Efektivitas Penggunaan Ekstrak Kulit Pisang Rajanangka Sebagai Capping Agent Dalam Sintesis Nanopartikel ZnO Serta Uji Aktivitas Sebagai Antibakteri

Muhammad Ary Fikriansyah[1], Fauziatul Fajaroh[2], Adilah Aliyatulmuna[3], dan Endang Ciptawati[4]

Universitas Negeri Malang, Indonesia
fikriareman14@gmail.com; *fauziatul.fajaroh.fmipa@um.ac.id*; *adilah.aliyatulmuna.fmipa@um.ac.id*; *endang.ciptawati.fmipa@um.ac.id*
*korespondensi *fauziatul.fajaroh.fmipa@um.ac.id*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggunaan ekstrak kulit pisang Rajanangka dalam sintesis nanopartikel ZnO, mengkarakterisasi nanopartikel ZnO hasil sintesis, dan uji aktivitas sebagai antibakteri terhadap bakteri gram positif dan negatif. Penelitian ini dilakukan dalam empat tahap, yaitu: 1) Ekstraksi senyawa-senyawa metabolit sekunder dari kulit pisang Rajanangka, 2) Uji fitokimia pada ekstrak kulit pisang Rajanangka meliputi: polifenol, saponin, alkaloid, dam flavonoid, 3) Sintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka dan tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka, 4) Karakterisasi nanopartikel ZnO menggunakan XRD, SEM, PSA, dan Uji Aktivitas Antibakteri. Hasil uji XRD menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka memiliki persentase kristalinitas nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka lebih tinggi (70,14%) dibandingkan kristalinitas nanopartikel ZnO (67,18%) tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO hasil sintesis memiiki bentuk morfologi seperti “batang”, nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka tidak mengalami penggumpalan (aglomerasi) dibandingkan dengan nanopartikel ZnO hasil sintesis tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka. Hasil uji PSA menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka memiliki rata-rata distribusi ukuran partikel (289,2 nm) lebih kecil dibandingkan yang disintesis (469,4 nm) tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka. Selain itu, nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka memiliki diameter zona hambat terhadap bakteri gram positif Bacillus subtilis (1,40 mm) dan bakteri gram negatif Pseudomonas aeruginosa (2,58 nm) lebih besar dibandingkan nanopartikel ZnO yang disintesis tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka terhadap bakteri gram positif Bacillus subtilis (1,28 mm) dan bakteri gram negatif Pseudomonas aeruginosa (1,78 mm). Sehingga dapat disimpulkan bahwa nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka memiliki kualitas yang lebih baik.

Kata Kunci: antibakteri, capping agent, ekstrak kulit pisang rajanangka, green chemistry, metabolit sekunder, nanopartikel ZnO

ABSTRACT

This study aims to determine the effectiveness of the use of Rajanangka banana peel extract in the synthesis of ZnO nanoparticles, characterize the synthesis of ZnO nanoparticles, and test their activity as an antibacterial against gram-positive and negative bacteria. This study was conducted in four stages: 1) Extraction of secondary metabolite compounds from Rajanangka banana peel, 2) Phytochemical tests on Rajanangka banana peel extract including: polyphenols, saponins, alkaloids, and flavonoids, 3) Synthesis of ZnO nanoparticles using Rajanangka banana peel extract and without using Rajanangka banana peel extract, 4) Characterization of ZnO nanoparticles using XRD, SEM, PSA, and Antibacterial Activity Test. The results of the XRD test showed that ZnO nanoparticles synthesized using Rajanangka banana peel extract had a higher percentage of crystallinity of ZnO nanoparticles using Rajanangka banana peel extract (70.14%) compared to the crystallinity of ZnO nanoparticles (67.18%) without using Rajanangka banana peel extract. The results of the SEM test showed that the ZnO nanoparticles from the synthesis had a morphological form such as "rod shaped", ZnO nanoparticles synthesized using Rajanangka banana peel extract did not undergo clumping (agglomeration) compared to the ZnO nanoparticles of synthesis without using Rajanangka banana peel extract. The results of the PSA test

showed that ZnO nanoparticles synthesized using Rajanangka banana peel extract had an average particle size distribution (289.2 nm) smaller than those synthesized (469.4 nm) without using Rajanangka banana peel extract. In addition, ZnO nanoparticles synthesized using Rajanangka banana peel extract have an inhibitory zone diameter against gram-positive bacteria *B. subtilis* (1.40 mm) and gram-negative bacteria *P. aeruginosa* (2.58 nm) greater than ZnO nanoparticles synthesized without using Rajanangka banana peel extract against gram-positive bacteria *B. subtilis* (1.28 mm) and gram-negative bacteria *P. aeruginosa* (1.78 mm). It can be concluded that the ZnO nanoparticles synthesized using Rajanangka banana peel extract have better quality.

Keywords: antibacterial, capping agent, plantain peel extract, green chemistry, secondary metabolites, ZnO nanoparticles

Pendahuluan

Nanoteknologi merupakan ilmu yang memanipulasi materi dalam skala nano (1-1000 nm) (Ahmad & Kalra, 2020)(Pudlarz & Szemraj, 2018). Sifat-sifat baru yang menguntungkan seperti anti ultraviolet, anti bakteri, anti statik, *self cleaning*, dan lain sebagainya dapat dihasilkan dari nanoteknologi(Novarini & Wahyudi, 2011). Di antara banyaknya nanopartikel yang ada, nanopartikel logam oksida lebih menjanjikan dikarenakan sifat fisik, kimia, dan biologi yang unik(Ahmad & Kalra, 2020). Banyak laporan dalam beberapa tahun terakhir yang menunjukkan bahwasannya oksida logam anorganik memiliki aktivitas antimikroba seperti ZnO, TiO_2, SiO_2, MgO, CaO, dan CeO_2(Ahmad & Kalra, 2020). Terkhusus nanopartikel ZnO, TiO_2, MgO, dan CaO menjadi perhatian dikarenakan stabil pada kondisi proses yang keras dan juga dianggap bahan yang aman bagi manusia[1]. ZnO dan TiO_2 memiliki aktivitas fotokatalitik yang mirip, namun biaya produksi ZnO 75% lebih murah dibandingkan TiO_2[4]. Nanopartikel ZnO merupakan material yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai kebutuhan, seperti halnya katalis, dan semikonduktor[5]. Selain itu juga nanopartikel ZnO beberapa tahun terakhir menarik perhatian dikarenakan sifat fisik dan kimianya yang tinggi, stabilitas mekanik, aktivitas katalisis yang tinggi, penyerapan radiasi, mempunyai sifat non-toksik, mempunyai elektro koefisien kopling[5], serta memiliki celah pita lebar sebesar 3,37 eV dan energi eksitasi sebesar 60 meV sehingga aktivitas fotokatalitiknya sangat baik (Novarini & Wahyudi, 2011). Nanopartikel ZnO memiliki umur lebih panjang dibandingkan dengan disinfektan berbasis organik sebagai agen antimikroba (Ahmad & Kalra, 2020).

