SINTESIS HIJAU NANOPARTIKEL TiO_2 MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN BELIMBING WULUH (*Averrhoa blimbi* L.) DAN AKTIVITAS ANTIBAKTERINYA TERHADAP *Escherichia coli*

GREEN SYNTHESIS TiO_2 NANOPARTICLE USING STARFRUIT LEAF EXTRACT (*Averrhoa bilimbi* L.) AND ITS ANTIBACTERIAL ACTIVITY AGAINTS *Escherichia coli*

Nur Azizah Wanda Triyaruhana dan Dina Kartika Maharani*
Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Universitas Negeri Surabaya
Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

** Corresponding author, tel/fax : 0817-4140131, email: dinakartika@unesa.ac.id*

Abstrak. *Nanopartikel TiO_2 berhasil disintesis menggunakan metode biosintesis yaitu sintesis hijau dengan memanfaatkan ekstrak daun belimbing wuluh (Averrhoa bilimbi L.) sebagai agen pereduksi dan penstabil (capping agent). Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakterisasi nanopartikel TiO_2 dan aktivitas antibakterinya terhadap bakteri Gram negatif Escherichia coli. Karakterisasi nanopartikel TiO_2 dilakukan menggunakan Fourier-Transform Infrared Specstroscopy (FTIR) dan X-Ray Power Diffraction (XRD). Nanopartikel TiO_2 hasil sintesis memiliki fase anatase dengan ukuran rata-rata kristal yang diperoleh sebesar 12,9 nm dan kristalinitas sebesar 97,81%. Aktivitas antibakteri nanopartikel TiO_2 diamati pada variasi Ti-BW20 dan Ti-BW40 terhadap bakteri Escherichia coli menghasilkan diameter zona hambat 7,82 mm dan 9,87 mm.*

Kata kunci**: **Biosintesis, TiO_2, Belimbing Wuluh, Antibakteri

Abstract. *TiO2 nanoparticles were successfully synthesized by biosynthesis method specifically green synthesis method using Averrhoa bilimbi L. (bilimbi) leaf extract as both a reducing and capping agent. The purpose of this study was to characterize the synthesized TiO2 nanoparticles and its antibacterial activity against the Gram-negative bacteria Escherichia coli. Characterization was carried out using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and X-Ray Powder Diffraction (XRD). The synthesized TiO2 nanoparticles exhibited an anatase phase, with an average crystallite size of 12.9 nm and a crystallinity of 97.81%. Antibacterial activity tests against Escherichia coli across various samples Ti-BW20 and Ti-BW40, yielded inhibition zone diameters of 7.82 mm and 9.87 mm, respectively.*

Key Words: Biosynthesis, TiO_2, Starfruit, Antibacterial

PENDAHULUAN

Penyakit infeksi merupakan salah satu masalah dalam bidang kesehatan yang terus-menerus mengalami peningkatan. Di Indonesia, penyakit infeksi termasuk dalam urutan teratas penyebab sakit hingga kematian[1]. Menurut WHO, penyakit infeksi dapat disebabkan oleh mikroorganisme patogen seperti bakteri, virus, parasit dan jamur [2]. Bakteri merupakan sekumpulan mikroorganisme yang memiliki struktur sederhana seperti bersel tunggal, tidak memiliki membrane inti sel, dan berukuran mikroskopis [3]. Bakteri memiliki kemampuan untuk berkembang biak dengan sangat cepat yang didukung oleh mekanisme pembelahan sel yang efisien dan kemampuannya untuk memanfaatkan nutrisi dari lingkungan sekitarnya. Bakteri dapat

© 2026 Unesa Journal of Chemistry (UJC). This work is licensed under CC 4.0

hidup di dalam tubuh manusia dan berperan untuk menjaga keseimbangan serta memberikan perlindungan. Akan tetapi, bakteri juga bersifat patogen dan dapat merugikan manusia dengan menyebabkan penyakit [4]. Hingga saat ini, bakteri merupakan penyebab utama infeksi pada manusia [5]. Salah satu bakteri yang dapat menyebabkan penyakit infeksi antara lain *Escherichia coli*. *Escherichia coli* adalah salah satu bakteri penyebab diare yang paling umum [6]. Bakteri *Escherichia coli* merupakan bakteri gram negatif yang dapat disebarkan melalui air atau tangan yang terkontaminasi [7]. Selain itu, infeksi bakteri *Escherichia coli* juga disebabkan oleh makanan dan minuman yang terkontaminasi atau kontak langsung dengan seseorang yang menderita atau hewan yang membawa bakteri tersebut [8].

