel yang dihasilkan mempunyai kehomogenan tinggi dan berbentuk batang. Komposit ZnO-CuO yang dihasilkan mempunyai kemurniaan yang tinggi berdasarkan hasil SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) hanya terdiri dari atom Zn, Cu, dan O dengan perbandingan 56,35 %, 23,86 %, dan 19,79 % tanpa atom pengotor lain.

Karakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*) menunjukkan komposit yang dihasilkan terdiri dari ZnO yang mempunyai struktur *hexagonal wurtzite* sesuai dengan standar JCPDS No.05-0664.yang mempunyai puncak tertinggi pada sudut $2\theta=36,250^\circ$ dengan parameter kisi $a=b=0,325$ nm dan $c=0,521$ nm. CuO yang dihasilkan mempunyai struktur *monoclinic* yang mempunyai puncak tertinggi pada sudut $2\theta=35,545^\circ$ dengan parameter kisi $a=0,469$ nm, $b=0,343$ nm, $c=0,513$ nm dan $\beta=99.52^\circ$ sesuai dengan standar JCPDS No. 41-0254. Ukuran kristal komposit ZnO-CuO yaitu 82,6926 nm yang ditentukan dari puncak dengan intensitas tertinggi.

Distribusi ukuran partikel komposit ZnO-CuO yang paling banyak adalah 0,5 μm dengan persen distribusi sebesar 19,7 % setelah dianalisis dengan alat PSA (*Particle Size Analyzer*). Ukuran partikel sangat erat kaitannya dengan aktifitas fotokatalitik dan inhibisi pertumbuhan bakteri oleh komposit ZnO-CuO. Ukuran partikel yang semakin kecil menyebabkan aktifitas fotokatalitik dan inhibisi pertumbuhan bakteri menjadi meningkat karena interaksi komposit ZnO-CuO dengan zat warna metil orange dan membran bakteri semakin mudah.

Aktifitas fotodegradasi komposit ZnO-CuO lebih tinggi daripada *single* semikonduktor ZnO dan CuO pada daerah sinar tampak karena penggabungan ZnO dengan CuO menyebabkan waktu rekombinasi (e^-) dan (h^+) dapat diperlambat karena terjadi transfer muatan diantara keduanya. Hal inilah yang menyebabkan tersedianya cukup waktu bagi metil orange teradsorpsi pada permukaan katalis ZnO-CuO.

Fotodegradasi metil orange optimum terjadi pada pH basa (10) dengan persentase degradasi sebesar 95,04 %. Hal ini disebabkan karena pada pH basa konsentrasi OH^- dalam larutan semakin banyak yang menyebabkan peningkatan jumlah OH^\bullet yang terbentuk untuk mempercepat proses degradasi metil orange.

Komposit ini juga dapat menghambat pertumbuhan kedua bakteri secara optimal dengan persentase inhibisi sebesar 88,67 % terhadap bakteri gram positif (*S.aureus*) dan gram negatif (*E.coli*) sebesar 97,65 %. Hal ini disebabkan karena penggabungan sifat antibakteri kedua oksida logam. ZnO lebih menghambat pertumbuhan bakteri *E.coli* sedangkan CuO lebih menghambat pertumbuhan bakteri *S.aureus*. Faktor lainnya yang juga ikut menentukan yaitu luas permukaannya komposit ZnO-CuO lebih besar, adanya transfer e^- dan h^+ yang dapat memperlambat terjadinya rekombinasi e^- dan h^+ sehingga tersedia cukup waktu bagi komposit untuk berinteraksi dengan dinding sel bakteri. Efek bakterisidal (kemampuan mematikan bakteri) disebabkan karena pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS) seperti : OH^\bullet , H_2O_2 , dan $O_2^{\bullet-}$ yang dapat merusak dinding sel mikroba. ROS yang dihasilkan dapat menyebabkan peroksidasi membran lipid dan menginfungsionalisasikan membran.

**PENGGUNAAN KOMPOSIT ZnO-CuO YANG DISINTESIS
SECARA *SONOCHEMISTRY* YANG DIGUNAKAN SEBAGAI
KATALIS UNTUK FOTODEGRADASI METIL ORANGE
DAN ZAT ANTIBAKTERI**

TESIS

Oleh :

**NOLA YULIA KASUMA
1021207021**

*Sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Magister Sains
pada Program Studi Kimia Pascasarjana Universitas Andalas*

**PROGRAM STUDI KIMIA
PASCASARJANA UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2012**

Judul : PENGGUNAAN KOMPOSIT ZnO-CuO YANG
DISINTESIS SECARA *SONOCHEMISTRY* YANG
DIGUNAKAN SEBAGAI KATALIS UNTUK
FOTODEGRADASI METIL ORANGE DAN ZAT
ANTIBAKTERI

Nama : NOLA YULIA KASUMA

BP : 1021207021

Program Studi : Kimia

Tesis ini telah diuji dan dipertahankan di depan sidang panitia ujian akhir
Magister Sains pada Program Pascasarjana Universitas Andalas dan dinyatakan
lulus pada tanggal 12 Juli 2012.

Menyetujui

1. Komisi Pembimbing

Ketua

Anggota

Anggota

Prof. Dr. Safni, M.Eng

Dr. Syukri Darajat

Dr. Muhammad Nasir

19670512 199003 2 001

19720712 199903 1 002

19711230 199803 1 003

2. Ketua Program Studi Kimia

3. Direktur Program Pascasarjana
Universitas Andalas

Dr. Adlis Santoni
NIP : 19621203 198811 1 002

Prof. Dr. Syafruddin Karimi, SE, MA
NIP : 19541009 198012 1 001

Ku persembahkan hasil perjuanganku ini untuk:

Kedua orang tua, kakak-kakak dan adik-adikku tercinta yang telah banyak memotivasiku selama ini dan memberikan bantuan dan pengorbanan dengan tulus.

Zhisan qin-qin yang memberikan semangat baru dalam hidupku yang sangat ku sayangi.

Yang tersayang,

Arif yang telah menemani hari-hariku dan sebagai lilin yang selalu menerangi setiap langkahku.

My lovely Tukkie

Sahabat-sahabatku yang membuat hari-hariku penuh warna dan suka duka yang telah kita Lewati bersama mengukir kenangan indah dalam hidupku.

Semua orang yang pernah ku kenal dan hadir dalam kehidupanku yang telah memberikan arti dalam setiap perjalananku.

Akhir kata, semoga buah hasil perjuanganku ini dapat memberikan kebahagiaan baru di tengah keluargaku.

Terima kasihku sebesar-besarnya pada kedua orang tuaku yang sangat ku sayangi.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi tesis yang saya tulis dengan judul “Penggunaan Komposit ZnO-CuO yang Disintesis secara *Sonochemistry* yang Digunakan sebagai Katalis untuk Fotodegradasi Metil Orange dan Zat Antibakteri” adalah hasil/karya saya bukan merupakan jiplakan dari hasil/karya orang lain, kecuali kutipan yang sumbernya dicantumkan. Jika kemudian hari pernyataan ini ternyata tidak benar, maka status kelulusan dan gelar yang saya peroleh menjadi batal dengan sendirinya.

Padang, Juli 2012
Yang Membuat Pernyataan,

Nola Yulia Kasuma
1021207021

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 28 Juli 1986 di Bukittinggi Sumatera Barat, sebagai anak ketiga dari lima bersaudara dari pasangan Syaiful Asri dan Asty Jamra.

Penulis menamatkan Sekolah Dasar pada tahun 1999 di SD 32 Bonjol Alam Bukittinggi. Penulis melanjutkan pendidikan ke SLTPN 1 Tanjung Alam dan tamat tahun 2002. Penulis memutuskan melanjutkan Jenjang pendidikan berikutnya di SMAK PADANG (Sekolah Menengah Analis Kimia) dan lulus pada tahun 2006. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Andalas jurusan kimia dan memperoleh gelar sarjana pada bulan Juli tahun 2010.

Bulan Agustus pada tahun yang sama penulis mendapatkan kesempatan melanjutkan pendidikan S2 di Program Studi Kimia Pascasarjana Universitas Andalas Padang bulan Agustus tahun 2010 dan Insya Allah akan memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) bulan Juli tahun 2012.

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tesis yang berjudul “Penggunaan Komposit ZnO-CuO yang Disintesis secara *Sonochemistry* yang Digunakan sebagai Katalis untuk Fotodegradasi Metil Orange dan Zat Antibakteri”. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains pada program Pascasarjana Universitas Andalas.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua dan keluarga penulis bg roby, kak ya, nanda, fani, dan my *little angel* zhilan qinqin yang selalu memberikan dukungan, perhatian, kasih sayang, dan pengorbanan yang tulus serta menjadi motivasi terbesar bagi penulis dalam menghadapi semua rintangan.
2. Arif Saputra yang telah memberikan pengertian, waktu, tenaga, dan bantuan pada penulis serta menjadi penyemangat penulis.
3. Ibu Prof. Dr. Safni, M.Eng sebagai ketua komisi pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, ilmu dan motivasi kepada penulis selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan tesis ini
4. Bapak Dr.Syukri Darajat sebagai anggota komisi pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, nasehat, dan ilmu hingga penulis bisa menyelesaikan penelitian dan penyusunan tesis ini

5. Ibuk Marniati Salim (Bundo) yang telah penulis anggap sebagai orang tua sendiri yang telah banyak memberikan nasehat, kasih sayang dan perhatian pada penulis.
6. Bapak Dr. Mai Efdi yang telah meluangkan waktu untuk berbagi cerita, memberikan masukan dan solusi serta dengan tulus memberikan bantuan pada penulis.
7. Bapak Dr. Muhammad Nasir, M.Eng sebagai pembimbing di LIPI Bandung yang telah mentransfer ilmu dan pengalaman sebagai peneliti, memberikan bantuan baik berupa fasilitas alat labor, bahan-bahan, dan akses untuk kelancaran dan kemudahan bagi penulis selama melakukan penelitian di LIPI Bandung
8. Bapak Chandra Risdian, S.Si yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, memberikan kemudahan, dan dorongan moril yang tulus dalam mencari solusi untuk menyelesaikan masalah yang penulis hadapi selama melakukan penelitian di LIPI Bandung
9. Bapak Aburizal Bakrie, Bapak Anindya Bakrie, Bapak Imbang J.Mangkuto dan segenap tim Bakrie Brothers and Group yang telah memberikan kesempatan dan kepercayaan kepada penulis untuk menerima Beasiswa Bakrie Graduate Fellowship yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan studi S2.
10. Emil Salim sebagai sahabat yang selalu ada disaat tersulit penulis yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, dan dengan tulus memberikan bantuan untuk karakterisasi sampel di ITB serta tempat berbagi cerita suka dan duka.

11. Bapak Dr. Adlis Santoni, Bapak Dr. Zuhajri, dan Ibu Dr. Yetria Rilda sebagai dosen pembahas yang telah banyak memberikan ilmu, saran dan kritik untuk perbaikan dan kesempurnaan tesis ini
12. Prof. Dr. Syafruddin Karimi, SE, MA selaku direktur Pascasarjana Universitas Andalas.
13. Bapak Dr. Adlis Santoni sebagai ketua program studi kimia dan pembimbing akademik penulis saat studi S1 yang selalu memberikan dorongan positif pada penulis.
14. Bapak Sam, Buk Tini Bapak Mahyar, Buk Desak, Buk Chandra, Buk Linar, Buk Ika, Bapak Hari, Bapak Tirta, Bapak/Ibuk lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu di laboratorium kimia Gedung 80 dan 50 LIPI Bandung atas kerjasamanya dalam membantu penulis selama melakukan penelitian.
15. Semua pihak yang telah bekerjasama dan memberikan bantuan pada penulis yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhirnya penulis berharap kritikan yang sehat dan saran yang membangun kesempurnaan tesis ini sehingga dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang, amiin.

Padang, 22 Februari 2012

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 ZnO (seng oksida)	6
2.2 Komposit ZnO-CuO	8
2.3 Metode Sonokimia (<i>Ultrasonic Irradiation</i>)	9
2.4 Metil Orange	15
2.5 Reaksi Fotokatalisis Semikonduktor	16
2.6 Aktifitas Antibakteri	21
III. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.3 Prosedur Kerja	24
3.3.1 Pengaruh komposisi prekursor, jenis basa, dan proses kalsinasi pada sintesis katalis	24
3.3.1.1 Katalis ZnO	24
3.3.1.2 Katalis CuO	24
3.3.1.3 Katalis ZnO-CuO	25

3.3.2 Karakterisasi komposit ZnO-CuO	26
3.3.3 Uji aktifitas fotokatalitik untuk degradasi metil orange	26
3.3.3.1 Pengaruh kosentrasi awal metil orange	26
3.3.3.2 Pengaruh waktu radiasi.....	26
3.3.3.3 Pengaruh jenis katalis	27
3.3.3.4 Pengaruh pH larutan	27
3.3.4 Uji Aktifitas Antibakteri.....	27
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Pengaruh komposisi prekursor, jenis basa, dan proses kalsinasi pada sintesis katalis	29
4.2 Karakterisasi komposit ZnO-CuO	31
4.3 Uji aktifitas fotokatalitik untuk degradasi metil orange	36
4.3.1 Pengaruh kosentrasi awal metil orange	36
4.3.2 Pengaruh waktu radiasi.....	36
4.3.3 Pengaruh jenis katalis	37
4.3.4 Pengaruh pH larutan	38
4.4 Uji aktifitas antibakteri	40
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	42
5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN.....	45

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1	Pengukuran Absorban metil orange.....	56
2	Pengaruh kosentrasi awal metil orange radiasi sinar UV selama 8 jam	56
3	Pengaruh lama radiasi UV dengan kosentrasi Metil Orange 5 ppm	56
4	Pengaruh jenis katalis pada degradasi metil orange dengan radiasi UV selama 23 jam	57
5	Pengaruh jenis komposit ZnO-CuO yang disintesis dengan berbagai kondisi pada degradasi metil radiasi tampak selama 23 jam.....	57
6	Pengaruh penyinaran pada degradasi metil orange selama 23 jam.....	57
7	Pengaruh pH pada degradasi metil orange dengan radiasi sinar tampak selama 23 jam.....	57
8	Pengukuran OD (<i>Optical Density</i>) dengan lama inkubasi 4 jam	68
9	Penentuan aktifitas antibakteri dengan lama inkubasi 4 jam	69
10	Persentase inhibisi pertumbuhan sel bakteri dengan lama inkubasi 4 jam.	69
11	Pengukuran OD (<i>Optical Density</i>) dengan lama inkubasi 21 jam	69
12	Penentuan aktifitas antibakteri dengan lama inkubasi 21 jam	70
13	Persentase inhibisi pertumbuhan sel bakteri dengan lama inkubasi 21 jam. ..	71
14	Pengukuran OD (<i>Optical Density</i>) dengan lama inkubasi 24 jam	71
15	Penentuan aktifitas antibakteri dengan lama inkubasi 24 jam	71
16	Persentase inhibisi pertumbuhan sel bakteri dengan lama inkubasi 24 jam. ..	72

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Pengaruh pH pada pembentukan intermediet Zn saat dilarutkan.....	7
2. Diagram <i>bandgap</i> energi dari ZnO-CuO	9
3. Mekanisme CTAB (a)menghasilkan partikel dengan dimensi ukuran lebih kecil kecil,(b)mengontrol dan menjaga orientasi pertumbuhan sehingga menghasilkan katalis nanorod	12
4. Pembentukan ZnO nanopartikel karena adanya gelombang ultrasonik	14
5. Pembentukan ZnO nanopartikel selama proses kalsinasi	14
6. Struktur metil orange.....	16
7. Mekanisme reaksi fotokatalitik metil orange pada permukaan ZnO	18
8. Fotokatalisis zat warna dengan bantuan semikonduktor.....	19
9. Mekanisme pembukaan cincin benzena.....	20
10. Fotokatalisis zat warna dengan bantuan semikonduktor.....	21
11. Pengaruh komposisi prekursor, jenis basa, dan proses kalsinasi pada sintesis katalis terhadap persentase degradasi metil orange	29
12. Serapan UV-Vis ZnO	31
13. Serapan UV-Vis ZnO-CuO	32
14. Morfologi ZnO-CuO setelah dianalisis dengan SEM	33
15. Komposisi ZnO-CuO setelah dianalisis dengan SEM-EDX.....	33
16. Spektrum XRD dari ZnO-CuO dan standar JCPDS	34
17. Grafik PSA dari ZnO-CuO.....	35
18. Pengaruh penyinaran dan jenis katalis terhadap persentase degradasi metil orange.....	37
19. Pengaruh pH larutan terhadap persentase degradasi metil orange.....	38
20. Pengaruh jenis katalis terhadap persentase inhibisi pertumbuhan sel bakteri.	39
21. Uji aktifitas fotodegradasi metil orange tanpa penambahan katalis.....	58
22. Uji aktifitas fotokatalitik ZnO untuk degradasi metil orange	58
23. Uji aktifitas fotokatalitik CuO untuk degradasi metil orange.....	58
24. Uji aktifitas fotokatalitik ZnO-CuO untuk degradasi metil orange	59
25. Pengaruh pH pada uji fotokatalitik ZnO-CuO untuk degradasi metil orange dengan radiasi sinar tampak (<i>visible</i>)	59

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Skema kerja pembuatan katalis ZnO.....	48
2. Skema kerja pembuatan katalis CuO	49
3. Skema kerja pembuatan katalis ZnO-CuO.....	50
4. Uji aktifitas fotokatalitik untuk degradasi metil orange.....	51
5. Uji aktifitas antibakteri.....	51
6. Pengamatan sintesis katalis ZnO.....	52
7. Pengamatan sintesis katalis CuO	53
8. Pengamatan sintesis katalis ZnO-CuO.....	54
9. Uji aktifitas fotokatalitik	55
10. Pengamatan uji aktifitas fotokatalitik untuk degradasi metil orange	58
11. Penghitungan persentase degradasi metil orange.....	60
12. Tabel kerja uji antibakteri	65
13. Penentuan ukuran kristal dari spektrum XRD	76

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Limbah cair industri banyak mengandung berbagai macam senyawa organik yang bersifat toksik, karsinogenik, dan mutagenik yang dapat mencemari lingkungan seperti zat warna. Zat warna merupakan polutan paling banyak pada limbah tekstil yang termasuk golongan senyawa azo. Metil orange merupakan salah satu zat warna azo yang mempunyai cincin aromatik sehingga pada umumnya sulit terdegradasi secara biologi.

Keberadaan metil orange di lingkungan akan berdampak negatif terhadap ekosistem dan kesehatan manusia. Metil orange dapat masuk ke dalam tubuh melalui sistem pencernaan dan akan mengalami metabolisme di hati. Akumulasi metil orange dapat menyebabkan penyakit kanker hati. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan untuk menguraikan metil orange di lingkungan.

Metode *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) atau proses oksidasi lanjut merupakan metode alternatif yang dapat diaplikasikan untuk mendekontaminasi metil orange berdasarkan penggunaan hidroksi radikal ($\text{OH}\cdot$). Metode fotokimia dapat menghasilkan $\text{OH}\cdot$ yang digunakan sebagai oksidator untuk mendegradasi metil orange menjadi produk yang kurang atau tidak berbahaya. Mineralisasi sempurna metil orange akan menghasilkan CO_2 dan H_2O sebagai produk akhirnya.

TiO_2 atau Titanium (IV) oksida merupakan semikonduktor yang telah banyak dikembangkan untuk degradasi zat warna, namun biaya yang

diperlukan mahal. Penelitian sebelumnya telah banyak dilakukan untuk mendegradasi beberapa zat warna dengan katalis TiO₂ anatase yaitu *acid red 14*, *naphtol blue black*, *sudan I*, dan *metanil yellow* (Daneshvar, 2003; Safni, 2007; 2008; 2009).

ZnO (seng oksida) merupakan katalis alternatif pengganti TiO₂ dengan kemampuan fotodegradasi yang hampir sama (Daneshvar., 2003 ; 2004). ZnO mempunyai celah pita (*bandgap*) 3,2–3,5 eV (elektron volt) sehingga ZnO dapat teraktivasi dengan radiasi sinar UV (ultraviolet) yang mengakibatkan efisiensi fotokatalitik ZnO rendah di bawah sinar tampak (*visible*). Peningkatan aktifitas fotokatalitik ZnO dibawah sinar tampak dapat dilakukan dengan mengurangi *bandgap* energi ZnO dengan cara penambahan semikonduktor lain yang mempunyai *bandgap* sempit. Penggabungan ZnO telah dilakukan dengan oksida dan sulfida logam lain seperti TiO₂, SnO₂, WO₃, NiO, Fe₂O₃, dan CuO (An, 2010; Kowsari, 2012; Changlin, 2011; Fernandes, 2009; Li, 2010). Tembaga (II) oksida (CuO) dipilih karena sifatnya yang stabil di atmosfer, stabil terhadap cahaya, biayanya murah, dan dapat menyebabkan terjadinya pergeseran absorpsi ZnO ke arah sinar tampak (Li, 2010; Shouqiang, 2010; Liu, 2008; Sathiskumar, 2011).

Pembuatan ZnO-CuO nanokomposit dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain metode sintesis kimia padatan, kopresipitasi, sol gel, dan sonokimia. Metode Sonokimia (*Ultrasonic Irradiation*) digunakan untuk mensintesis ZnO-CuO nanokomposit karena memiliki beberapa keunggulan seperti proses sintesis yang murah, cepat, mudah dalam

pengontrolan ukuran, suhu reaksi rendah dan partikel yang dihasilkan mempunyai kehomogenan tinggi. Sintesis nanomaterial menggunakan metoda sonokimia dilakukan dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik (Wongpisutpaisan, 2011; Wei, 2008; Xiao, 2008; Kas, 2012).

ZnO-CuO yang dihasilkan dapat juga digunakan sebagai zat antibakteri. Kemampuannya dalam menghambat pertumbuhan bakteri telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya terhadap bakteri gram positif dan gram negatif dengan persentase inhibisi mencapai 98% (Baek., 2011; Laura., 2006; Applerot., 2009). Uji antibakteri pada penelitian ini dilakukan terhadap *Staphylococcus aureus* (bakteri gram positif) dan *Escherichia coli* (bakteri gram negatif).

Kedua bakteri ini merupakan bakteri patogen yang dapat menyebabkan berbagai macam gangguan kesehatan pada manusia. *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) dapat menghemolisa darah merah, mengkoagulasikan plasma, menyebabkan penyakit *denture stomatis* (inflamasi mukosa), radang paru-paru, dan pembengkakan pada kulit dengan munculnya bercak putih sampai kuning. *Escherichia coli* (*E.coli*) sendiri dapat menyebabkan terjadinya gangguan pencernaan yang dikenal dengan gastroenteritis.

