

**SINTESIS, KARAKTERISASI DAN PENGUJIAN
AKTIVITAS ANTIMIKROBA NANOPARTIKEL ZnO**

MUHAMMAD FAJRI ROMADHAN



**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2015**

**PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN
SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA***

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis berjudul “Sintesis, Karakterisasi dan Pengujian Aktivitas Antimikroba Nanopartikel ZnO” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2015

Muhammad Fajri Romadhan
NIM F251120041

RINGKASAN

MUHAMMAD FAJRI ROMADHAN. Sintesis, Karakterisasi dan Pengujian Aktivitas Antimikroba Nanopartikel ZnO. Dibimbing oleh NUGRAHA EDHI SUYATMA dan FAHIM MUCHAMMAD TAQI.

Nanoteknologi dapat didefinisikan sebagai segala sesuatu yang berhubungan dengan material, system dan proses yang dioperasikan pada skala 100 nanometer (nm) atau lebih kecil. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari sintesis dan karakterisasi nanopartikel ZnO (ZnO-NPs) yang disintesis dengan menggunakan metode presipitasi. Seng nitrat digunakan sebagai bahan baku, sodium hidroksida digunakan sebagai reduktor dan biopolimer pektin sebagai *capping agent*. ZnO-NPs disintesis dengan menggunakan beberapa perlakuan yaitu sintesis menggunakan tiga suhu yang berbeda (60, 80 dan 100°C) selama 2 jam dan dengan perlakuan kalsinasi (500°C). Hasil pengukuran partikel dengan menggunakan PSA menunjukkan bahwa sampel tanpa kalsinasi (T60, T80, dan T100) mempunyai ukuran partikel masing-masing 105.13, 78.53 dan 76.43nm, sedangkan pada sampel yang dikalsinasi (T60C, T80C dan T100C) masing masing mempunyai ukuran partikel 88.73, 44.30, dan 543.77nm. Dari hasil pengukuran PSA diketahui bahwa sintesis ZnO-NPs dengan menggunakan suhu 80°C dan kalsinasi (T80C) menghasilkan ukuran partikel paling kecil. Sampel T80C selanjutnya dianalisis dengan XRD, SEM dan pengujian aktivitas antimikroba dibandingkan dengan ZnO-NPs komersial. Analisis XRD menunjukkan terbentuknya nanostruktur ZnO-NPs murni pada ZnO-NPs T80C. Hasil analisa SEM menunjukkan ZnO-NPs yang terbentuk mempunyai bentuk *spherical*. Pengujian aktivitas antimikroba ZnO-NPs T80C dibandingkan dengan NPs komersial menunjukkan bahwa NPs T80C mempunyai aktivitas antimikroba yang lebih efektif dibandingkan dengan NPs komersial.

Kata kunci: sintesis nanopartikel, nanopartikel ZnO, kalsinasi, antimikroba

SUMMARY

MUHAMMAD FAJRI ROMADHAN. Synthesis, Characterization and Antimicrobial Activity Test of ZnO Nanoparticles. Dibimbing oleh NUGRAHA EDHI SUYATMA dan FAHIM MUCHAMMAD TAQI.

The aim of this study was to synthesize and characterize ZnO nanoparticles (ZnO-NPs) prepared by precipitation method. Zinc nitrate and sodium hydroxide was used as starting materials with biopolymer pectin as capping agent. ZnO-NPs were synthesized at three level of temperatures (60, 80 and 100°C) without or with calcinations (500°C). Particle size analyzer (PSA) analysis results showed that the samples without calcination (T60, T80 and T100) had an average particle size respectively 105.13, 78.53, and 76.43nm, whereas at the samples by calcination (T60C, T80C and T100C) each had average particle size of 88.73, 44.30 and 543.77nm. Respectively the results showed that preparation of ZnO-NPs nanoparticles by using heating at 80°C followed with calcinations at 500°C (T80C) produced the smallest size. T80C samples further were analyzed using XRD, SEM and the antimicrobial activity compared with the ZnO-NPs commercials. XRD analysis confirmed that ZnO-NPs were successfully obtained and had form of pure nanostructure. SEM analysis showed that ZnO-NPs obtained has a spherical shape. Furthermore, this ZnO-NPs (T80C) had a better antimicrobial activity as compared to commercial ZnO-NPs in market.

Keywords: Synthesis of Nanoparticles, ZnO Nanoparticles, Calcination, Antimicrobial

© Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2015
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah; dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB

**SINTESIS, KARAKTERISASI DAN PENGUJIAN
AKTIVITAS ANTIMIKROBA NANOPARTIKEL ZnO**

MUHAMMAD FAJRI ROMADHAN

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains
pada
Program Studi Ilmu Pangan

**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2015**

Penguji pada Ujian Tesis: Dr Ir Budiartman Satiawihardja, MSc

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Maret 2014 sampai Desember 2014 ini ialah nanopartikel ZnO, dengan judul “Sintesis, Karakterisasi dan Pengujian Aktivitas Antimikroba Nanopartikel ZnO. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW. Penulisan karya ilmiah ini tidak terlepas dari do'a dan bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr Nugraha Edhi Suyatma STP, DEA selaku dosen ketua komisi pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, bantuan, serta nasehat kepada penulis selama perkuliahan, penelitian, dan penyelesaian tugas akhir.
2. Dr Fahim Muchammad Taqi STP, DEA selaku dosen komisi pembimbing yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan perhatian, bimbingan dan bantuan serta nasehat selama penulis melakukan penelitian hingga penyusunan tugas akhir.
3. Dr Ir Budiartman Satiawihardja, MSc atas kesediaannya untuk menjadi dosen penguji.
4. Dr Ir Dahrul Syah, MScAgr selaku Dekan Sekolah Pascasarjana IPB
5. Prof Dr Ir Ratih Dewanti-Hariyadi, selaku ketua Program Studi Ilmu Pangan IPB
6. Seluruh Staf pengajar di Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan IPB yang telah membagi ilmunya kepada penulis, semoga ilmu yang diberikan senantiasa bermanfaat.
7. Seluruh teknisi dan laboran di Laboratorium Departemen ITP dan SEAFast centre IPB. atas bantuan, saran, dan kerja samanya selama penulis melakukan penelitian.
8. Tanoto Foundation atas Beasiswa yang diberikan kepada penulis selama studi di pascasarjana IPB.
9. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi atas biaya penelitian yang diberikan kepada penulis selama penelitian di pascasarjana IPB.
10. Keluarga tercinta, Ibu Bainarwati dan Bapak Suratman Syafsidinal yang merupakan orang tua penulis, serta kakak-kakak R. Dedi Lesmana K, Lidya Islamiaty, M. Norman Ismail, terima kasih tak terhingga atas manifestasi cinta, kasih sayang, do'a, dan dukungan yang tak pernah habis diberikan kepada penulis.
11. Teman-teman mahasiswa Ilmu Pangan IPB, terima kasih atas kebersamaan dan canda tawa selama perkuliahan, praktikum, dan penelitian.
12. Semua pihak yang telah membantu dan mendoakan penulis semenjak kuliah di program studi Ilmu Pangan hingga selesainya penulisan tesis ini, yang tidak bisa penulis tuliskan satu per satu.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Bogor, Agustus 2015

Muhammad Fajri Romadhan

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	vii
1 PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Perumusan Masalah	2
Tujuan Penelitian	2
Manfaat Penelitian	2
Ruang Lingkup Penelitian	3
2 TINJAUAN PUTAKA	3
3 METODE	7
Waktu dan Tempat	7
Bahan	7
Alat	8
Metode Penelitian	8
Sintesis dan karakterisasi ZnO-NPs	8
Analisis dengan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	8
Analisis dengan <i>X-Ray Diffractometer</i> (XRD)	9
Analisis dengan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	9
Analisis dengan <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC)	9
Analisis dengan kromameter	9
Pembuatan kultur uji	9
Analisis antimikroba dengan metode sumur	9
Analisis antimikroba dengan metode cawan hitung	10
Analisis antimikroba dengan metode kontak	10
Prosedur Analisis Data	10
4 HASIL DAN PEMBAHASAN	10
Analisis ukuran partikel	10
Analisis nanostruktur partikel	12
Analisis morfologi partikel	12
Analisis kestabilan panas partikel	13
Analisis warna partikel	14
Antimikroba	15
5 SIMPULAN DAN SARAN	18
Simpulan	18
Saran	19
DAFTAR PUSTAKA	19
LAMPIRAN	23
RIWAYAT HIDUP	27

DAFTAR TABEL

1	Karakteristik senyawa ZnO secara umum	5
2	Hasil pengukuran ZnO-NPs melalui uji PSA	10
3	Hasil pengukuran ukuran partikel dan indeks polidispersi NPs komersial	11
4	Hasil pengukuran warna	14
5	Hasil uji antimikroba dengan metode sumur	16
6	Hasil pengujian antimikroba dengan metode hitung cawan	16

DAFTAR GAMBAR

1	Penambahan <i>capping agent</i> asam oleat pada ZnO	4
2	Struktur kristal wurtzite ZnO	6
3	Mekanisme NPs-ZnO sebagai antimikroba	7
4	Spektra XRD ZnO-NPs T80	12
5	Hasil SEM nanopartikel a. ZnO-NPs JP; b. ZnO-NPs CH; c. ZnO-NPs T80; x. NPs teragregasi; y. NPs tunggal	13
6	Kurva DSC nanopartikel ZnO	14
7	Bubuk nanopartikel a. ZnO-NPs JP; b. ZnO-NPs CH; c. ZnO-NPs T80	15
8	Pengujian antimikroba metode sumur a. sumur dengan zona bening. b. sumur tanpa zona bening	16
9	Diameter zona pertumbuhan <i>A. niger</i>	17
10	Diameter zona pertumbuhan <i>F. oxysporum</i>	17
11	Pengujian metode kontak pada kapang <i>F. oxysporum</i> a. pengujian antimikroba dengan sampel nanopartikel b. pengujian antimikroba pada sampel T80C	18

DAFTAR LAMPIRAN

1	Hasil pengukuran PSA	23
2	Hasil pengukuran PSA komersial	23
3	Hasil analisis RAL data PSA dan PI	23
4	Hasil pengukuran warna	24
5	Hasil pengujian antimikroba dengan metode sumur	24
6	Hasil pengujian antimikroba dengan metode cawan hitung	25
7	Hasil pengujian antimikroba dengan metode kontak	25
8	Dokumentasi proses sintesis dan karakterisasi ZnO-NPs	26

1 PENDAHULUAN

Latar Belakang

Nanoteknologi dapat didefinisikan sebagai segala sesuatu yang berhubungan dengan material, system dan proses yang dioperasikan pada skala 100 nanometer (nm) atau lebih kecil (PIPIMM 2011). Nanoteknologi telah banyak diterapkan pada beberapa bidang, diantaranya obat-obatan (Diaz *et al.* 2013), tekstil (Abdelhady 2012), dan kemasan (Li *et al.* 2009; Chaudhry *et al.* 2008). Pada bidang pangan, penggunaan kemasan dengan nanoteknologi memiliki beberapa keuntungan antara lain dapat meningkatkan tampilan dari material kemasan, kemasan antimikroba, dan kemasan interaktif (Wei *et al.* 2010).