Nanopartikel ZnO mampu membunuh bakteri dengan memanfaatkan sifat fotokatalitiknya(Novarini & Wahyudi, 2011). Bakteri-bakteri jenis gram positif dan negatif menghadirkan masalah utama dalam kesehatan masyarakat di seluruh dunia, terutama dengan munculnya strain bakteri yang resisten terhadap antibiotik (Dadi et al., 2019). Selama bertahun-tahun antibiotik banyak digunakan untuk pengendali infeksi, sehingga diperoleh teknologi nanomaterial oksida logam sebagai agen antibakteri baru (Dadi et al., 2019). Terdapat tiga mekanisme penghancuran terhadap DNA dan protein dalam membran sel oleh nanopartikel ZnO: pembentukan spesies oksigen reaktif (ROS) hidrogen peroksida H_2O_2, radikal hidroksil $OH\cdot$ dan radikal anion superoksida $O_2\cdot^-$ (Dadi et al., 2019). Atom-atom oksigen

tersebut merupakan oksidator kuat yang mampu memutus ikatan karbon melalui reaksi oksidasi-reduksi (Novarini & Wahyudi, 2011).

Nanopartikel ZnO dapat diperoleh melalui metode fisika maupun kimia, tetapi menggunakan bahan kimia berbahaya yang beracun terhadap lingkungan alam (Ahmad & Kalra, 2020). Alternatif yang lebih baik dapat diperoleh dengan pendekatan ramah lingkungan disebut sintesis hijau (*green chemistry*), karena dapat mengurangi penggunaan bahan kimia beracun dan biaya relatif rendah (Ahmad & Kalra, 2020). Proses sintesis hijau tidak memerlukan pelarut beracun, tekanan tinggi, suhu tinggi, dan proses refluks yang memakan waktu (Saridewi et al., 2022). Sintesis hijau nanopartikel dapat dilakukan menggunakan fungi, alga, ragi, mikroorganisme, dan ekstrak tanaman (Saridewi et al., 2022). Limbah tanaman dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, memiliki potensi cukup besar digunakan untuk adsorben logam berat maupun sintesis nanomaterial (Basumatari et al., 2021). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa limbah tanaman seperti kulit pisang, kulit kiwi, kulit lemon, kulit jeruk, kulit delima, kulit mangga, membran cangkang telur, jerami gandum, dan sekam padi telah dimanfaatkan dalam sintesis nanopartikel logam (Basumatari et al., 2021). Buah pisang sendiri dapat ditemukan dalam jumlah besar di negara tropis seperti Indonesia, di mana keanekaragaman hayatinya sangat melimpah (Arifki & Barliana, 2018).

Pisang merupakan salah satu jenis buah yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia (Khosiatun, 2016). Pisang jenis Rajanangka banyak digunakan oleh industri makanan sebagai bahan pembuatan kripik pisang[47]. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, produksi buah pisang pada tahun 2020 tertinggi di Indonesia mencapai 8.182.757 ton. Sehingga bagian buah pisang hasil pengolahan industri makanan yang tidak terpakai seperti kulit pisang dianggap sebagai limbah industri, karena bagian tersebut menyumbang sekitar 35-50% dari massa total buah pisang (Mohd Zaini et al., 2022). Oleh karena itu, pemanfaatan limbah kulit pisang tersebut dapat digunakan sebagai agen sintesis nanopartikel[8]. Permasalahan utama dalam sintesis ZnO berskala nanometer adalah mencegah terjadinya aglomerasi partikel, dengan penambahan *capping agent* [12]. Kulit pisang teridentifikasi mengandung senyawa-senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid, fenolik, alkaloid, saponin, terpenoid, tannin, karbohidrat, glikosida, gula pereduksi, steroid, antrakuinon, dan fitosterol[13]. Senyawa-senyawa tersebut dapat berfungsi sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam sintesis nanopartikel[7]. Adanya *capping agent* yang digunakan seperti asam sitrat, enzim, senyawa gugus fungsi (alkohol, amina, keton, peptida, aldehid, asam karboksilat) berperan dalam menstabilkan ZnO dan mencegah terjadinya aglomerasi partikel dengan berbagai mekanisme: (1) membentuk senyawa koordinasi yang stabil dengan ion Zn(II), (2) bioreduktor ion Zn(II) ke atom Zn(0), (3) menurunkan energi permukaan partikel sehingga pertumbuhan partikel terkontrol dan agregasi partikel dapat dicegah[12].

Oleh karena itu, dilakukan penelitian lebih lanjut yang bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggunaan ekstrak kulit pisang Rajanangka dibandingkan

tanpa ekstrak kulit pisang Rajanangka dalam sintesis nanopartikel ZnO sehingga dapat diketahui karakternya meliputi: kristalinitas, morfologi, distribusi ukuran partikel serta efektivitasnya sebagai agen antibakteri. Keterbaruan dari penelitian ini belum banyak ditemukan publikasinya dan juga belum pernah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan uraian tersebut, maka akan dilakukan penelitian dengan judul "Efektivitas Penggunaan Ekstrak Kulit Pisang Rajanangka sebagai *Capping Agent* dalam Sintesis Nanopartikel ZnO serta Uji Aktivitas sebagai Antibakteri".

Metode

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Kimia FMIPA UM untuk mendapatkan nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka dan tanpa ekstrak kulit pisang Rajanangka serta uji aktivitas antibakteri. Penelitian ini dilakukan dalam empat tahap:

1. **Tahap pertama:** ekstraksi senyawa-senyawa metabolit sekunder dari kulit pisang Rajanangka
2. **Tahap kedua:** uji fitokimia pada ekstrak kulit pisang Rajanangka yang meliputi uji polifenol, saponin, alkaloid, flavonoid.
3. **Tahap ketiga:** sintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka dan tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka.
4. **Tahap ketiga:** karakterisasi hasil sintesis nanopartikel ZnO menggunakan instrumentasi *Particle Size Analyzer* (PSA) yang dilaksanakan di lab. *Integrated Laboratroy and Research Center* (ILRC) Universitas Indonesia, *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang dilaksanakan di lab. Sentral FMIPA UM dan uji aktivitas antibakteri di lab. Mikrobiologi FMIPA UM.