Fokus penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan komposit ZnO-CuO yang mempunyai efisiensi fotokatalitik yang tinggi di daerah sinar tampak dan sifat antibakteri yang lebih bagus dibandingkan *single* semikonduktor ZnO dan CuO. Penggunaan komposit ZnO-CuO diharapkan dapat menggantikan desinfektan yang biasa digunakan seperti fenol dan

klorin yang tidak ramah lingkungan dan kurang efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri patogen.

1.2. Perumusan Masalah

Masalah yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui apakah metode sonokimia (*Ultrasonic irradiation*) dapat digunakan untuk menghasilkan komposit ZnO-CuO dengan kehomogenan tinggi dan apakah CTAB (*cetyltrimethylammonium bromide*) yang ditambahkan pada sintesis dapat menjaga orientasi pertumbuhannya sehingga dihasilkan partikel berbentuk batang.
2. Bagaimana pengaruh komposisi prekursor, jenis basa, dan proses kalsinasi yang dilakukan terhadap komposit ZnO-CuO yang dihasilkan.
3. Untuk mengetahui katalis manakah yang mempunyai aktifitas fotokatalitik paling tinggi serta pengaruh pH pada fotodegradasi metil orange.
4. Untuk mengetahui katalis manakah yang mempunyai aktifitas paling tinggi dalam menghambat pertumbuhan sel bakteri.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk menghasilkan katalis ZnO-CuO yang mempunyai bentuk batang dengan tingkat kehomogenan tinggi dan mempunyai efisiensi tinggi untuk mendegradasi metil orange pada daerah sinar tampak serta dapat menghambat pertumbuhan sel bakteri secara optimal.

1.4. Manfaat penelitian

Penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu dasar rujukan dalam untuk menghambat bakteri dan mendegradasi metil orange atau senyawa organik berbahaya lainnya dengan menggunakan bantuan katalis ZnO-CuO yang dapat diaktifkan dengan memanfaatkan energi sinar matahari yang terdapat di alam dalam jumlah yang tidak terbatas dan penggunaannya yang belum optimal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 ZnO (Seng Oksida)

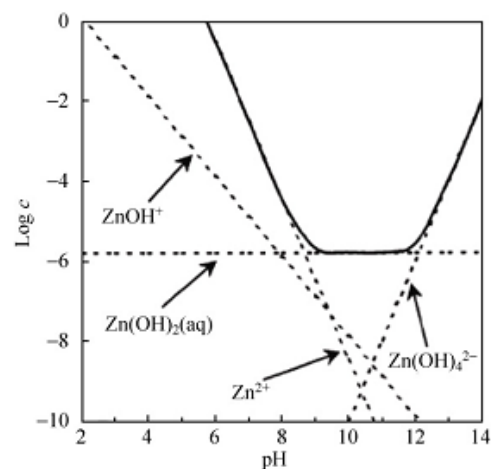
ZnO merupakan oksida logam transisi dengan *bandgap* energi (3.2–3.5 eV) sehingga dapat melakukan penyerapan maksimum pada panjang gelombang ($\lambda=385$ nm) dengan energi pengeksitasi tinggi 60 meV (Liu., 2008; Qiu., 2008; Li., 2009; Li., 2010; Rai., 2010; Shouqiang., 2011; Sheng., 2011).

ZnO merupakan salah satu semikonduktor yang sangat penting karena penggunaannya yang luas sebagai katalis dalam reaksi fotokimia, sintesis metanol, produksi gas hidrogen, dan sensor gas (Liu., 2008; Lu., 2011). Reaksi fotokimia dengan menggunakan ZnO sebagai katalis banyak berkembang karena ZnO mempunyai beberapa keunggulan seperti stabil terhadap cahaya (tidak terdegradasi saat melakukan penyerapan sinar), tidak beracun, ramah lingkungan, fotosensitif, biayanya murah, dan mempunyai kemampuan dalam mendekomposisi senyawa organik dan bakteri berbahaya yang sering mengkontaminasi lingkungan (Applerot., 2009; Liu., 2008; Lu., 2011).

Beberapa metode yang dapat digunakan dalam pembuatan ZnO nanopartikel antara lain yaitu metode hidrothermal, deposisi uap kimia, sonokimia (*ultrasonic irradiation*), dan sol gel (Zhang., 2005; Vijayakumar., 2010; Sheng., 2011). Metode dan kondisi sintesis sangat menentukan morfologi dan ukuran ZnO yang dihasilkan (Andres., 2005; Xie., 2011). Pengontrolan yang dapat dilakukan yaitu suhu pertumbuhan kristal,

pengaruh proses kalsinasi, komposisi reagen dan jenis basa yang digunakan untuk menghidrolisis garam seng (Sheng., 2011).

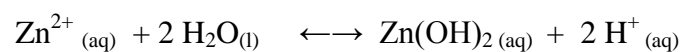
Reaksi yang terjadi selama sintesis ZnO diawali dengan menghidrolisis garamnya dalam suasana basa. Intermediet yang terbentuk yaitu Zn(OH)^+ , Zn(OH)_2 , Zn(OH)_3^- , dan Zn(OH)_4^{2-} yang dipengaruhi oleh pH larutan. ZnO akan diperoleh saat larutan telah jenuh sehingga akan terjadi dehidrasi intermediet dengan pemberian panas (Raghvendra., 2007; Rai., 2010; Sheng., 2011). Intermediet yang diinginkan yaitu intermediet $[\text{Zn(OH)}_4]^{2-}$ yang dominan terbentuk pada pH larutan = 11.



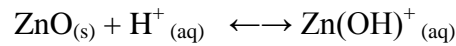
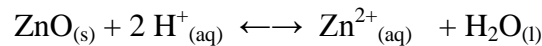
Gambar I. Pengaruh pH pada pembentukan intermediet Zn saat dilarutkan (Sheng., 2011).

Bian., 2011 menyatakan bahwa apabila ZnO dilarutkan dalam air akan membentuk lapisan hidroksida yang bervariasi tergantung pada pH larutan (Bian., 2011).

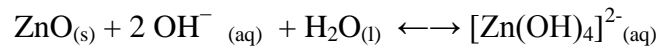
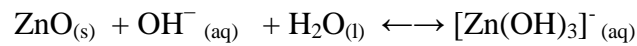
Reaksi yang terjadi pada pH larutan netral yaitu :



Reaksi yang terjadi pada pH larutan asam yaitu :



Reaksi yang terjadi pada pH larutan basa yaitu :



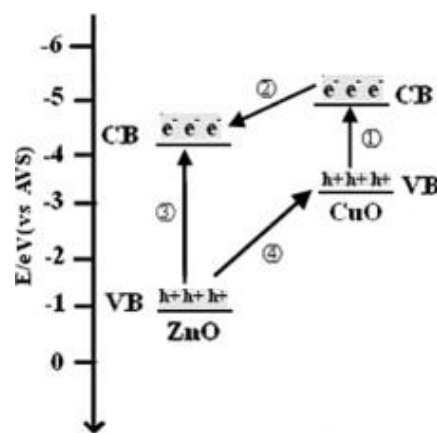
ZnO saat diiradiasi dengan sinar UV akan membentuk pasangan elektron (e^-) dan hole (h^+) yang akan menginduksi terjadinya reaksi redoks saat polutan organik teradsorpsi pada permukaan katalis (Li., 2009). Sinar UV yang terkandung pada sinar matahari < 10% dan sinar tampak \pm 45% sehingga efisiensi fotokatalitik ZnO sangat kecil di bawah sinar matahari

2.2 Komposit ZnO-CuO

Usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi fotokatalitik ZnO dengan memfungsionalisasikan permukaan ZnO dengan semikonduktor lain yang mempunyai *bandgap* yang sempit (Li., 2010; Sathishkumar., 2011; Vijayakumar., 2010). CuO merupakan Oksida logam yang digunakan untuk memodifikasi permukaan ZnO karena sifatnya yang stabil di atmosfer, stabil terhadap cahaya, biayanya murah, dan dapat menyebabkan terjadinya pergeseran absorpsi ZnO ke arah sinar tampak (Shouqiang., 2010; Vijayakumar., 2010).

Proses penggabungan ZnO dengan CuO dapat menyebabkan terjadinya transfer (e^-) dan (h^+) dari satu semikonduktor ke semikonduktor lain sehingga dapat mengurangi *bandgap* energi ZnO sehingga penyerapan

ZnO akan bergeser ke arah sinar tampak. Syarat untuk semikonduktor yang cocok untuk memodifikasi permukaan ZnO yaitu *bandgap* energi dari semikonduktor itu sendiri agar transfer (e^-) dan (h^+) dapat terjadi secara efektif, stabil selama reaksi fotokatalitik berlangsung, dan pemisahan muatan yang efisien antara dua katalis (Vijayakumar., 2010; Li., 2010; Sathishkumar., 2011). Mekanisme transfer (e^-) dan (h^+) yang terjadi antara ZnO dan CuO menurut Shouqiang., 2010 ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.



Gambar II. Diagram *bandgap* energi dari ZnO-CuO (Shouqiang., 2010)

ZnO-CuO banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sintesis methanol, sensor gas, dekontaminasi polutan organik, dan produksi hidrogen (Vijayakumar., 2010; Sathishkumar., 2011; Shouqiang., 2010).

2.3 Metode Sonokimia (*Ultrasonic Irradiation*)

Material oksida logam pada umumnya disintesis dengan metode reaksi kimia padatan yang membutuhkan waktu sintesis yang lama dan suhu tinggi atau melalui fasa cair seperti metode sol-gel dan kopresipitasi. Metode

sol-gel dan kopresipitasi memiliki keterbatasan karena rute sintesis yang kompleks, memerlukan waktu yang lama, dan suhu yang tinggi.

Metode sonokimia (*Ultrasonic Irradiation*) merupakan salah satu metode alternatif yang dapat dikembangkan untuk fabrikasi nanopartikel yang memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 20 kHz–10 MHz. Metode ini dapat dilakukan pada suhu rendah, waktu yang relatif cepat, peralatan yang otomatis, dan sederhana serta partikel yang dihasilkan seragam. Metode sonokimia ini merupakan metode rutin yang digunakan untuk pembuatan nanopartikel, amorf logam, karbida, oksida, dan sulfida pada berbagai medium serta pembuatan semikonduktor monokomponen dan kompositnya (Li., 2009; Kas., 2012).

Proses yang terjadi yaitu transfer massa secara mekanik dengan adanya efek pemanasan dan kavitasi. Proses kavitasi tersebut terdiri dari pembentukan, pertumbuhan, dan mengembang-ngempisnya gelembung pada larutan berair menghasilkan *hot spot* dengan suhu yang sangat tinggi mencapai 5000–25.000 K dan tekanan 1800 atm yang mendorong pembentukan nanomaterial (Reddy., 2007; Xiao., 2007; Li., 2009; Kas., 2012).

Kondisi optimum sintesis yang digunakan berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah diteliti oleh Wei., 2008 dan Zhang., 2009 untuk pembuatan ZnO nanopartikel secara ultrasonik pada suhu 50°C selama 1 jam menggunakan surfaktan CTAB (*cetyltrimethylammonium bromide*). Katalis disintesis dengan menggunakan prekursor ZnCl₂ dan CuSO₄·5 H₂O yang diendapkan dengan menggunakan basa dan penambahan CTAB. Morfologi

katalis yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh jenis prekursor dan pH larutan. Prekursor garam klorida akan menghasilkan partikel dengan bentuk batang sedangkan prekursor garam sulfat akan menghasilkan plat heksagonal (Xiao., 2008).

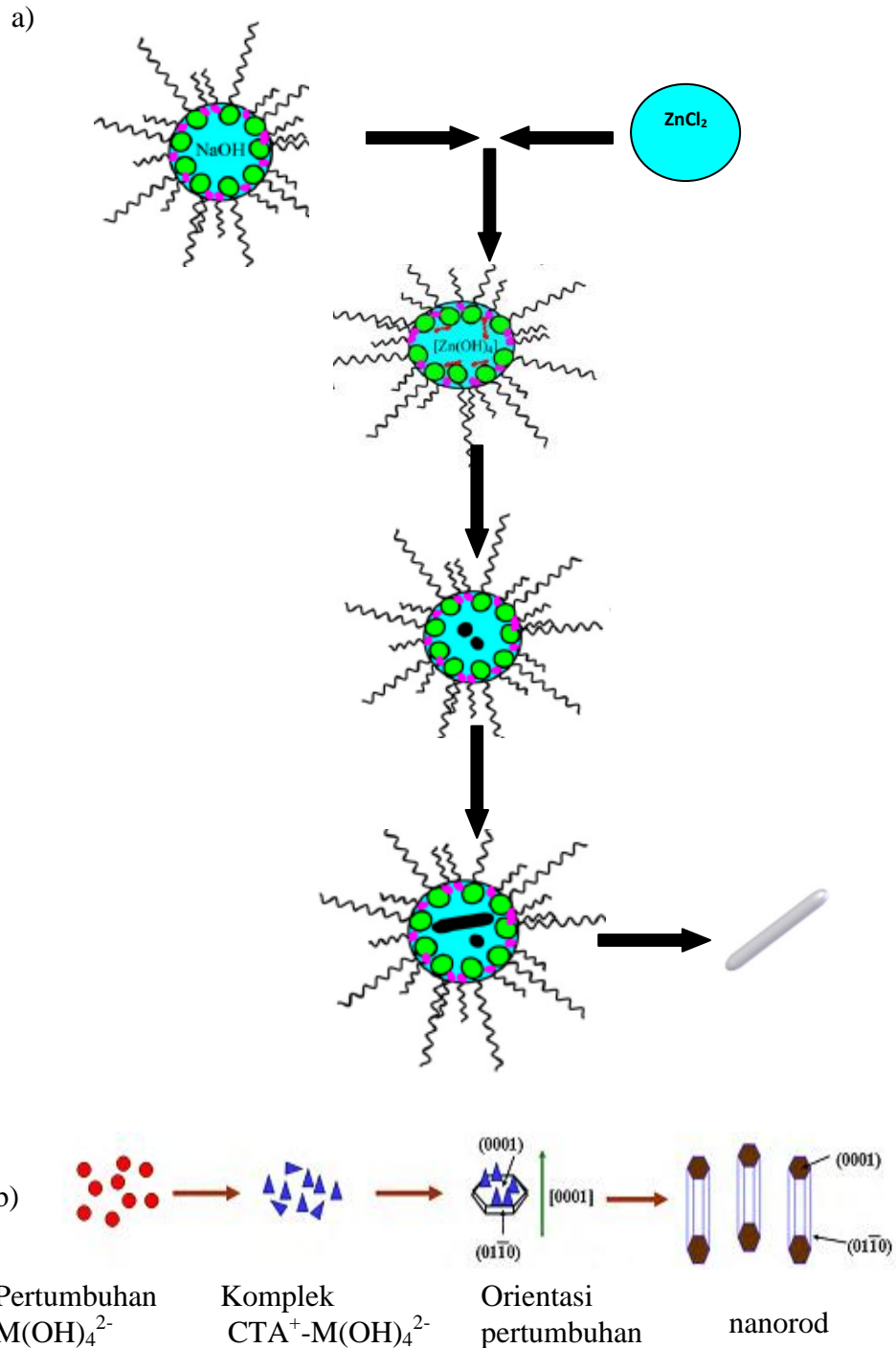
Perbandingan komposisi prekursor garam logam dan basa juga dapat mempengaruhi ukuran partikel yang dihasilkan. Komposisi basa yang lebih banyak akan mendorong kesetimbangan bergerak kearah pengendapan dibanding disolusi endapan.

Pengendapan prekursor garam logam dengan basa akan menghasilkan intermediet $M(OH)_2$ pada awalnya. Peningkatan pH akan mendorong terbentuknya berbagai macam intermediet hidroksidanya seperti $M(OH)^+$, $M(OH)_2$, $M(OH)_3^-$, $M(OH)_4^{2-}$. Selanjutnya dilakukan sonikasi untuk mendapatkan ZnO dengan tingkat kehomogenan yang tinggi dan ukuran partikel yang lebih kecil.

Proses pertumbuhan kristal akan berbeda dengan dan tanpa adanya surfaktan. Surfaktan *cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB) dapat menyebabkan tegangan permukaan antara dua cairan berkurang sehingga energi yang dibutuhkan untuk membentuk fasa baru akan semakin kecil. CTAB merupakan surfaktan kationik yang akan terionisasi sempurna di dalam air (Raghvendra., 2007; Hongkiang., 2010; Rai., 2010).

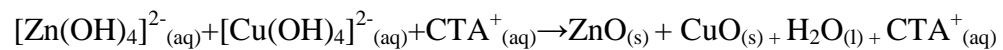
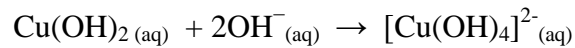
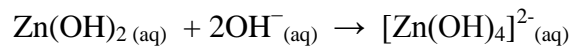
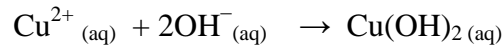
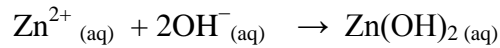
Katalis dalam ukuran nano dapat disintesis dengan penambahan surfaktan CTAB pada sistem (Zhang., 2009). Molekul surfaktan akan terabsorpsi pada permukaan prekursor garam logam dan menyebabkan terjadinya “*stericly hinder*” untuk mencegah agglomerasi, mengontrol, dan

menjaga orientasi pertumbuhan sehingga menghasilkan katalis nanorod sesuai dengan skema pada **Gambar III**.



Gambar III. Mekanisme CTAB (a) menghasilkan partikel dengan dimensi ukuran lebih kecil, (b) mengontrol dan menjaga orientasi pertumbuhan sehingga menghasilkan katalis nanorod (Rai., 2010).

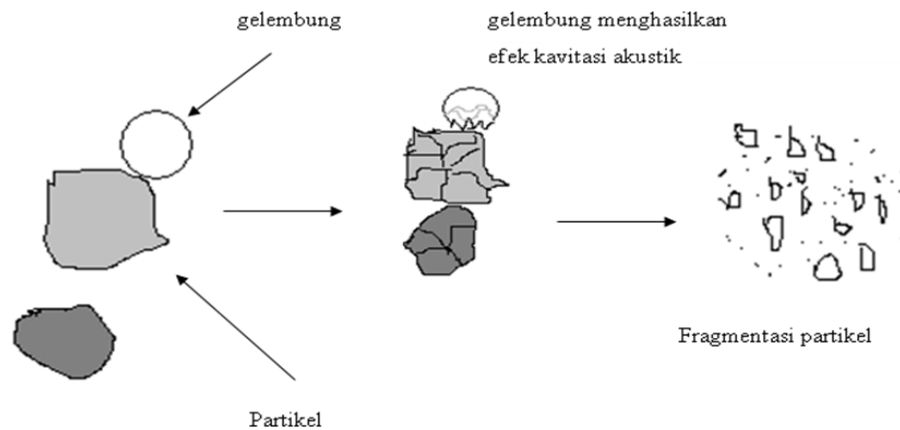
Muatan positif dari surfaktan akan teradsorpsi pada permukaan intermediet yang bermuatan negatif (Raghvendra., 2007; Rai., 2010).



Proses sonikasi yang berlangsung selama 1 jam, akan menyebabkan deposisi katalis semakin besar namun akan berkurang dengan bertambahnya waktu sehingga efek kavitasi dan pemanasan akan semakin besar yang akan menyebabkan agglomerasi partikel tersuspensi sehingga ukuran partikel akan semakin besar bila dilakukan sonikasi sampai 2 jam (Li., 2009; Zhang., 2009).

Suhu optimum untuk proses sonikasi yaitu pada suhu 50°C karena dengan suhu yang tinggi maka kecepatan reaksi akan semakin besar dan dispersi ukuran lebih seragam serta ukuran partikel yang lebih kecil. Akan tetapi pada suhu yang sangat tinggi akan menyebabkan pembentukan inti kristal terlalu cepat sehingga inti kristal cenderung mengalami agregasi sehingga ukuran partikelnya lebih besar (Wei., 2008; Zhang., 2009).

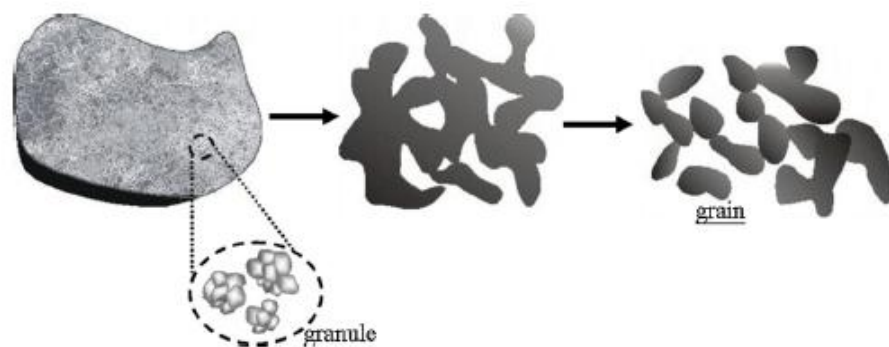
Pengeringan pada suhu 50°C untuk menguapkan air sebelum dilakukan kalsinasi. Kalsinasi dilakukan dengan tujuan untuk melepaskan molekul air yang teradsorpsi, desorpsi, dan dekomposisi surfaktan yang digunakan sebagai *template*.



Gambar IV. Pembentukan ZnO nanopartikel karena adanya gelombang ultrasonik.

Kalsinasi dilakukan pada suhu 500°C karena semua surfaktan terdekomposisi sempurna pada suhu 500°C, pembentukan kristal lebih sempurna, ukuran partikel lebih kecil, tingkat kehomogenannya tinggi, dan aktifitas fotokatalitiknya juga paling tinggi (Wu., 2002 ; Rohani., 2010; Hayat., 2011).

Suhu kalsinasi 500°C mempunyai aktifitas fotokatalitik yang paling bagus. Peningkatan aktifitas fotokatalitik ini disebabkan karena pembentukan kristalnya sempurna dan surfaktan telah terdekomposisi secara sempurna walaupun ukuran partikel yang terbentuk lebih besar (Liu., 2008).



Gambar V. Pembentukan ZnO nanopartikel selama proses kalsinasi (Tseng., 2012).

Aktifitas fotokatalitik ZnO paling rendah jika kalsinasi dilakukan pada suhu kecil dari 500°C, karena pertumbuhan kristal dan dekomposisi surfaktan belum sempurna walaupun ukuran partikel yang dihasilkan lebih kecil.