Seng oksida (ZnO) merupakan bubuk berwarna putih yang hampir tidak larut dalam larutan netral dan bersifat amfoter, yaitu dapat larut dalam larutan asam dan basa kuat. Rasmussen *et al.* (2010) mengatakan ZnO digolongkan sebagai senyawa GRAS (*Generally Recognized as Safe*) oleh FDA. Asupan Zn yang disarankan oleh FDA pada manusia dewasa berkisar antara 8-13 mg/kg berat tubuh, bergantung pada jenis kelamin dan kondisi kesehatan seseorang.

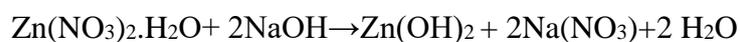
ZnO dalam ukuran nano (ZnO-NPs) dapat berperan sebagai antibakteri yang dapat menghambat pertumbuhan *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Enteritidis*, *Escherichia coli*, *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum* (Jones *et al.* 2007; Jin *et al.* 2009). Senyawa ini mempunyai efek antibakteri yang lebih kuat daripada oksida lain seperti MgO, TiO₂, Al₂O₃, CuO, dan CeO₂ (Jones *et al.* 2007). Arabi *et al.* (2012) melaporkan bahwa seng oksida akan mengganggu struktur DNA, sehingga sel mengalami kehilangan kemampuan untuk replikasi dan metabolisme protein seluler sehingga akan mencegah pertumbuhan dan perbanyakan dari sel bakteri. Selain itu, ZnO juga menginduksi terbentuknya hidrogen peroksida, yaitu spesies oksigen reaktif (ROS) yang dikaitkan dengan aktivitas sebagai antibakteri. Partikel ZnO dengan diameter yang lebih kecil akan lebih efektif sebagai antimikroba (Padmavathy dan Vijayaraghavan 2008).

Salah satu cara sintesis nanopartikel yang umum digunakan adalah sintesis ZnO-NPs dengan metode presipitasi. Sintesis nanopartikel dengan metode presipitasi mempunyai beberapa keuntungan yaitu pembuatan nanopartikel lebih terkontrol, reproduksibel, dan dapat mereduksi pada ukuran yang diinginkan. Dalam sintesis ZnO-NPs, ukuran partikel kemungkinan dipengaruhi oleh suhu dan *capping agent* (Ravichandran *et al.* 2010). *Capping agent* berfungsi menstabilkan atau melindungi nanopartikel yang terbentuk untuk mencegah terjadinya aglomerasi.

Suhu dan proses kalsinasi berpengaruh terhadap pembentukan nanopartikel ZnO (Manzoor *et al.* 2015; Parra dan Haque 2014). Pada suhu kalsinasi yang tinggi akan diperoleh partikel ZnO berbentuk *spherical*, penurunan ukuran agregat dan peningkatan struktur kristalnya (Suganthi dan Rajan 2012). Menurut Alias *et al.* (2010) pH juga merupakan faktor yang menentukan ukuran partikel pada metode presipitasi, karena pelepasan ion-ion OH⁻ akan menyebabkan nukleasi dan pembentukan partikel ZnO. Moharekar *et al.* (2014) menjelaskan bahwa ZnO-NPs yang disintesis dengan menggunakan *capping agent* pektin

mempunyai efektifitas antimikroba yang lebih baik daripada ZnO-NPs yang disintesis tidak menggunakan *capping agent*.

Pada sintesis nanopartikel dengan metode presipitasi, pendekatan kimia yang digunakan adalah dengan mengatur konsentrasi reduktor yang digunakan seperti asam askorbat, natrium borohidrat dan natrium hidroksida. Sintesis nanopartikel dengan metode kimia cukup mudah, tetapi diperlukan beberapa kali percobaan hingga menemukan formulasi yang tepat agar nanopartikel yang dihasilkan mempunyai ukuran yang stabil dan reproduibel (Sileikaitei *et al.* 2006). Alwan *et al.* (2015) melaporkan bahwa sintesis ZnO-NPs dengan tehnik presipitasi menggunakan reduktor hydrogen peroksida didapatkan ZnO-NPs murni dengan ukuran 58.3 nm dan mempunyai bentuk *spherical*. Berikut adalah reaksi kimia pembentukan nanopartikel ZnO dengan menggunakan reduktor natrium hidroksida:



Perumusan Masalah

Nanopartikel ZnO (ZnO-NPs) telah banyak diteliti mempunyai sifat antimikroba yang baik, akan tetapi untuk mendapatkan ukuran NPs yang kecil dan seragam dibutuhkan proses yang rumit dan biaya yang cukup tinggi. Proses pemanasan dan kalsinasi akan mempengaruhi ukuran ZnO-NPs yang dihasilkan. Natrium hidroksida dapat berfungsi sebagai reduktor dan pektin sebagai *capping agent* dalam proses sintesis ZnO-NPs. Konsentrasi NaOH, pektin, suhu proses reaksi dan kalsinasi akan berpengaruh terhadap ukuran partikel dari ZnO-NPs yang dihasilkan.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari dan menemukan cara sintesis ZnO-NPs yang efektif (suhu reaksi dan kalsinasi), menganalisis karakteristik ZnO-NPs yang terbentuk dan menguji aktivitas antimikroba dari ZnO-NPs.

Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah memberikan informasi tentang teknik sintesis ZnO-NPs dengan ukuran diameter rata-rata kurang dari 50 nm dengan menggunakan natrium hidroksida sebagai agen pereduksi dan pektin sebagai *capping agent*. Memperoleh teknologi sintesis ZnO-NPs dengan menggunakan proses pemanasan dan kalsinasi.

Ruang Lingkup Penelitian

Lingkup dari penelitian ini meliputi teknik sintesis ZnO-NPs dengan menggunakan teknik presipitasi, pengujian karakteristik ZnO-NPs (PSA, XRD, DSC, SEM dan pengukuran warna) dan pengujian aktivitas antimikroba dari ZnO-NPs.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Nanoteknologi

Nanoteknologi berkaitan dengan agregat nanopartikel atom atau molekul yang mempunyai karakteristik ukuran kurang dari 100nm (Sabir *et al.* 2014). Nanoteknologi memungkinkan perancang untuk merubah struktur material pada skala molekular, untuk mendapatkan material dengan sifat yang diinginkan. Tren nanoteknologi pada kemasan pangan dipasaran saat ini antara lain dirancang untuk dapat meningkatkan tampilan dari material kemasan, memperpanjang masa simpan (*shelf life*), kemasan antimikroba, dan kemasan interaktif.

Salah satu aplikasi dari nanoteknologi pada bahan kontak pangan yaitu pelapis nano yang dapat dikonsumsi (*edible*), yang dapat digunakan pada daging, keju, buah dan sayuran, permen, produk roti dan makanan saji. Saat ini nanoteknologi memungkinkan pengembangan pelapis nano yang dapat dikonsumsi dengan tebal hanya 5 nm, yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Pelapis ini dapat menahan (*barier*) kelembaban dan pertukaran gas, berperan sebagai media penghantar warna, rasa, antioksidan, enzim dan *antibrowning* agent, dan dapat meningkatkan masa simpan, walaupun kemasannya sudah dibuka. Penggunaan nanoteknologi sebagai bahan antimikroba kemasan berbeda dengan kemasan antimikroba yang telah ada, dimana akan melepaskan antimikroba berdasarkan pemicunya. Pada jenis kemasan dengan nanopartikel ini akan menggabungkan antimikroba nano ke dalam kemasan pangan dan bahan kontak pangan, yang dirancang tidak untuk terlepas, akan tetapi komponen dalam kemasan itu sendiri yang berperan sebagai antimikroba (PIPIMM 2011).

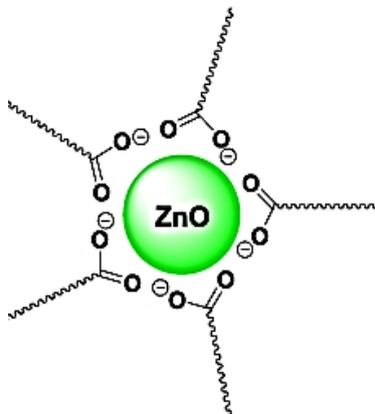
Nanopartikel ZnO digunakan pada beberapa bidang industri, diantaranya pada industri karet sebagai bahan pengisi sehingga menghasilkan karet yang memiliki kekuatan tarik yang baik, tahan sobek dan elastis. Nanopartikel ZnO diketahui dapat menyerap radiasi UV A dan UV B yang efektif sehingga pada industri kosmetik NPs-ZnO digunakan untuk membuat *sunblock cream*. Seng oksida merupakan salah satu semikonduktor yang penting dan baru diaplikasikan pada peralatan elektronik dan teknologi elektrik. Seng oksida juga menunjukkan fenomena *luminescence* (khususnya *photoluminescence* dengan radiasi elektromagnetik rendah) yang lebih baik dibandingkan bahan konvensional seperti sulfur dan fosfor yang biasanya digunakan pada peralatan elektronik FED (*field emission display*) seperti televisi (Radzimska & Jesionowski 2014).

Metode Sintesis Nanopartikel

Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dalam fasa padat, cair dan gas. Proses sintesis nanopartikel dapat berlangsung secara fisika, kimia dan green-synthesis. Sintesis secara kimia merupakan teknik yang paling penting dalam pembuatan nanopartikel. Dengan menggunakan sintesis kimia maka beberapa variasi parameter seperti perbedaan suhu, waktu dan konsentrasi reaktan dapat disesuaikan dengan kondisi yang diinginkan. Variasi dari beberapa parameter tersebut dapat menghasilkan perbedaan ukuran, morfologi dan geometri dari nanopartikel yang dihasilkan (Sabir *et al.* 2014).

Beberapa jenis metode sintesis nanopartikel secara kimia yang digunakan diantaranya adalah metode mekanikimia, metode presipitasi, metode sol-gel, metode solvothermal, metode hidrotermal dan metode menggunakan emulsi dan mikroemulsi. Metode presipitasi umum digunakan untuk mensintesis nanopartikel ZnO karena dapat menghasilkan produk yang lebih stabil dan reproduibel. Pada proses presipitasi dapat dilakukan pengaturan beberapa parameter seperti pH, suhu dan waktu presipitasi. Metode kimia memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode lainnya, antara lain konsumsi energi yang rendah karena rendahnya temperature proses, kemurnian hasil yang tinggi dan menggunakan investasi peralatan yang lebih murah dibandingkan dengan peralatan teknik sintesis nanopartikel secara fisika. Sayangnya, tidak semua metode yang dikerjakan dalam laboratorium dapat diaplikasikan dalam skala industri. Dalam industri yang paling penting diperhatikan adalah proses sintesisnya sederhana untuk diaplikasikan, hasilnya banyak dan biaya produksinya murah (Radzimska & Jesionowski 2014).

Penambahan *capping agent* pada sintesis nanopartikel sangat mempengaruhi ukuran dan bentuk nanopartikel saat sintesis (Moharekar *et al.* 2014). Beberapa *capping agent* yang telah diteliti dapat digunakan pada sintesis nanopartikel diantaranya adalah pektin, trietanolamin (TEA), asam oleat, dan gliserol (Moharekar *et al.* 2014; Singh *et al.* 2009). Tamrakar *et al.* (2008) melaporkan bahwa *capping agent* dapat membatasi terjadinya aglomerasi pada kristal nanopartikel sehingga dapat diperoleh ukuran kristal yang lebih kecil (Gambar 1). Nanopartikel dengan distribusi ukuran yang lebih sempit dapat diperoleh dengan cara mengatur penambahan *capping agent*.