Pengobatan yang paling efektif untuk mengatasi masalah penyakit infeksi adalah adanya penggunaan antibiotik. Sistem kerja antibiotik ada dua acara yaitu menghambat pertumbuhan bakteri atau membunuh bakteri tersebut. Akan tetapi, penggunaan antibiotik yang tidak rasional seperti penggunaan tanpa resep, pemberian dosis yang tidak sesuai, dan durasi terlalu singkat dapat menyebabkan adanya resistensi bakteri terhadap antibiotik yang digunakan [9]. Resistensi terhadap bakteri memberikan efek penurunan hingga hilangnya efektivitas antibiotik, sehingga infeksi bakteri akan lebih sulit dilakukan pengobatan dan berpotensi meningkatkan angka morbiditas dan mortalitas [10]. Bakteri dapat beradaptasi dengan tekanan selektif dari antibiotik melalui adaptasi genetik, terutama untuk mengembangkan resistensi antibiotik. Akan tetapi, saat ini efektivitas pengobatan antibiotik secara konvensional mengalami penurunan, dimana munculnya bakteri patogen yang resisten terhadap antibiotik yang sudah ada sebelumnya semakin meningkat setiap harinya [11]. Oleh karena itu, banyak dilakukan penelitian terkait antibakteri dengan tujuan untuk menghambat pertumbuhan bakteri yang tidak memberikan efek buruk bagi kesehatan [5]. Salah satunya adalah penggunaan nanoteknologi dengan ekstrak tanaman sebagai alternatif antibakteri alami.

Nanopartikel logam merupakan teknologi nano yang sedang berkembang saat ini dikarenakan memiliki banyak aplikasi di berbagai bidang penelitian, seperti biologi, optik, katalis, kesehatan, farmasi, agrikultur, termasuk di sektor industry [12]. Umumnya nanopartikel berukuran 1-100 nanometer [13]. Ukuran partikel yang sangat kecil menunjukkan bahwa gaya yang terkait dengan permukaan lebih dominan. Oleh karena itu, sifat fisika, kimia, termal, optik, listrik, magnetic, dan katalitik suatu nanopartikel umumnya berbeda dengan sifat yang sama pada fase padat dengan ukuran mikroskopis dan makroskopis [14]. Nanopartikel logam merupakan teknologi yang menjanjikan untuk dikembangkan dikarenakan sifatnya yang unik seperti ukurannya yang kecil, daya adsorpsi tinggi, aktivitas katalitik yang tinggi, luas permukaan besar, dan kestabilannya. Beberapa penelitian nanopartikel logam telah dilakukan seperti nanopartikel ZnO, TiO_2, CuO, SnO_2, dan NiO. Nanopartikel titanium dioksida (TiO_2) merupakan salah satu nanopartikel logam semikonduktor yang dilakukan penelitian. Hal ini dikarenakan potensinya di berbagai bidang seperti semikonduktor, fotokatalis, penyimpanan, *smart packaging*, dan pengiriman obat [15]. Karakteristik nanopartikel TiO_2 yang tidak toksik, stabil, non korosif, tidak larut dalam air, dan juga ramah lingkungan menjadikan alasan dilakukannya penelitian pada semikonduktor ini [16].

Nanopartikel dapat diperoleh melalui beberapa metode yaitu metode fisika, kimia, dan biologis [17]. Akan tetapi, metode-metode tersebut memiliki beberapa kekurangan seperti salah satunya biaya produksi yang tinggi [18]. Selain itu sintesis pada metode kimia memberikan efek buruk pada lingkungan dikarenakan menggunakan bahan kimia yang menghasilkan limbah kimia sebagai produk sampingnya. Kemudian, beberapa penelitian terakhir menerapkan metode yang lebih ramah lingkungan yaitu sintesis hijau. Metode sintesis hijau dapat dilakukan dengan menggunakan ekstrak tanaman, bakteri, dan jamur. Sementara itu, sintesis nanopartikel dengan ekstrak tanaman paling mudah dilakukan dibandingkan dengan kultur bakteri dan jamur. Hal itu dikarenakan pada kultur bakteri dan jamur perlu dilakukan dalam kondisi yang steril dan keterampilan untuk mempertahankan kondisi steril tersebut [19]. Ekstrak tanaman mengandung senyawa bioaktif alami yang berperan sebagai agen bioreduktor yang efisien dan stabil. Senyawa fitokimia seperti polifenol, alkaloid, steroid, flavonoid, dan juga terpenoid mengandung gugus hidroksil yang dapat mereduksi ion prekursor logam menjadi nanopartikel pada kondisi yang

ringan [20]. Munculnya senyawa bioaktif yang tersisa pada permukaan nanopartikel setelah proses sintesis dapat memberikan efek *capping* dan sinergi yang memperkuat aktivitas antibakteri secara keseluruhan [21]. Metode sintesis hijau ini mulai banyak dilakukan, selain karena ramah lingkungan, metode ini sangat hemat biaya, efisien energi, serta aman terhadap manusia [22].

Belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) merupakan salah satu spesies dari keluarga belimbing. Bagian dari tanaman belimbing wuluh yang dapat dimanfaatkan adalah daun, bunga, dan buahnya. Buah belimbing wuluh biasanya digunakan untuk bahan manisan, sirup, dan salep atau krim untuk gatal. Umumnya belimbing wuluh digunakan untuk mengobati beberapa penyakit seperti sariawan, sakit kolik, gondongan, rematik, batuk, gusi berdarah, gigi berlubang, gangguan pencernaan, meredakan demam, peradangan, menghentikan pendarahan rektum, wasir, dan mengontrol obesitas [23]. Kegunaan belimbing wuluh yang lainnya adalah untuk menghilangkan noda pada kain, mengurangi bau amis, memperbaiki barang mengkilap yang terbuat dari kuningan. Tanaman belimbing wuluh mengandung zat aktif yang berperan sebagai antibakteri dan antifungi [24]. Selain itu, belimbing wuluh juga mengandung senyawa metabolik sekunder berupa asam askorbat atau vitamin C yang dapat berperan sebagai bioreduktor pada proses sintesis nanopartikel [25].

Pada penelitian yang dilakukan Laili Fitri Yeni dkk., menunjukkan bahwa hasil uji fitokimia daun belimbing wuluh mengandung alkaloid, flavonoid, steroid, tanin, dan fenolik [26]. Penelitian yang dilakukan oleh Adela Agastia dkk., menunjukkan bahwa ekstrak daun belimbing wuluh efektif terhadap bakteri *Escherichia coli* pada konsentrasi 50% dengan diameter zona hambat 10 mm [27]. Penelitian yang dilakukan Herlina Rante dkk., juga menunjukkan bahwa ekstrak daun belimbing wuluh menghasilkan daya hambat sedang terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dengan diameter zona hambat 6,90 mm-8,32 mm dan bakteri *Escherichia coli* dengan diameter zona hambat 6,51-7,80 mm pada rentang konsentrasi yang sama [28]. Penelitian nanopartikel logam (perak/Ag) dengan ekstrak daun belimbing wuluh sebelumnya juga dilakukan oleh Leena V. Hublikar dkk., yang menyatakan bahwa sintesis nanopartikel Ag menggunakan ekstrak daun belimbing wuluh mengandung gugus fenolik dari polifenol, triterpenoid, alkaloid, steroid, karbohidrat, dan tannin [29]. Penelitian lain juga dilakukan oleh Akhsay Prabhu dkk., yang menyatakan bahwa biosintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak buah belimbing wuluh menunjukkan aktivitas antibakteri yang signifikan terhadap bakteri *Klebsiella pneumoniae* dengan nilai MIC 2,50 mg/ml dan bakteri *Staphylococcus aureus* dengan nilai MIC 5 mg/ml [30].

Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan penelitian sintesis hijau nanopartikel TiO_2 menggunakan ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) nanopartikel TiO_2 dengan tujuan untuk mengetahui aktivitas antibakteri terhadap bakteri Gram negatif *Escherichia coli*.

METODE PENELITIAN

Bahan

Beberapa bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.), Titanium Isopropoksida (TTIP) 97%, aquades, bakteri *Escherichia coli*.

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas kimia, gelas ukur, hot plate stirrer, pengaduk magnet, blender, spatula, pipet tetes, pipet ukur, kaca arloji, cawan krusibel, cawan petri, botol via, neraca analitik, oven, tanur, kertas saring *Whatman* No. 1, XRD, FTIR.

Prosedur Penelitian

Pembuatan Ekstrak Daun Belimbing Wuluh

Daun belimbing wuluh dicuci bersih menggunakan air mengalir untuk menghilangkan kotoran. Kemudian dikeringkan dalam oven hingga daun kering sepenuhnya. Setelah itu daun belimbing wuluh dihaluskan hingga menjadi bentuk serbuk halus. Sebanyak 10 gram daun belimbing wuluh dilarutkan dalam aquades sebanyak 1000 mL. Kemudian campuran diaduk dan dipanaskan pada suhu 80°C selama 30 menit.