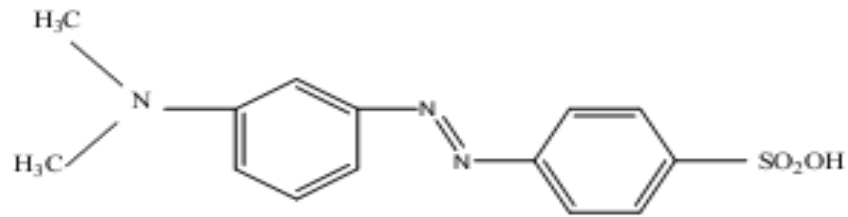
Suhu kalsinasi besar dari 500°C akan menyebabkan ukuran partikel yang lebih besar karena mengalami agregasi dan kecepatan rekombinasi (e^-) dan (h^+) meningkat yang akan mengurangi sisi aktif pada permukaan katalis untuk tempat terjadinya reaksi sehingga efisiensi katalitiknya berkurang (Vijayakumar., 2010; Liu., 2008 : Shouqiang., 2010). Luas permukaan yang semakin kecil juga akan menyebabkan adsorpsi molekul pada permukaan menjadi berkurang dan berkurangnya sinar yang jatuh pada permukaan katalis untuk menghasilkan (e^-) dan (h^+) (Zhang., 2008; Liu., 2008).

2.4 Metil Orange

Metil orange merupakan zat warna yang diklasifikasikan pada golongan senyawa azo, Senyawa azo digunakan sebagai zat warna celup di industri tekstil sehingga dinamakan *azo dyes* zat warna ini paling banyak terdapat dalam limbah tekstil, yaitu sekitar 60 %–70 %. Struktur umum senyawa azo $R-N=N-R'$, dengan R dan R' adalah rantai organik yang sama atau berbeda.

Senyawa azo dapat berupa senyawa aromatik atau alifatik. Metil orange merupakan senyawa azo yang mempunyai cincin aromatik yang bersifat stabil dan mempunyai warna menyala. Metil orange sering digunakan sebagai indikator asam karena dapat berfungsi sebagai asam

lemah yang berbeda warna antara asam dan garamnya Metil orange sering mengkontaminasi air dan sulit terdegradasi.



Gambar VI. Struktur metil orange

Metil orange diserap melalui sistem pencernaan dan akan mengalami metabolisme di usus dan dibawa langsung ke hati sedangkan sebagian lagi akan masuk ke jalur empedu. Metil orange larut dalam air sehingga secara kuantitatif akan diekresikan melalui cairan empedu. Metil orange mengalami metabolisme di hati oleh azo reduktase membentuk amina primer dan metabolit lainnya yang dapat dihidrolisis dan diikat oleh protein hati sehingga metil orange dapat menyebabkan terjadinya kanker hati.

2.5 Reaksi Fotokatalisis Semikonduktor

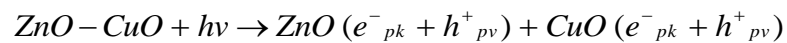
Menurut Lu., 2011, mekanisme reaksi fotokatalitik melalui beberapa tahap yaitu : absorpsi sinar oleh semikonduktor sehingga menyebabkan pembentukan dan pemisahan (e^-) dan (h^+), absorpsi reaktan, reaksi redoks, dan desorpsi polutan.

Pengaktifan semikonduktor yang disuspensikan dalam larutan berair dengan sinar yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari *bandgap* energi semikonduktor akan menyebabkan elektron pada pita valensi (pv) tereksitasi ke pita konduksi (pk). Eksitasi ini menyebabkan terbentuknya

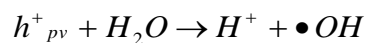
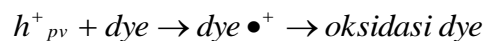
hole yang bermuatan positif pada pv (h^+) dan elektron yang bermuatan negatif pada pk sehingga terbentuklah pasangan elektron (e^-) dan hole (h^+) pada permukaan semikonduktor. Reaksi fotokatalitik ini dilakukan dengan menggunakan semikonduktor ZnO yang dikompositkan dengan CuO sehingga dapat diaktifkan oleh sinar pada spektrum sinar tampak.

ZnO-CuO yang disuspensikan dalam air apabila diiradiasi dengan sinar UV akan membentuk *Reactive Oxygen Spesies* (ROS) atau molekul oksigen reaktif yang akan mendegradasi zat warna metil orange menjadi intermediet yang lebih sederhana yang kurang atau tidak beracun. Mineralisasi sempurna metil orange akan menghasilkan CO_2 dan H_2O . OH^\bullet yang terbentuk merupakan oksidator utama yang sangat kuat, nonselektif, dan destruktif (Li., 2009).

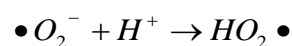
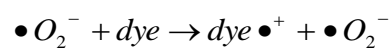
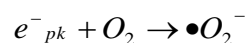
Reaksi yang terjadi pada pengaktifan ZnO-CuO dengan adanya sinar (Daneshvar., 2004)

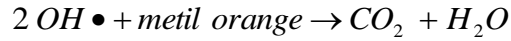
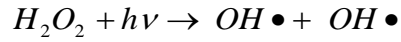
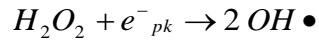
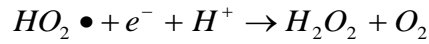


Reaksi pada permukaan pita valensi

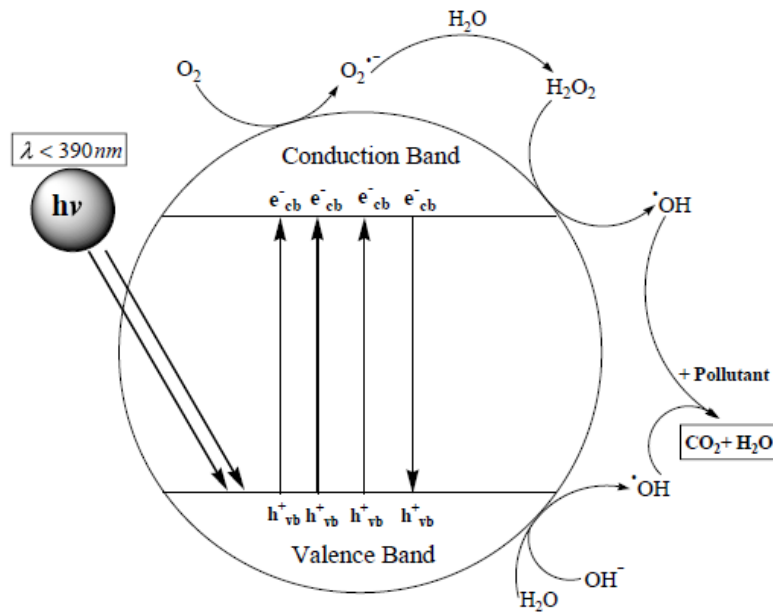


Reaksi pada permukaan pita konduksi





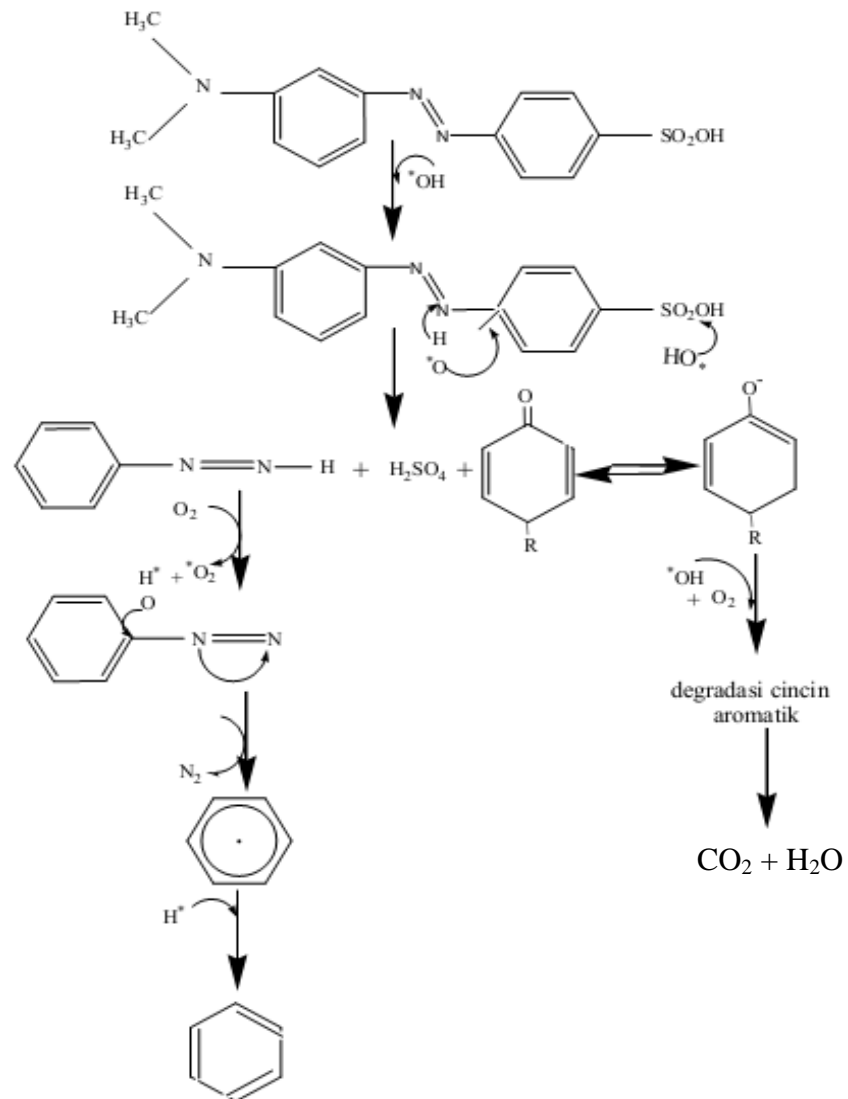
Mekanisme reaksi degradasi zat warna pada permukaan semikonduktor.



Gambar VII. Mekanisme Reaksi Fotokatalitik metil orange pada permukaan ZnO (Daneshvar., 2003).

Tahapan reaksi degradasi metil orange diawali dengan oksidasi gugus utama senyawa azo oleh hidroksi radikal menghasilkan senyawa fenil dan fenoksi. Pada tahap berikutnya dengan adanya oksigen terlarut, akan terjadi pengikatan ion hidrogen dan radikalnya pada fenil. Selanjutnya akan keluar gas nitrogen yang diikuti dengan proses reduksi pada radikal cincin benzen menjadi senyawa aromatik sederhana. Radikal fenoksi akan teroksidasi oleh radikal hidroksil menjadi gugus benzen. **Gambar VIII dan IX** adalah tahapan mekanisme degradasi metil orange (Comparelli, 2005).

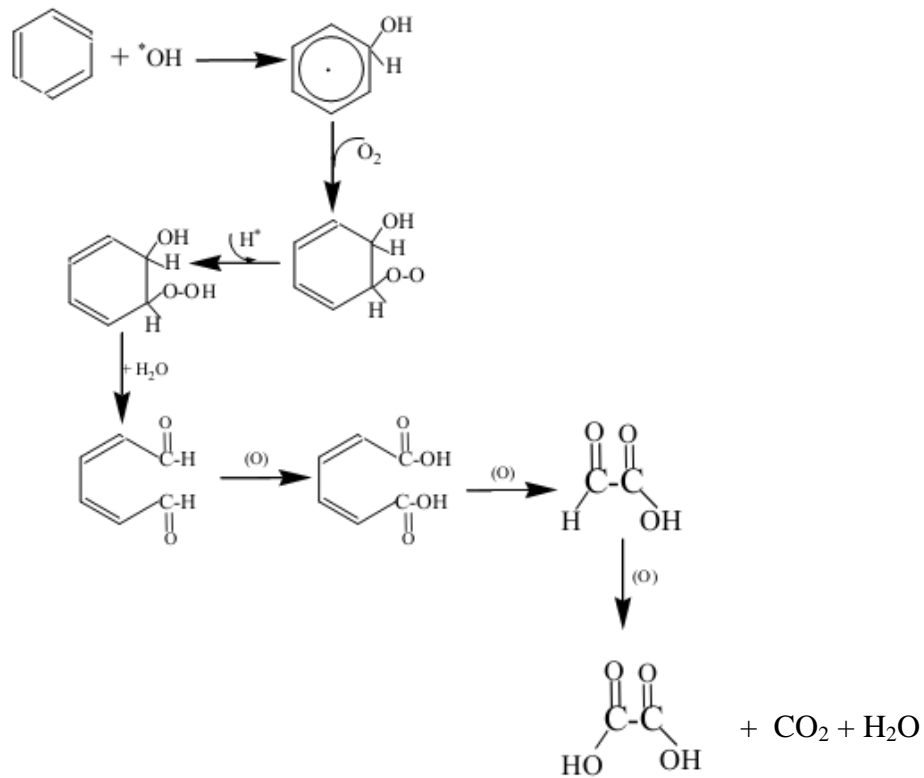
Tahapan selanjutnya cincin aromatik benzen akan terdegradasi menjadi radikal fenol. Reaksi dengan oksigen terlarut menghasilkan hidroksi hidroperoksida yang tidak stabil.



Gambar VIII. Mekanisme degradasi metil orange (Comparelli., 2005).

Reaksi berikutnya adalah terjadinya penghilangan satu molekul air dan pemutusan cincin aromatis dari hidroksi hidroperoksida menjadi mukodialdehid. Mukodialdehid kemudian teroksidasi mejadi asam mukanot Pada proses oksidasi selanjutnya akan terbentuk glioksial yang kemudian

teroksidasi menjadi asam oksalat. Produk akhirnya setelah metil orange mengalami mineralisasi sempurna yaitu CO_2 dan H_2O .

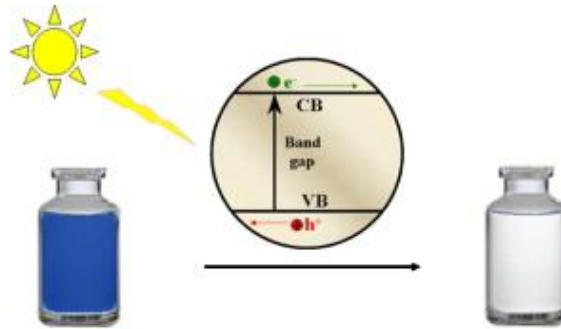


Gambar IX. Mekanisme pembukaan cincin benzena.

Metode fotokatalitik dapat digunakan untuk mendegradasi polutan organik, remediasi bakteri, virus, dan reduksi senyawa logam berbahaya. Control juga dilakukan saat uji aktifitas fotokatalitik ZnO dan ZnO-CuO yaitu dengan melakukan penyinaran pada keadaan gelap untuk mengetahui adsorpsi zat warna metil orange pada permukaan katalis dan fotodegradasi zat warna metil orange di bawah sinar UV dan sinar tampak tanpa penambahan katalis (Comparelli., 2005; Wang., 2007; Alammari., 2011; Lu., 2011).

Pengukuran presentase degradasi zat warna metil orange dilakukan dengan mengukur absorbansi zat warna metil orange sebelum dan setelah penyinaran dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada serapan maksimum 464 nm (Wang., 2007).

Proses penyinaran zat warna ditunjukkan oleh gambar



Gambar X. Fotokatalisis zat warna dengan bantuan semikonduktor (Daneshvar., 2003)..

2.6 Aktifitas Antibakteri

ZnO merupakan *trace metal* yang sangat esensial untuk metalloenzim yang mempunyai aktifitas biologi yang tinggi dan dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan bakteri secara efektif. Sifat antibakteri ZnO sangat dipengaruhi oleh konsentrasi, ukuran, aktifitas fotokatalitik, jenis bakteri, dan luas permukaan yang dapat menyebabkan membran mikroba dapat berinteraksi dengan permukaan ZnO (Jafari., 2011; Zarrindokht., 2011). Ukuran yang semakin kecil akan menyebabkan peningkatan sifat antibakteri (Laura., 2006; Zhang., 2008; Zarrindokht., 2011; Trandafilovi., 2012). Sifat antibakteri diuji terhadap dua jenis bakteri yaitu bakteri gram positif *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) dan gram negatif *Escherichia coli* (*E.coli*).

Perbedaan bakteri gram positif dan negatif terletak pada struktur dan komposisi membran sel. Bakteri gram negatif mempunyai lapisan peptidoglikan yang tipis dengan diameter 5-10 nm. Komponen utama penyusun membran selnya yaitu lipoprotein dengan membran luar tersusun oleh lipopolisakarida. Bakteri gram positif mempunyai lapisan peptidoglikan yang lebih tebal 20-80 nm. Komponen terbesar membrannya yaitu asam teikoat yang berada antara membran sitoplasma dan lapisan peptidoglikan (Trandafilovi., 2012 ; Amornpitoksuk., 2012).

ZnO-CuO mempunyai aktifitas antibakteri yang lebih besar dibandingkan *single* semikonduktor ZnO karena penggabungan ZnO dengan CuO menyebabkan luas permukaannya lebih besar, adanya transfer e^- dan h^+ memperpanjang waktu rekombinasi e^- dan h^+ , dan semakin mudahnya interaksi dengan membran sel mikroba. (Jafari., 2011; Liu., 2012). Pembentukan Molekul oksigen reaktif (ROS) merupakan faktor utama yang menyebabkan terjadinya inhibisi pertumbuhan sel bakteri (Premanathan., 2011; Trandafilovi., 2012)

Mekanisme inhibisi bakteri melalui beberapa mekanisme yaitu :

1. Partikelnya mengalami penetrasi di dalam sel
2. Partikelnya terinkorporasi pada sel membran sehingga menyebabkan pecahnya membran sel dan keluarnya zat intraselular sehingga menyebabkan kematian sel.
3. Terjadinya pemekatan partikel di dalam cairan membran sel bakteri
4. Partikel dapat mengganggu berbagai metabolisme dalam sel (Jafari., 2011; Wang., 2010).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium membran BTPK (Bidang Teknologi Proses dan Katalisis) Gedung 80 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung pada bulan Januari sampai Juni 2012.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Spektrofotometer UV/Vis (UV-1700 pharماسpec UV-Vis *Spectrophotometer*, Shimadzu), lampu merkuri (Philips, $\lambda \geq 254$ nm, 15 watt), lampu wolfram (Philips, 15 watt), Ultrasonic VC-1 dengan frekuensi 20 kHz, *X-Ray diffraction* (XRD, Philips Expert X-Ray dengan radiasi CuK- α $\lambda = 0.15418$ nm), *Scanning Electron Microscopy* Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX, Hitachi, X-650), *refrigerated microcentrifuged*, oven, *muffle furnace*, *Particle Size Analyzer* (PSA, tipe Analysette 22 NanoTec plus), dan peralatan gelas lainnya.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ZnCl₂ (Merck), CuSO₄ · 5 H₂O (Merck), Na₂CO₃ (Merck), KOH (Merck), amonia, etanol, *cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB, Merck), Medium Nutrien Agar (NA, Neogen), Medium Nutrien Broth (NB, Neogen), *Escherichia*

coli (*E.coli*), *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*), NaCl (Merck), Metil orange (Merck), dan akuades.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Sintesis Katalis

3.3.1.1 Katalis ZnO

50 mL larutan KOH 0,2 M dicampur dengan 50 mL larutan CTAB 0,02 M dan distirer selama 10 menit. Selanjutnya ditambahkan dengan 100 mL larutan larutan ZnCl₂ 0,1 M dan distirer selama 15 menit. Campuran dipanaskan pada suhu 50°C dan diiradiasi ultrasonik pada frekuensi 20 kHz dengan daya 200 Watt selama satu jam. Campuran selanjutnya disentrifus pada kecepatan 5000 rpm selama 10 menit, supernatannya dibuang. Endapannya dicuci dengan 30 mL akuades dan 20 mL etanol absolut. Endapan dikeringkan dengan oven pada suhu 50°C selama 15 jam. Dikalsinasi pada suhu 500°C selama 2 jam dan dibandingkan ZnO yang dihasilkan dengan dan tanpa kalsinasi. Prosedur yang sama juga dilakukan dengan memvariasikan jenis basa yang digunakan yaitu Na₂CO₃ dan NH₄OH serta variasi pH 9,5 dan 11,5

3.3.1.2 Katalis CuO

50 mL larutan KOH 0,2 M dicampur dengan 50 mL larutan CTAB 0,02 M dan distirer selama 10 menit. Selanjutnya ditambahkan dengan 100 mL larutan larutan CuSO₄ 0,1 M dan distirer selama 15 menit. Campuran dipanaskan pada suhu 50 °C dan diiradiasi ultrasonik pada frekuensi 20

kHz dengan daya 200 Watt selama satu jam. Campuran selanjutnya disentrifus pada kecepatan 5000 rpm selama 10 menit, supernatnya dibuang. Endapannya dicuci dengan 30 mL akuades dan 20 mL etanol absolut. Endapan dikeringkan dengan oven pada suhu 50°C selama 15 jam. Dikalsinasi pada suhu 800°C selama 2 jam dan dibandingkan CuO yang dihasilkan dengan dan tanpa kalsinasi.

3.3.1.3 Katalis ZnO-CuO

Dicampurkan 0,2726 ZnCl₂, 0,2497 g CuSO₄ · 5 H₂O, 0,5611 g KOH dan 0,1093 g CTAB (2:1:10:0.3) dilarutkan dengan akuades sampai volume larutan 30 mL. Kemudian distirer selama 15 menit Campuran dipanaskan pada suhu 50 °C dan diiradiasi ultrasonik pada frekuensi 20 kHz dengan daya 200 Watt selama satu jam. Campuran selanjutnya disentrifus pada kecepatan 5000 rpm selama 10 menit, supernatnya dibuang. Endapannya dicuci dengan 30 mL akuades dan 20 mL etanol absolut. Endapan dikeringkan dengan oven pada suhu 50°C selama 15 jam. Dikalsinasi pada suhu 500°C selama 5 jam dan dibandingkan ZnO-CuO yang dihasilkan dengan dan tanpa kalsinasi. Prosedur yang sama juga dilakukan dengan memvariasikan perbandingan komposisi prekursornya yaitu ZnCl₂ : CuSO₄ (3:1). dan jenis basa yang lain yaitu Na₂CO₃ dengan perbandingan komposisi prekursornya yaitu ZnCl₂ : CuSO₄ (2:1 dan 3:1).

3.3.2 Karakterisasi katalis ZnO-CuO

Absorbansi dari ZnO sebelum dan sesudah dikompositkan dengan CuO diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Ukuran partikel dan distribusinya diukur dengan menggunakan alat PSA, sedangkan SEM-EDX digunakan untuk mengetahui morfologi komposit yang dihasilkan dan komposisinya. Struktur dan ukuran kristal didapatkan dari hasil analisis menggunakan XRD.