Gambar 1 Penambahan capping agent asam oleat pada ZnO (Aboulaich *et al.* 2012)

Seng

Seng (Zn) merupakan salah satu mineral mikro (*trace mineral*) yang memiliki beberapa fungsi dan kegunaan penting bagi tubuh. Mineral yang termasuk zat gizi mikro antara lain besi, seng, tembaga, selenium, kromium, iodium, fluorine, mangan, molibdenum, nikel, silikon, vanadium, arsenik dan kobalt. Survey nasional oleh Departemen Kesehatan tentang defisiensi seng di Indonesia menunjukkan bahwa 31,6% pada balita terjadi prevalensi defisiensi seng (Taufiqurrahman *et al.* 2009).

Defisiensi seng telah banyak diketahui dapat menyebabkan retardasi pertumbuhan, berat lahir rendah, imunitas menurun, frekuensi dan lama diare pada balita meningkat, dan pada tingkat berat dapat mengakibatkan cacat bawaan (*neuro behavior*) dan kekurangan gizi kronis (*stunting*) (Herman 2009; Taufiqurrahman *et al.* 2009). Seng merupakan mineral penting dalam metabolisme subselular, contohnya seng menjadi bagian penting dari situs katalitik dari suatu enzim. Telah banyak ditemukan pada hewan dan tumbuhan seng sebagai bagian dari metaloenzim (Hambidge 2000).

ZnO

Seng oksida (*zinc oxide*) adalah suatu senyawa anorganik dengan rumus kimia ZnO yang mempunyai sifat semikonduktor dan memiliki struktur kristal *wurtzite* yang stabil (Gambar 2). Pada ilmu material, ZnO diklasifikasikan sebagai semikonduktor grup II-VI karena seng dan oksigen secara berurutan termasuk dalam grup 2 dan 6 pada tabel susunan berkala unsur, memiliki nilai celah pita energi 3,37 eV, energi ikatan 60 meV dan memiliki sifat mekanik yang stabil pada suhu ruang (Bacaksiz *et al.* 2008; Wang *et al.* 2005). Karakteristik senyawa ZnO secara umum dapat dilihat pada Tabel 1.

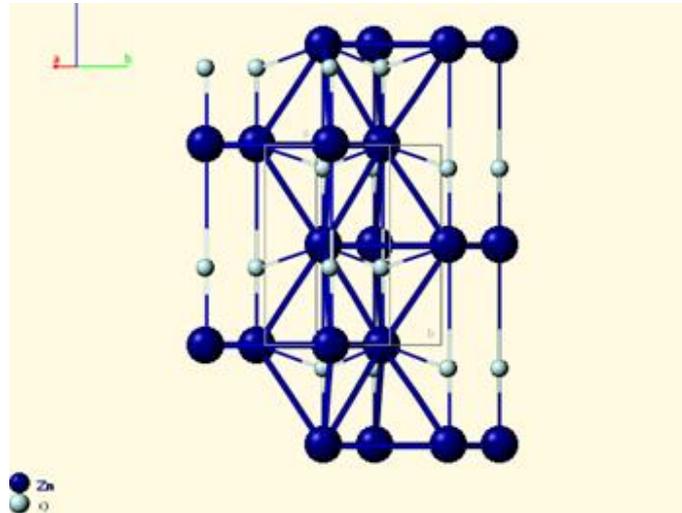
Tabel 1 Karakteristik senyawa ZnO secara umum

Rumus kimia	ZnO
Berat molekul	81,3794 g/mol
Masa monoisotop	79,924057 g/mol
Topologi luas permukaan kutub	17,1 Å ²
Berat atom	2
Warna	Putih atau bubuk putih kekuningan
Aroma	Tidak berbau
Rasa	Pahit
Titik leleh	1974°C
Kelarutan	Tidak larut air, larut pada asam dan basa
Densitas	5,6 g/cu cm
pH	6,95 (American process)-7,37 (French process)

Sumber : <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/14806>

Ikatan ZnO terbesar bersifat ionik seperti kebanyakan bahan-bahan dalam kelompok II-VI, hal ini disebabkan ikatan-ikatan kutub Zn-O, Zn dan bidang datar O₂ menanggung muatan listrik (positif dan negatif, berturut-turut). Untuk

memelihara kenetralan elektrik, semua bidang datar tersebut tersusun pada tingkatan atomis di dalam bahan-bahan sehingga permukaan-permukaannya secara otomatis datar dan stabil (Baruah & Dutta 2009).



Gambar 2. Struktur kristal wurtzite ZnO (Wyckoff 1963)

Seng oksida digunakan secara luas sebagai bahan tambahan ke dalam berbagai material untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik material tersebut. beberapa industri yang menggunakan ZnO diantaranya adalah industri plastik, keramik, tekstil, karet, pigmen, kosmetik, baterai, plester, gelas, makanan (sumber nutrisi Zn) dan bahan kemasan pangan (Radzimska & Jesionowski 2014).

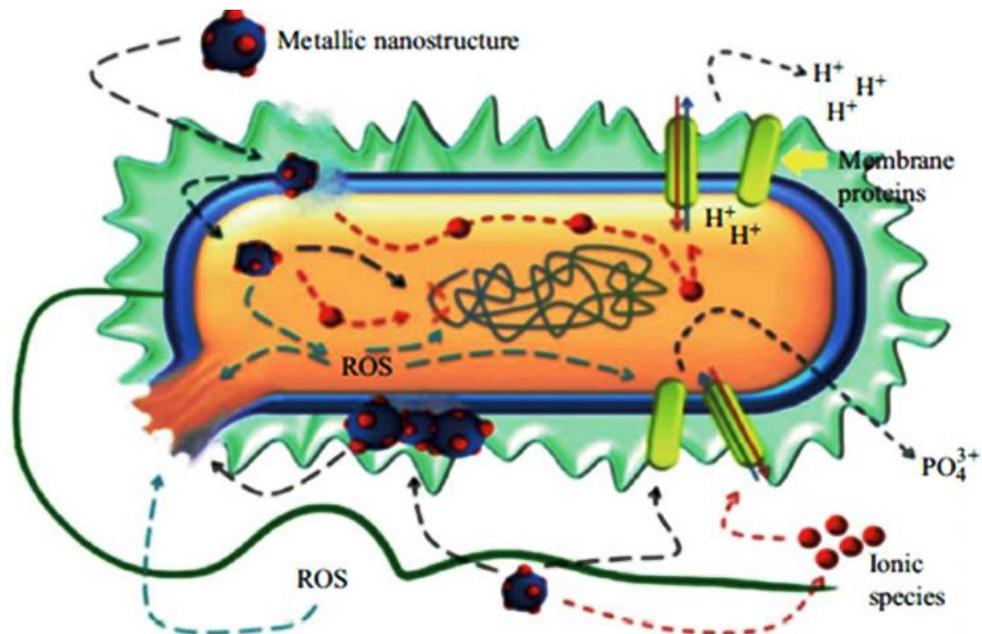
Aktifitas antimikroba

Antimikroba adalah bahan atau senyawa yang dapat membunuh atau menghambat aktivitas mikroorganisme dengan bermacam-macam cara. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa ZnO mempunyai aktifitas antimikroba yang cukup baik dan memiliki spektrum yang luas (Narayanan *et al.* 2012; Sabir *et al.* 2014; Navale *et al.* 2015). Menurut Sabir *et al.* (2014) nanopartikel ZnO memiliki beberapa mekanisme untuk membunuh mikroba, diantaranya adalah dengan merusak membran sel bakteri dan menginduksi stres oksidatif bakteri sehingga akan menghambat pertumbuhan sel bahkan membunuh sel tersebut.

Nanopartikel ZnO sebagai bahan antimikroba mempunyai efektifitas yang lebih baik dibandingkan dengan antibiotik. Antibiotik mempunyai target serangan atau toksisitas yang spesifik contohnya antibiotik penisilin yang mempunyai target serangan pada dinding sel mikroba. Soares *et al.* (2010) melaporkan dengan memberikan treatment periodik penisilin pada sel bakteri, maka sel bakteri mengaktifkan mekanisme adaptasi pertahanan diri terhadap antibiotik. Sel bakteri akan beradaptasi dengan cara mengurangi permeabilitas dinding sel bakteri terhadap antibiotik, merubah situs protein pengikat penisilin pada dinding sel atau memproduksi enzim yang akan menginaktivasi antibiotik seperti enzim β -laktamase sehingga menghasilkan bakteri yang resisten terhadap antibiotik

tersebut. Pada bakteri yang diberi perlakuan dengan NPs-ZnO maka bakteri tidak dapat mengembangkan mekanisme adaptasi, karena NPs-ZnO mempunyai beberapa mekanisme serangan untuk menghambat dan mematikan sel bakteri.

Terdapat tiga mekanisme dari nanopartikel sebagai antimikroba, yang pertama NPs- ZnO akan melakukan penetrasi ke dalam sel bakteri melalui lubang atau tonjolan pada dinding sel yang akan menyebabkan dinding sel terganggu dan rusak sehingga sel akan menjadi lisis (Gambar 3). Mekanisme yang kedua adalah dengan cara NPs-ZnO akan menginduksi terbentuknya spesies oksigen reaktif (ROS) seperti superoksida anion (O_2^-), hidrogen peroksida (H_2O_2) dan hidroksida (OH^-). Oksigen reaktif ini mempengaruhi kerusakan komponen selular seperti lemak, DNA dan protein sehingga sel akan menjadi rusak (Sirelkhatim *et al.* 2015). Mekanisme yang terakhir dengan cara NPs-ZnO akan berinteraksi dengan sulfur dan fosfor pada senyawa seperti DNA, sehingga sel akan mengalami kehilangan kemampuan untuk replikasi dan akan mencegah pertumbuhan dari sel bakteri (Arabi *et al.* 2012).



Gambar 3 Mekanisme NPs-ZnO sebagai antimikroba (Diaz-Visuraga *et al.* 2011)

3 METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret-Desember 2014 di Laboratorium Departemen ITP IPB dan PUSPIPTEK Serpong.

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (seng nitrat) proanalisis dari Merck (Jerman), pektin teknis dari toko pektin

(Indonesia), NaOH teknis dari Merck (Jerman), air demineral, *Nutrient Agar* (NA), *Nutrient Broth* (NB), *Potato Dextrose Agar* (PDA), *Potato Dextrose Broth* (PDB). Kultur mikroba yang digunakan dalam analisis antimikroba adalah bakteri gram positif (*Bacillus cereus* ATCC 16404 dan *Staphylococcus aureus* ATCC 25923), bakteri gram negatif (*Escherichia coli* ATCC 25922 dan *Salmonella typhimurium* ATCC 14028), khamir (*Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763), dan kapang (*Aspergillus niger* ATCC 16404 dan *Fusarium oxysporum* (isolat lokal) yang didapatkan dari laboratorium mikrobiologi, Departemen Ilmu Pangan IPB, Indonesia. ZnO-NPs komersial 1 yang diperoleh dari Wako Pure Chemicals Industries Ltd (Jepang) dan ZnO-NPs komersial 2 yang diperoleh dari Xuancheng Jingrul New Material co. Ltd (Cina).