Sintesis Nanopartikel TiO_2 Menggunakan Ekstrak Daun Belimbing Wuluh

Sebanyak 2 mL larutan TTIP 97% dilarutkan dalam 100 mL aquades. Kemudian ditambahkan dengan ekstrak daun belimbing wuluh masing-masing sebanyak 20 dan 40 mL. Setelah itu larutan diaduk menggunakan magnetic stirrer pada suhu 60°C dan didinginkan hingga mencapai suhu ruang. Kemudian larutan

disentrifugasi pada kecepatan 6000 rpm selama 20 menit. Setelah larutan dan endapan terpisah, endapan dikeringan dalam oven hingga kering dan berubah warna menjadi kecoklatan. Setalah itu, serbuk endapan dikalsinasi pada suhu 550°C selama 3 jam dengan tujuan menghilangkan gugus organik yang berlebih. Nanopartikel TiO_2 menggunakan ekstrak daun belimbing wuluh yang telah terbentuk dikarakterisasi dan dilakukan pengujian aktivitas antibakteri.

Karakterisasi

Pada penelitian ini, sintesis nanopartikel TiO_2 dilakukan karakterisasi FTIR dan XRD. FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terbentuk pada panjang gelombang 500-4000 cm^{-1}. XRD digunakan untuk mengetahui ukuran dan fase kristal nanopartikel TiO_2.

Uji Aktivitas Antibakteri

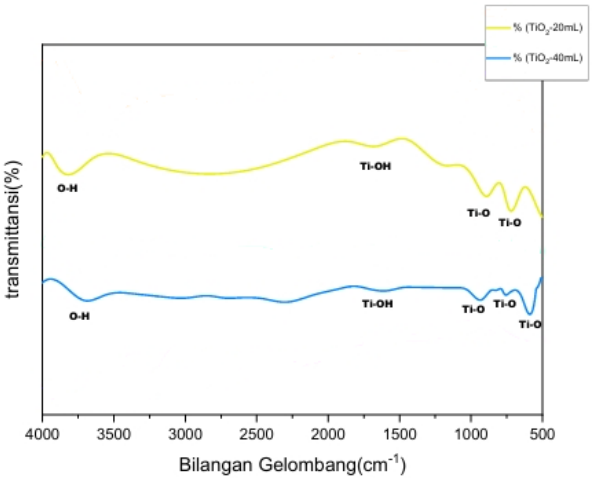
Uji aktivitas antibakteri nanopartikel TiO_2 dari ektstrak daun belimbing wuluh dilakukan menggunakan metode difusi terhadap bakteri Eschericia coli. Konsentrasi nanopartikel TiO_2 yang digunakan yaitu 30 ppm pada masing-masing variasi volume ekstrak daun belimbing wuluh (20 mL dan 40 mL). Kertas cakram dicelupkan dalam aquades sebagai kontrol negatif, dan tetrasiklin 30 µg sebagai kontrol positif, dan masing-masing larutan nanopartikel TiO_2. Kemudian diletakkan pada permukaan cawan petri yang berisi nutrient agar dan diinokulasi dengan suspensi bakteri uji. Kemudian dilakukan inkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi

Nanopartikel TiO_2 berhasil dibuat dengan metode sintesis hijau menggunakan ekstrak daun belimbing wuluh dan dikarakterisasi untuk mengetahui karakteristiknya secara fisika dan kimia, serta aktivitas antibakterinya terhadap bakteri gram negatif *Escherichia coli*. Uji fitokimia menunjukkan bahwa daun belimbing wuluh mengandung senyawa flavonoid sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam proses pembentukan nanopartikel TiO_2. Adanya perubahan warna pada proses pembentukan nanopartikel TiO_2 menjadi warna jingga menandakan bahwa nanopartikel TiO_2 terbentuk akibat adanya proses reduksi [31].

Hasil karakterisasi FTIR nanopartikel TiO_2 belimbing wuluh menunjukkan adanya gugus OH^-, Ti-OH, dan Ti-O. Dapat dilihat pada gambar 1 merupakan spektra hasil sintesis nanopartikel TiO_2 dengan variasi volume ekstrak belimbing wuluh. Spektra FTIR mengonfirmasi terbentuknya nanopartikel TiO_2 ditandai dengan munculnya gugus Ti-O yang memiliki vibrasi 990-550 cm^{-1}. Hal ini sesuai dengan penelitian terkait nanopartikel TiO_2 lain yang menyatakan bahwa Ti-O merupakah salah satu grup oksida logam yang puncaknya dapat teridentifikasi pada rentang 500-900 cm^{-1} [32]. Sementara itu, pada bilangan gelombang 1690-1628 cm^{-1} menunjukkan puncak serapan ikatan vibrasi O-H yang berkaitan dengan atom Ti (Ti-OH). Hal ini menyatakan adanya molekul air dalam hasil sintesis nanopartikel TiO_2.