Hasil dan pembahasan

Uji Fitokimia



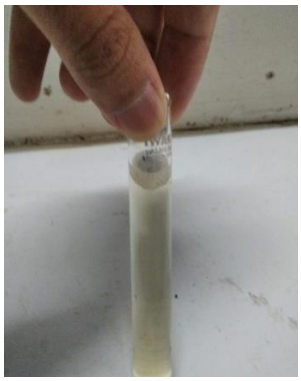
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 6. (a) Alkaloid (*mayer*), (b) Alkaloid (*dragendorf*), (c) Flavonoid, (d) Saponin, (e) Polifenol

Tabel 2. Hasil Uji Fitokimia Ekstrak Kulit Pisang Rajanangka

Jenis	Alkaloid		Flavonoid	Saponin	Polifenol
	mayer	*dragendorf*			
Ekstrak Kulit Pisang Rajanangka	-	-	-	++	+++

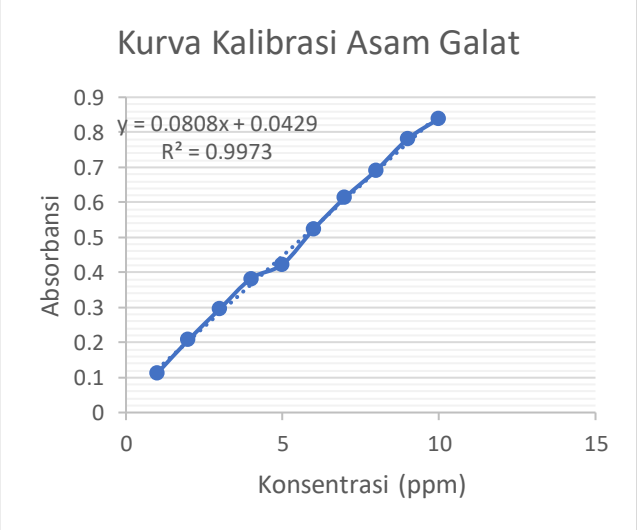
Kadar Total Polifenol

Kadar polifenol pada ekstrak kulit pisang Rajanangka dapat diuji secara kuantitatif dengan menggunakan larutan standar asam galat pada konsentrasi 1-10 ppm. Data absorbansi asam galat dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data Absorbansi Standar Asam Galat

Asam Galat		
Panjang Gel Maks.	**Konsentrasi (ppm)**	**Absorbansi**
765	1	0,112
	2	0,208
	3	0,296
	4	0,383
	5	0,423
	6	0,524
	7	0,614
	8	0,692
	9	0,781
	10	0,839

Data tersebut dapat diplotkan pada kurva sehingga diperoleh gambar grafik berikut.



Gambar 7. Kurva Standar Larutan Asam Galat

Dari data kurva standar tersebut diperoleh persamaan regresi: y = 0,0808x + 0,0429

Keterangan: y = absorbansi

x = konsentrasi polifenol total

Persamaan regresi tersebut digunakan untuk mencari kadar total polifenol pada ekstrak kulit pisang Rajanangka. Kadar total polifenol dihitung pada sampel dengan pelarut etanol:air (2V:1) dengan volume total 150 mL dan

waktu maserasi 24 jam. Hasil perhitungan kadar total polifenol pada ekstrak kulit pisang Rajanangka dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Perhitungan Kadar Total Polifenol Ekstrak Kulit Pisang Rajanangka

Absorbansi Ekstrak Kulit Pisang 2:1	Kadar Total Polifenol (ppm)	Kadar Total Polifenol (%)
0,534	6,078	0,243 %

Pengujian fitokimia bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa-senyawa metabolit sekunder yang terkandung pada ekstrak kulit pisang Rajanangka. Pada penelitian ini difokuskan pada senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid, alkaloid, saponin, dan polifenol. Pengujian fitokimia mendapatkan hasil positif yang dibuktikan pada pengujian saponin menghasilkan gelembung yang stabil setelah dibiarkan selama 10 menit, kemudian pada pengujian polifenol menunjukkan hasil yang positif dengan berubahnya larutan menjadi hijau kehitaman, sedangkan untuk pengujian flavonoid dan alkaloid mendapatkan hasil negatif yang menandakan tidak adanya senyawa tersebut. Dapat disimpulkan bahwa ekstrak kulit pisang Rajanangka mengandung senyawa saponin dan polifenol. Dalam penelitian inilah senyawa-senyawa metabolit sekunder tersebut akan berperan sebagai *capping agent* pada sintesis nanopartikel ZnO.

Hasil Sintesis Nanopartikel ZnO

Sintesis nanopartikel ZnO dilakukan dengan dua perlakuan, pertama sintesis nanopartikel ZnO tanpa ekstrak kulit pisang Rajanangka dan kedua sintesis nanopartikel dengan ekstrak kulit pisang Rajanangka. Sintesis nanopartikel ZnO tanpa ekstrak kulit pisang Rajanangka didapatkan serbuk berwarna putih dengan massa sebesar ± 2,41 gram, sedangkan yang menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka didapatkan serbuk berwarna putih dengan massa sebesar ± 2,33 gram.



(a)



(b)

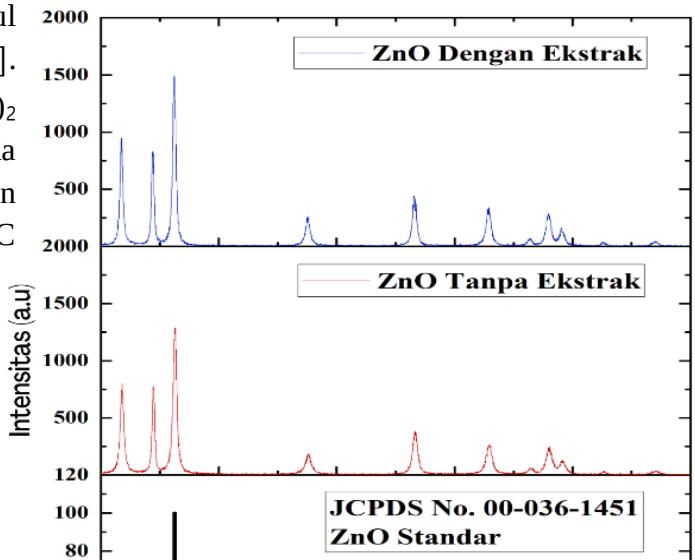
Gambar 8. Hasil sintesis nanopartikel ZnO (a) dengan ekstrak kulit pisang Rajanangka dan (b) tanpa ekstrak kulit pisang Rajanangka