Alat

Alat-alat yang digunakan dalam analisis antimikroba adalah penangas air GFL (Jerman), autoklaf Hirayama (Jepang), sentrifus Eppendorf 5810 (Jerman), sonikator Branson 8510 (USA), pH-meter Eutech instruments (Singapura), laminar air flow Clean air (Jerman) dan alat-alat gelas lainnya. Peralatan lainnya yang digunakan antara lain *Particle Size Analyzer* (PSA) Beckman Coulter Delsa Nano (USA), *X-Ray Diffraction* (XRD) GBC seri EMMA (Australia), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Zeiss EVO MA 10 (Jerman), *Differential Scanning Calorimetry-60* (DSC-60) (Jepang), Kromameter Minolta CR-310 (Singapura)

Metode Penelitian

Sintesis dan karakterisasi ZnO-NPs

Larutan seng nitrat 0,2M dan NaOH 4M disiapkan dengan cara melarutkan seng nitrat tetrahidrat ($Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$) dan NaOH dengan menggunakan air demineral. Untuk sintesis nanopartikel ZnO, 5 ml larutan NaOH 4M diteteskan ke dalam 25 ml larutan seng nitrat 0,2M dan diaduk. Larutan tersebut ditambahkan dengan air demineral sampai pH 13 dan ditambahkan pektin sebagai *capping agent*. Selanjutnya, larutan diaduk dan dipanaskan dengan beberapa suhu yang berbeda (60, 80, dan 100°C) selama 2 jam. Setelah dipanaskan, larutan didinginkan hingga mencapai suhu ruang dan disentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm selama 15 menit sebanyak dua kali untuk mencuci sisa larutan NaOH yang tertinggal. Endapan dikeringkan dalam oven selama 5-6 jam pada suhu 105°C, sehingga air akan menguap dan terbentuk bubuk ZnO-NPs. Bubuk ZnO-NPs selanjutnya diberi perlakuan kalsinasi dengan menggunakan tanur pada suhu 500°C selama 5 jam. ZnO-NPs hasil sintesis dari proses yang terbaik selanjutnya dibandingkan karakter fisik dan sifat fungsionalnya dengan ZnO-NPs komersial 1 dan ZnO-NPs komersial 2.

Analisis dengan *Particle Size Analyzer* (PSA)

Instrumen yang digunakan dalam analisis ukuran partikel adalah PSA Beckman Coulter Delsa Nano. Bubuk ZnO-NPs didispersikan dalam air demineral dan dimasukkan ke dalam kuvet dan dianalisis menggunakan mesin PSA. Sampel akan dianalisis pada panjang gelombang 568nm.

Analisis dengan X-Ray Diffractometer (XRD)

Nanostruktur partikel ZnO-NPs dianalisis menggunakan XRD GBC seri EMMA. Sampel XRD didifraksi menggunakan radiasi Cu K α (1.5406 Å) dan data intensitas dianalisis pada nilai 2 θ dari jarak 20° sampai 80°.

Analisis dengan Scanning Electron Microscope (SEM)

Bentuk dan ukuran partikel dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) Zeiss EVO MA10. SEM diatur perbesarannya hingga 20.000x dengan resolusi 200 Å dan akselerasi tegangan sebesar 11 kV. Semua sampel akan dilapisi dengan lapisan emas sebelum dianalisa menggunakan SEM.

Analisis dengan Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Analisis termal dari ZnO-NPs dianalisis menggunakan DSC Shimadzu dengan rentang suhu analisa 25-500°C dan kenaikan suhu 10°C per menit. Hasil yang diperoleh berupa spektra DSC.

Analisis dengan Kromameter

Bubuk ZnO-NPs diukur karakteristik warnanya dengan menggunakan Kromameter Minolta CR-310. Hasil yang diperoleh berupa nilai CIE L*,a*,b* yang akan digunakan untuk mengukur derajat warna putih (WI) dan kecoklatan (BI) sampel. Untuk menghitung nilai BI, nilai CIE L*,a*, b* dikonversi ke nilai L,a,b. Rumus:

$$WI = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad \text{dengan} \quad x = \frac{(a + 1.75L)}{(5.645L + a - 3.012b)}$$

Pembuatan kultur uji

Kultur uji terlebih dahulu disiapkan dengan menginokulasikan satu ose kultur murni dari agar miring (NA dan PDA) ke dalam medium cair (NB dan PDB) secara aseptik. Kultur uji kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C sehingga konsentrasi mikroba dalam medium cair diperkirakan sekitar 10⁸ cfu/ml.

Analisis antimikroba dengan metode sumur

Sebanyak 10 μ l kultur uji diinokulasikan pada 100 ml media agar NA dan PDA, selanjutnya media tersebut dituang dalam cawan. Sumur dibuat dengan cara membuat lubang berdiameter 6 mm pada media yang telah padat. Bubuk ZnO-NPs dilarutkan dalam air demineral dengan konsentrasi 0,1%. Larutan ZnO-NPs diambil sebanyak 60 μ l dan dimasukkan ke dalam sumur dan diinkubasi. Zona penghambatan adalah lebar area bening yang terbentuk di sekitar sumur diukur dengan jangka sorong dengan satuan mm. Lebar zona bening yang terbentuk menunjukkan seberapa besar efektivitas ZnO-NPs sebagai antimikroba.

Analisis antimikroba dengan metode cawan hitung

Media pertumbuhan (NB dan PDB) diberi sampel nanopartikel sehingga mencapai konsentrasi 0,1%. Media yang telah diberi NPs dimasukkan kultur uji sehingga konsentrasi mikroba sekitar 10⁶ cfu/ml. Media tersebut selanjutnya

diinkubasi dalam inkubator *shaker* selama 24 jam pada suhu ruang. Setelah diinkubasi selama 24 jam sampel akan diencerkan sebanyak 3 kali. Selanjutnya sampel diambil 1 ml dan dituang ke dalam cawan dengan media agar (NA dan PDA) dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam.

Analisis antimikroba dengan metode kontak

Media agar pertumbuhan (NA dan PDA) diberi sampel NPs sehingga mencapai konsentrasi 0,1%. Media agar tersebut dituang dalam cawan dan ditunggu sampai padat, lalu diberi 1 lup kultur kapang ditengah cawan. Inkubasi pada suhu 37°C selama 7 hari dan diamati setiap hari dengan mengukur zona tumbuh kapang.

Prosedur Analisis Data

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan tiga ulangan. Data diolah analisis ragamnya dengan menggunakan software SPSS 20 dan dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan (DMRT, *Duncan's Multiple Range Test*) untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan tersebut.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis ukuran partikel

Sintesis ZnO-NPs menggunakan 3 variabel suhu (60°C, 80°C dan 100°C) dan dua perlakuan, yaitu dengan proses kalsinasi dan tanpa kalsinasi. Dari Tabel 2 terlihat bahwa ukuran NPs yang terkecil pada perlakuan tanpa kalsinasi adalah sintesis NPs pada suhu 100°C, yang mempunyai rata-rata ukuran NPs sebesar 76,43 nm. Pada perlakuan dengan kalsinasi hasil NPs yang paling kecil adalah pada sintesis dengan suhu 80°C (T80C), yaitu dengan ukuran rata-rata 44,30 nm.

Tabel 2 Hasil pengukuran ZnO-NPs melalui uji PSA

Sampel	Perlakuan		Rata-rata Ukuran (nm)	Rata-rata PI
	Suhu	Kalsinasi		
T60	60°C	0	105,13±17,47 ^c	0,32±0,02 ^{ab}
T80	80°C	0	78,53±7,29 ^b	0,37±0,01 ^b
T100	100°C	0	76,43±3,78 ^b	0,24±0,06 ^a
T60C	60°C	550°C	88,73±11,74 ^{bc}	0,67±0,06 ^c
T80C	80°C	550°C	44,30±2,75 ^a	0,33±0,05 ^{ab}
T100C	100°C	550°C	543,77±162,77 ^d	0,49±0,10 ^c

Huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan berbeda signifikan pada DMRT dengan taraf 0,05

Pada sintesis dengan metode ini suhu memiliki peran penting dalam mereduksi ukuran partikel. Pada perlakuan tanpa kalsinasi terlihat bahwa semakin tinggi suhu yang diberikan maka akan semakin kecil nanopartikel yang dihasilkan. Pada perlakuan dengan kalsinasi terlihat bahwa suhu mempengaruhi ukuran

partikel kecuali pada suhu 100°C. Pada sintesis dengan suhu 100°C dan dikalsinasi menghasilkan ukuran yang lebih besar, yaitu 543,77 nm, hal ini mungkin disebabkan terjadi agregasi yang terlalu cepat. Kumar *et al.* (2013) melaporkan bahwa pada suhu tinggi dapat menyebabkan terjadinya *coalescence* NPs ukuran kecil membentuk formasi NPs yang lebih besar. Penurunan ukuran kristalit dan partikel menjadi lebih kecil menyebabkan mudah terjadinya aglomerasi (Alias *et al.* 2010).

Radzimska dan Jesionowski (2014) melaporkan bahwa ukuran partikel dari sintesis ZnO-NPs dipengaruhi oleh suhu, lamanya kalsinasi, dan konsentrasi bahan baku pada proses presipitasi. Pada sampel T80C mempunyai nilai indeks polidispersi (PI) sebesar 0,33. Nilai PI dibawah 0,7 (70%) menunjukkan pengukuran yang akurat dan mengindikasikan distribusi ukuran partikel yang lebih sempit (Babaei *et al.* 2008). Dengan distribusi ukuran partikel yang sempit maka ukuran NPs yang terbentuk lebih seragam.

Tabel 3 Hasil pengukuran ukuran partikel dan indeks polidispersi NPs komersial

Sampel	Ukuran Nanopartikel (nm)		Rata-rata Polidispersi Indeks
	Klaim produsen	Hasil pengukuran	
ZnO-NPs Komersial 1	15-25	562,53±317,08	0,65±0,17
ZnO-NPs Komersial 2	30-40	762,77±175,20	0,59±0,18
ZnO-NPs T80C	-	44,30±2,75	0,33±0,05

Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran ukuran partikel dan PI dari NPs komersial dan ZnO-NPs T80C. Rata-rata ukuran dua jenis NPs komersial jauh lebih besar jika dibandingkan dengan NPs T80C. Klaim ukuran NPs komersial dari produsen pada kisaran 15-40 nm, sedangkan pada saat pengukuran dengan PSA memberikan hasil yang lebih besar dari klaimnya. Ukuran yang lebih besar dari klaim ini mungkin disebabkan dari masa penyimpanan NPs komersial yang cukup lama sehingga kemungkinan terjadinya agregasi NPs menjadi ukuran yang lebih besar. NPs mempunyai kemungkinan agregasi yang lebih besar selama penyimpanan dan transportasi (Babaei *et al.* 2008).