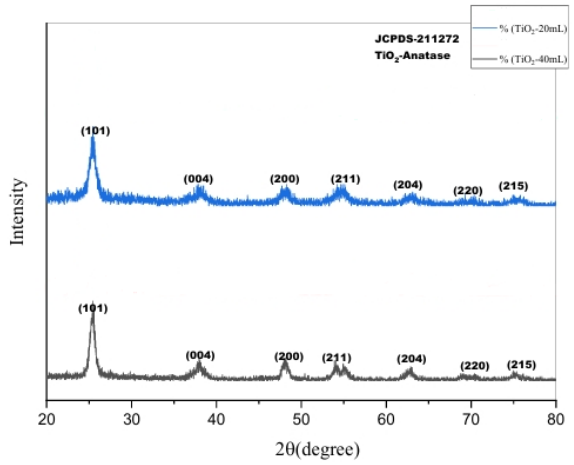


Gambar 1. Spektra nanopartikel TiO_2 hasil sintesis

Analisis XRD dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui struktur kristal dan ukuran kristal hasil sintesis nanopartikel TiO_2. Gambar 2 merupakan pola XRD yang terbentuk pada sintesis nanopartikel TiO_2. Terlihat dalam gambar bahwa puncak muncul pada (101), (004), (200), (211), (204), (220), dan (215) yang merupakan puncak karakteristik nanopartikel TiO_2. Pola tersebut sesuai dengan pola XRD pada file JCPDS TiO_2 (JCPDS-211272), sehingga dapat diketahui sifat anatase dan kristal nanopartikel TiO_2. Ukuran kristal dapat dihitung menggunakan persamaan *Debye-Scherrer* sebagai berikut:

$$d = \frac{k \,.\, \lambda}{\beta \,.\, cos\theta}$$

Dimana d adalah ukuran kristal, θ adalah sudut Bragg, k adalah konstanta Scherrer (k = 0,9), λ adalah panjang gelombang sinar X, dan β adalah lebar puncak difraksi pada setengah tinggi maksimum (FWHM atau *Full Width at Half Maximum*).



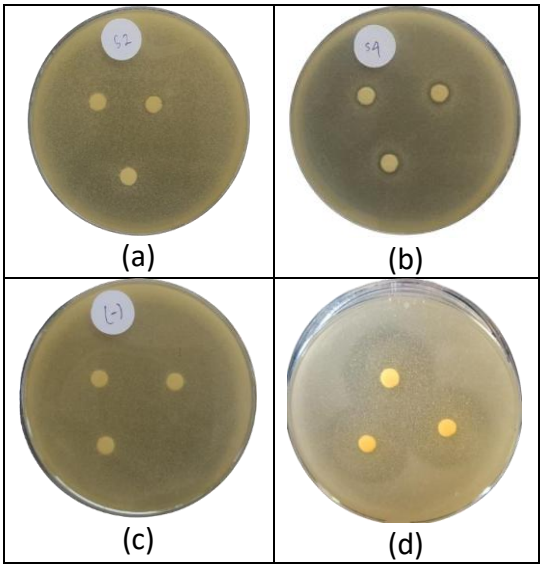
Gambar 2. Difraksi XRD nanopartikel TiO_2

Dari perhitungan tersebut diperoleh ukuran kristal pada variasi nanopartikel Ti-BW20 adalah 16,34 nm dan nanopartikel Ti-BW40 adalah 9,46 nm. Sementara itu persentase kristalinitas nanopartikel Ti-BW20 adalah 96,54% dan nanopartikel Ti-BW40 adalah 99,08%. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh ukuran rata-rata kristal nanopartikel TiO_2 adalah 12,9 nm dengan kristalinitas sebesar 97,81%. Oleh karena itu, nanopartikel TiO_2 belimbing wuluh hasil sintesis ini memenuhi syarat dikatakan sebagai nanopartikel dikarenakan ukuran yang dihasilkan berada di antara 1-100 nm.

Aktivitas Antibakteri

Hasil pengujian antibakteri nanopartikel TiO_2 menggunakan ekstrak belimbing wuluh terhadap bakteri gram negatif yaitu *Escherichia coli* disajikan pada gambar 3. Sementara itu, pada tabel 1 disajikan diameter zona hambat bakteri yang dihasilkan oleh nanopartikel TiO_2 dengan variasi Ti-BW20 dan Ti-BW40, aquades (kontrol negatif), dan tetrasiklin 30 µg (kontrol positif).

Pada tabel 1, dapat diketahui bahwa masing-masing variasi nanopartikel TiO_2 memberikan respon terhadap bakteri *Escherichia coli*. Terbentuk variasi zona hambat pada setiap variasi nanoaprtikel TiO_2 ekstrak belimbing wuluh yaitu pada rentang diameter zona hambat 7-9 mm. Sementara itu pada kontrol negatif tidak terbentuk zona hambat dan pada kontrol positif terbentuk zona hambat sebesar 29,56 mm. Hasil optimum dalam uji aktivitas antibakteri nanopartikel TiO_2 terdapat pada variasi Ti-BW40, dimana pada variasi tersebut dihasilkan diameter zona hambat bakteri paling besar yaitu sebesar 9,87 mm. Hal ini dikarenakan konsentrasi ekstrak memenuhi kecepatan difusi [33]. Oleh karena itu, semakin tinggi konsentrasi penambahan ekstrak belimbing wuluh, semakin besar pula diameter zona hambat yang dihasilkan [34].