3.3.3 Uji aktifitas fotokatalitik untuk degradasi metil orange

3.3.3.1 Pengaruh konsentrasi awal metil orange

20 mL suspensi yang mengandung 1, 5, dan 10 ppm metil orange dan katalis ZnO-CuO 500 ppm diiradiasi dengan sinar UV selama 8 jam sambil distirer. Setelah fotokatalisis selesai, larutan disentrifus pada 5000 rpm selama 10 menit dan supernatannya dipisahkan. Absorbansi supernatannya ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer pada $\lambda = 464$ nm. Prosedur yang sama juga dilakukan dengan menggunakan katalis ZnO.

3.3.3.2 Pengaruh waktu radiasi

20 mL suspensi yang mengandung 5 ppm metil orange dan katalis ZnO-CuO nanopartikel 500 ppm diiradiasi dengan sinar UV dengan variasi waktu 4, 6, 8, dan 23 jam sambil distirer. Setelah fotokatalisis selesai, larutan disentrifus pada 5000 rpm selama 10 menit dan supernatannya dipisahkan. Absorbansi supernatannya ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer pada $\lambda = 464$ nm

3.3.3.3 Pengaruh jenis katalis

20 mL suspensi yang mengandung 5 ppm metil orange dan katalis ZnO-CuO 500 ppm diiradiasi dengan sinar UV selama 23 jam sambil distirer. Setelah fotokatalisis selesai, larutan disentrifus pada 5000 rpm selama 10 menit dan supernatannya dipisahkan. Absorbansi supernatannya ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer pada $\lambda = 464$ nm. Prosedur yang sama juga dilakukan dengan menggunakan katalis ZnO dan CuO yang disintesis dengan kondisi yang berbeda serta kontrol dilakukan tanpa penambahan katalis dan tanpa penyinaran.

3.3.3.4 Pengaruh pH larutan

20 mL suspensi yang mengandung 5 ppm metil orange dan katalis ZnO-CuO 500 ppm divariasikan pH larutannya menjadi 5, 7, dan 10 dengan menambahkan NaOH 1 M dan HCl 1 M. Campuran diiradiasi dengan sinar UV selama 23 jam sambil distirer. Setelah fotokatalisis selesai, campuran disentrifus pada 5000 rpm selama 10 menit dan supernatannya dipisahkan. Absorbansi supernatannya ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer pada λ maksimumnya.

3.3.4 Uji Aktifitas Antibakteri

Uji aktifitas antibakteri dilakukan terhadap bakteri gram positif yaitu *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) dan bakteri gram negatif yaitu *Escherichia coli* (*E.coli*). Inokulum bakteri dibuat dengan cara melarutkan 1 ose *E.coli* atau *S.aureus* dalam 10 mL larutan NaCl 0.9 %.

Dipipet 0.5 mL inokulum ditambah dengan katalis ZnO-CuO dan media NB sehingga volume campuran menjadi 5 mL, sedangkan konsentrasi katalisnya menjadi 500 ppm. Campuran selanjutnya diinkubasi selama 21 jam dan ditentukan nilai OD (*Optical Density*) dengan spektrofotometer pada λ (panjang gelombang) = 660 nm. Prosedur yang sama juga dilakukan dengan variasi waktu inkubasi 4 dan 24 jam serta dengan menggunakan ZnO dan CuO.

Ditentukan persentase inhibisi sel bakteri dengan rumus

$$\% \text{ inhibisi sel} = 100 \% - \left(\frac{A \text{ sampel terkoreksi}}{A \text{ bakteri}} \right)$$

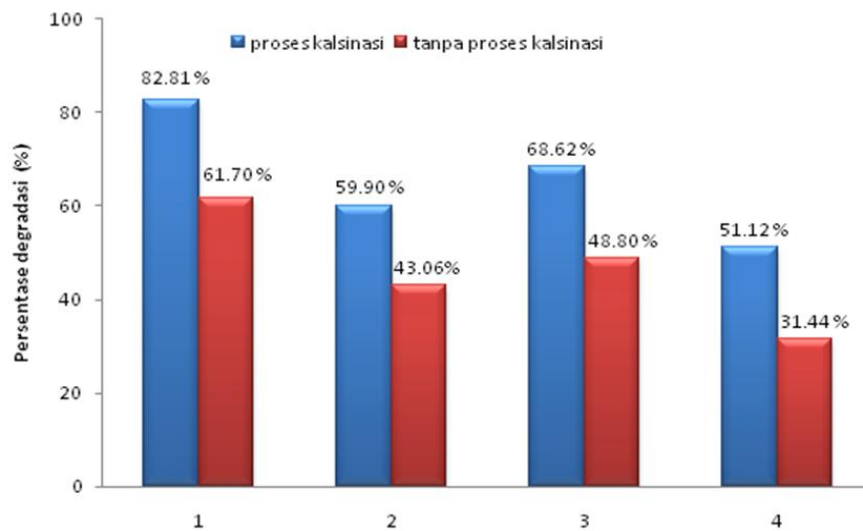
Keterangan : A sampel terkoreksi = A (bakteri+sampel)- A sampel

A = Absorbansi rata-rata

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh komposisi prekursor, jenis basa, dan proses kalsinasi pada sintesis katalis.

Komposit ZnO-CuO yang disintesis dengan kondisi yang berbeda diuji aktifitas fotokatalitiknya untuk degradasi metil orange. **Gambar XI** menunjukkan bahwa beberapa pengontrolan yang dilakukan pada sintesis ZnO-CuO seperti pengaruh komposisi prekursor, jenis basa, dan proses kalsinasi mempengaruhi aktifitas fotokatalitik komposit ZnO-CuO yang dihasilkan.



1 ZnO-CuO (KOH) 2 : 1

2 ZnO-CuO (KOH) 3 : 1

3 ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2 : 1

4 ZnO-CuO (Na₂CO₃) 3 : 1

* KOH atau Na₂CO₃ = basa yang digunakan saat sintesis katalis

* 2:1 atau 3:1 = perbandingan prekursor ZnCl₂ : CuSO₄

Gambar XI. Pengaruh komposisi prekursor, jenis basa, dan proses kalsinasi pada sintesis katalis terhadap persentase degradasi metil orange.

Komposit ZnO-CuO disintesis dengan menggunakan dua jenis basa yang berbeda yaitu KOH dan Na₂CO₃. Komposit yang disintesis

menggunakan basa KOH mempunyai aktifitas fotokatalitik yang lebih tinggi dibandingkan dengan Na_2CO_3 . Hal ini disebabkan karena jari-jari ion K (kalium) lebih besar daripada Na (Natrium) sehingga ion K akan sulit terinkorporasi pada kisi kristal ZnO. Akan tetapi jika menggunakan Na_2CO_3 , maka ion Na dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan kristal karena ion Na^+ dapat berkompetisi dengan ion Zn^{2+} yang akan bereaksi dengan ion OH^- .

Perbandingan prekursor juga mempengaruhi aktifitas fotokatalitik komposit ZnO-CuO. Aktifitas fotokatalitik komposit ZnO-CuO yang disintesis dengan perbandingan prekursor ZnCl_2 dan CuSO_4 2:1 lebih tinggi dibandingkan 3:1. Komposisi prekursor yang lebih besar menyebabkan tingkat kejenuhan larutan akan semakin tinggi sehingga inti kristal yang terbentuk terlalu cepat sehingga ukuran partikelnya akan semakin besar karena terjadinya agglomerasi inti kristal yang terbentuk.

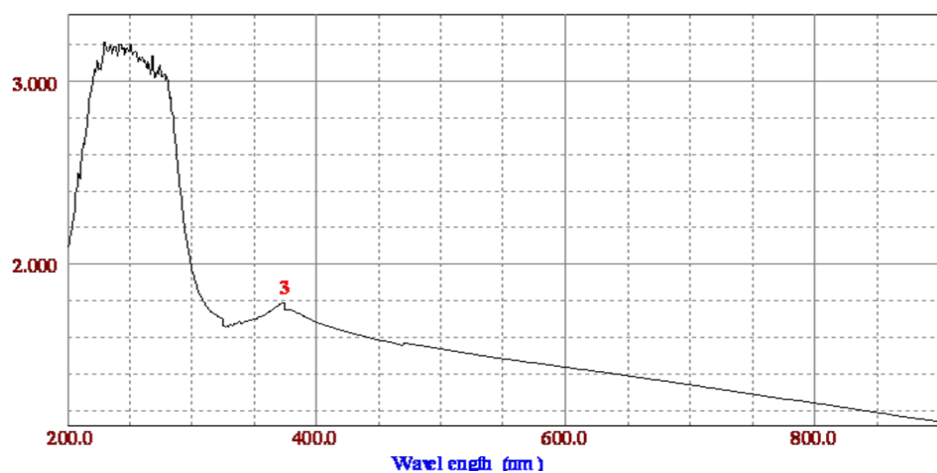
Proses kalsinasi yang dilakukan pada sintesis komposit ZnO-CuO menyebabkan aktifitas fotokatalitiknya meningkat. Peningkatan aktifitas fotokatalitik ini disebabkan karena pada saat kalsinasi terjadinya dekomposisi surfaktan CTAB dan pembentukan kristal lebih sempurna. Struktur kristal lebih dominan mempengaruhi aktifitas fotokatalitik semikonduktor dibandingkan morfologi, ukuran partikel, dan dispersi ukurannya (Liu., 2008; Rai., 2010; Lu., 2011; Shouqiang., 2010).

Uji aktifitas fotokatalitik menunjukkan bahwa komposit ZnO-CuO yang disintesis dengan perbandingan prekursor ZnCl_2 dan CuSO_4 2:1 baik dengan basa KOH atau Na_2CO_3 lebih efektif untuk mendegradasi metil

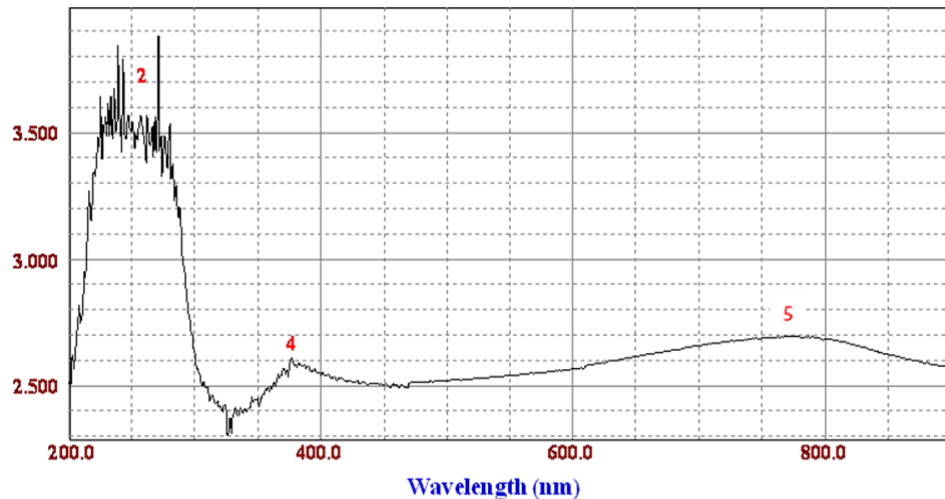
orange . Selanjutnya dilakukan uji antibakteri terhadap kedua komposit ini untuk mengetahui komposit manakah yang mempunyai aktifitas fotokatalitik paling tinggi serta dapat menghambat pertumbuhan bakteri secara optimal. **Gambar XX** menunjukkan bahwa komposit yang disintesis dengan perbandingan prekursor ZnCl_2 dan CuSO_4 2:1 menggunakan basa KOH mempunyai aktifitas antibakteri yang lebih tinggi sehingga komposit inilah yang dipilih untuk dikarakterisasi lebih lanjut.

4.2 Karakterisasi komposit ZnO-CuO

Penggabungan ZnO dengan CuO yang mempunyai *bandgap* sempit dapat mengurangi *bandgap* ZnO sendiri sehingga penyerapan ZnO bergeser ke daerah sinar tampak yang ditunjukkan oleh **Gambar XII dan XIII**. Spektrum spektrofotometer UV-Vis menunjukkan serapan ZnO berada pada $\lambda=373,9$ nm dan setelah dikompositkan dengan CuO serapan ZnO bergeser ke arah sinar tampak yaitu pada $\lambda=775,3$ nm.



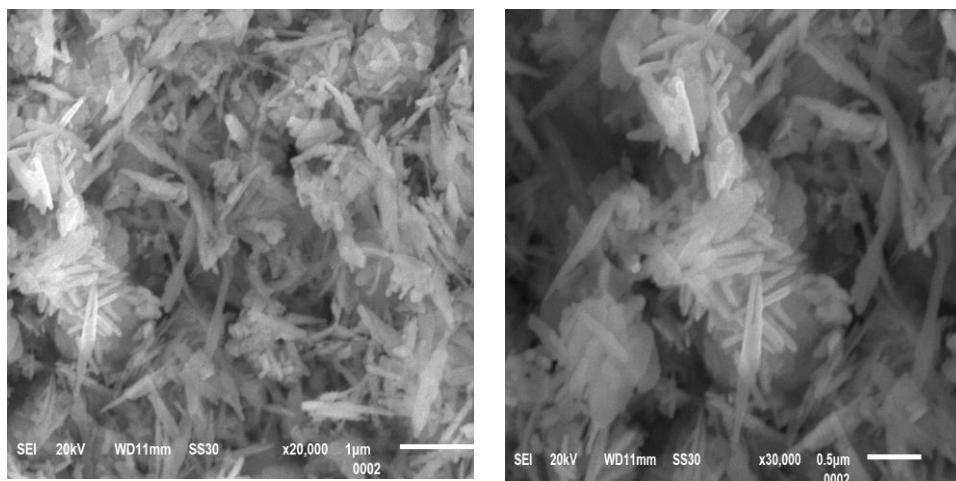
Gambar XII. Serapan UV-Vis ZnO



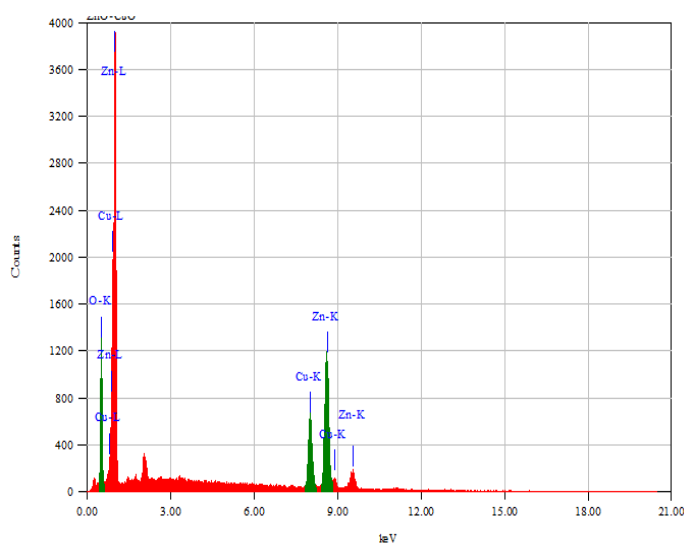
Gambar XIII. Serapan UV-Vis ZnO-CuO

Morfologi ZnO-CuO nanokomposit setelah dianalisis dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menunjukkan partikel yang dihasilkan mempunyai kehomogenan tinggi dan berbentuk batang yang dapat dilihat pada **Gambar XIV**. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa metode *sonochemistry* dapat menghasilkan komposit ZnO-CuO dengan tingkat kehomogenan tinggi. Penggunaan CTAB pada saat sintesis dapat menjaga orientasi pertumbuhan komposit sehingga dihasilkan partikel berbentuk batang. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa partikel dengan bentuk batang mempunyai aktifitas fotokatalitik yang lebih bagus dibandingkan partikel dengan bentuk bulat (Alamar., 2011).

Komposit ZnO-CuO yang dihasilkan mempunyai kemurniaan yang tinggi berdasarkan hasil SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) yang ditunjukkan oleh **Gambar XV**, hanya terdiri dari atom Zn, Cu, dan O dengan perbandingan 56,35 %, 23,86 %, dan 19,79 % tanpa atom pengotor lain.

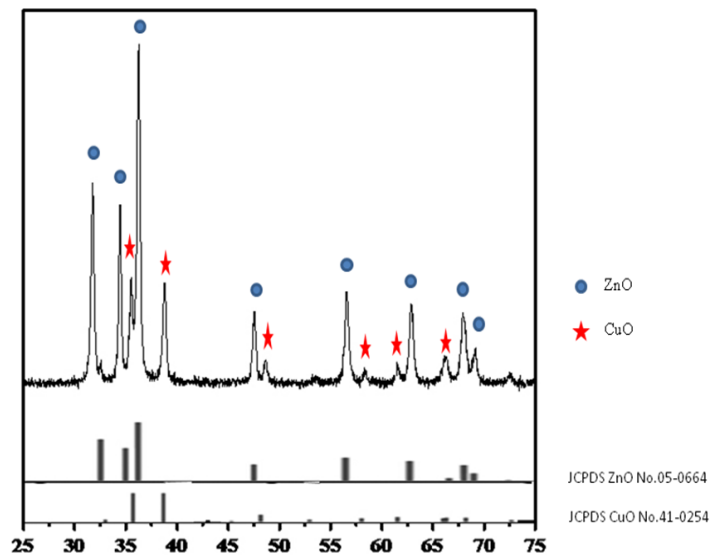


Gambar XIV. Morfologi ZnO-CuO setelah dianalisis dengan SEM



Gambar XV. Komposisi ZnO-CuO setelah dianalisis dengan SEM-EDX

Karakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*) digunakan untuk mengetahui kemurnian, struktur kristal, dan ukuran kristal. **Gambar XVI** menunjukkan pola difraksi sinar-X dibandingkan dengan standar JCPDS (*Join Comintee on Powder Diffraction Standards*) untuk menentukan kemurnian dan struktur kristal material yang dianalisis.

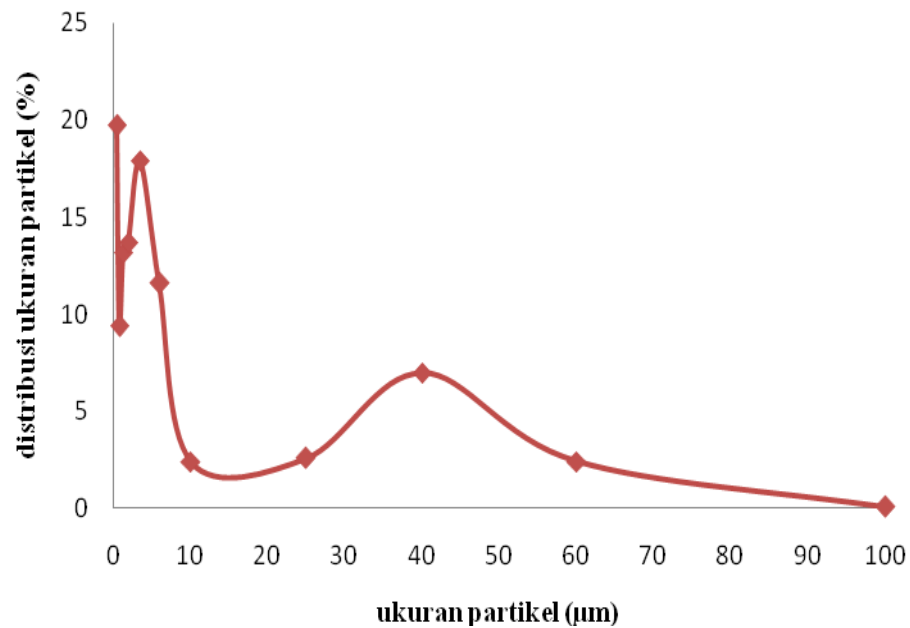


Gambar XVI. Spektrum XRD dari ZnO-CuO dan standar JCPDS.

Komposit yang dihasilkan mempunyai kemurnian tinggi karena tidak ada puncak pengotor selain puncak ZnO dan CuO. ZnO yang dihasilkan mempunyai struktur *hexagonal wurtzite* sesuai dengan standar JCPDS NO.05-0664.yang mempunyai puncak tertinggi pada sudut $2\theta=36,250^\circ$ dengan parameter kisi $a=b=0,325$ nm dan $c=0,521$ nm (Raghvendra., 2007; Hayat., 2011). CuO yang dihasilkan mempunyai struktur *monoclinic* yang mempunyai puncak tertinggi pada sudut $2\theta=35,545^\circ$ dengan parameter kisi $a=0,469$ nm, $b=0,343$ nm, $c=0,513$ nm dan $\beta=99,52^\circ$ sesuai dengan standar JCPDS NO. 41-0254 (Jiang., 2007; Wu., 2002).

Persamaan *Debye-Scherrer* dapat digunakan untuk mengetahui ukuran kristal. Spektrum yang memiliki puncak yang tajam dan sempit menandakan ukuran kistal yang besar, sedangkan puncak yang lebar menandakan ukuran kristal yang kecil. Persamaan *Debye-Scherrer* dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal dengan mengukur FWHM (*Full*

Width at Half Maximum) dari puncak yang mempunyai intensitas tertinggi, ukuran kristal yang didapatkan yaitu 82,6926 nm.



Gambar XVII. Grafik PSA dari ZnO-CuO

Karakterisasi dengan alat PSA (*Particle Size Analyzer*) digunakan untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel. **Gambar XVII** menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel komposit ZnO-CuO yang paling banyak adalah 0,5 µm dengan persen distribusi sebesar 19,7 %. Ukuran partikel sangat erat kaitannya dengan aktifitas fotokatalitik dan inhibisi pertumbuhan bakteri oleh komposit ZnO-CuO. Ukuran partikel yang semakin kecil menyebabkan aktifitas fotokatalitik dan inhibisi pertumbuhan bakteri menjadi meningkat (Laura., 2006; Zhang., 2008; Zarrindokht., 2011; Trandafilovi., 2012). Ukuran partikel yang lebih kecil memberikan luas permukaan yang semakin besar sehingga interaksi komposit ZnO-CuO dengan zat warna metil orange dan membran bakteri semakin mudah.