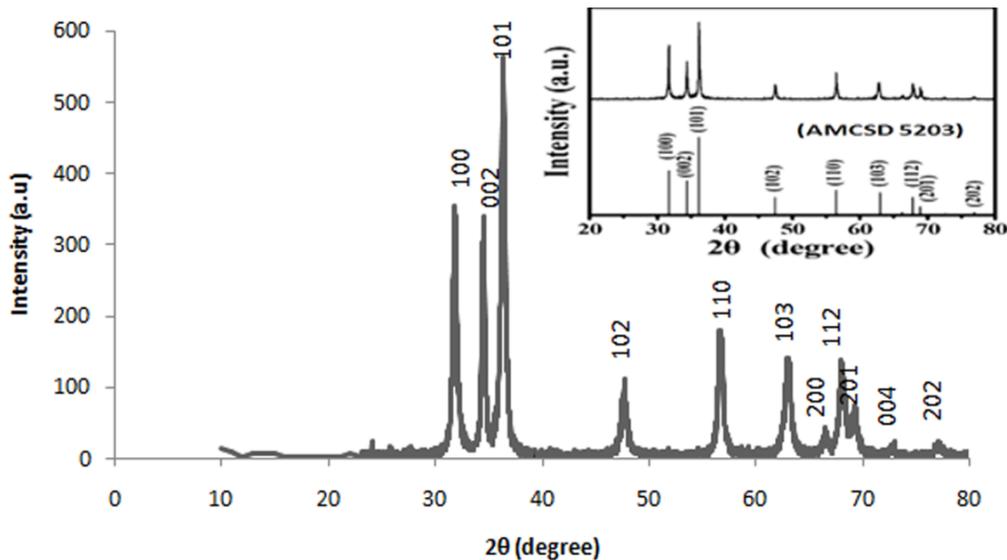
Nilai PI NPs T80C yang lebih kecil dibandingkan dengan PI NPs komersial maka ukuran partikel sampel T80C lebih seragam dibandingkan dengan NPs komersial. Hasil analisis statistika dengan menggunakan *one way ANOVA* dengan selang kepercayaan 95% menunjukkan bahwa suhu dan kalsinasi berpengaruh terhadap ukuran partikel pada sintesis NPs ZnO. Hasil analisis statistika menunjukkan bahwa sampel T80 berbeda nyata dari sampel perlakuan lain dan mempunyai ukuran yang paling kecil. Karakteristik NPs selanjutnya menggunakan T80C yang mempunyai ukuran partikel dan PI yang terbaik diantara perlakuan yang lain.

Analisa nanostruktur partikel

Analisis XRD digunakan untuk menentukan sidik jari (*finger print*) yang khas dari sampel beserta struktur kristalnya. Sinar-X pada XRD mendeteksi struktur kristal berdasarkan jarak antar atom pada beberapa sudut tembak. Hasil

XRD berupa spektra puncak-puncak difraksi yang selanjutnya dibandingkan dengan standar referensi pada database.

Pola XRD NPs T80C terlihat seperti Gambar 4. Semua puncak difraksi NPs T80C menunjukkan struktur wurtzite fase heksagonal dari kristal ZnO sesuai dengan *American Mineralogist Crystal Structure Database* no. 5203 (Down dan Hall-Wallace 2003). Nilai puncak 2θ dari ZnO-NPs T80C antara lain 31.88° (100), 34.54° (002), 36.40° (101), 47.74° (102), 56.60° (110), 63.10° (103), 66.70° (200), 68.00° (112), 69.16° (201), 72.9° (004) dan 77.20° (202).



Gambar 4 Spektra XRD ZnO-NPs T80C

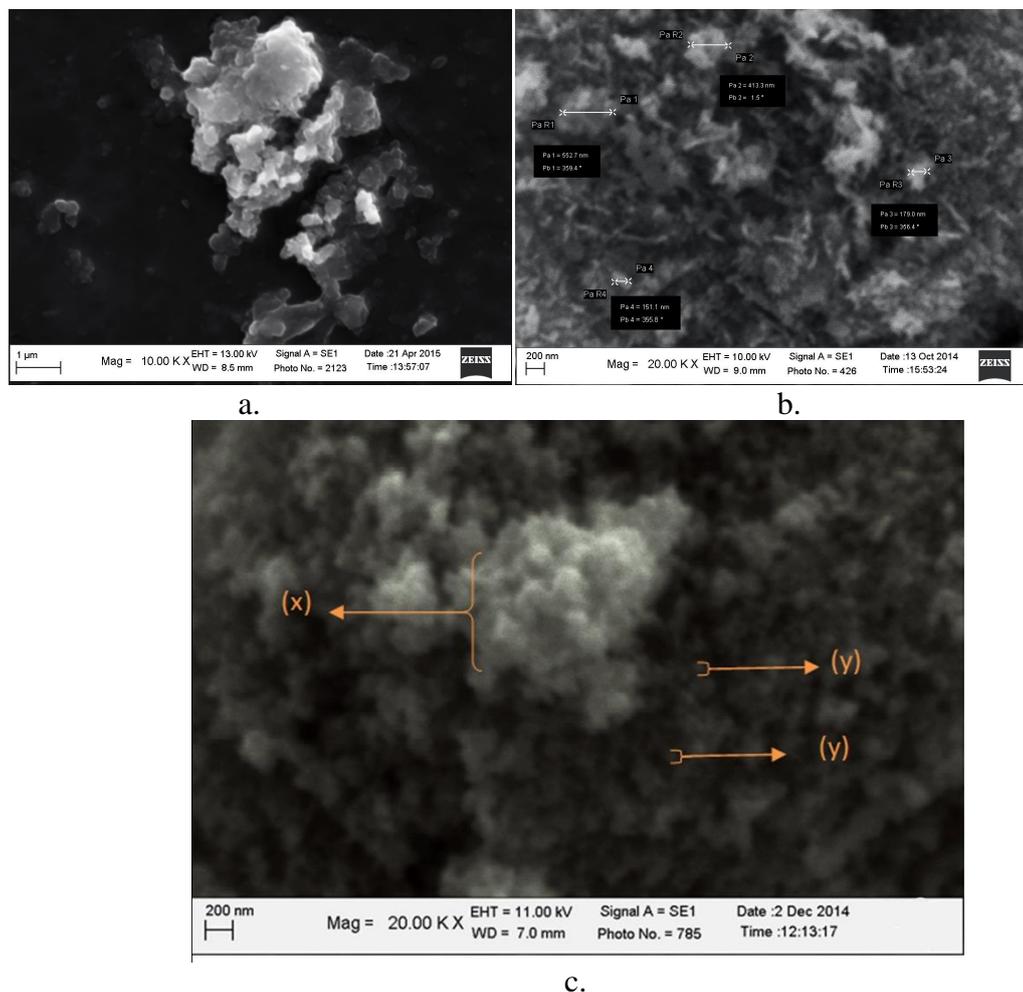
Ketajaman puncak difraksi menunjukkan bahwa nanopartikel yang terbentuk memiliki kristalinitas yang baik (Nejati *et al.* 2011). Tidak terdapat puncak lain yang terdeteksi, selain puncak-puncak difraksi dari kristal NPs T80C menunjukkan bahwa ZnO-NPs yang terbentuk mempunyai tingkat kemurnian yang tinggi (Wang *et al.* 2012). Sisa pektin sebagai capping agent tidak ditemukan dalam spektra XRD karena zat organik akan tereduksi dan menghilang dalam proses kalsinasi.

Analisis morfologi partikel

Analisis SEM digunakan untuk mengetahui morfologi eksternal (tekstur), struktur dan ukuran partikel kristal. Bentuk partikel pada ZnO-NPs Komersial 1 dan T80C berbentuk *spherical* (bulat), sedangkan pada ZnO-NPs Komersial 2 berbentuk *rods-shape* (batang) (Gambar 5). Perbedaan bentuk, ukuran dan struktur partikel kemungkinan disebabkan oleh perbedaan metode sintesis ZnO-NPs (Radzimska *et al.* 2014).

Ukuran partikel diantara ketiga sampel NPs yang terkecil adalah pada ZnO-NPs T80C, diperkirakan mempunyai ukuran kurang dari 100 nanometer jika dibandingkan dengan skala. Ukuran nanopartikel komersial diperkirakan lebih dari 100nm jika dibandingkan dengan skala. Pada Gambar 5 terlihat setiap sampel sebagian besar dalam kondisi teragregasi sehingga untuk melihat distribusi ukuran partikel yang lebih baik dapat melihat hasil dari pengukuran dari PSA.

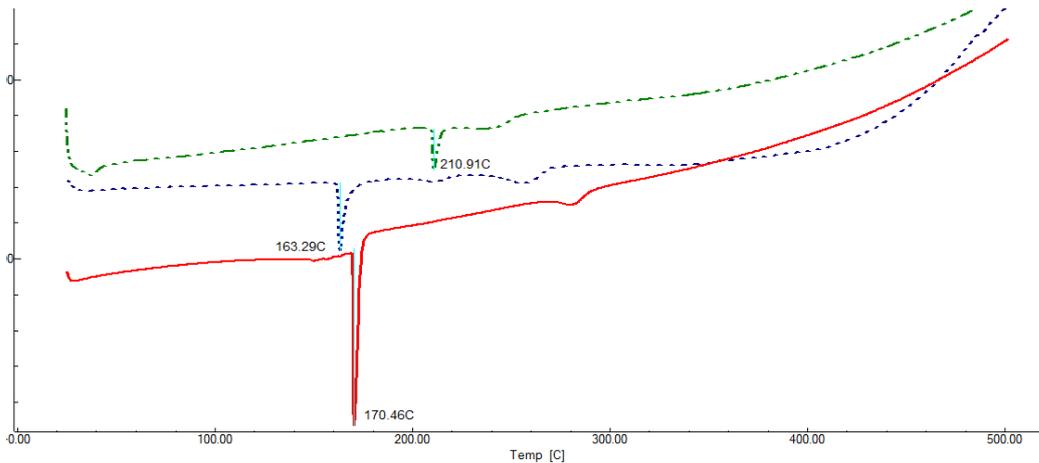
Nanopartikel pada Gambar 5c menunjukkan kondisi NPs teragregasi (tanda x) dan NPs tunggal (tanda y).



Gambar 5 Hasil SEM nanopartikel a. ZnO-NPs Komersial 1; b. ZnO-NPs Komersial 2; c. ZnO-NPs T80C; x. NPs teragregasi; y. NPs tunggal

Analisis kestabilan panas partikel

Mekanisme oksidasi isothermal dan struktur teroksidasi ZnO-NPs dianalisa menggunakan teknik DSC pada rentang suhu 50-500°C. Terlihat pada Gambar 6, thermogram sampel ZnO-NPs T80C memiliki karakteristik yang hampir sama dengan termogram sampel ZnO-NPs Komersial. Pada kurva DSC hasil pengukuran sampel ZnO-NPs terdapat satu puncak besar endotermik dan beberapa puncak kecil endotermik. Puncak besar endotermik menunjukkan konversi seng hidroksida menjadi nanopartikel seng oksida sedangkan puncak kecil endotermik pada suhu yang lebih tinggi menunjukkan terjadinya perubahan nanopartikel seng oksida menjadi nanopartikel seng oksida (Kumar & Rani 2013).