Gambar 3. Uji Antibakteri terhadap bakteri *Escherichia coli* dengan Tiga Kali Pengulangan oleh Nanopartikel TiO_2 (a) Ti-BW20, (b) Ti-BW40, (c) aquades (kontrol negatif), (d) Tetrasiklin 30 µg (kontrol positif)

Tabel 1. Hasil Pengujian Antibakteri

No.	Nama Sampel	Diameter Zona Hambat (mm)
1	Ti-BW20	7,82 ± 0,06
2	Ti-BW40	9,87 ± 0,33
3	Aquades	0
4	Tetrasiklin	29,56 ± 0,43

Kemampuan menghambat antibakteri ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa belimbing wuluh mengandung senyawa metabolit sekunder seperti saponin, tannin, alkaloid, dan flavonoid. Mekanisme kerja saponin sebagai antibakteri yaitu menyebabkan kebocoran protein dan enzim dari dalam sel melalui perusakan dinding sel bakteri. Tannin melakukan proses presipitasi protein dikarenakan tannin memiliki efek yang sama dengan senyawa fenolat.

Mekanisme kerja alkaloid adalah dengan merusak membran dan dinding sel bakteri. Sementara flavonoid sangat efektif dalam menghambat pertumbuhan virus, bakteri, dan jamur [35].

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah nanopartikel TiO_2 berhasil disintesis menggunakan metode sintesis hijau dengan memanfaatkan ekstrak daun belimbing wuluh sebagai agen pereduksi dan penstabil. Hasil karakterisasi menunjukkan ukuran kristal yang diperoleh sebesar 12,9 nm dengan kristalinitas sebesar 97,81%. Nanopartikel TiO_2 hasil sintesis menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap bakteri *Escherichia coli*, dengan daya hambat paling besar pada variasi Ti-BW40 menghasilkan diameter zona hambat 9,87 mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Universitas Negeri Surabaya, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam untuk dukungan dan motivasi yang diberikan selama proses penelitian, serta berbagai pihak yang telah membantu proses penyelesaian artikel ini sehingga dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kesumawati, H. Mulyadi, and M. Fathia, "Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi L.) Terhadap Bakteri Staphyloccoccus aureus," *Journal of Healthcare Technology and Medicine*, vol. 8, no. 1, Apr. 2022.

[2] W. Astuti, D. Susanti, and Tutik, "Uji Antibakteri Ekstrak Etanol Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi L.) Terhadap Bakteri Staphylococcus aureus dan Escherichia coli Menggunakan Metode Dilusi," *Jurnal Ilmu Kedokteran dan Kesehatan*, vol. 11, no. 5, pp. 1038–1049, May 2024, [Online]. Available: http://ejurnalmalahayati.ac.id/index.php/kesehatan

[3] D. Artati and Moh. Oman, "Identifikasi Bakteri Melalui Penggunaan Kit Analytical Profile Index (API) 20E," *Buletin Teknik Litkayasa Akuakultur*, vol. 17, no. 2, pp. 149–153, 2019.

[4] E. Angelina, "Potensi Antibakteri Beberapa Bagian Tumbuhan Kelor (Moringa oleifera) Terhadap Bakteri Gram Positif dan Gram Negatif: Literature Review," *Jurnal Medika Hutama*, vol. 03, no. 03, pp. 2644–2649, Apr. 2022.

[5] K. D. A. W. Dermana, D. S. Hidayati, Herlinawati, and R. Hermawati, "Aktivitas Antibakteri Kombinasi Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi L.) dan Daun Kelor (Moringa oleifera L.) Terhadap Pertumbuhan Staphylococcus aureus," *MAHESA : Malahayati Health Student Journal*, vol. 5, no. 8, pp. 3370–3381, Jul. 2025, doi: 10.33024/mahesa.v5i8.18983.

[6] B. N. Zhalifunnafsi, Sabariah, I. P. B. A. Saputra, and I. P. D. Arjita, "Uji Aktivitas Antibakteri Kombinasi Ekstrak Etanol Daun Kelor (Moringa oleifera L) dan Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi L) Terhadap Bakteri Escherichia coli Secara In Vitro," *MAHESA : Malahayati Health Student Journal*, vol. 5, no. 6, pp. 2572–2584, Jun. 2025, doi: 10.33024/mahesa.v5i6.18597.