4.3 Uji aktifitas fotokatalitik untuk degradasi metil orange

4.3.1 Pengaruh konsentrasi awal metil orange

Konsentrasi awal metil orange sangat berpengaruh pada aktifitas fotodegradasi metil orange yang dapat dilihat pada **Lampiran IX** Tabel II. Konsentrasi awal metil orange diuji dengan variasi konsentrasi 1, 5, dan 20 ppm yang disinari selama 8 jam. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi metil orange yang tinggi (20 ppm) mengakibatkan efisiensi kuantum menjadi berkurang. Hal ini disebabkan karena permukaan katalis akan tertutupi oleh metil orange sehingga menyebabkan terhalangnya sinar yang jatuh pada permukaan katalis. Konsentrasi metil orange yang digunakan pada penelitian yaitu 5 ppm karena pada konsentrasi ini persentase degradasi metil orange cukup tinggi sehingga apabila dilakukan pada konsentrasi pada konsentrasi 5 ppm, maka metil orange dengan konsentrasi lebih rendah juga dapat terdegradasi.

4.3.2 Pengaruh waktu radiasi

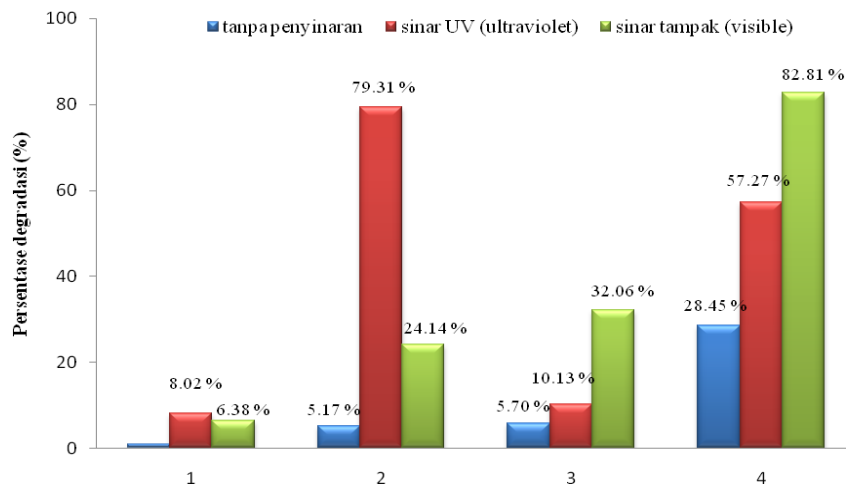
Pengaruh lama penyinaran menunjukkan persentase degradasi metil orange meningkat dengan bertambahnya waktu radiasi mulai dari 4, 6, 8, dan 23 jam, sehingga waktu optimum degradasi metil orange terjadi pada radiasi selama 23 jam. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu irradiasi semakin banyak jumlah $\text{OH}\cdot$ yang terbentuk untuk mendegradasi senyawa metil orange.

4.3.3 Pengaruh jenis katalis

Gambar XVIII menunjukkan efisiensi fotodegradasi metil orange dengan menggunakan katalis ZnO lebih tinggi pada daerah UV (ultraviolet) karena *bandgap* ZnO yang besar (3,2 eV) sehingga energi sinar UV yang dapat menyebabkan fotokonduksi pada permukaan ZnO. ZnO yang dikompositkan dengan CuO menunjukkan persentase degradasi metil orange yang lebih tinggi dibandingkan ZnO pada daerah sinar tampak karena CuO yang dikompositkan dengan ZnO dapat mengurangi *bandgap* dari ZnO sehingga menyebabkan penyerapannya bergeser ke arah sinar tampak. Efisiensi fotokatalitik ZnO-CuO juga lebih tinggi dibandingkan CuO sendiri pada daerah sinar tampak karena pada CuO rekombinasi (e^-) dan (h^+) terjadi dengan cepat.

Penggabungan CuO dengan ZnO menyebabkan waktu rekombinasi (e^-) dan (h^+) dapat diperlambat karena terjadi transfer muatan diantara keduanya yaitu h^+ pada ZnO akan ditransfer pada CuO dan e^- pada CuO akan ditransfer pada ZnO (Zhang., 2010). Hal inilah yang menyebabkan tersedianya cukup waktu bagi metil orange teradsorpsi pada permukaan katalis ZnO-CuO sehingga aktifitas fotokatalitiknya paling tinggi dibandingkan *single* semikonduktor ZnO dan CuO.

Degradasi metil orange masih terjadi walaupun tanpa penyinaran, hal ini disebabkan karena mobilitas elektron tetap terjadi walaupun dalam kondisi gelap, adanya pengaruh suhu ruangan juga dapat menginduksi terjadinya proses fotokonduksi pada permukaan katalis.



1 MO = metil orange

2 MO + ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi

3 MO + CuO (KOH) kalsinasi

4 MO + ZnO-CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi

* KOH = basa yang digunakan saat sintesis katalis

* pH 11,5 = pH larutan saat sintesis katalis

* 2:1 = perbandingan prekursor ZnCl₂ : CuSO₄

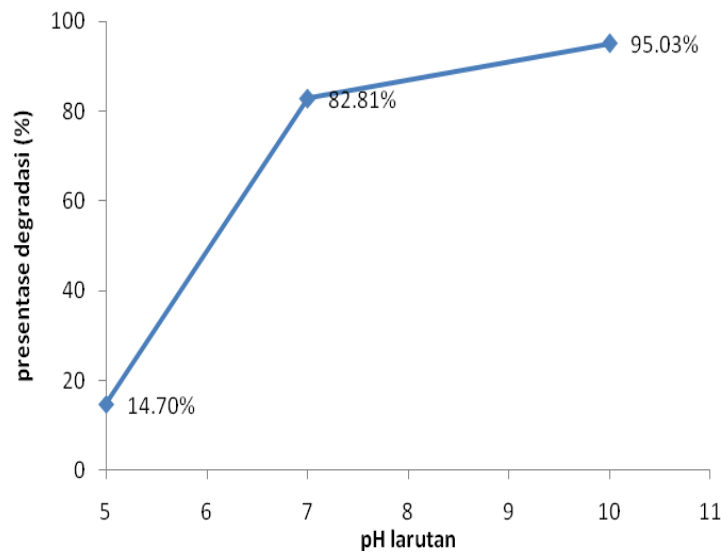
* kalsinasi = proses kalsinasi dilakukan saat sintesis katalis

Gambar XVIII. Pengaruh penyinaran dan jenis katalis terhadap persentase degradasi metil orange.

Faktor lainnya juga disebabkan oleh adsorpsi zat warna metil orange pada permukaan katalis yang mempunyai struktur berpori yang ditunjukkan oleh **Gambar XIV**. Hal ini juga dapat dibuktikan dengan melakukan kontrol pada zat warna metil orange tanpa penambahan katalis dan tanpa penyinaran ternyata persentase degradasi metil orange hanya 0,86 % sehingga kemungkinan terjadinya adsorpsi zat warna metil orange bisa saja terjadi.

4.3.4 Pengaruh pH larutan

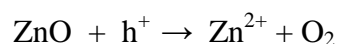
Tahapan selanjutnya dilakukan uji aktifitas fotokatalitik ZnO-CuO untuk fotodegradasi metil orange pada berbagai pH larutan (asam, netral, dan basa).



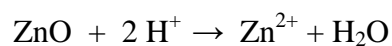
Gambar XIX. Pengaruh pH larutan terhadap persentase degradasi metil orange.

Gambar XIX menunjukkan bahwa persentase degradasi metil orange pada pH basa (10) lebih tinggi dibandingkan pada pH netral (pH=7) dan asam (pH=5). Hal ini disebabkan karena pada pH basa konsentrasi OH^- dalam larutan semakin banyak yang menyebabkan peningkatan jumlah $\text{OH}\cdot$ yang terbentuk sehingga metil orange akan semakin cepat terdegradasi (Comparelli., 2005; Zhang., 2010). Efisiensi fotodegradasi sangat kecil pada pH asam karena konsentrasi OH^- dalam larutan lebih sedikit dibandingkan pada pH basa sehingga jumlah $\text{OH}\cdot$ yang terbentuk juga berkurang. Fotokorosi dan disolusi katalis juga terjadi pada pH asam sehingga menyebabkan efisiensi fotokatalis rendah pada pH asam (Wang., 2007).

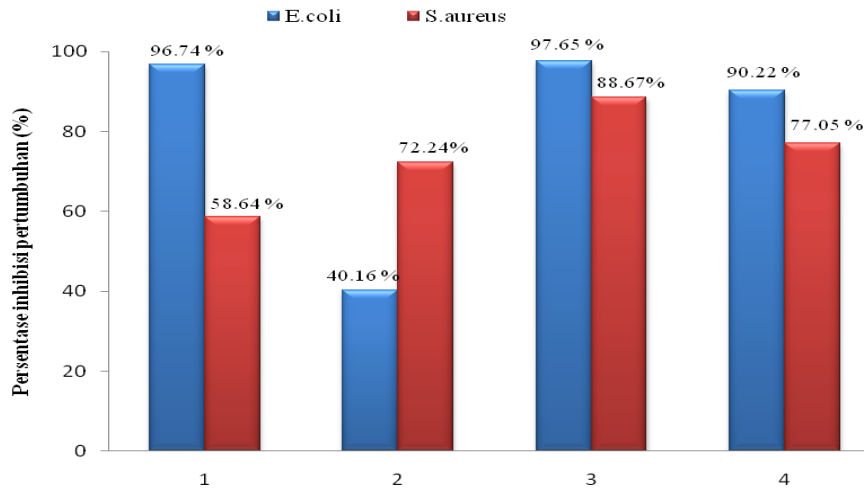
Reaksi fotokorosi ZnO.



Reaksi disolusi ZnO.



4.5 Uji aktifitas antibakteri



1. ZnO (KOH) pH= 11,5 kalsinasi

2. CuO (KOH) kalsinasi

3. ZnO-CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi

4. ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2 : 1 kalsinasi

* KOH = basa yang digunakan saat sintesis katalis

* pH 11.5 = pH larutan saat sintesis katalis

* 2:1 = perbandingan prekursor ZnCl₂ : CuSO₄

* kalsinasi = proses kalsinasi dilakukan saat sintesis katalis

Gambar XX. Pengaruh jenis katalis terhadap persentase inhibisi pertumbuhan sel bakteri .

Efek bakterisidal (kemampuan mematikan bakteri) partikel oksida logam disebabkan karena adanya pembentukan *Reactive Oxygen Spesies* (ROS) seperti : OH•, H₂O₂ dan O₂⁻• yang dapat merusak dinding sel bakteri. ROS yang dihasilkan ZnO, CuO, dan ZnO-CuO dapat menyebabkan peroksidasi membran lipid dan menginfungsionalisasikan membran. H₂O₂ adalah komponen utama yang dapat meningkatkan aktifitas antibakteri karena dapat mengalami penetrasi pada membran sel bakteri (Dutta., 2012; Trandafilovi., 2012; Amornpitoksuk., 2012).

Jenis bakteri yaitu gram positif dan gram negatif juga ikut menentukan aktifitas antibakteri katalis, hal ini disebabkan karena perbedaan

struktur dan komposisi membran selnya. Bakteri *E.coli* lebih sensitif terhadap katalis ZnO dibandingkan *S.aureus*, karena mekanisme ZnO dalam menghambat pertumbuhan bakteri selain disebabkan oleh pembentukan ROS (*Reactive Oxygen Spesies*) juga dioptimalkan oleh solubilisasi Zn^{2+} yang dapat merusak membran sitoplasma bakteri (Baek., 2011; Amornpitoksuk., 2012; Jafari., 2011). *S.aureus* lebih resisten dibandingkan *E.coli* karena *E.coli* mempunyai lapisan peptidoglikan yang tipis sedangkan *S.aureus* mempunyai lapisan peptidoglikan yang tebal dimana komponen utama membran selnya terbuat dari asam teikoat (Trandafilovi., 2012).

Mekanisme yang berbeda terjadi pada CuO dalam menghambat pertumbuhan bakteri, pada CuO tidak terjadi solubilisasi Cu^{2+} sehingga Bakteri *S.aureus* lebih sensitif dibandingkan *E.coli*. Kemampuan inhibisi CuO juga disebabkan oleh pembentukan ROS (*Reactive Oxygen Spesies*) namun mekanisme lainnya belum diketahui secara pasti (Perelshtein., 2009; Kasemets., 2009)

ZnO yang dikompositkan dengan CuO dapat menghambat pertumbuhan bakteri secara optimal baik terhadap *E.coli* maupun *S.aureus* karena penggabungan sifat antibakteri kedua oksida logam. ZnO lebih menghambat pertumbuhan bakteri *E.coli* sedangkan CuO lebih menghambat pertumbuhan bakteri *S.aureus*. Faktor lainnya yang juga ikut menentukan yaitu luas permukaannya komposit ZnO-CuO lebih besar, adanya transfer e^- dan h^+ yang dapat memperlambat terjadinya rekombinasi e^- dan h^+ sehingga tersedia cukup waktu bagi komposit untuk berinteraksi dengan dinding sel bakteri.

Insertisi partikel ZnO-CuO dapat menginduksi terjadinya lisis yang diawali dengan peroksidasi membran lipid yang memfasilitasi internalisasi partikel pada sel. Kematian sel disebabkan karena nutrisi, cairan intraselular, dan makromolekul keluar sehingga sel kekurangan nutrisi dan menyebabkan terjadinya pembengkakan sel. Tekanan dari dalam sel akan menyebabkan terjadinya lisis dan kematian bakteri.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Metode sonokimia dapat digunakan untuk menghasilkan komposit ZnO-CuO dengan tingkat kehomogenan tinggi dan CTAB yang ditambahkan dapat menghasilkan partikel dengan bentuk batang. Akan tetapi ukurannya masih dalam dimensi ukuran mikro. Kondisi pada saat sintesis seperti komposisi prekursor, jenis basa, dan proses kalsinasi juga mempengaruhi aktifitas fotokatalitik dan sifat antibakterinya. Aktifitas fotodegradasi komposit ZnO-CuO lebih tinggi pada daerah sinar tampak yang optimum terjadi pada pH basa (10). Komposit ini juga mempunyai aktifitas antibakteri yang lebih tinggi daripada *single* semikonduktor ZnO dan CuO dalam menghambat pertumbuhan bakteri gram positif (*S.aureus*) dan bakteri gram negatif (*E.coli*).

5.2 Saran

Aplikasi untuk menentukan aktifitas fotokatalitik komposit ZnO-CuO sebaiknya dilakukan juga dengan menggunakan energi sinar matahari agar dapat dijadikan rujukan untuk aplikasi langsung dalam mendegradasi polutan organik pada limbah cair dengan bantuan sinar matahari dan intermediet hasil degradasi metil orange sebaiknya dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan LC-MS (*Liquid Chromatography Mass Spectrometry*). Mekanisme inhibisi komposit pada sel bakteri juga perlu dibuktikan dengan melakukan analisis malondialdehid yang terbentuk akibat peroksidasi lemak atau analisis zat yang keluar dari intraselular bakteri saat mengalami lisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Alammar, T dan A.V. Mudring. 2011. Sonochemical Synthesis of 0D, 1D, and 2D Zinc Oxide Nanostructures in Ionic Liquids and Their Photocatalytic Activity. *Journal Suspension Chemistry*. DOI. (4) : 1796-1804.
- An, T., X. Liu., X. Hu., G. Sheng., J. Fu., dan M. Zhang. 2010. Preparation of a High-Activity ZnO/TiO₂ Photocatalyst via Homogeneous Hydrolysis Method with Low Temperature Crystallization. *Journal Material Letters*. 64 : 1883-1886.
- Amornpitoksuk. P., S. Suwanboon., S.Sangkan., A. Sukhoom dan N. Muensit. 2012. Morphology, Photocatalytic and Antibacterial Activities of Radial Spherical ZnO Nanorods Controlled with a Diblock Copolymer. *Journal Superlattices and Microstructures*.51: 103-113.
- Andres-Verges, M., M.Gallego., M.Lozano-Vila., A.Diaz-Alvarez. 2005. Study of Zinc Oxide Microcrystalline Powders Synthesis. *Current Issues on Multidisciplinary Microscopy Research and Education*. 283-288.
- Applerot, G., N. Perkas., G. Amirian., O. Girshevitz dan A. Gedanken. 2009. Coating of Glass with ZnO via Ultrasonic Irradiation and a Study of Its Antibacterial Properties. *Journal Application and Surface Science*. 256S : S3-S8.
- Baek, Y dan Y. An. 2011. Microbial Toxicity of Metal Oxide Nanoparticles (CuO, NiO, ZnO, and Sb₂O₃) to *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, and *Streptococcus aureus*. *Journal Science and Environment*. 409 : 1603-1608.
- Bian, S.W., I.A.Mudunkotuwa., T. Rupasinghe., dan V. H. Grassian. 2011. Aggregation and Dissolution of 4 nm ZnO Nanoparticles in Aqueous Environments : Influence of pH, Ionic Strength, Size, and Adsorption of Humic Acid. *Journal American Chemistry and Society*. 27 : 6059-6068.
- Changlin, Y., Y. Kai., S. Qing., Y. Jimmy., C. Fangfang., dan L. Xin, 2011. Preparation of WO₃/ZnO Composite Photocatalyst and Its Photocatalytic Performance, *Chines Journal and Catalysis*. 32: 555-565.
- Comparelli, R., E. Fanizza., M.L. Curri., P.D. Cozzoli.,G. Mascolo dan A. Agostiano. 2005. UV-Induced Photocatalytic Degradation of Azo Dyes by Organic-Capped ZnO Nanocrystals Immobilized onto Substrates. *Journal Application and Catlysis*. 60 : 1-11.
- Daneshvar, N., D. Salari., dan A.R, Khataee. 2003. Photocatalytic Degradation of Azo Dye Acid Red 14 in Water Investigation of the Effect Of Operational Parameters. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 157: 111-116.

- Daneshvar, N., D. Salari., dan A.R. Khataee. 2004. Photocatalytic Degradation of Azo Dye Acid Red 14 in Water on ZnO as an Alternative Catalyst to TiO₂. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 162 : 317-322.
- Dutta,R.K., P. Bhavani., Nenavathu., K. Mahesh., A.V.R. Gangishetty., dan Redd. 2012. Studies on Antibacterial Activity of ZnO Nanoparticles by ROS Induced Lipid Peroxidation. *Journal of Biointerfaces*. 94:143-150.
- Fernandes., D.M., W.Hechenleitner., M.F. Silva., M.K.Lima., P.R.S. Bittencourt., R.Silva., M.A.Custodio Melo., dan E.A Pineda. 2009. Preparation and Characterization of NiO, Fe₂O₃,Ni_{0.04}Zn_{0.96}O and Fe_{0.03}Zn_{0.97}O. *Journal of Nano Material*. 118 : 447-452.
- Guanghai, Li., A.Vogelpohl., dan S.Kim, 2004. Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment, *J. Industrial Engineering. Chemistry*. 10 : (1) 33-40.
- Hayat, K., M.A. Gondal., M. Khaled, S. Ahmed., dan A. M. Shems. 2011. Nano ZnO Synthesis by Modified Sol Gel Method and its Application in Heterogeneous Photocatalytic Removal of Phenol from Water. *Journal of Applied and Catalysis*. 393 : 122-129.
- Hongqiang, W., M. Li., L. Jia., dan L. Li. 2010. Surfactant-Assisted in situ Chemical Etching for the General. Synthesis of ZnO Nanotubes Array. *Nanoscale Letter*. 5:1102-1106.
- Jafari, A., M. Ghane.,dan S. Arastoo. 2011. Synergistic Antibacterial Effects of Nano Zinc Oxide Combined with Silver Nanocrystales. *African Journal of Microbiology*. 5(30) : 5465-5473.
- Jiang.Z., Q.Niu., dan W.Peng. 2007. Hydrothermal Synthesis of CuO Nanostructures with Novel Shaped. 12 (1) : 40-44.
- Kas, R., dan O.Birer. 2012. Sonochemical Shape Control of Copper Hydroxysulfates. *Journal of Ultrasound and Sonochemistry*. 19 : 692–700.
- Kasemets, K., A. Ivask., dan H.Dubourguier., A. Kahru. 2009. Toxicity of Nanoparticles of ZnO, CuO and TiO₂ to Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Toxicology*. 23 : 1116-1122.
- Kowsari, E., dan M. R.Ghezelbash. 2012. Ionic Liquid-Assisted Facile Synthesis of ZnO/SnO₂ Nanocomposites and Investigation of Their Photocatalytic Activity. *Journal of Matterial. Letters*. 68 : 17-20.
- Laura, K., Adams., D.Y. Lyon., dan P.J.J. Alvarez. 2006. Comparative Ecotoxicity of Nanoscale TiO₂, SiO₂, and ZnO Water Suspensions. *Journal of Water Res*. 40 : 3527-3532.
- Li, B., dan Y.Wang. Facile Synthesis and Photocatalytic Activity of ZnO-CuO nanocomposite. *Journal of Superlattices Microstructures*. 47: 615-623.