Proses pembentukan nanopartikel ZnO dimulai dengan pembuatan larutan prekursor zink sulfat. Di dalam larutan, zink sulfat akan terionisasi menjadi ion Zn^{2+} dan SO_4^{2-}. Kemudian ekstrak kulit pisang Rajanangka ditambahkan pada salah satu sampel larutan zink sulfat. Pada saat pencampuran antara ekstrak kulit pisang Rajanangka dengan larutan prekursor zink sulfat, gugus-gugus fungsi yang terdapat pada ekstrak kulit pisang Rajanangka akan berinteraksi dengan permukaan ion Zn^{2+} dan menyelubungi ion-ion Zn^{2+} yang biasa disebut sebagai *"capping agent"* sehingga tidak terjadi agregasi dan pembentukan nanopartikel ZnO menjadi stabil[7]. Komponen biologi dalam ekstrak kulit pisang Rajanangka dengan bantuan larutan NaOH berperan dalam mereduksi ion Zn^{2+} menjadi Zn^0, atom-atom Zn^0 membentuk kluster. Gugus hidroksi berperan dalam mengikat kluster Zn^0 sehingga mengakibatkan adanya gaya tolak-menolak antar muatan yang sejenis untuk mencegah terjadinya agregasi antar partikel [12]. Ion Zn^{2+} bereaksi dengan ion OH^- membentuk endapan berwarna putih, reaksi ini terjadi dalam suasana basa dengan nilai pH 12 yang bertujuan untuk mendapatkan ZnO dengan tingkat kemurnian tinggi dan suhu 70℃ serta pengadukan menggunakan *hotplate stirrer* untuk mempercepat reaksi yang terjadi. Setelah proses reaksi selesai, didapatkan endapan putih $Zn(OH)_2$. Endapan tersebut dikeringkan pada suhu 100℃ untuk melepaskan molekul-molekul hidrat ke lingkungan berupa uap air[37]. Penelitian sebelumnya $Zn(OH)_2$ mengalami dekomposisi sempurna pada suhu di atas 125℃, sehingga dilakukan proses kalsinasi pada suhu tinggi 500℃ yang bertujuan untuk menghilangkan senyawa-senyawa lainnya, pembentukan nanopartikel ZnO serta meningkatkan kinerja kristalinitasnya[37]. Nanopartikel ZnO yang terbentuk pada penelitian ini berwarna putih baik yang menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka maupun tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka.

Nanopartikel ZnO hasil sintesis juga menghasilkan massa yang berbeda. Hal ini disebabkan adanya proses penyaringan atau pemindahan sampel yang tidak sempurna dari corong *Buchner* ke cawan penguapan, diyakini bahwa masih ada sisa-sisa sampel yang tertinggal pada corong *Buchner* tersebut(Wulan et al., 2019).

Karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*)

Karakterisasi menggunakan instrumen XRD dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang, Jawa Timur. Hasil pengujian XRD diolah kembali dengan *software* Match! 2 dan Origin 2022 sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.



Hasil Sintesis dan Standar JCPDS 36-1451

Gambar 9. Difraktogram ZnO NP

Tabel 5. Derajat Kristalinitas ZnO NP Hasil Sintesis

ZnO NP tanpa Ekstrak (-)			**ZnO NP dengan Ekstrak (+)**		
Fraksi Luas Kristalin	Luas Difraktogram	Derajat Kristalinitas (%)	Fraksi Luas Kristalin	Luas Difraktogram	Derajat Kristalinitas (%)
359,72			370,12		
248,45			288,77		
607,12			618,63		
117,53			137,31		
217,64			216,44		
185,34	2995,35	67,18	196,70	3003,85	70,14
34,45			31,92		
159,85			166,19		
82,11			80,77		
Total			**Total**		
2012,19			2106,85		

Nanopartikel ZnO hasil sintesis selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui bahwa senyawa yang disintesis merupakan nanopartikel ZnO. Hasil difraktogram XRD diolah lebih lanjut dengan *software* Match! 2 dan dibandingkan dengan standarnya pada JCPDS 00-036-1451. Gambar 9 difraktogram sampel hasil sintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka dan tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka menunjukkan kesesuaian dengan standar JCPDS 00-036-1451 bahwa sampel

berwarna putih tersebut merupakan nanopartikel ZnO. Hal ini dapat dilihat dari sudut 2θ dari nanopartikel ZnO standar dan nanopartikel ZnO hasil sintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka. Nanopartikel ZnO standar memiliki sudut 2θ yaitu 31,77: 34,42: 36,25: 47,54: 56,60: 62,86: 66,38: 67,96: 69,10: 72,56: 76,95: 81,37. Nanopartikel ZnO hasil sintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka dan tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka berturut-turut memiliki sudut 2θ yaitu 31,76: 34,40: 36,22: 47,53: 56,57: 62,88: 66,42: 67,94: 69,02: 72,58: 76,98: 81,51 dan 31,80: 34,46: 36,28: 47,57: 56,65: 62,94: 66,36: 68,00: 69,12: 72,64: 77,00: 81,49. Analisis nanopartikel ZnO hasil sintesis menggunakan *software* Match! 2 menunjukkan tingkat kemurnian 100% dengan struktur kristal heksagonal *wurtzite*.

Selanjutnya hasil uji XRD diolah kembali menggunakan *software* Origin 2022 untuk mengetahui derajat kristalinitas. Derajat kristalinitas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut(Hernowo et al., 2019).

$$Xc = \frac{Acr}{Asampel}$$

Keterangan: Xc = derajat kristalinitas

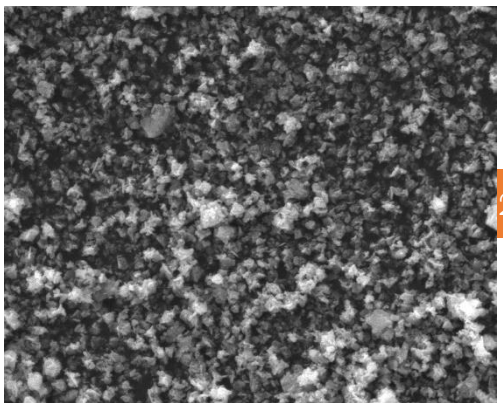
Acr = luas total puncak-puncak difraksi kristalin

Asampel = luas total seluruh puncak difraksi sampel

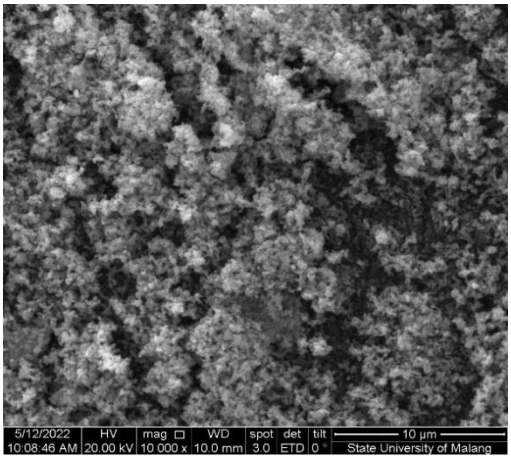
Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan tersebut. Pada tabel 5 didapatkan derajat kristalinitas sebesar (70,14%) untuk nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka dan derajat kristalinitas sebesar (67,18%) untuk nanopartikel ZnO yang disintesis tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka. Hasil pengukuran dapat dilihat pada lampiran 13. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan ekstrak kulit pisang Rajanangka pada sintesis nanopartikel ZnO memberikan derajat kristalinitas yang lebih baik. Pada penelitian yang telah dilakukan bahwasannya semakin tinggi kristalinitas dari nanopartikel ZnO, maka toksisitas dan aktivitas fotokatalitik nanopartikel ZnO semakin tinggi juga[39](Selim et al., 2012). Intensitas puncak difraksi yang tinggi menunjukkan kristalinitas yang baik(Hernowo et al., 2019). Ini menunjukkan bahwasannya derajat kristalinitas meningkat dengan penambahan ekstrak kulit pisang Rajanangka.

Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Karakterisasi menggunakan instrumen SEM dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang, Jawa Timur. Hasil pengujian SEM didapatkan gambar sebagai berikut:



(a)



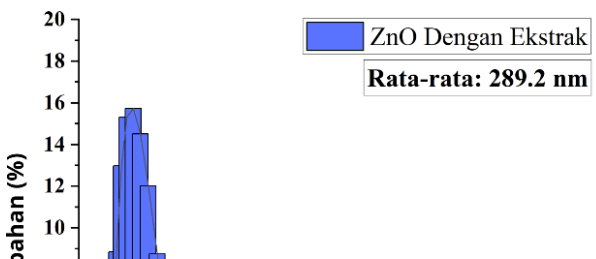
(b)

Gambar 10. Morfologi SEM dengan perbesaran 10.000 kali (a) ZnO NP tanpa ekstrak (b) ZnO NP dengan ekstrak

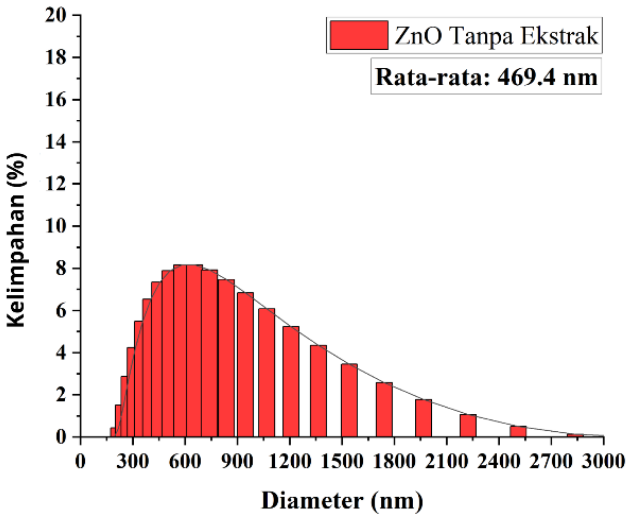
Hasil karakterisasi SEM pada gambar 10 menunjukkan morfologi permukaan sampel tidak dapat diidentifikasi secara maksimal karena gambar yang dihasilkan sedikit buram, namun setelah diamati nanopartikel ZnO yang dihasilkan dapat dikatakan berbentuk seperti "batang". Bentuk ini lebih mudah dalam menembus dinding sel bakteri daripada berbentuk "sferik"[32]. Nanopartikel ZnO hasil sintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka dengan perbesaran 10.(menunjukkan distribusi partikel yang merata (seragam), hal ini dikarenakan adanya pengaruh penggunaan ekstrak kulit pisang Rajanangka dalam sintesis nanopartikel ZnO yang terbukti berperan sebagai *capping agent* dalam mengontrol pertumbuhan nanopartikel ZnO. Sebagaimana menurut penelitian, bahwasannya ekstrak tanaman berpotensi sebagai *capping agent* dalam sintesis nanopartikel(M. Sari et al., 2021). Sedangkan untuk nanopartikel ZnO hasil sintesis tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka dengan perbesaran 10.000x menunjukkan ketidakseragaman bentuk yang disebabkan karena adanya penggumpalan (aglomerasi) di antara partikel-partikel ZnO. Ada beberapa hal yang menyebabkan nanopartikel ZnO mengalami aglomerasi yaitu pengaruh polaritas, daya elektrostatik ZnO, dan energi yang besar pada permukaan ZnO saat proses sintesis berlangsung(R. N. Sari et al., 2018).

Karakterisasi PSA (*Particle Size Analyzer*)

Karakterisasi menggunakan instrumen PSA dilakukan di Laboratorium *Integrated Laboratory and Research Center* (ILRC) Universitas Indonesia, Jawa Barat. Hasil pengujian PSA diolah kembali dengan *software* Excel dan Origin 2022 didapatkan grafik distribusi partikel sebagai berikut.



Gambar 11. Distribusi Ukuran Partikel ZnO NP tanpa Ekstrak



Gambar 12. Distribusi Ukuran Partikel ZnO NP dengan Ekstrak

Tabel 6. Persebaran Distribusi Ukuran Partikel ZnO NP

ZnO NP tanpa Ekstrak (-)		**ZnO NP dengan Ekstrak (+)**	
PI (*Indeks Polidispersitas*)	0,632	PI (*Indeks Polidispersitas*)	0,301
Ukuran rata-rata	469,4 nm	Ukuran rata-rata	289,2 nm
Ukuran terkecil	218,6 nm	Ukuran terkecil	171,25 nm
Ukuran terbesar	2837,04 nm	Ukuran terbesar	655,76 nm
Persentase terbesar	655,76 nm (8,159 %)	Persentase terbesar	315,27 nm (15,727 %)

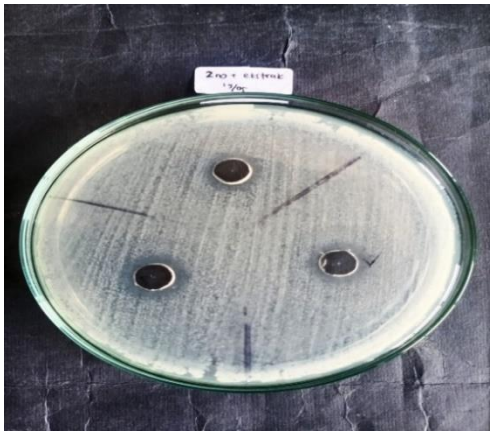
Penentuan distribusi ukuran partikel dan indeks polidispersitas (PI) nanopartikel ZnO hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan PSA. Ukuran rata-rata distribusi nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka yaitu 289,2 nm dengan ukuran terkecil (171,25 nm), ukuran terbesar (655,76 nm), persentase terbesar (315,27 nm) 15,727% dan nilai PI sebesar 0,301. Sedangkan nanopartikel ZnO tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka yaitu 469,4 nm dengan ukuran terkecil (218,6 nm), ukuran terbesar

(2837,04 nm), persentase terbesar (655,76) 8,159% dan nilai PI sebesar 0,632.