[7] L. Sya'baniar, E. Suwandi, B. M. Ihsan, E. Sari, and I. Fatayati, "Analisis Anti Bakteri Sediaan Gel Pembersih Tangan Ekstrak Etanol Daun Belimbing Wuluh Terhadap Bakteri Escherichia coli," *Jurnal Laboratorium Khatulistiwa*, vol. 8, no. 1, pp. 225–233, Nov. 2024.

[8] S. A. Sakina, E. Kristinawati, Y. A. Jiwantoro, and Fihirrudin, "Perbedaan Konsentrasi Filtrat Daun Belimbing Wuluh Dalam Menghambat Pertumbuhan Bakteri Escherichia Coli Metode Difusi Sumuran," *Journal of Indonesia Laboratory Technology of Student (JILTS)*, vol. 2, no. 2, pp. 1–4, Dec. 2023, doi: 10.25134/quagga.v10i1.803.

[9] D. T. Vinca, M. Iqbal, R. Triyandi, and R. Z. Oktarlina, "Artikel Review: Aktivitas Antibakteri Ekstrak Daun Kelor (Moringa oleifera L.) Terhadap Bakteri

Staphylococcus aureus," *Medula*, vol. 13, no. 4, pp. 649–654, May 2023.

[10] N. A. Larasati, M. Iqbal, F. Andrifianie, and R. Triyandi, "Potensi Antibakteri Tanaman Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi L.) Terhadap Bakteri Gram Positif Dan Gram Negatif: Literature Review," *Sains Medisina*, vol. 4, no. 2, pp. 106–111, Dec. 2025, doi: 10.63004/snsmed.v4i2.886.

[11] S. Sagadevan *et al.*, "Facile Synthesis of Silver Nanoparticles Using Averrhoa bilimbi L and Plum Extracts and Investigation on The Synergistic Bioactivity Using in Vitro Models," *Green Processing and Synthesis*, vol. 8, no. 1, pp. 873–884, May 2019, doi: 10.1515/gps-2019-0058.

[12] A. K. Alzubaidi *et al.*, "Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Using Flaxseed Extract and Evaluation of Their Antibacterial and Antioxidant Activities," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 13, no. 2182, Feb. 2023, doi: 10.3390/app13042182.

[13] M. Asif, R. Yasmin, R. Asif, A. Ambreen, M. Mustafa, and S. Umbreen, "Green Synthesis of Silver Nanoparticles (AgNPs), Structural Characterization, and Their Antibacterial Potential," *Dose-Response*, vol. 1, no. 11, Feb. 2022, doi: 10.1177/15593258221088709.

[14] V. Wonoputri, T. W. Samadhi, S. Khairunnisa, and E. Rahayu, "Role of Deagglomeration in Particle Size and Antibiofilm Activity of ZnO Nanoparticles Synthesized with Averrhoa bilimbi Extract," *Journal of Engineering and Technological Sciences*, vol. 56, no. 6, pp. 727–741, 2024, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2024.56.6.5.

[15] R. Sasri and A. I. Harun, "Green Synthesis of Titanium Dioxide Using Biancaea sappan Extract as Reductors," *Spin Jurnal Kimia & Pendidikan Kimia*, vol. 6, no. 1, pp. 27–33, Jul. 2024, doi: 10.20414/spin.v6i1.8903.

[16] E. Amelia and D. K. Maharani, "Sintesis Hijau dan Karakteristik Nanopartikl TiO2 Menggunakan Ekstrak Daun Ketapang (Terminalia catappa) dan Aktivitas Fotokatalitiknya dalam Degradasi Metilen Biru," *Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya*, vol. 6, no. 2, pp. 72–161, 2024.

[17] E. E. Imade, T. O. Ajiboye, A. E. Fadiji, D. C. Onwudiwe, and O. O. Babalola, "Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Plantain Peel Extracts and The Evaluation of Their Antibacterial Activity," *Sci. Afr.*, vol. 16, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.sciaf.2022.e01152.

[18] A. Roy *et al.*, "Antibacterial and Dye Degradation Activity of Green Synthesized Iron Nanoparticles," *J. Nanomater.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/3636481.

[19] F. Buarki, H. Abuhassan, F. Al Hannan, and F. Z. Henari, "Green Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles Using Hibiscus rosa sinensis Flowers and Their Antibacterial Activity," *J. Nanotechnol.*, vol. 2022, Mar. 2022, doi: 10.1155/2022/5474645.

[20] Susanti, F. Ramadhani, M. Soraya, and F. Afriani, "Potensi Green-Synthesis Nanopartikel Perak Berbasis Bahan Floral Di Indonesia: Sebuah Review," in *Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat 2021*, Pangkalpinang: Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung, Sep. 2021, pp. 174–176.