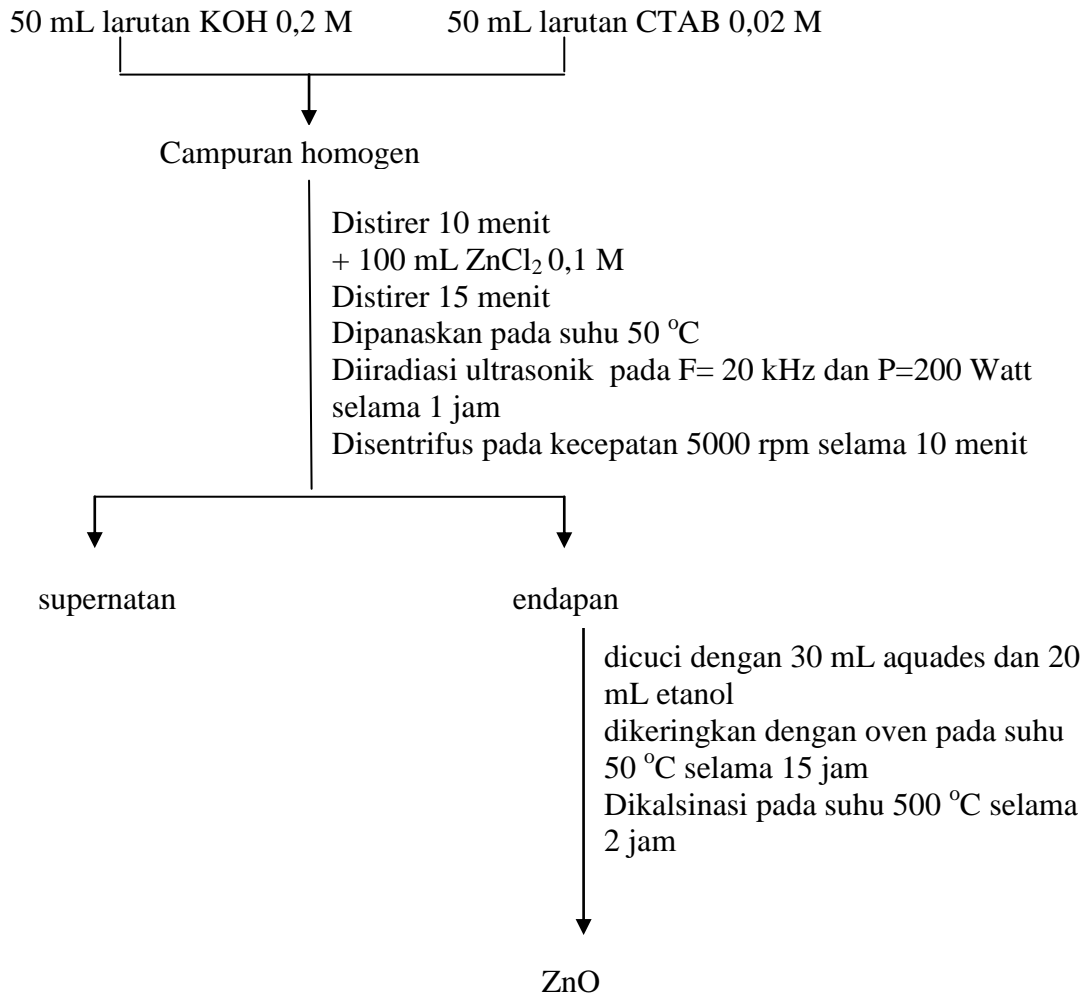
- Li, H., Y. Ni., dan J. Hong. 2009. Ultrasound-Assisted Preparation, Characterization and Properties of Flower-like ZnO Microstructures. *Journal of Scripta Materiala*. 60:524-527.
- Li, X., G. He., G. Xiao., H. Liu., dan M. Wang. 2009. Synthesis and Morphology Control of ZnO Nanostructures in Microemulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*. 333 : 465-473.
- Lu, Y., L. Wang., D. Wang., T. Xie., L. Chen., dan Y. Lin. 2011. A comparative Study on Plate-Like and Flower-Like ZnO Nanocrystals Surface Photovoltage Property and Photocatalytic Activity. *Journal of Material Chemistry and Physic*. 129 : 281-287.
- Liu, Z., J.C.Deng., J.J.Deng., dan F.F.Li. 2008. Fabrication and Photocatalysis of CuO/ZnO Nano-Composites via a New Method. *Journal of Material Science and Engineering*. 150 : 99-104.
- Liu, Z., H.Bai., dan D.D.Sun. 2012. Hierarchical CuO/ZnO Membranes for Environmental Applications Under the Irradiation of Visible Light. *Internasional Journal of Photoenergy*. doi:10.1155/2012/804840.
- Perelshtein, I., G. Applerot., N. Perkas., E. Wehrsuetz-Sigl., A. Hasmann., dan Guebitz. 2009. CuO–Cotton Nanocomposite: Formation, Morphology, and Antibacterial Activity. *Journal of Surface Coating Technology*. 204 : 54-57.
- Premanathan, M., K.Karthikeyan., K.Jeyasubramanian dan G.Manivanna.2011. Selective Toxicity of ZnO Nanoparticles toward Gram-Positive Bacteria and Cancer Cells by Apoptosis through Lipid Peroxidation. *Journal of Nanomedicine and Nanotechnology*. 7 : 184-192.
- Qiu, R., D.Zhang., Y.Mo., L.Song., E.Brewer ,X.Huang., dan Y.Xiong. 2008. Photocatalytic Activity of Polymer-Modified ZnO Under Visible Light Irradiation. *Journal of Hazardous Material*. 156 : 80-85.
- Raghvendra, S.,Y.Avinash C., dan P.S.S. Sanjay. 2007. ZnO Porous Structures Synthesized by CTAB-Assisted Hydrothermal Process. *Journal of Structural Chemistry*. 18:1001-1004.
- Rai, P., J.N.Jo., I.H.Lee., dan Y.T. Yu. 2010. Fabrication of Flower-Like ZnO Microstructures from ZnO Nanorods and Their Photoluminescence properties. *Journal of Material Chemistry and Physic*. 124 : 406-412.
- Reddy., S.G. Ansari., Y.Kim., H.Seo., dan H.Shin. 2007. Room Temperature Synthesis of Needle-Shaped ZnO Nanorods via Sonochemical Method. *Journal of Applied and Surface Science*. 253 : 7622-7626.
- Rohani, A.A., A.Salehi., M.Tabrizi., S. A. Manafi., dan A. Fardafshari. 2010. Synthesis of ZnO Nanostructures via Gel-Casting Method, *Journal Science and Engineering Technology*. 71 :688-691.

- Safni., Maizatisna., Zulfarman., dan T. Sakai. 2007. Degradasi Zat Warna Naphtol Blue Black secara Sonolisis dan Fotolisis dengan Penambahan TiO₂-Anatase. *Jurnal Riset Kimia*. 1 (1) 43-49.
- Safni., U.Loekman., dan F.Febrianti. 2008. Degradasi Zat Warna Sudan I secara Sonolisis dan Fotolisis dengan Penambahan TiO₂-Anatase. *Jurnal Riset Kimia*. 1:(2) 164-170.
- Safni., Zulfarman., dan F. Sari. 2009. Degradasi Metanil Yellow secara Sonolisis dan Fotolisis dengan Penambahan TiO₂-Anatase, *Indonesian Journal and Material Science*. 11:(1), 47-51.
- Sathishkumar, P., R. Sweena., J.J. Wu., dan S.Anandan. 2011. Synthesis of CuO-ZnO Nanophotocatalyst for Visible Light Assisted Degradation of a Textile Dye in Aqueous Solution. *Journal of Chemistry. Engineering*. 171 : 136-140.
- Sheng, X., dan Z. L. Wang. 2011. One-dimensional ZnO Nanostructures: Solution Growth and Functional Properties, *Journal of Nanotechnology Reserach*. 1-46.
- Shouqiang, W, S., Y.C.Y. Ma., dan Z. Shao. 2010. Fabrication of CuO/ZnO Composite Films with Cathodic co-Electrodeposition and Their Photocatalytic Performance. *Journal of Molecules and Catalysis*. 331 : 112-116.
- Trandafilovi, L.V., D.K.Bozani., S.Dimitrijevi., A.S.Luyt., dan V.Djokovi. 2012. Fabrication and Antibacterial Properties of ZnO–Alginate Nanocomposites. *Journal of Carbohydrate Polymers*. 88 : 263-269.
- Vijayakumar, G., S.Devashankar., M.Rathnakumari., dan P.Sureshkumar. 2010. Synthesis of Electrospun ZnO/CuO Nanocomposite Fibers and Their Dielectric and non-Linear Optic Studies. *Journal of Alloys Compound*. 507 :225-229.
- Wongpisupaisan, N., P.Charoonsuk., N.Vittayakorn., dan W.Pecharapa. 2011. Sonochemical Synthesis and Characterization of Copper Oxide Nanoparticles. *Journal of Energy Procedia*. 9: 404-409.
- Wang, H., C.Xie., W.Zhang., S.Cai., Z.Yang., dan Y.Gui. 2007. Comparison of Dye Degradation Efficiency using ZnO Powders with Various Size Scales. *Journal of Hazardous Material*. 141 :645-652.
- Wang, Y.d., C. L. Ma., X. Sun., dan H. Li. 2002. Preparation of Nanocrystalline Metal Oxide Powders with the Surfactant-Mediated Method. *Journal of Inorg. Chemistry and Community*. 5 : 751-755.
- Wang, Z., Y.H. Lee., B.Wu, A. Horst, Y. Kang, Y.J. Tang., D.R.Chen. 2010. Anti-Microbial Activities of Aerosolized Transition Metal Oxide Nanoparticles. *Journal of Chemosphere*. 80 : 525-529.

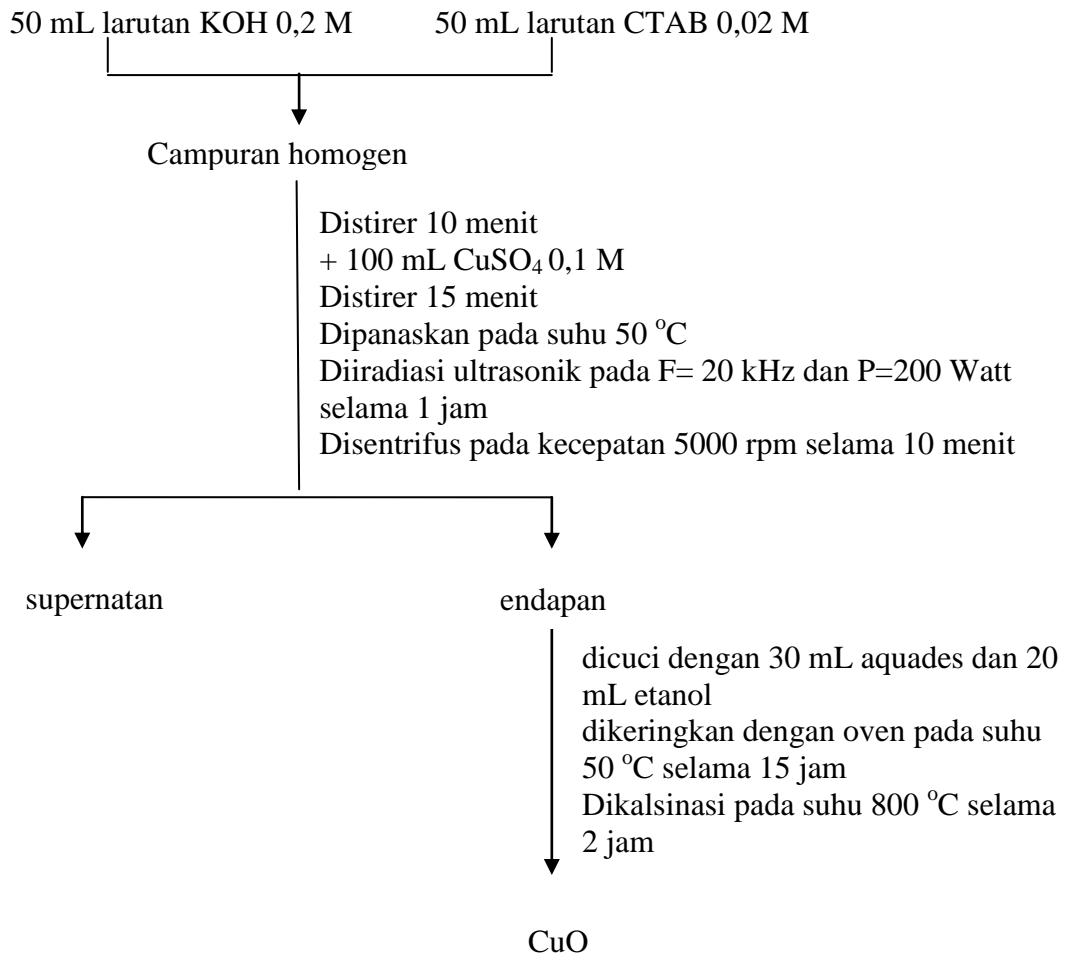
- Wang, Z. L. 2004. Zinc Oxide Nanostructures :Growth, Properties and Applications. *Journal Physic and Condensed Matterial*. 16 : R829-R858.
- Wei, Y.L., dan P.C.Chang. 2008. Characteristics of Nano Zinc Oxide Synthesized Under Ultrasonic Condition. *Journal of Physic Chemistry and Solids*. 69 : 688-692.
- Wongpisutpaisan, N., P.Charoonsuk., N.Vittayakorn., W.Pecharapa, 2011. Sonochemical Synthesis and Characterization of Copper Oxide Nanoparticles. *Journal of Energy Procedia*. 9 :404-409.
- Wu, H.Q., X.Wei., M.Shao., J.Gu., dan M.Qu. 2002. Synthesis of Copper Oxide Nanoparticles using Carbon Nanotubes as Templates. *Journal of Chemistry and Physic*. 364 : 152-156.
- Wu, C., X. Qiau., J.Chen., H. Wang., F.Tan., dan S.Li. 2006. A Novel Chemical Route to Prepare ZnO Nanoparticle. *Journal of Material Letters*. 60 : 1828-1832.
- Xie, J., Y.Li., W.Zhao., L.Bian., dan Y.Wei. 2011. Simple Fabrication and Photocatalytic Activity of ZnO Particles with Different Morphologies. *Journal of Powder Technology*. 207 : 140-144.
- Xiao, Q., S. Huang., J.Zhang., C.Xiao., dan X.Tan. 2008. Sonochemical Synthesis of ZnO Nanosheet. *Journal of Alloy Compound*. 459 : L18-L22.
- Zhang, D. 2010. Synthesis and Characterization of ZnO-doped Cupric Oxides and Evaluation of their Photocatalytic Performance Under Visible Light. *Journal of Transition Metal Chemistry*. 35 DOI 10.1007/s11243-010-9380-z: 689694.
- Zhang, F., dan J. Yang. 2009. Preparation of Nano-ZnO and its Application to the Textile on Antistatic Finishing. *International Journal Chemistry*. 1:(1), 18-22.
- Zhang J., Y. Yang., B. Xu., F. Jiang., dan J. Li.2005. Shape-Controlled Synthesis of ZnO Nano and Micro-Structures. *Journal of Crystal Growth*. 280 : 509-515.
- Zhang, L., Y.Ding., M.Povey., dan D.York. 2008. ZnO Nanofluids-a Potential Antibacterial Agent. *Journal Progress Natural Science*. 18 : 939-944.
- Zarrindokht, E., Z.Karvani., dan P.Chehrazi. 2011. Antibacterial Activity of ZnO Nanoparticle on Gram-positive and Gram-negative bacteria. *African Journal and Microbiology Reserach*. 5(12) : 1368-1373.

LAMPIRAN

Lampiran I. Skema kerja pembuatan katalis ZnO



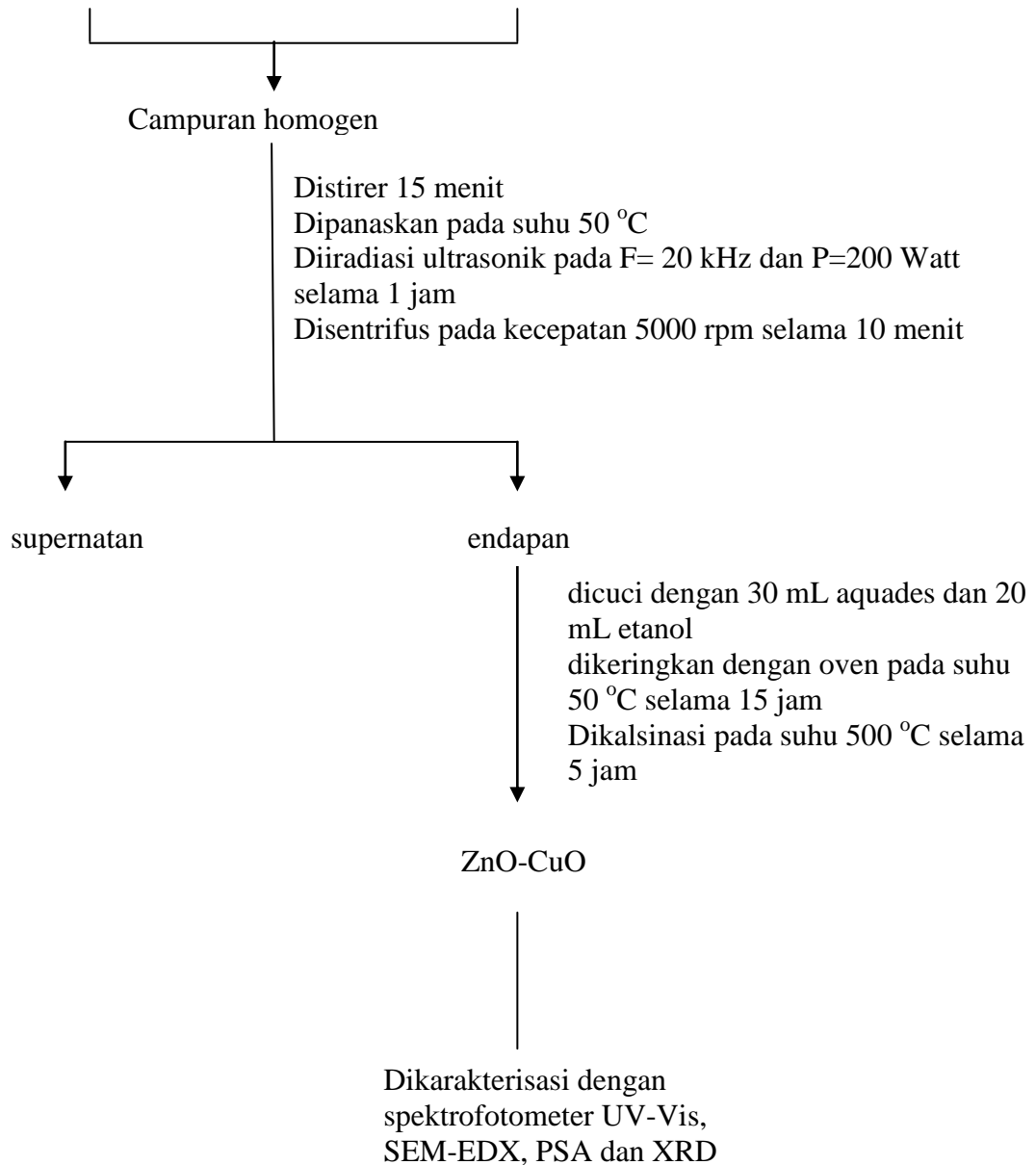
Lampiran II. Skema kerja pembuatan katalis CuO



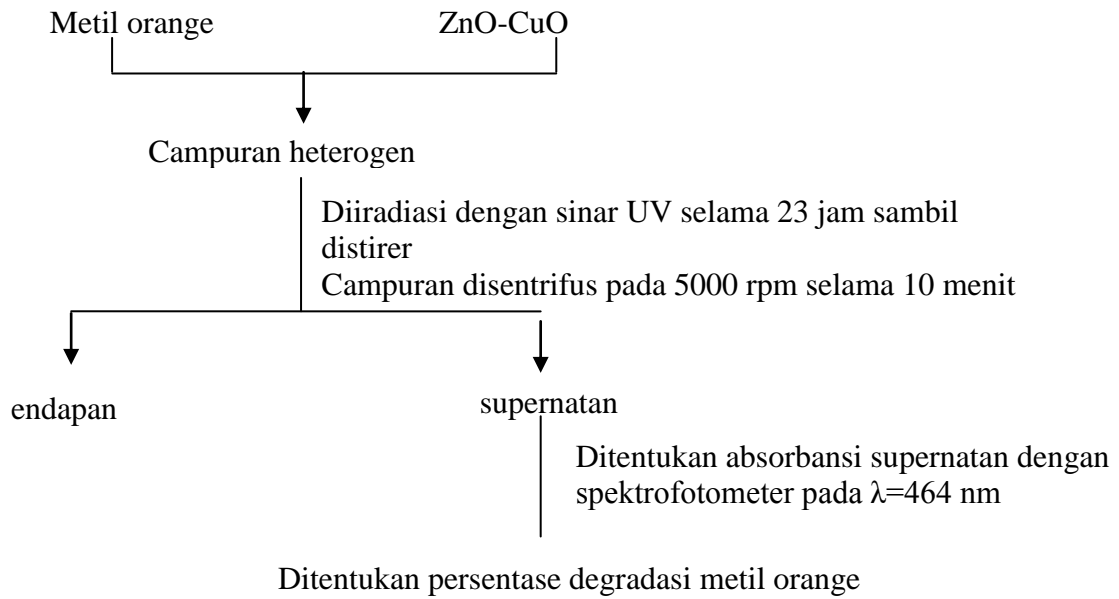
Lampiran III. Skema kerja pembuatan katalis ZnO-CuO

0,2726 ZnCl₂, 0,2497 g CuSO₄ 5 H₂O,
0,5611 g KOH dan 0,1093 g CTAB

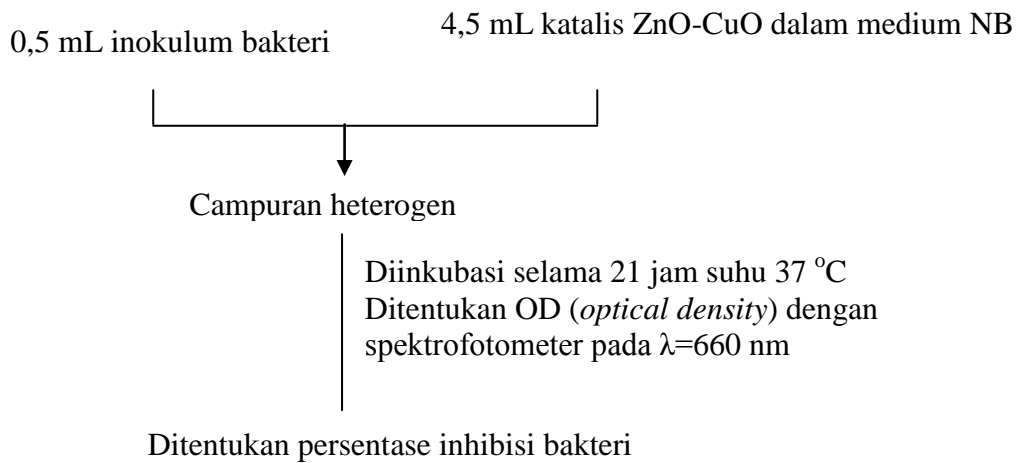
Aquades sampai
volume campuran 30 mL



Lampiran IV. Uji aktifitas fotokatalitik untuk degradasi metil orange



Lampiran V. Uji aktifitas antibakteri



Lampiran VI. Pengamatan

sintesis

katalis ZnO.



Pencampuran prekursor dengan basa dan CTAB



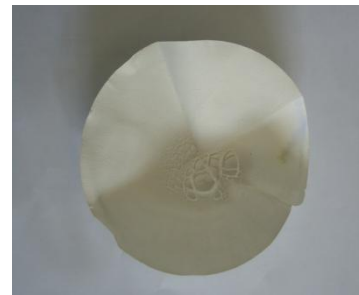
Diiradiasi ultrasonik selama 1 jam suhu 50 °C, P=200 watt



Dikeringkan dengan oven 50 °C, selama 15 jam



Sebelum dipanaskan



Sesudah dipanaskan



Dikalsinasi suhu 500°C selama 2 jam



Sebelum dikalsinasi



Setelah dikalsinasi



Pencampuran prekursor dengan basa dan CTAB

Lampiran VII. Pengamatan sintesis katalis CuO

Diiradiasi ultrasonik selama 1 jam suhu 50 °C, P=200 watt



Dikeringkan dengan oven 50 °C, selama 15 jam



Sebelum dipanaskan



Sesudah dipanaskan



Dikalsinasi suhu 800°C selama 2 jam

Lampiran

VIII.