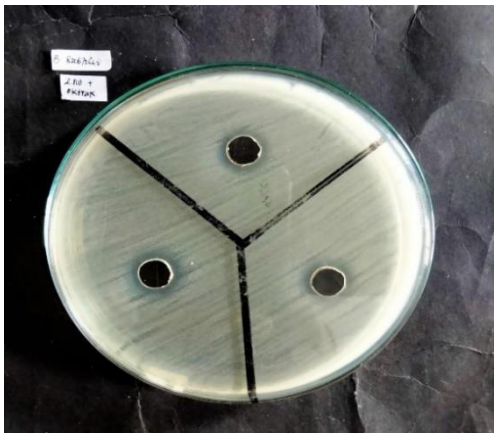
Berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh pada tabel 6, nilai indeks polidispersitas (PI) yang mendekati 0 mengindikasikan distribusi ukuran partikel yang homogen, sedangkan yang melebihi nilai 0,5 mengindikasikan bahwa distribusi ukuran partikel memiliki tingkat heterogenitas tinggi(Size et al., 2017). Nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka memiliki nilai PI di bawah 0,5 sehingga dapat dikatakan memiliki homogenitas paling baik, hal ini diduga karena penggunaan ekstrak kulit pisang Rajanangka yang efektif berperan sebagai *capping agent*. Namun partikel yang dihasilkan masih melebihi 100 nm, dapat dikatakan efektivitas ekstrak kulit pisang Rajanangka sebagai *capping agent* masih rendah. Ukuran partikel ZnO yang dikarakterisasi dengan PSA lebih besar dibandingkan dari hasil pengujian menggunakan XRD, hal ini dikarenakan pada pengukuran PSA semua komponen meliputi partikel ekstrak dan partikel ZnO diukur secara menyeluruh sehingga ukurannya membesar(Saputra et al., 2020).

Uji Aktivitas Antibakteri

Uji aktivitas antibakteri terhadap bakteri gram positif (*Bacillus Subtilis*) dan gram negatif (*Pseudomonas Aeruginosa*) menggunakan metode difusi sumuran dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Malang, Jawa Timur. Uji aktivitas antibakteri dilakukan masing-masing 3 kali pengulangan tiap sampel. Hasil uji aktivitas antibakteri diolah kembali dengan *software* Excel sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.



(a)

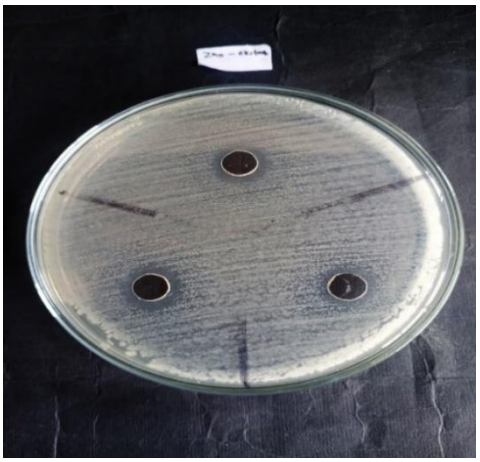


(b)

Gambar 13. Hasil uji aktivitas antibakteri Nanopartikel Zink Oksida (ZnO NP) hasil sintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka terhadap bakteri (a) *Bacillus subtilis* (gram positif) dan (b) *Pseudomonas aeruginosa* (gram negatif)



(a)



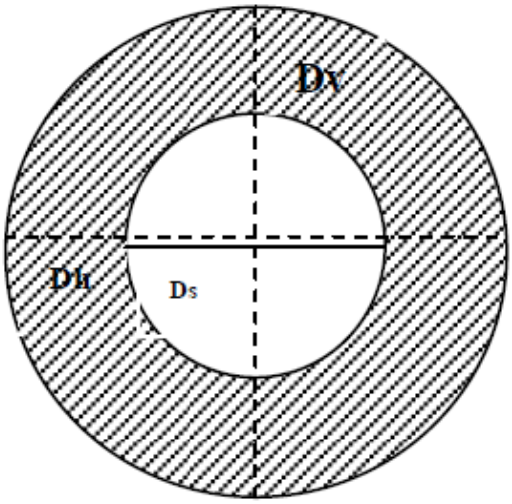
(b)

Gambar 14. Hasil uji aktivitas antibakteri Nanopartikel Zink Oksida (ZnO NP) hasil sintesis tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka terhadap bakteri (a) *Bacillus subtilis* (gram positif) dan (b) *Pseudomonas aeruginosa* (gram negatif)

Tabel 7. Hasil Uji Aktivitas Antibakteri ZnO NP terhadap bakteri gram positif (*Bacillus subtilis*) dan gram negatif (*Pseudomonas aeruginosa*).

Konsentrasi (50 ppm)								
ZnO NP	**Zona bening bakteri gram positif (+) *Bacillus Subtilis* (mm)**			**Rata-rata (mm)**	**Zona bening bakteri gram negatif (-) *Pseudomonas Aeruginosa* (mm)**			**Rata-rata (mm)**
	I	**II**	**III**		**I**	**II**	**III**	
(+) Dengan Ekstrak	2,05	1,10	1,05	**1,40**	2,50	2,00	3,25	**2,58**
(-) Tanpa Ekstrak	1,05	1,75	1,05	**1,28**	2,28	1,85	1,20	**1,78**

Pengujian aktivitas antibakteri nanopartikel ZnO hasil sintesis bertujuan untuk mengetahui perbandingan kekuatan dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Bacillus subtilis* (gram positif) dan *Pseudomonas aeruginosa* (gram negatif) menggunakan metode difusi sumuran. Pengukuran dinyatakan dalam satuan milimeter (mm). Diagram pengukuran diameter zona hambat dapat dilihat pada Gambar 15 berikut.