Gambar 6 Kurva DSC nanopartikel ZnO (— · —) ZnO-NPs Komersial 1; (· · · · ·) ZnO-NPs T80C; (—) ZnO NPs Komersial 2

Puncak endotermik ZnO-NPs T80C berada pada suhu 163,29°C, suhu puncak ini dibawah puncak endotermik dari ZnO-NPs komersial lain. Dengan membandingkan puncak endotermik sampel NPs maka dapat diketahui bahwa pada sampel ZnO-NPs T80C mempunyai karakter dapat memecah agregasi NPs pada suhu yang lebih rendah dibandingkan sampel NPs komersial. Pada puncak endotermik terbesar diperkirakan terjadinya pelepasan capping agent sehingga terlihat bahwa capping agent yang mempunyai daya tahan yang lebih baik adalah capping agent pada sampel ZnO-NPs Komersial 1.

Analisis warna partikel

Pada analisis warna menggunakan kromameter, hasil yang didapatkan menggunakan sistem notasi CIE L^* , a^* , b^* . Notasi L^* menyatakan tingkat kecerahan dari cahaya pantul yang menghasilkan warna akromatik putih, abu-abu dan hitam. Notasi a^* merupakan warna kromatik campuran merah sampai hijau, dengan nilai positif untuk warna merah dan negatif untuk warna hijau. Notasi b^* merupakan warna kromatik campuran biru sampai kuning, dengan nilai positif untuk warna kuning dan negatif untuk warna biru.

Tabel 4 Hasil pengukuran warna

Sampel	Rata-rata pengukuran			WI	BI
	L^*	a^*	b^*		
ZnO-NPs Komersial 1	87,413	-0,300	0,510	87,399	0,316
ZnO-NPs Komersial 2	82,667	-0,820	2,320	82,493	1,961
ZnO-NPs T80C	80,630	-3,197	8,387	78,652	6,967

Dari Tabel 4 terlihat bahwa indeks warna putih (WI) yang paling tinggi pada sampel ZnO-NPs Komersial 1 dan nilai WI yang paling rendah adalah pada sampel ZnO-NPs T80C. Sedangkan pada indeks warna coklat (BI) terlihat

sebaliknya nilai tertinggi ada pada sampel ZnO-NPs T80C dan yang terendah pada sampel ZnO-NPs Komersial 1.



Gambar 7 Bubuk nanopartikel a. ZnO-NPs Komersial 1, b. ZnO-NPs Komersial 2, c. ZnO-NPs T80C

Kristal seng oksida bersifat termokromik, yaitu partikel ini akan berubah warna dari putih menjadi kuning ketika dipanaskan dan akan kembali menjadi putih ketika dingin. Perubahan warna ketika terjadi pemanasan disebabkan pada suhu tinggi kristal ZnO akan kehilangan atom O₂ sehingga menghasilkan warna yang berbeda. Pada pendinginan, atom-atom oksigen akan kembali pada posisi semula sehingga diperoleh warna asalnya (Chambers & Hollyday 1975).

Warna ZnO-NPs T80C terlihat lebih kuning dibandingkan dengan kedua sampel ZnO-NPs lainnya (Gambar 7). Warna kuning pada sampel ZnO-NPs T80C terjadi akibat proses kalsinasi menggunakan suhu tinggi dan waktu kalsinasi yang cukup lama, sehingga beberapa struktur kristal ZnO akan terganggu dan menyebabkan hilangnya atom O₂ pada struktur kristal (Chambers & Hollyday 1975). Pada kristal yang rusak akan terbentuk nanopartikel seng sehingga akan memberi warna kuning pada bubuk ZnO yang dikalsinasi. Perubahan struktur dari nanopartikel ZnO menjadi seng nanopartikel terlihat jelas saat analisa DSC pada suhu diatas 200°C.

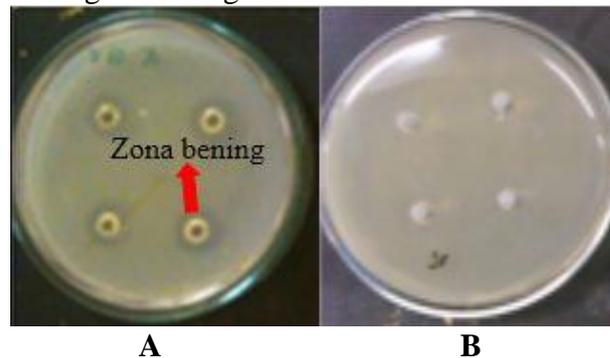
Antimikroba

Pada pengujian antimikroba, sampel ZnO-NPs T80C akan dibandingkan dengan ZnO-NPs Komersial 1 dan ZnO-NPs Komersial 2. Untuk melihat aktivitas antimikroba, dilakukan tiga jenis metode pengujian, yaitu metode sumur, metode hitung cawan dan metode kontak. Pada Tabel 5 menunjukkan hasil pengukuran zona penghambatan mikroba menggunakan metode sumur. Dari hasil analisa terlihat bahwa hanya pada bakteri *S. aureus* saja terbentuk zona bening, sedangkan pada mikroba lainnya tidak terbentuk zona bening. Hasil ini sedikit berbeda dari yang didapatkan oleh penelitian lain, Narayanan *et al.* (2012) melaporkan bahwa zona bening terbentuk pada pengujian ZnO-NPs menggunakan *E. coli*, *Klebsiella pneumoniae* dan *Enterococcus faecalis*.

Tabel 5 Hasil uji antimikroba dengan metode sumur

No	Mikroba	Rata-rata diameter zona bening (mm)		
		ZnO-NPs Komersial 1	ZnO-NPs Komersial 2	ZnO-NPs T80C
1	<i>S. aureus</i>	7,125±1,21	6,125±0,34	6,625±0,21
2	<i>B. cereus</i>	Tidak ada zona bening		
3	<i>E. coli</i>	Tidak ada zona bening		
4	<i>S.thypimurium</i>	Tidak ada zona bening		
5	<i>A. niger</i>	Tidak ada zona bening		
6	<i>F. oxysporum</i>	Tidak ada zona bening		
7	<i>S. cerevisiae</i>	Tidak ada zona bening		

Pada penelitian ini didapatkan diameter rata-rata zona bening pada sampel ZnO-NPs Komersial 1 mempunyai ukuran yang lebih besar dari pada sampel ZnO lainnya. Dengan terbentuknya zona bening pada pengujian ini maka menandakan bahwa ZnO-NPs mempunyai sifat antimikroba (Gambar 8). Dengan menggunakan metode sumur ini kurang terlihat perbedaan aktivitas antimikroba antar sampel NPs. Untuk mengetahui sifat antimikroba dari ZnO-NPs lebih lanjut maka perlu dilakukan pengujian lain yaitu dengan metode cawan hitung untuk mengukur aktivitas ZnO-NPs sebagai antibakteri dan metode kontak untuk mengukur aktifitas ZnO-NPs sebagai antifungal.



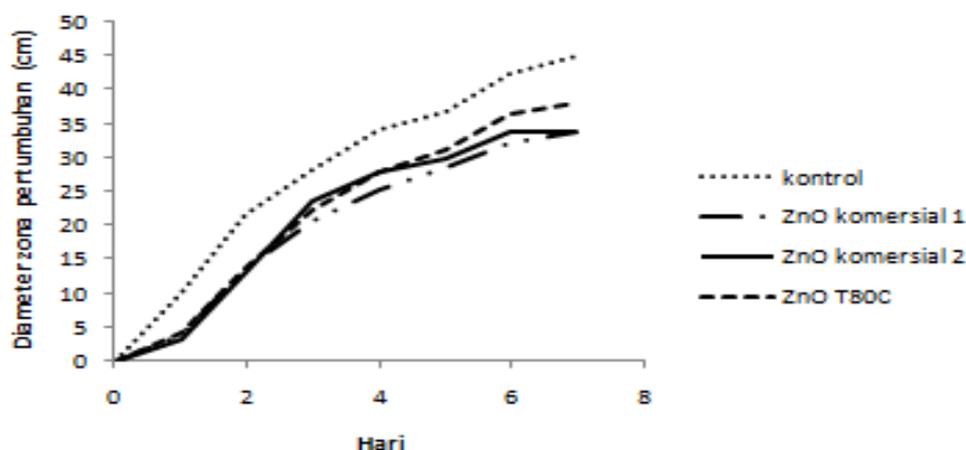
Gambar 8 Pengujian antimikroba metode sumur A. sumur dengan zona bening. B. sumur tanpa zona bening.

Metode hitung cawan digunakan untuk menghitung jumlah mikroba yang dapat bertahan hidup setelah diberi perlakuan ZnO-NPs. Pada Tabel 6 menunjukkan aktivitas antibakteri yang paling efektif adalah ZnO T80C, terlihat bahwa jumlah koloni bakteri dan khamir pada perlakuan dengan sampel ZnO T80C lebih kecil dibandingkan dengan perlakuan ZnO lainnya.

Tabel 6 Hasil pengujian antimikroba dengan metode hitung cawan

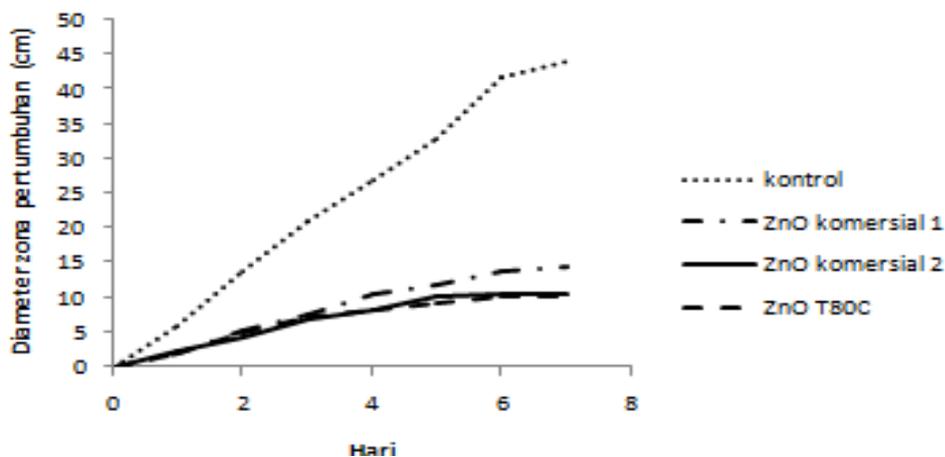
Sampel	Jumlah koloni (cfu/ml)				
	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. cerevisiae</i>	<i>B. cereus</i>	<i>S. typhimurium</i>
Kontrol	>300	>300	>300	>300	>300
ZnO Komersial 1	58±2,83	28±10,6	2±1,41	48±6,36	5±2,12
ZnO Komersial 2	182±9,9	2±2,12	0	29±9,19	10±0,71
ZnO T80C	8±1,41	0	0	20±0,71	1±1,41

Narayanan *et al.* (2012) melaporkan aktivitas antimikroba pada ZnO-NPs akan meningkat pada ukuran partikel yang lebih kecil. Dari hasil pengujian diatas terlihat bahwa pada ZnO T80C yang mempunyai ukuran partikel yang lebih kecil daripada NPs komersial juga mempunyai aktivitas antimikroba yang lebih baik daripada NPs komersial tersebut. Talebian *et al.* (2013) melaporkan bahwa selain ukuran partikel, luas permukaan partikel juga dapat mempengaruhi efektivitas NPs sebagai antimikroba. Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara ukuran partikel dan aktivitas antimikroba seperti yang telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya (Padmavathy & Vijayaraghavan 2008; Yousef & Danial 2012; Talebian *et al.* 2013).