Pengamatan

sintesis

katalis ZnO-

CuO



Sebelum dikalsinasi



Sesudah dikalsinasi



Pencampuran prekursor dengan basa dan CTAB



Diiradiasi ultrasonik selama 1 jam
Dikeringkan dengan oven 50 °C selama 15 jam
jam suhu 50 °C, P=200 watt



Sebelum dipanaskan



Sesudah dipanaskan



Dikalsinasi suhu 500°C selama 5 jam



Sebelum dikalsinasi



Sesudah dikalsinasi

Lampiran IX. Uji aktifitas fotokatalitik

Pembuatan deret larutan standar

1. Larutan standar 0,5 ppm

$$V_1 \times ppm_1 = V_2 \times ppm_2$$

$$V_1 \times 20 \text{ ppm} = 10 \text{ mL} \times 0,5 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 0,25 \text{ mL}$$

2. Larutan standar 1 ppm

$$V_1 \times ppm_1 = V_2 \times ppm_2$$

$$V_1 \times 20 \text{ ppm} = 10 \text{ mL} \times 1 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ mL}$$

3. Larutan standar 2 ppm

$$V_1 \times ppm_1 = V_2 \times ppm_2$$

$$V_1 \times 20 \text{ ppm} = 10 \text{ mL} \times 2 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

4. Larutan standar 3 ppm

$$V_1 \times ppm_1 = V_2 \times ppm_2$$

$$V_1 \times 20 \text{ ppm} = 10 \text{ mL} \times 3 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 1,5 \text{ mL}$$

5. Larutan standar 4 ppm

$$V_1 \times ppm_1 = V_2 \times ppm_2$$

$$V_1 \times 20 \text{ ppm} = 10 \text{ mL} \times 4 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$

6. Larutan standar 5 ppm

$$V_1 \times ppm_1 = V_2 \times ppm_2$$

$$V_1 \times 20 \text{ ppm} = 10 \text{ mL} \times 5 \text{ ppm}$$

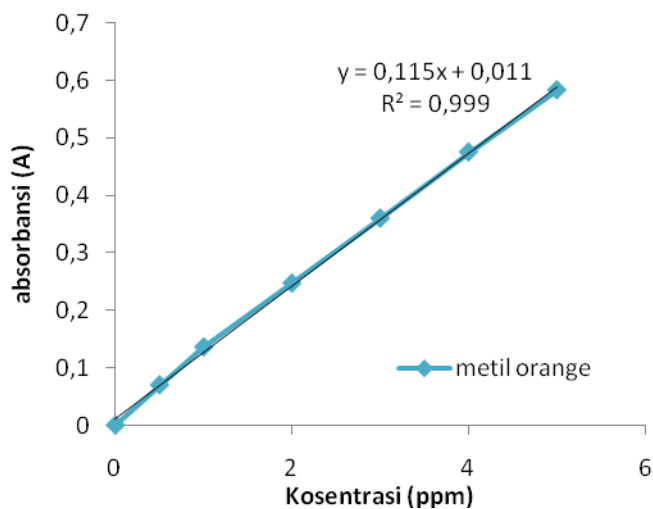
$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Tabel I. Pengukuran Absorban metil orange

No	Kosentrasi (ppm)	Absorban (A)
1	0	0,000
2	0.5	0,070
3	1	0,136

4	2	0,247
5	3	0,360
6	4	0,475
7	5	0,583

Grafik hubungan konsentrasi dengan absorban metil orange



Tabel II. Pengaruh konsentrasi awal metil orange radiasi sinar UV selama 8 jam

Nama Sampel	[MO] ppm	A awal	A akhir	Persentase degradasi
MO +ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi	20	1,690	1,578	6,63 %
MO +ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi	5	0,580	0,305	47,41 %
MO +ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi	1	0,136	0,042	69,12 %
MO +ZnO-CuO (KOH) 2 :1 kalsinasi	20	1,687	1,632	3,26 %
MO +ZnO-CuO (KOH) 2 :1 kalsinasi	5	0,583	0,447	23,33 %
MO +ZnO-CuO (KOH) 2 :1 kalsinasi	1	0,131	0,083	36,64 %

Tabel III. Pengaruh lama radiasi UV dengan konsentrasi metil orange 5 ppm

Lama radiasi	Nama sampel	A awal	A akhir	Persentase degradasi
4 jam	MO +ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi	0,589	0,427	27,50%
6 jam	MO +ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi	0,583	0,393	32,59 %
8 jam	MO +ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi	0,580	0,305	47,41%
23jam	MO +ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi	0,585	0,121	79,32 %

Tabel IV. Pengaruh jenis katalis pada degradasi metil orange dengan radiasi UV selama 23 jam

Nama Sampel	A awal	A akhir	% degradasi
MO + ZnO (KOH) pH = 9,5 kalsinasi	0,583	0,145	75,13 %
MO + ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi	0,585	0,121	79,32 %

MO + ZnO (KOH) pH = 11,5	0,584	0,301	48,46 %
MO + ZnO (Na ₂ CO ₃) pH = 11,5 kalsinasi	0,576	0,173	69,96 %
MO + ZnO (NH ₄ OH) pH = 11,5 kalsinasi	0,580	0,208	64,14 %
MO + ZnO-CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi	0,578	0,247	57,27 %
MO + ZnO-CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi	0,578	0,399	30,97 %
MO + ZnO-CuO (KOH) 3 : 1 kalsinasi	0,583	0,298	48,88 %
MO + ZnO-CuO (KOH) 3 : 1	0,585	0,408	30,26 %
MO + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2 : 1 kalsinasi	0,583	0,282	51,63 %
MO + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2 : 1	0,582	0,414	28,87 %
MO + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 3 : 1 kalsinasi	0,583	0,313	46,31%
MO + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 3 : 1	0,584	0,418	28,42 %
MO + CuO (KOH) kalsinasi	0,582	0,523	10,14 %
MO + CuO (KOH)	0,582	0,540	7,22 %

Tabel V. Pengaruh jenis komposit ZnO-CuO yang disintesis dengan berbagai kondisi pada degradasi metil radiasi tampak selama 23 jam

Nama Sampel	A awal	A akhir	% degradasi
MO + ZnO-CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi	0,576	0,099	82,81 %
MO + ZnO-CuO (KOH) 2 : 1	0,577	0,202	61,70 %
MO + ZnO-CuO (KOH) 3 : 1 kalsinasi	0,576	0,231	59,90 %
MO + ZnO-CuO (KOH) 3 : 1	0,576	0,328	43,06 %
MO + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2 : 1 kalsinasi	0,580	0,182	68,62 %
MO + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2 : 1	0,582	0,298	48,80 %
MO + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 3 : 1 kalsinasi	0,583	0,285	51,12%
MO + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 3 : 1	0,582	0,399	31,44 %

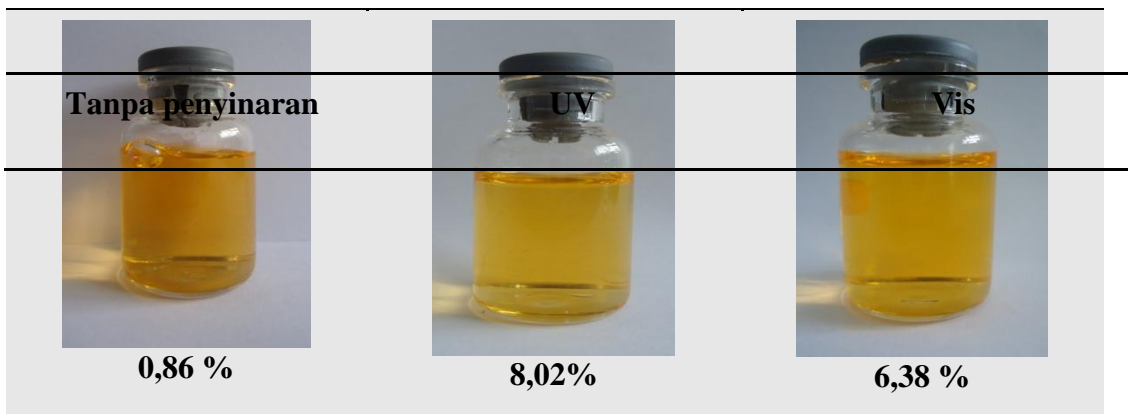
Tabel VI. Pengaruh penyinaran pada degradasi metil orange selama 23 jam

Nama Sampel	Gelap	UV	Vis
Metil orange	0,86 %	8,02%	6,38%
MO + ZnO (KOH) pH = 11.5 kalsinasi	5,17 %	79,32 %	24,13 %
MO + CuO (KOH) kalsinasi	5,70 %	10,14 %	32,66 %
MO + ZnO-CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi	2,45 %	57,27%	82,81 %

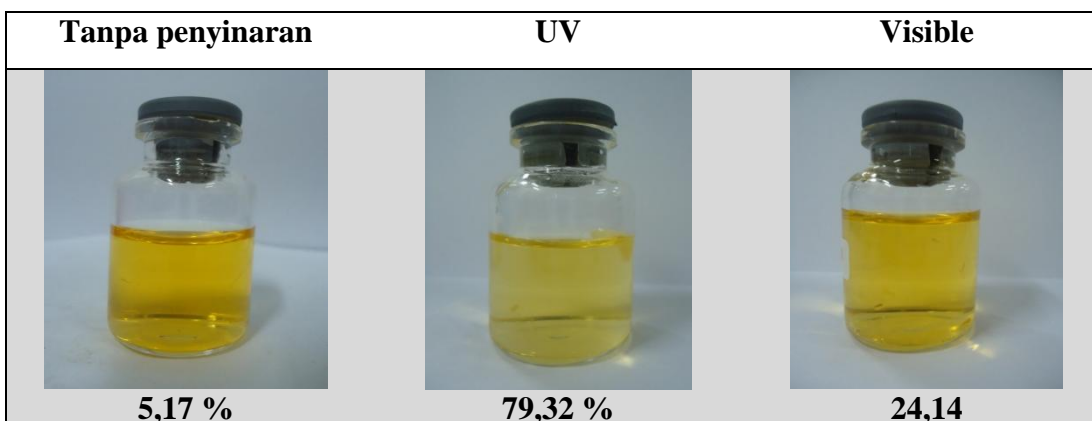
Tabel VII. Pengaruh pH pada degradasi metil orange dengan radiasi sinar tampak selama 23 jam

Nama Sampel	% degradasi		
	pH asam	Netral	Basa

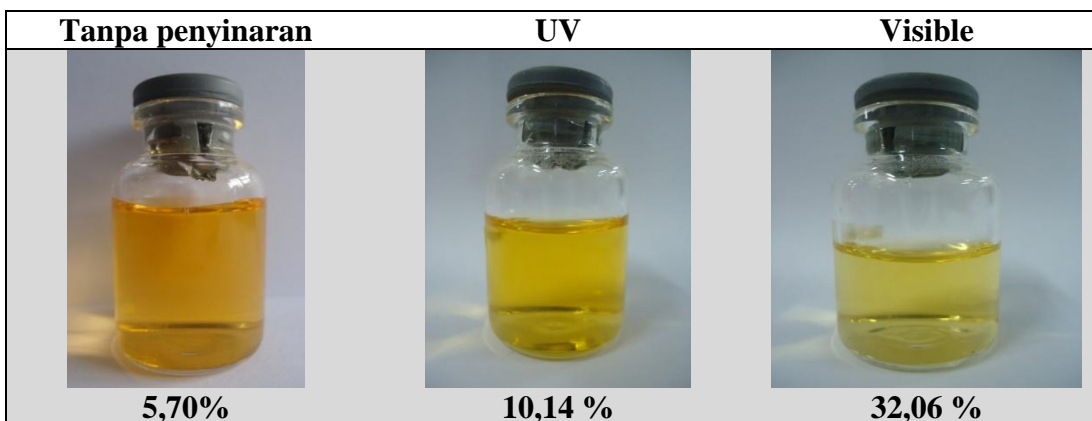
Lampiran X. Pengamatan uji aktifitas fotokatalitik untuk degradasi metil orange.



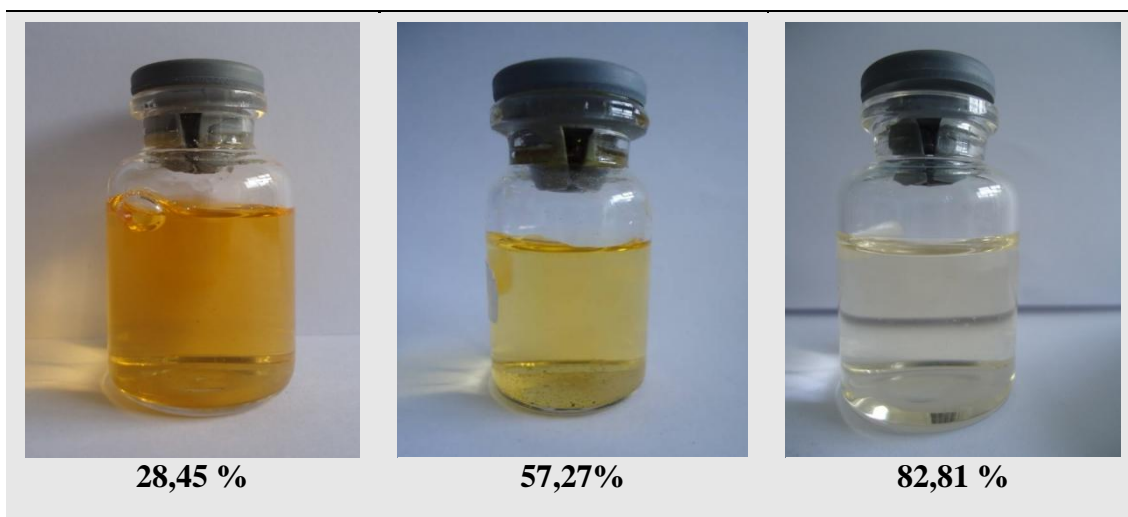
Gambar XXI. Uji aktifitas fotodegradasi metil orange tanpa penambahan katalis



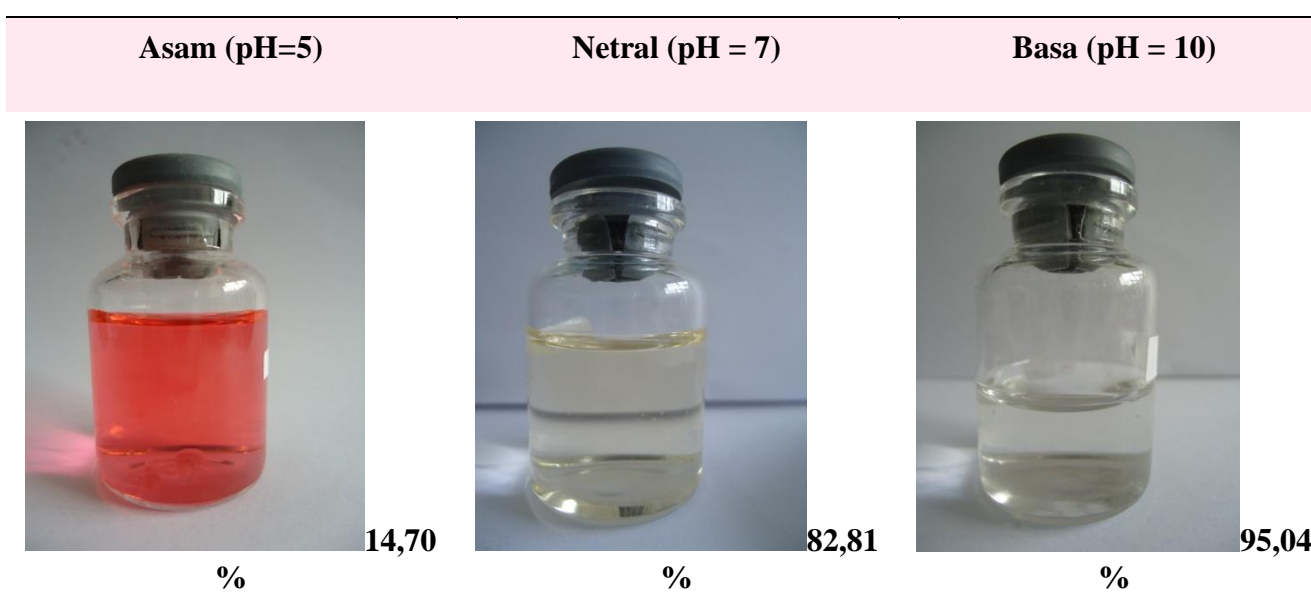
Gambar XXII. Uji aktifitas fotokatalitik ZnO untuk degradasi metil orange.



Gambar XXIII. Uji aktifitas fotokatalitik CuO untuk degradasi metil orange.



Gambar XXIV. Uji aktifitas fotokatalitik ZnO-CuO untuk degradasi metil orange



Gambar XXV. Pengaruh pH pada uji fotokatalitik ZnO-CuO untuk degradasi metil orange dengan radiasi sinar tampak (*visible*)

Lampiran XI. Penghitungan persentase degradasi metil orange

Rumus :
$$\% \text{ degradasi} = \frac{A_{\text{awal}} - A_{\text{akhir}}}{A_{\text{awal}}} \times 100\%$$

Pengaruh konsentrasi awal metil orange radiasi sinar UV selama 8 jam

Katalis ZnO (KOH) pH=11,5 kalsinasi

$$\text{metil orange 20 ppm} \rightarrow \% \text{ degradasi} = \frac{1,690 - 1,578}{1,690} \times 100\% = 6,6272 \%$$

$$\text{metil orange 5 ppm} \rightarrow \% \text{ degradasi} = \frac{0,580 - 0,305}{0,580} \times 100\% = 47,4138 \%$$

$$\text{metil orange 1 ppm} \rightarrow \% \text{ degradasi} = \frac{0,136 - 0,042}{0,136} \times 100\% = 69,1176 \%$$

Katalis ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi

$$\text{metil orange 20 ppm} \rightarrow \% \text{ degradasi} = \frac{1,687 - 1,632}{1,687} \times 100\% = 3,2602 \%$$

$$\text{metil orange 5 ppm} \rightarrow \% \text{ degradasi} = \frac{0,583 - 0,447}{0,583} \times 100\% = 23,3276 \%$$

$$\text{metil orange 1 ppm} \rightarrow \% \text{ degradasi} = \frac{0,131 - 0,083}{0,131} \times 100\% = 36,6412 \%$$

Pengaruh lama radiasi UV dengan konsentrasi metil orange 5 ppm

Katalis ZnO (KOH) pH=11,5 kalsinasi

$$\text{Radiasi 4 jam} \rightarrow \% \text{ degradasi} = \frac{0,589 - 0,427}{0,589} \times 100\% = 27,5042 \%$$

$$\text{Radiasi 6 jam} \rightarrow \% \text{ degradasi} = \frac{0,583 - 0,393}{0,583} \times 100\% = 32,5900 \%$$

$$\text{Radiasi 8 jam} \rightarrow \% \text{ degradasi} = \frac{0,580 - 0,305}{0,580} \times 100\% = 47,4138 \%$$

$$\text{Radiasi 23 jam} \rightarrow \% \text{ degradasi} = \frac{0,585 - 0,121}{0,585} \times 100\% = 79,3162 \%$$

Pengaruh jenis katalis pada degradasi metil orange dengan radiasi UV selama 23 jam

ZnO (KOH) pH = 9.5 kalsinasi

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,583 - 0,145}{0,583} \times 100\% = 75,1286 \%$$

ZnO (KOH) pH – 11.5 kalsinasi

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,585 - 0,121}{0,585} \times 100\% = 79,3162 \%$$

ZnO (KOH) pH – 11.5

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,584 - 0,301}{0,584} \times 100\% = 48,4589 \%$$

ZnO (Na₂CO₃) pH – 11.5 kalsinasi

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,576 - 0,173}{0,576} \times 100\% = 69,9653 \%$$

ZnO (NH₄OH) pH = 11.5 kalsinasi

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,580 - 0,208}{0,580} \times 100\% = 64,1379 \%$$

ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,578 - 0,247}{0,578} \times 100\% = 57,2664 \%$$

ZnO-CuO (KOH) 2:1

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,578 - 0,399}{0,578} \times 100\% = 30,9688 \%$$

ZnO-CuO (KOH 3:1 kalsinasi

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,583 - 0,298}{0,583} \times 100\% = 48,8851 \%$$

ZnO-CuO (KOH 3:1

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,585 - 0,408}{0,585} \times 100\% = 30,2564 \%$$

ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2:1

$$\text{kalsinasi \% degradasi} = \frac{0,583 - 0,282}{0,583} \times 100\% = 51,6295 \%$$

ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2:1

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,582 - 0,414}{0,582} \times 100\% = 28,8660 \%$$

ZnO-CuO (Na₂CO₃) 3:1 kalsinasi

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,583 - 0,313}{0,583} \times 100\% = 46,3122 \%$$

ZnO-CuO (Na₂CO₃) 3:1

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,584 - 0,418}{0,584} \times 100\% = 28,4247 \%$$

CuO (KOH) kalsinasi

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,582 - 0,523}{0,582} \times 100\% = 10,1374 \%$$

CuO (KOH)

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,582 - 0,540}{0,582} \times 100\% = 7,2165 \%$$

Pengaruh jenis komposit ZnO-CuO yang disintesis dengan berbagai kondisi pada degradasi metil radiasi tampak selama 23 jam

ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,576 - 0,099}{0,576} \times 100\% = 82,8125 \%$$

ZnO-CuO (KOH) 2:1

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,577 - 0,201}{0,577} \times 100\% = 61,6984 \%$$

ZnO-CuO (KOH) 3:1 kalsinasi

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,576 - 0,231}{0,576} \times 100\% = 59,8958 \%$$

ZnO-CuO (KOH) 3:1

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,576 - 0,328}{0,576} \times 100\% = 43,0556 \%$$

ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2:1 kalsinasi

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,580 - 0,182}{0,580} \times 100\% = 68,6206 \%$$

ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2:1

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,582 - 0,298}{0,582} \times 100\% = 48,7972 \%$$

ZnO-CuO (Na₂CO₃) 3:1 kalsinasi

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,583 - 0,285}{0,583} \times 100\% = 51,1149 \%$$

ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2:1

$$\% \text{ degradasi} = \frac{0,582 - 0,399}{0,582} \times 100\% = 31,4433 \%$$

Pengaruh penyinaran pada degradasi metil orange selama 23 jam

Metil orange

a) Tanpa penyinaran → $\% \text{ degradasi} = \frac{0,583 - 0,578}{0,583} \times 100\% = 0,8578 \%$

b) Radiasi sinar UV → $\% \text{ degradasi} = \frac{0,586 - 0,539}{0,586} \times 100\% = 8,0205 \%$

c) Radiasi sinar Vis → $\% \text{ degradasi} = \frac{0,580 - 0,543}{0,580} \times 100\% = 6,3793 \%$

ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi

a) Tanpa penyinaran → $\% \text{ degradasi} = \frac{0,580 - 0,550}{0,580} \times 100\% = 5,1724 \%$

b) Radiasi sinar UV → $\% \text{ degradasi} = \frac{0,585 - 0,121}{0,585} \times 100\% = 79,3162 \%$

c) Radiasi sinar Vis → $\% \text{ degradasi} = \frac{0,576 - 0,437}{0,576} \times 100\% = 24,1319 \%$

CuO (KOH) kalsinasi

a) Tanpa penyinaran \rightarrow % degradasi = $\frac{0,579 - 0,546}{0,579} \times 100\% = 5,6995 \%$

b) Radiasi sinar UV \rightarrow % degradasi = $\frac{0,582 - 0,523}{0,582} \times 100\% = 10,1374 \%$

c) Radiasi sinar Vis \rightarrow % degradasi = $\frac{0,577 - 0,392}{0,577} \times 100\% = 32,6624 \%$

ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi

a) Tanpa penyinaran \rightarrow % degradasi = $\frac{0,580 - 0,415}{0,580} \times 100\% = 28,4483 \%$

b) Radiasi sinar UV \rightarrow % degradasi = $\frac{0,578 - 0,247}{0,578} \times 100\% = 57,2664 \%$

c) Radiasi sinar Vis \rightarrow % degradasi = $\frac{0,576 - 0,099}{0,576} \times 100\% = 82,8125 \%$

Pengaruh pH pada degradasi metil orange dengan radiasi radiasi sinar tampak 23 jam

ZnO-CuO KOH 2:1 kalsinasi,

a) Asam (pH = 5) \rightarrow % degradasi = $\frac{1,010 - 0,860}{1,010} \times 100\% = 14,7044 \%$

b) Netral (pH = 7) \rightarrow % degradasi = $\frac{0,576 - 0,099}{0,576} \times 100\% = 82,8125 \%$

c) Basa (pH = 10) \rightarrow % degradasi = $\frac{0,585 - 0,029}{0,585} \times 100\% = 95,0427 \%$

Lampiran XII. Tabel kerja uji antibakteri

Kode sampel	Volume media NB (mL)	Stock ZnO (A/E/I)	Stock ZnO-CuO (B/F/J)	Vol E.coli (mL) X	Vol S.aureus (mL) Y
1	4,321	0,179	-	0,5	-
2	4,321	0,179	-	0,5	-
3	4,321	0,179	-	-	0,5
4	4,321	0,179	-	-	0,5
5	4,321	-	0,179	0,5	-
6	4,321	-	0,179	0,5	-
7	4,321	-	0,179	-	0,5
8	4,321	-	0,179	-	0,5
9	4,321	Aquades = 0,179		0,5	-
10	4,321	Aquades = 0,179		0,5	-
11	4,321	Aquades = 0,179		-	0,5
12	4,321	Aquades = 0,179		-	0,5
13	4,321	0,179	-	NaCl 0,9 % = 0,5	
14	4,321	0,179	-	NaCl 0,9 % = 0,5	
15	4,321	-	0,179	NaCl 0,9 % = 0,5	
16	4,321	-	0,179	NaCl 0,9 % = 0,5	
17	4,321	Aquades 0,679			
18	4,321	Aquades 0,679			

Kode sampel	Volume media NB (mL)	Stock ZnO (E)	Stock ZnO-CuO (F)	Vol E.coli (mL) X	Vol S.aureus (mL) Y
19	4,321	0,179	-	0,5	-
20	4,321	0,179	-	0,5	-
21	4,321	0,179	-	-	0,5
22	4,321	0,179	-	-	0,5
23	4,321	-	0,179	0,5	-
24	4,321	-	0,179	0,5	-
25	4,321	-	0,179	-	0,5
26	4,321	-	0,179	-	0,5
27	4,321	0,179	-	NaCl 0,9 % = 0,5	
28	4,321	0,179	-	NaCl 0,9 % = 0,5	
29	4,321	-	0,179	NaCl 0,9 % = 0,5	
30	4321	-	0,179	NaCl 0,9 % = 0,5	

Kode sampel	Volume media NB (mL)	Stock ZnO (I)	Stock ZnO-CuO (J)	Vol E.coli (mL) X	Vol S.aureus (mL) Y
31	4,321	0,179	-	0,5	-
32	4,321	0,179	-	0,5	-
33	4,321	0,179	-	-	0,5
34	4,321	0179	-	-	0,5
35	4,321	-	0,179	0,5	-
36	4,321	-	0,179	0,5	-
37	4,321	-	0,179	-	0,5
38	4,321	-	0,179	-	0,5
39	4,321	0,17	-	NaCl 0,9 % = 0,5	
40	4,321	0,179	-	NaCl 0,9 % = 0,5	
41	4,321	-	0,179	NaCl 0,9 % = 0,5	
42	4,321	-	0,179	NaCl 0,9 % = 0,5	

Keterangan :

A = larutan ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi 14.000 ppm

B = larutan ZnO-CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi 14.000 ppm

E = larutan ZnO (Na₂CO₃) pH = 11,5 kalsinasi 14.000 ppm

F = larutan ZnO (Na₂CO₃) pH = 11,5 kalsinasi 14.000 ppm

I = larutan ZnO (NH₄OH) pH = 11,5 kalsinasi 14.000 ppm

- J = larutan CuO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi 14.000 ppm
1. = media NB + ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi + *E.coli* pengulangan pertama
 2. = media NB + ZnO (KOH) pH=11,5 kalsinasi + *E.coli* pengulangan kedua
 3. = media NB+ ZnO (KOH) pH=11,5 kalsinasi + *S.aureus* pengulangan pertama
 4. = media NB+ ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi + *S.aureus* pengulangan kedua
 5. = media NB + ZnO- CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi + *E.coli* pengulangan pertama
 6. = media NB + ZnO- CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi + *E.coli* pengulangan kedua
 7. = media NB+ ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi + *S.aureus* pengulangan pertama
 8. = media NB+ ZnO- CuO (KOH) 2:1 kalsinasi + *S.aureus* pengulangan kedua
 9. = media NB + *E.coli* pengulangan pertama
 10. = media NB + *E.coli* pengulangan kedua
 11. = media NB + *S.aureus* pengulangan pertama
 12. = media NB + *S.aureus* pengulangan kedua
 13. = media NB + ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi pengulangan pertama
 14. = media NB + ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi pengulangan kedua
 15. = media NB + ZnO-CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi pengulangan pertama
 16. = media NB + ZnO-CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi pengulangan kedua
 17. = media NB pengulangan pertama
 18. = media NB pengulangan kedua
 19. = media NB + ZnO(Na₂CO₃) pH=11,5 kalsinasi + *E.coli* pengulangan pertama
 - 20 = media NB + ZnO (Na₂CO₃) pH = 11,5 kalsinasi + *E.coli* pengulangan kedua
 - 21 = media NB+ZnO (Na₂CO₃) pH=11,5+*S.aureus* kalsinasi pegulangan pertama
 - 22 = media NB+ ZnO (Na₂CO₃) pH=11,5 kalsinasi + *S.aureus* pegulangan kedua
 - 23 = media NB+ ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2:1 kalsinasi + *E.coli* pengulangan pertama
 - 24 = media NB+ ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2:1 kalsinasi + *E.coli* pengulangan kedua
 - 25 = media NB+ZnO-CuO(Na₂CO₃) 2:1 kalsinasi+*S.aureus* pengulangan pertama
 - 26 = media NB+ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2:1 kalsinasi + *S.aureus* pengulangan kedua
 - 27 = media NB + ZnO (Na₂CO₃) pH=11,5 kalsinasi pengulangan pertama
 - 28 = media NB + ZnO (Na₂CO₃) pH=11,5 kalsinasi pengulangan kedua
 - 29 = media NB + ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2 : 1 kalsinasi pengulangan pertama
 - 30 = media NB + ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2 : 1 kalsinasi pengulangan kedua
 31. = media NB+ZnO (NH₄OH) pH=11,5 kalsinasi + *E.coli* pengulangan pertama

32. = media NB + ZnO (NH₄OH) pH = 11,5 kalsinasi + *E.coli* pengulangan kedua
 33. = mediaNB+ZnO(NH₄OH) pH=11,5 kalsinasi+S.*aureus* pengulangan pertama
 34. = mediaNB+ ZnO (NH₄OH) pH=11,5 kalsinasi + *S.aureus* pengulangan kedua
 35. = media NB + CuO (KOH) kalsinasi + *E.coli* pengulangan pertama
 36. = media NB + CuO (KOH) kalsinasi + *E.coli* pengulangan kedua
 37. = media NB + CuO (KOH) kalsinasi + *S.aureus* pengulangan pertama
 38. = media NB + CuO (KOH) kalsinasi + *S.aureus* pengulangan kedua
 39. = media NB + ZnO (NH₄OH) pH = 11,5 kalsinasi pengulangan pertama
 40. = media NB + ZnO (NH₄OH) pH = 11,5 kalsinasi pengulangan kedua
 41. = media NB + CuO (KOH) kalsinasi pengulangan pertama
 42. = media NB + CuO (KOH) kalsinasi pengulangan kedua

Tabel VIII. Pengukuran OD (*Optical Density*) dengan lama inkubasi 4 jam

Kode Sampel	Nama sampel	OD inkubasi 21 jam	
		Terukur	Rata2
1	Media + ZnO (KOH) kalsinasi EC	0,335	0,338
2	Media + ZnO (KOH) kalsinasi EC	0,341	
3	Media + ZnO (KOH) kalsinasi SA	0,590	0,604
4	Media + ZnO (KOH) kalsinasi SA	0,618	
5	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi EC	0,285	0,299
6	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi EC	0,313	
7	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi SA	0,526	0,516
8	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi SA	0,506	
9	Media + EC	0,195	0,200
10	Media + EC	0,205	
11	Media + SA	0,535	0,546
12	Media + SA	0,557	
13	Media + ZnO (KOH) kalsinasi	0,235	0,244
14	Media + ZnO (KOH) kalsinasi	0,253	
15	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi	0,201	0,218
16	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi	0,235	
17.	Media	0,046	0,046
18.	Media	0,045	

Tabel IX. Penentuan aktifitas antibakteri dengan lama inkubasi 4 jam.

Kode	Nama sampel	A – A media
1	ZnO (KOH) kalsinasi EC	0,292
2	ZnO (KOH) kalsinasi SA	0,558
3	ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi EC	0,253
4	ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi SA	0,470
5	EC	0,154

6	SA	0,500
7	ZnO (KOH) kalsinasi	0,198
8	ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi	0,172

Tabel X. Persentase inhibisi pertumbuhan sel bakteri. dengan lama inkubasi 4 jam

Kode sampel	E.coli	S.aureus
ZnO (KOH) pH= 11,5 kalsinasi	38,96%	28,00 %
ZnO-CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi	47,40 %	40,40 %

Tabel XI. Pengukuran OD (*Optical Density*) dengan lama inkubasi 21 jam

Kode Sampel	Nama sampel	OD inkubasi 21 jam	
		Terukur	Rata2
1	Media + ZnO (KOH) kalsinasi EC	0,726	0,6685
2	Media + ZnO (KOH) kalsinasi EC	0,611	
3	Media + ZnO (KOH) kalsinasi SA	0,753	0,729
4	Media + ZnO (KOH) kalsinasi SA	0,705	
5	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi EC	0,294	0,286
6	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi EC	0,278	
7	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi SA	0,279	0,297
8	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi SA	0,315	
9	Media + EC	0,467	0,4325
10	Media + EC	0,398	
11	Media + SA	0,221	0,2255
12	Media + SA	0,230	
13	Media + ZnO (KOH) kalsinasi	0,631	0,656
14	Media + ZnO (KOH) kalsinasi	0,681	
15	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi	0,279	0,277
16	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi	0,275	
17.	Media	0,051	0,049
18.	Media	0,047	
19	Media + ZnO (Na ₂ CO ₃) kalsinasi EC	0,289	0,285
20	Media + ZnO (Na ₂ CO ₃) kalsinasi EC	0,281	
21	Media + ZnO (Na ₂ CO ₃) kalsinasi SA	0,274	0,278
22	Media + ZnO (Na ₂ CO ₃) kalsinasi SA	0,282	
23	Media + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2:1 kalsinasi EC	0,128	0,132
24	Media + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2:1 kalsinasi EC	0,136	
25	Media + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2:1 kalsinasi SA	0,137	0,135
26	Media + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2:1 kalsinasi SA	0,133	
27	Media + ZnO (Na ₂ CO ₃) kalsinasi	0,307	0,308
28	Media + ZnO (Na ₂ CO ₃) kalsinasi	0,309	
29	Media + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2:1 kalsinasi	0,055	0,0945
30	Media + ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2:1 kalsinasi	0,134	
31	Media + ZnO (NH ₄ OH) kalsinasiEC	0,751	0,7505
32	Media + ZnO (NH ₄ OH) kalsinasiEC	0,750	

33	Media + ZnO (NH ₄ OH) kalsinasi SA	0,705	0,7005
34	Media + ZnO (NH ₄ OH) kalsinasi SA	0,696	
35	Media + CuO (KOH) kalsinasi EC	0,590	0,564
36	Media + CuO (KOH) kalsinasi EC	0,538	
37	Media + CuO (KOH) kalsinasi SA	0,377	0,835
38	Media + CuO (KOH) kalsinasi SA	0,390	
39	Media + ZnO (NH ₄ OH) kalsinasi	0,743	0,801
40	Media + ZnO (NH ₄ OH) kalsinasi	0,859	
41	Media + CuO (KOH) kalsinasi	0,411	0,3445
42	Media + CuO (KOH) kalsinasi	0,278	

*EC = *Escherichia coli*

*SA = *Staphylococcus aureus*

Tabel XII. Penentuan aktifitas antibakteri dengan lama inkubasi 21 jam

Kode Sampel	Nama sampel	A – A media
1	ZnO (KOH) kalsinasi EC	0,6195
2	ZnO (KOH) kalsinasi SA	0,680
3	CuO (KOH) kalsinasi EC	0,515
4	CuO (KOH) kalsinasi SA	0,3345
5	ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi EC	0,237
6	ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi SA	0,248
7	ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2:1 kalsinasi EC	0,083
8	ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2:1 kalsinasi SA	0,086
9	EC	0,3835
10	SA	0,1765
11	ZnO (KOH) kalsinasi	0,607
12	CuO (KOH) kalsinasi	0,2855
13	ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi	0,228
14	ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2:1 kalsinasi	0,0455

Tabel XIII. Persentase inhibisi pertumbuhan sel bakteri. dengan lama inkubasi 21 jam.

Kode sampel	E.coli	S.aureus
ZnO (KOH) pH= 11,5 kalsinasi	96,74 %	58,64 %
CuO (KOH) kalsinasi	40,16 %	72,24 %
ZnO-CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi	97,65 %	88,67 %
ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2 : 1 kalsinasi	90,22 %	77,05 %

Tabel XIV. Pengukuran OD (*Optical Density*) dengan lama inkubasi 24 jam

Kode Sampel	Nama sampel	OD inkubasi 24 jam	
		Terukur	Rata2
1	Media + ZnO (KOH) kalsinasi EC	0,069	0,067
2	Media + ZnO (KOH) kalsinasi EC	0,065	
3	Media + ZnO (KOH) kalsinasi SA	0,168	0,167

4	Media + ZnO (KOH) kalsinasi SA	0,166	
5	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi EC	0,245	0,2525
6	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi EC	0,260	
7	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi SA	0,350	0,3605
8	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi SA	0,371	
9	Media + EC	0,305	0,3085
10	Media + EC	0,312	
11	Media + SA	0,195	0,2065
12	Media + SA	0,218	
13	Media + ZnO (KOH) kalsinasi	0,205	0,1975
14	Media + ZnO (KOH) kalsinasi	0,190	
15	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi	0,5125	0,5175
16	Media + ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi	0,5225	
17.	Media	0,043	0,0425
18.	Media	0,042	

Tabel XV. Penentuan aktifitas antibakteri dengan lama inkubasi 24 jam

Kode Sampel	Nama sampel	A – A media
1	ZnO (KOH) kalsinasi EC	0,0245
2	ZnO (KOH) kalsinasi SA	0,1245
3	ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi EC	0,210
4	ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi SA	0,318
5	EC	0,266
6	SA	0,164
7	ZnO (KOH) kalsinasi	0,155
8	ZnO-CuO (Na ₂ CO ₃) 2:1 kalsinasi	0,475

Tabel XVI. Persentase inhibisi pertumbuhan sel bakteri. dengan lama inkubasi 24 jam

Kode sampel	E.coli	S.aureus
ZnO (KOH) pH= 11,5 kalsinasi	149,06 %	118,60 %
ZnO-CuO (KOH) 2 : 1 kalsinasi	199,62 %	195,73 %

Perhitungan penentuan persentase inhibisi pertumbuhan sel bakteri

$$\% \text{ kematian} = 100 \% - \left(\frac{(A \text{ bakteri} + A \text{ sampel}) - A \text{ sampel}}{A \text{ bakteri}} \times 100\% \right)$$

Keterangan : A = absorbansi rata-rata sampel- absorbansi rata-rata media

Penentuan persentase inhibisi pertumbuhan sel bakteri dengan lama inkubasi

4 jam

Escherichia coli

1) ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi

$$\begin{aligned}\% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,292 - 0,198}{0,154} \times 100\% \right) \\ &= 100 \% - 61,0390 \% \\ &= 38,9610 \%\end{aligned}$$

2) ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi

$$\begin{aligned}\% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,253 - 0,172}{0,154} \times 100\% \right) \\ &= 100 \% - 52,5974 \% \\ &= 47,4026 \%\end{aligned}$$

Streptococcus Aureus

1) ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi

$$\begin{aligned}\% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,558 - 0,198}{0,500} \times 100\% \right) \\ &= 100 \% - 72 \% \\ &= 28 \%\end{aligned}$$

2) ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi

$$\begin{aligned}\% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,470 - 0,172}{0,500} \times 100\% \right) \\ &= 100 \% - 59,60 \% \\ &= 40,40 \%\end{aligned}$$

Penentuan persentase inhibisi pertumbuhan sel bakteri dengan lama inkubasi

21 jam

Escherichia coli

1) ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi

$$\begin{aligned}\% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,6195 - 0,607}{0,3835} \times 100\% \right) \\ &= 100 \% - 3,26 \% \\ &= 96,74 \%\end{aligned}$$

2) CuO (KOH) kalsinasi

$$\begin{aligned} \% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,515 - 0,2855}{0,3835} \times 100\% \right) \\ &= 100 \% - 59,84 \% \\ &= 40,16 \% \end{aligned}$$

3) ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi

$$\begin{aligned} \% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,237 - 0,228}{0,3835} \times 100\% \right) \\ &= 100 \% - 2,35 \% \\ &= 97,65 \% \end{aligned}$$

4) ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2:1 kalsinasi

$$\begin{aligned} \% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,083 - 0,0455}{0,3835} \times 100\% \right) \\ &= 100 \% - 9,78 \% \\ &= 90,22 \% \end{aligned}$$

Streptococcus Aureus

1) ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi

$$\begin{aligned} \% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,680 - 0,607}{0,1765} \times 100\% \right) \\ &= 100 \% - 41,36 \% \\ &= 58,64 \% \end{aligned}$$

2) CuO (KOH) kalsinasi

$$\begin{aligned} \% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,3345 - 0,2855}{0,1765} \times 100\% \right) \\ &= 100 \% - 27,76 \% \\ &= 72,24 \% \end{aligned}$$

3) ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi

$$\begin{aligned} \% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,248 - 0,228}{0,1765} \times 100\% \right) \\ &= 100 \% - 11,33 \% \\ &= 88,67 \% \end{aligned}$$

4) ZnO-CuO (Na₂CO₃) 2:1 kalsinasi

$$\begin{aligned}
 \% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,086 - 0,0455}{0,1765} \times 100\% \right) \\
 &= 100 \% - 22,95 \% \\
 &= 77,05 \%
 \end{aligned}$$

Penentuan persentase inhibisi pertumbuhan sel bakteri dengan lama inkubasi

24 jam

Escherichia coli

- 1) ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi

$$\begin{aligned}
 \% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,0245 - 0,155}{0,266} \times 100\% \right) \\
 &= 100 \% - (-49,0602 \%) \\
 &= 149,0602 \%
 \end{aligned}$$

- 2) ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi

$$\begin{aligned}
 \% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,210 - 0,475}{0,266} \times 100\% \right) \\
 &= 100 \% - (-18,5976 \%) \\
 &= 118,5976 \%
 \end{aligned}$$

Streptococcus Aureus

- 1) ZnO (KOH) pH = 11,5 kalsinasi

$$\begin{aligned}
 \% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,1245 - 0,155}{0,164} \times 100\% \right) \\
 &= 100 \% - 99,6241 \% \\
 &= 199,6241 \%
 \end{aligned}$$

- 2) ZnO-CuO (KOH) 2:1 kalsinasi

$$\begin{aligned}
 \% \text{ inhibisi} &= 100 \% - \left(\frac{0,318 - 0,475}{0,164} \times 100\% \right) \\
 &= 100 \% - (-95,7317 \%) \\
 &= 195,7317 \%
 \end{aligned}$$

Lampiran XIII. Penentuan ukuran kristal dari spektrum XRD

$$D = \frac{K \times \lambda}{\beta \cos \theta}$$

Keterangan : D = ukuran kristal

λ = panjang gelombang sinar X (0.154 nm)

β = FWHM (Full Width at Half Maximum)

θ = sudut difraksi sinar X pada intensitas tertinggi

$$\begin{aligned}\beta &= FWHM \frac{\pi}{180} \\ &= 0,1 \times \frac{3,14}{180} \\ &= 1,744 \cdot 10^{-3}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{2\theta}{2} \\ &= \frac{36,250}{2} \\ &= 18,125\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D &= \frac{K \times \lambda}{\beta \cos \theta} \\ &= \frac{0,89 \times 0,154 \text{ nm}}{1,744 \cdot 10^{-3} \cos 18,125} \\ &= \frac{0.13706 \text{ nm}}{1.744,10^{-3} \times 0,950380083} \\ &= \frac{0.13706 \text{ nm}}{1,657462865 \cdot 10^{-3}} \\ &= 82,6926 \text{ nm}\end{aligned}$$