Gambar 15. Diagram Pengukuran Diameter Zona Hambat[50]

Keterangan:

/////// = Zona hambat

Dv = Diameter vertikal

Dh = Diameter horizontal

Ds = Diameter sumuran

Pengukuran diameter zona hambat menggunakan rumus berikut[50]:

$$\frac{(Dv - Ds) + (Dh - Ds)}{2}$$

Pengujian aktivitas antibakteri nanopartikel ZnO dengan metode difusi sumuran memiliki keunggulan yaitu sampel yang dimasukkan ke lubang sumuran akan menghasilkan proses osmosis yang lebih homogen dan efisien sehingga lebih efektif untuk menghambat bakteri[51]. Pengujian dilakukan 3 kali pengulangan untuk setiap sampel yang bertujuan untuk mendapatkan data yang lebih akurat. DMSO digunakan sebagai media pendispersi nanopartikel ZnO dalam penelitian-penelitian yang telah banyak dilakukan sebelumnya terbukti tidak memiliki daya hambat terhadap bakteri[27][34][35](Rahmi & Putri, 2020). Hasil pengujian aktivitas antibakteri pada tabel 7 menunjukkan perbedaan diameter zona hambat antara ZnO hasil sintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka dan tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka. Dari hasil rata-rata 3 kali pengulangan didapatkan hasil 1,40 mm (*Bacillus subtilis*) dan 2,58 mm (*Pseudomonas aeruginosa*) untuk ZnO hasil sintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka, sedangkan ZnO hasil sintesis tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka didapatkan hasil 1,28 mm (*Bacillus subtilis*) dan 1,78 mm (*Pseudomonas aeruginosa*). Diameter zona hambat ZnO hasil sintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka > ZnO hasil sintesis tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka. Hal ini diduga karena ukuran partikel rata-rata ZnO hasil sintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka < ZnO hasil sintesis tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka. Beberapa penelitian menunjukkan bahwasannya antibakteri nanopartikel dipengaruhi oleh ukuran partikel, semakin kecil ukuran partikel maka luas permukaan dan sifat antibakterinya semakin besar(Studi & Pengajaran, n.d.)(Ristian et al., 2014). Ukuran partikel juga berpengaruh terhadap aktivitas fotokatalitik nanopartikel ZnO(Hernowo et al., 2019). Hasil ini membuktikan bahwa ekstrak kulit pisang Rajanangka berpengaruh terhadap efektivitas nanopartikel ZnO hasil sintesis dalam menghambat bakteri.

Dari pengukuran diameter zona hambat ZnO hasil sintesis, diketahui bahwa bakteri *Pseudomonas aeruginosa* (gram negatif) lebih mudah dihambat dibandingkan dengan bakteri *Bacillus subtilis* (gram positif), hal tersebut disebabkan karena bakteri *Pseudomonas aeruginosa* (gram negatif) memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih tipis sedangkan bakteri *Bacillus subtilis* (gram positif) memiliki lapisan peptidoglikan lebih tebal. Oleh karena itu, dinding sel bakteri *Pseudomonas aeruginosa* (gram negatif) lebih mudah dirusak oleh nanopartikel ZnO. Beberapa penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO memiliki aktivitas antibakteri yang lebih baik terhadap bakteri gram negatif dibandingkan bakteri gram positif(Nitasari, 2020)(Nuratikhoh, 2019).

Hasil penelitian tersebut menunjukkan nanopartikel ZnO sebagai antibakteri (dalam hal zona penghambatan) kurang dari 5 mm yang tergolong lemah. Hal ini disebabkan karena konsentrasi yang digunakan rendah (50 ppm), penelitian yang telah dilakukan secara jelas menunjukkan bahwa aktivitas antibakteri meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi nanopartikel ZnO yang memungkinkan peningkatan konsentrasi H_2O_2 dari permukaan nanopartikel ZnO(Ahmad & Kalra, 2020). Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan menunjukkan pada konsentrasi 1000 ppm memiliki daya hambat paling tinggi sedangkan konsentrasi 50 ppm memiliki daya hambat paling kecil(Ansari et al., 2012). Kategori kekuatan zona hambat antibakteri disajikan pada tabel 8 berikut(M, Ulfayani.; Berutu, 2020).

Tabel 8. Kategori Kekuatan Zona Hambat Antibakteri

Zona Hambat Antibakteri	Kategori
> 20 mm	Sangat kuat
10 – 20 mm	Kuat
5 – 10 mm	Sedang
< 5 mm	Lemah

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa ekstrak kulit pisang Rajanangka efektif berperan sebagai *capping agent* dalam sintesis nanopartikel ZnO yang mempengaruhi kristalinitas, morfologi, distribusi ukuran partikel, dan aktivitas antibakteri nanopartikel ZnO hasil sintesis terhadap bakteri gram positif dan negatif dengan rincian sebagai berikut:

1. Kristalinitas nanopartikel ZnO hasil sintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka menunjukkan hasil yang lebih tinggi (70,14%) dibandingkan nanopartikel ZnO hasil sintesis tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka (67,18%).
2. Morfologi nanopartikel ZnO hasil sintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka tidak mengalami aglomerasi dibandingkan ZnO hasil sintesis tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka.
3. Distribusi rata-rata ukuran nanopartikel ZnO hasil sintesis

menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka menunjukkan hasil yang lebih baik (289,2 nm) dibandingkan nanopartikel ZnO hasil sintesis tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka (469,4 nm).

4. Aktivitas antibakteri nanopartikel ZnO hasil sintesis menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka terhadap bakteri gram positif dan negatif menunjukkan hasil yang lebih baik dengan diameter zona hambat berturut-turut sebesar 1,40 mm (*B. subtilis*) dan 2,58 mm (*P. aeruginosa*) dibandingkan nanopartikel ZnO hasil sintesis tanpa menggunakan ekstrak kulit pisang Rajanangka dengan diameter zona hambat berturut-turut sebesar 1,28 mm (*B. subtilis*) dan 1,78 mm (*P. aeruginosa*)

Referensi

Ahmad, W., & Kalra, D. (2020). Green synthesis, characterization and anti microbial activities of ZnO nanoparticles using Euphorbia hirta leaf extract. *Journal of King Saud University - Science*, *32*(4), 2358–2364. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.03.014

Ansari, M. A., Khan, H. M., Khan, A. A., Sultan, A., & Azam, A. (2012). Characterization of clinical strains of MSSA, MRSA and MRSE isolated from skin and soft tissue infections and the antibacterial activity of ZnO nanoparticles. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *28*(4), 1605–1613. https://doi.org/10.1007/s11274-011-0966-1

Arifki, H. H., & Barliana, M. I. (2018). Karakteristik dan Manfaat Tumbuhan Pisang Di Indonesia : Review Artikel. *Jurnal Farmaka*, *16*(3), 196–203.

Basumatari, M., Devi, R. R., Gupta, M. K., Gupta, S. K., Raul, P. K., Chatterjee, S., & Dwivedi, S. K. (2021). Sintesis Nanopartikel. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, *4*(December 2020), 100048. https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2020.100048

Boon, C., Yong, L., & Wahab, A. (2018). A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts : Synthesis , mechanisms and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *81*(July 2016), 536–551. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.020

Dadi, R., Azouani, R., Traore, M., Mielcarek, C., & Kanaev, A. (2019). Antibacterial activity of ZnO and CuO nanoparticles against gram positive and gram negative strains. *Materials Science and Engineering C*, *104*(March), 109968. https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109968

Hernowo, A., Fisika, D., Sains, F., & Diponegoro, U. (2019). Kristalinitas Dan Ukuran Nanopartikel ZnO Yang Dikalsinasi Pada Temperatur 100'C dan 200'C. *Berkala Fisika*, *22*(4), 125–131.