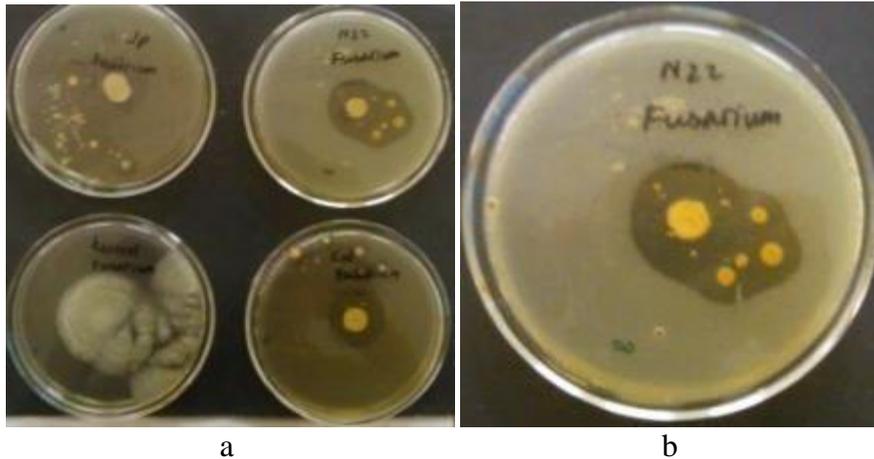
Gambar 9 Diameter zona pertumbuhan *A. niger*

Metode kontak digunakan untuk mengukur efektifitas ZnO-NPs sebagai antikapang. Aktivitas antikapang dapat terlihat dari diameter zona pertumbuhan kapang pada media yang telah diberi ZnO-NPs (Gambar 9). Pada Gambar 10 terlihat bahwa aktivitas antikapang untuk *A. niger* yang paling efektif adalah pada ZnO-NPs Komersial 1. Aktivitas antikapang untuk *F. oxysporum* yang paling efektif adalah pada ZnO-NPs T80C (Gambar 11).



Gambar 10 Diameter zona pertumbuhan *F. oxysporum*

Pada *A. niger* diameter pertumbuhan pada media yang diberi perlakuan masih cukup besar jika dibandingkan dengan diameter dari *F. oxysporum*. *A. niger* mempunyai mekanisme adaptasi dinding sel terhadap stres yang diberikan, yaitu dengan cara mempertebal lapisan kitin pada dinding selnya (Ram *et al.* 2004). Dengan membandingkan kontrol dan sampel perlakuan maka diketahui bahwa ZnO-NPs mempunyai aktivitas sebagai antikapang. Hasil pengujian antimikroba menunjukkan bahwa ZnO-NPs dapat berfungsi sebagai antimikroba dengan spektrum yang luas (*broad spectrum*).



Gambar 11 Pengujian metode kontak pada kapang *F. oxysporum* a) pengujian antimikroba dengan sampel nanopartikel b) pengujian antimikroba pada sampel T80C

5 SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Nanopartikel ZnO telah berhasil disintesis menggunakan metode presipitasi dengan NaOH sebagai reduktor dan pektin sebagai *capping agent*. Hasil analisa PSA menunjukkan bahwa pada pemanasan suhu 80°C dan dikalsinasi memberikan hasil yang terbaik, yaitu mempunyai ukuran terkecil (44.30nm) dan ukuran yang seragam dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya. Hasil uji statistika menunjukkan bahwa perlakuan suhu dan kalsinasi berpengaruh nyata terhadap ukuran partikel pada sintesis NPs. Karakterisasi XRD menunjukkan bahwa sintesis dengan metode dan perlakuan tersebut memberikan ZnO-NPs yang mempunyai tingkat kemurnian yang tinggi. Analisis SEM menunjukkan morfologi ZnO-NPs berbentuk *spherical* (bulat). Uji antimikroba menunjukkan ZnO-NPs T80C memiliki aktivitas antimikroba yang lebih baik dibandingkan ZnO-NPs komersial.

Saran

Nanopartikel ZnO yang telah didapatkan dan dikarakterisasi mempunyai warna yang lebih kuning dibandingkan nanopartikel ZnO komersial. Untuk mendapatkan bubuk nanopartikel yang lebih putih maka perlu dilakukan optimasi suhu kalsinasi sehingga akan didapatkan nanopartikel dengan ukuran kecil dan bubuk nanopartikel yang berwarna putih. Perlu dilakukan penelitian mengenai penggunaan *capping agent* selain pektin untuk memperoleh bubuk ZnO-NPs dengan warna yang lebih putih seperti PEG, PVA dan asam oleat yang mana pemilihan *capping agent* tersebut dapat disesuaikan dengan target aplikasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhady MM. 2012. Preparation and characterization of chitosan/zinc oxide nanoparticles for imparting antimicrobial and UV protection to cotton fabric. *Int J Carbohydr Chem* [internet]. [diunduh 2015 Mei 22]. 2012. doi:10.1155/2012/840591.
- Aboulaich A, Tilmaciu CM, Merlin C, Mercier C, Guilloteau H, Medjahdi G, Schneider R. 2012. Physicochemical properties and cellular toxicity of (poly)aminoalkoxysilanes-functionalized ZnO quantum dots. *Nanotechnology* [internet]. [diunduh 2015 Mei 22] 23:335101. doi:10.1088/0957-4484/23/33/335101.
- Alias SS, Ismail AB, Mohamad AA. 2010. Effect of pH on ZnO nanoparticle properties synthesized by sol-gel centrifugation. *J Alloy Compd.* 499:231-237.
- Alwan RM, Kadhim QA, Sahan KM, Ali RA, Mahdi RJ, Kassim NA, Jassim AN. 2015. Synthesis of zinc oxide nanoparticles via sol-gel route and their characterization. *Nanosci Nanotech.* 5(1):1-6.
- Arabi F, Imandar M, Negahdary M, Imandar M, Noughabi MT, Akbari-dastjerdi H, Fazilati M. 2012. Investigation anti-bacterial effect of zinc oxide nanoparticles upon life of *Listeria monocytogenes*. *Annals of Biol Resc.* 3(7):3679-3685.
- Babaei Z, Jahanshahi, Sanati MH. 2008. Fabrication and evaluation of gelatin nanoparticles for delivering of anti-cancer drug. *Int J Nanosci Nanotech.* 4 (1):23-30.
- Bacaksiz E, Parlak M, Tomakin M, Özcelik A, Karakiz M, Altunbas M. 2008. The effect of zinc nitrate, zinc acetate and zinc chloride precursors on investigation of structural and optical properties of ZnO thin films. *J Alloy Compd.* 2008:466–450.
- Baruah S, Dutta J. 2009. Hydrothermal growth of ZnO nanostructures. *Sci Technol Adv Mater.* 10:013001.
- Chambers C, Holliday AK. 1975. *Modern Inorganic Chemistry*. London: Butterworth & Co (Publishers) Ltd.

- Chaudhry Q, Scotter M, Blackburn J, Ross B, Boxxal A, Castle L, Aitken R, Watkins R. 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Addit Contam.* 25(3):241-258.
- Diaz MR, Vivas-Meija PE. 2013. Nanoparticles as drug delivery systems in cancer medicine: emphasis on RNAi-containing nanoliposomes. *Pharmaceuticals.* 6:1361-1380.
- Diaz-Visurraga J, Gutierrez C, Von Plessing C, Garcia A. 2011. Metal nanostructure as antibacterial agents. Di dalam: Mendez-Villas A, editor. *In science and technology against microbial pathogens communicating current research and technological advances.* Badajoz (ES): Formatex. hlm. 210-218.
- Down RT, Hall-Wallace. 2003. The american mineralogist crystal structure database. *Am Miner* 88:247-250.
- Herman S. 2009. Review on the problem of zinc deficiency, program prevention and its prospect. *Media Penelit Pengembang Kesehat.* 19(2):75-83.
- Hambige M. 2000. Human zinc deficiency. *J Nutr.* 130 (5S Suppl):1344S-9S.
- Jin T, Sun D, Su JY, Zhang H, Sue HJ. 2009. Antimicrobial efficacy of zinc oxide quantum dots against *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis*, and *Escherichia coli* O157:H7. *J Food Sci.*74:46-52.
- Jones N, Ray B, Ranjit KT, Manna AC. 2007. Antibacterial activity of zno nanoparticle suspensions on a broad spectrum of microorganisms. *FEMS Microbiol Lett.* 279:71-76.
- Kumar H, Rani R. 2013. Structural and optical characterization of zno nanoparticles synthesized by microemulsion route. *Int Lett Chem Phys Astron.* 19:26-36.
- Kumar SK, Venkateswarlu P, Rao VR, Rao GN. 2013. Synthesis, characterization and optical properties of zinc oxide nanoparticles. *Int Nano Lett.* 3(30):1-6.
- Li X, Xing Y, Jiang Y, Ding Y, Li W. 2009. Antimicrobial activitee of ZnO powder-coated PVC film to inactivate food pathogens. *Int J Food Sci Tech.* 44:2161-2168.
- Manzoor U, Zahra FT, Rfique S, Moin MT, Mujahid M. 2015. Effect of synthesis temperature, nucleation time, and postsynthesis heat treatment of ZnO nanoparticles and its sensing properties. *J Nanomater.* 2015:1-6.
- Moharekar S, Raskar P, Wani A, Moharekar S. 2014. Synthesis and comparative study of zimc oxide nanoparticles with and without capping of pectin and its application. *World J Pharm Pharm Sci.* 3(7):1255-1267.
- Narayanan PM, Wilson WS, Abraham AT, Sevanam M. 2012. Synthesis, characterization, and antimicrobial activity of zinc oxide nanoparticles against human pathogens. *Biol Nanosci.* 2:329-335.
- Navale GR, Thripuranthaka M, Late DJ, Shinde SS. 2015. Antimicrobial activity of ZnO nanoparticles against pathogenic bacteria and fungi. *JSM Nanotechnol Nanomed.* 3(1):1033.
- Nejati K, Rezvani Z, Pakizevand R. 2011. Synthesis of ZnO nanoparticles and investigation of the ionic template effect on their size and shape. *Int Nano Lett.* 1 (2):75-81.
- Padmavathy N, Vijayaraghavan R. 2008. Enhanced bioactivity of ZnO nanoparticles an antimicrobial study. *Sci Technol Adv Mat.* 9:4-35.