Khosiatun. (2016). Biosintesis Nanopartikel Perak Dengan Reduktor Kulit Pisang Kepok (Musa paradisiaca Linn.) dan Laju

Pembentukannya. *Skripsi*, *Semarang*, Universitas Negeri Semarang.

M, Ulfayani.; Berutu, A. G. (2020). *UJI AKTIVITAS EKSTRAK DAUN PIRDOT (Saurauia vulcani Korth) TERHADAP PERTUMBUHAN BAKTERI Bacillus subtilis*. *4*(1), 1–5.

Mohd Zaini, H., Roslan, J., Saallah, S., Munsu, E., Sulaiman, N. S., & Pindi, W. (2022). Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in the food industry. *Journal of Functional Foods*, *92*(March), 105054. https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105054

Nitasari, W. D. (2020). Sintesis Nanopartikel Seng Oksida (NP ZnO) Menggunakan Ekstrak Kulit Pisang Tanduk (Musa Paradisiaca) Sebagai Capping Agent Serta Karakterisasi Dan Uji Aktivitasnya Sebagai Antibakteri. *Skripsi*.

Novarini, O. E., & Wahyudi, T. (2011). *SINTESIS NANOPARTIKEL ZnO MENGGUNAKAN SURFAKTAN SEBAGAI STABILISATOR DAN APLIKASINYA PADA PEMBUATAN TEKSTIL ANTI BAKTERI SYNTHESIS OF ZINC OXIDE (ZnO) NANOPARTICLES USING SURFACTANT AS A STABILIZING AGENT AND IT ' S APPLICATIONS IN ANTIBACTERIAL TEXTILE*. 81–87.

Nuratikhoh, A. (2019). Sintesis Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) Menggunakan Ekstrak Kulit Pisang Serta Uji Aktivitas Antibakteri. *Skripsi*.

Nurul Kamal Purnama, M., & Penelitian Mahasiswa Penalaran Universitas Negeri Makassar, L. (2019). SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL SENG OKSIDA (ZnO) DAN APLIKASINYA SEBAGAI AGEN ANTIBAKTERI Staphylococcus aureus PADA KAIN KATUN JENIS COTTON COMBED. In *Indonesian Journal of Fundamental Sciences* (Vol. 5, Issue 1).

Pudlarz, A., & Szemraj, J. (2018). Nanoparticles as carriers of proteins, peptides and other therapeutic molecules. *Open Life Sciences*, *13*(1), 285–298. https://doi.org/10.1515/biol-2018-0035

Rahmi, M., & Putri, D. H. (2020). *The Antimicrobial Activity of DMSO as A Natural Extract Solvent Aktivitas Antimikroba DMSO sebagai Pelarut Ekstrak Alami antimicrobial active compounds . This study aims to determine the effect of DMSO solvent Pendahuluan Bahan dan Metode Hasil dan Pembah*. *5*(2), 56–58.

Ristian, I., Wahyuni, S., Kasmadi, D., & Supardi, I. (2014). KAJIAN PENGARUH KONSENTRASI PERAK NITRAT TERHADAP UKURAN PARTIKEL PADA SINTESIS NANOPARTIKEL PERAKDiterima Pebruari. *Indonesian Journal of Chemical Science*, *3*(1), 8–11.

Saputra, I. S., Suhartati, S., Yulizar, Y., & Sudirman, S. (2020). GREEN SYNTHESIS NANOPARTIKEL ZnO MENGGUNAKAN MEDIA EKSTRAK DAUN TIN (Ficus carica Linn). *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, *42*(1), 1.

https://doi.org/10.24817/jkk.v42i1.5501

Sari, M., Rati, Y., Linda, T. M., Hamzah, Y., & Rini, A. S. (2021). Biosynthesis of ZnO Micro-Nanoflower with Ananas comosus Peel Extract. *Journal of Aceh Physics Society*, *10*(4), 84–87. https://doi.org/10.24815/jacps.v10i4.18951

Sari, R. N., Chasanah, E., & Nurhayati, N. (2018). Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) dari Biosintesis Ekstrak Rumput Laut Coklat Sargassum sp. dan Padina sp. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, *13*(1), 41. https://doi.org/10.15578/jpbkp.v13i1.489

Sari, R. N., Saridewi, N., & Shofwatunnisa, S. (2017). Biosynthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles with Extract of Green Seaweed Caulerpa sp. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, *19*(1), 17. https://doi.org/10.22146/jfs.24488

Saridewi, N., Adinda, A. R., & Nurbayti, S. (2022). Characterization and Antibacterial Activity Test of Green Synthetic ZnO Nanoparticles Using Avocado (Persea americana) Seed Extract. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, *25*(3), 116–122. https://doi.org/10.14710/jksa.25.3.116-122

Selim, A. A., Al-Sunaidi, A., & Tabet, N. (2012). Effect of the surface texture and crystallinity of ZnO nanoparticles on their toxicity. *Materials Science and Engineering C*, *32*(8), 2356–2360. https://doi.org/10.1016/j.msec.2012.07.007

Siddique, S., Nawaz, S., Muhammad, F., Akhtar, B., & Aslam, B. (2018). Phytochemical screening and in-vitro evaluation of pharmacological activities of peels of Musa sapientum and Carica papaya fruit. *Natural Product Research*, *32*(11), 1333–1336. https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1342089

Size, N., Citrus, O. F. C., & Citrus, P. (2017). *OPTIMASI KECEPATAN DAN LAMA PENGADUKAN TERHADAP UKURAN NANOPARTIKEL KITOSAN-EKSTRAK ETANOL 70 % KULIT JERUK SIAM (Citrus nobilis L . var Microcarpa) OPTIMIZATION OF STIRRING SPEED AND STIRRING TIME TOWARD*. *22*(April), 16–20.

Studi, P., & Pengajaran, M. (n.d.). *Aktivitas Antimikrobial Nanopartikel Zinc Oxide (ZnO) pada Strain Staphylococcus Aureus*.

Wulan, S., Studi, P., Fisika, T., Elektro, F. T., & Telkom, U. (2019). *GREEN SYNTHESIS NANOPARTIKEL ZnO SEBAGAI FOTOKATALIS UNTUK MENDEGRADASI METILEN BLUE*. *6*(2), 5092–5099.

Yunita, Y., Nurlina, N., & Syahbanu, I. (2020). Sintesis Nanopartikel Zink Oksida (ZnO) dengan Penambahan Ekstrak Klorofil sebagai Capping Agent. *Positron*, *10*(2), 44. https://doi.org/10.26418/positron.v10i2.42136