- Parra MR, Haque FZ. 2014. Aqueous chemical route synthesis and effect of calcination temperature on the structural and optical properties of ZnO nanoparticles. *J Mater Res Technol.* 3(4):363-369.
- [PIPIMM] Pusat Informasi Produk Industri Makanan dan Minuman. 2011. Kemasan nanopartikel [internet]. [Diacu: 2013 Juli 19] <http://www.pipimm.or.id/>.
- Ram AFJ, Arentshorst M, Damveld RA, Vankuyk PA, Klis FM, Hondel CA. 2004. The cell wall stress response in *Aspergillus niger* involves increased expression of the glutamine: fructose-6-phosphate amidotransferase-encoding gene (gfaA) and increased deposition of chitin in the cell wall. *J Microbiol.* 150:3315-3326.
- Radzimska AK, Jesionowski T. 2014. Zinc oxide-from synthesis to application: a review. *Materials.* 7:2833-2881.
- Rasmussen JW, Martinez E, Louka P, Wingett DG. 2010. Zinc oxide nanoparticles for selective destruction of tumor cells and potential for drug delivery applications. *Expert Opin Drug Deliv.* 7(9):1063-1077.
- Ravichandran S, Franklin DR, Kalyan U. 2010. Effect of capping agent on the synthesis of zinc oxide nanoparticles by precipitation and chemical reaction methods. *Natl J Chem Biosis.* 1(2):4-6.
- Sileikaite A, Prosycevas I, Puiso J, Juraitis A, Guobiene A. 2006. Analysis of silver nanoparticles produced by chemical reduction of silver salt solution. *J Mat Sci.* 12(4):287-291.
- Sirelkhatim A, Mahmud S, Seeni A, Kaus NHM, Ann LC, Bakhori SKM, Hasan H, Mohamad D. 2015. Review on zinc oxide nanoparticles: antibacterial activity and toxicity mechanism. *Nano-Micro Lett.* 7(3):219-242.
- Suganthi KS, Rajan KS. 2012. Effect of calcination temperature on the transport properties colloidal stability of ZnO-water nanofluids. *Asian J Sci Res.* 5: 2017-217.
- Sabir S, Arshad M, Chaudhari SK. 2014. Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications. *Sci world J.* 2014:1-8.
- Singh AK, Viswanath V, Janu VC. 2009. Synthesis, effect of capping agent, structural, optical and photoluminescence properties of ZnO nanoparticles. *J Lumin.* 129(8):874-878.
- Soares GMS, Figueiredo LC, Faveri M, Cortelli SC, Duarte PM, Feres M. 2012. Mechanisms of action of systemic antibiotics used in periodontal treatment and mechanisms of bacterial resistance to these drugs. *J Appl Oral Sci.* 20 (3):295-309.
- Tamrakar R, Ramrakhiani M, Chandra BP. 2008. Effect of capping agent concentration on photophysical properties of zinc sulfide nanocrystals. *Op Nanosci J.* 2:12-16.
- Taufiqurrahman, Hadi H, Julia M, Herman S. 2009. Defisiensi vitamin A dan zinc sebagai faktor risiko terjadinya stunting pada balita di Nusa Tenggara Timur. *Media Penelit Pengembang Kesehatan.* 19 (2):84-94.
- Talebian N, Amininezhad SM, Douidi M. 2013. Controllable synthesis of zno nanoparticles and their morphology-dependent antibacterial and optical properties. *J Photochem Photobiol B Biol.* 120:66-73.

- Wang J, Cao J, Fang B, Lu P, Deng S, Wang H. 2005. Synthesis and characterization of multipod, flower-like, and shuttle-like ZnO frameworks in ionic liquids. *Mater Lett.* 59:1405–1408.
- Wang YM, Li JH, Hong RY. 2012. Large scale synthesis of zno nanoparticle via homogenous precipitation. *J Cent South Univ.* 19:863-868.
- Wei H, Sun H, Wang S, Chen G, Hou Y, guo H, Ma X. 2010. Low temperature h₂s sensor based on copper oxide/tin dioxide thick film. *J Natur Gas Chem.* 19 (4):393-396.
- Wyckoff RWG. 1963. *Crytal Structures 2nd*. New York: Interscience Publishes.
- Yousef JM, Danial EN. 2012. In *vitro* antibacterial activity and minimum inhibitory concentration of zinc oxide and nano-particle zinc oxide against pathogenic strains. *J Health Sci.* 2(4):38-42.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil pengukuran PSA

Sampel	Perlakuan		Hasil PSA (nm)			Rata-rata	PI			Rata-rata
	Suhu	Kalsinasi	1	2	3		1	2	3	
T60	60°C	-	85,2	112,4	117,8	105,13	0,33	0,33	0,3	0,32
T80	80°C	-	81,7	70,2	83,7	78,53	0,36	0,38	0,36	0,37
T100	100°C	-	72,4	77	79,9	76,43	0,31	0,22	0,19	0,24
T60C	60°C	550°C	97,9	75,5	92,8	88,73	0,72	0,68	0,6	0,67
T80C	80°C	550°C	44,9	46,7	41,3	44,3	0,3	0,38	0,3	0,33
T100C	100°C	550°C	492,5	726	412,8	543,77	0,51	0,58	0,39	0,49

Lampiran 2 Hasil pengukuran PSA Komersial

Sampel	Hasil PSA (nm)			Rata-rata	PI			Rata-rata
	1	2	3		1	2	3	
ZnO-NPs Komersial 1	321,4	921,7	444,5	562,53	0,79	0,46	0,69	0,65
ZnO-NPs Komersial 2	831,6	563,6	893,1	762,77	0,64	0,75	0,39	0,59

Lampiran 3 Hasil analisis RAL data PSA dan PI
Dependent Variable :PSA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5963.663	4	1490.916	14.389	.000
Within Groups	1036.167	10	103.617		
Total	6999.829	14			

Duncan^a

Suhu	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
T80C	3	44.300		
T100	3		76.433	
T80	3		78.533	
T60C	3		88.733	88.733
T60	3			105.133
Sig.		1.000	.188	.077

Dependent Variable: PI

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.355	5	.071	21.911	.000
Within Groups	.039	12	.003		
Total	.394	17			

Duncan^a

Suhu	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
T100	3	.2400			
T60	3	.3200	.3200		
T80C	3	.3267	.3267		
T80	3		.3667		
T100C	3			.4933	
T60C	3				.6667
Sig.		.101	.358	1.000	1.000

Lampiran 4 Hasil pengukuran warna

Sampel	Rata-rata pengukuran			L	a	b	WI	x	BI
	L*	a*	b*						
ZnO-NPs Komersial 1	87,413	-0,3	0,51	84,174	-0,293	0,484	87,399	0,311	0,316
ZnO-NPs Komersial 2	82,667	-0,82	2,32	78,446	-0,78	2,127	82,493	0,313	1,961
ZnO-NPs T80C	80,63	-3,197	8,387	76,029	-2,993	7,334	78,652	0,322	6,967

Lampiran 5 Hasil uji antimikroba dengan metode sumur

Sampel	Sumur	Ulangan			Rata-rata	Diameter zona bening	Rata-rata diameter
		1	2	3			
ZnO-NPs Komersial 1	1	12	12	12	12	6	7,125
	2	14	13	13,5	13,5	7,5	
	3	16	13	15	14,67	8,67	
	4	12	13	12	12,33	6,33	
ZnO-NPs Komersial 2	1	12	12	12,5	12,17	6,17	6,125
	2	12,5	12,5	12,5	12,5	6,5	
	3	11,5	11,5	12	11,67	5,67	
	4	12	12	12,5	12,17	6,17	
ZnO-NPs T80C	1	12,5	12,5	12	12,33	6,33	6,625
	2	13	13	12,5	12,83	6,83	
	3	13	13	12	12,67	6,67	
	4	13	12,5	12,5	12,67	6,67	

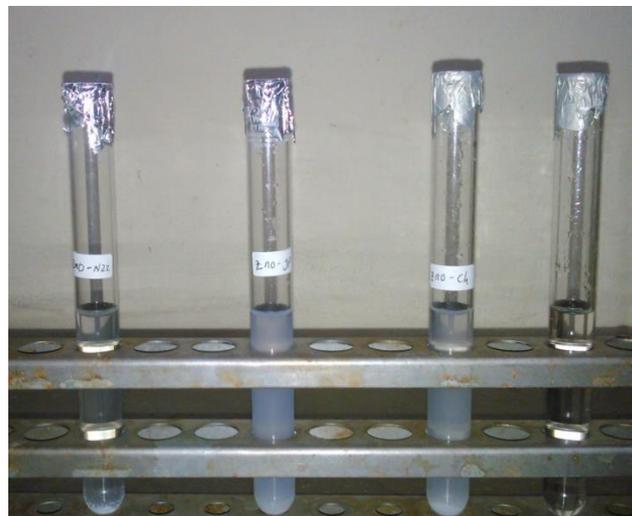
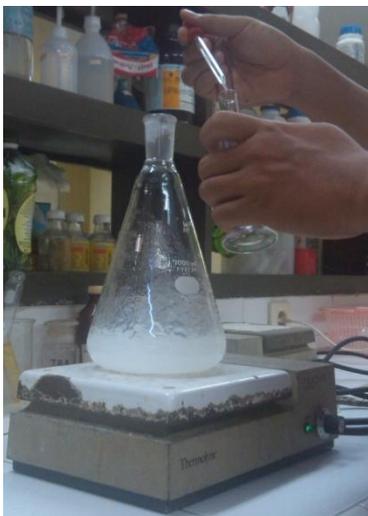
Lampiran 6 Hasil pengujian antimikroba dengan metode cawan hitung

Parameter	<i>S. aureus</i>		<i>E. coli</i>		<i>S. cerevisiae</i>		<i>B. cereus</i>		<i>S. Typhimurium</i>	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Kontrol 24 jam	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300
ZnO-NPs Komersial 1	56	60	15	40	1	3	52	43	3	6
ZnO-NPs Komersial 2	175	189	0	3	0	0	22	35	10	9
ZnO-NPs T80C	9	7	0	0	0	0	20	19	2	0

Lampiran 7 Hasil pengujian antimikroba dengan metode kontak

Kapang	Hari ke-	Diameter zona pertumbuhan kapang			
		Kontrol	ZnO-NPs Komersial 1	ZnO-NPs Komersial 2	ZnO-NPs T80C
<i>A. niger</i>	0	0	0	0	0
	1	10,33	3,83	3,33	4,33
	2	21,67	13,83	13,17	13,83
	3	28,17	20,5	23,5	22,33
	4	34,25	25,17	27,83	28,08
	5	36,92	28,58	29,92	31,25
	6	42,5	32,17	33,83	36,42
	7	45	33,75	33,83	38,17
<i>F. Oxysporum</i>	0	0	0	0	0
	1	5,92	2	2,25	1,83
	2	13,83	5,25	4,17	4,92
	3	21	7,67	6,83	7,08
	4	27,08	10,33	8,33	8,17
	5	33	11,75	10	9,33
	6	41,92	13,75	10,58	10,08
	7	44	14,42	10,58	10,25

Lampiran 8 Dokumentasi proses sintesis dan karakterisasi ZnO-NPs



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 22 Mei 1985, sebagai anak keempat dari 4 bersaudara yang merupakan anak pasangan Bapak Suratman Syafsidinal dan Ibu Bainarwati. Setelah lulus dari SMA Negeri 89 Jakarta pada tahun 2003, penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Institut Pertanian Bogor jurusan Biologi dan meraih gelar Sarjana Sains pada tahun 2008. Pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan program Magister di Institut Pertanian Bogor pada program studi Ilmu Pangan dan lulus pada tahun 2015 dengan penelitian berjudul "Sintesis, Karakterisasi, dan Pengujian Antimikroba Nanopartikel ZnO". Hasil penelitian ini telah diajukan ke Indonesian Journal of Chemistry untuk dipublikasi (saat ini dalam tahap review I oleh Mitra Bebestari IJC).