[21] S. Ullah *et al.*, "Biosynthesis of Phyto-Functionalized Silver Nanoparticles Using Olive Fruit Extract and Evaluation of Their Antibacterial and Antioxidant Properties," *Front. Chem.*, vol. 11, May 2023, doi: 10.3389/fchem.2023.1202252.

[22] A. M. El-Khawaga *et al.*, "Green Synthesized ZnO Nanoparticles by Saccharomyces cerevisiae and Their Antibacterial Activity and Photocatalytic Degradation," *Biomass Convers. Biorefin.*, vol. 15, no. 2, pp. 2673–2684, Sep. 2025, doi: 10.1007/s13399-023-04827-0.

[23] Z. Maharani, S. N. Kaeriyah, and S. Purwanti, "Pemanfaatan Sari Buah Belimbing Wuluh (Averrhoa blimbi L) Sebagai Alternatif Feed Additive Berdasarkan Aktivitas Antibakteri Terhadap Staphylococcus aureus dan Escherichia coli," *JIPHO (Jurnal Ilmiah Perternakan Halu Oleo)*, vol. 8, no. 1, pp. 102–112, Jan. 2026, doi: 10.56625/jipho.v8i1.484.

[24] N. Tiara Putri, N. Kurnyawaty, and Sirajuddin, "Pemanfaatan Saponin Dari Ekstrak Daun Belimbing Wuluh Yang

Diaplikasikan Dalam Pembuatan Detergen Cair," *Jurnal Teknik Kimia Vokasional*, vol. 4, no. 2, pp. 55–63, Sep. 2024, doi: 10.46964/jimsi.v4i2.1230.

[25] R. K. Dewi, M. L. Firdaus, and E. Nursa'adah, "Biosintesis Nanopartikel Emas Menggunakan Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi) Untuk Analisis Kromium," *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, vol. 12, no. 1, pp. 44–55, Feb. 2024, doi: 10.33394/hjkk.v12i1.10188.

[26] L. F. Yeni, Nurfatehah, Erma, and E. E. Sari, "Antibacterial Activity of Indonesian Medicinal Plant Extracts Tinospora crispa, Averrhoa bilimbi and Syzygium polyanthum against Shigella sonnei," *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, vol. 11, no. 4, pp. 355–363, Apr. 2025, doi: 10.29303/jppipa.v11i4.9378.

[27] A. Agastia, M. Z. Arifin, and E. Setyorini, "Uji Efektivitas Antimikroba Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (Avverhoa bilimbi L) Terhadap Bakteri Eschericia coli," *Jurnal Insan Cendekia*, vol. 8, Mar. 2021.

[28] H. Rante, Nasriah, and R. Tayeb, "Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi L.) Terhadap Bakteri Escherichia coli dan Staphylococcus aureus Resistensi Antibiotik," *Jurnal Pharmascience*, vol. 11, no. 1, pp. 154–160, Mar. 2024, [Online]. Available: https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/pharmascience

[29] L. V. Hublikar, S. V. Ganachari, and V. B. Patil, "Phytofabrication of Silver Nanoparticles Using Averrhoa bilimbi Leaf Extract For Anticancer activity," *Nanoscale Adv.*, vol. 5, no. 16, pp. 4149–4157, Jul. 2023, doi: 10.1039/d3na00313b.

[30] A. Prabhu *et al.*, "Biosynthesis of ZnO Nanoparticles Using Averrhoa bilimbi Fruit Extract: Evaluation of Photocatalytic and Antibacterial activities," *Inorg. Chem. Commun.*, vol. 180, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.inoche.2025.114989.

[31] F. D. C. Putri and D. K. Maharani, "Perbandingan Nanopartikel TiO2 Menggunakan Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa blimbi L.) dan Daun Kemangi (Ocimum Sanctum) untuk Aplikasi Fotokatalitik," *Sains dan Matematika*, vol. 9, no. 2, Oct. 2024.

[32] P. Praveen, G. Viruthagiri, S. Mugundan, and N. Shanmugam, "Structural, Optical and Morphological Analyses of Pristine Titanium Di-oxide Nanoparticles - Synthesized Via Sol-Gel Route," *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 117, pp. 622–629, 2014, doi: 10.1016/j.saa.2013.09.037.

[33] D. P. Tilarso, A. Muadifah, P. I. Pratiwi, and M. H. Nurjanah, "Pengaruh Suhu Pemanasan dan Variasi Konsentrasi Kombinasi Ekstrak Buah Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi L.) dan Daun Sirih (Piper betle) Terhadap Bakteri Staphylococcus aureus dan Escherichia coli," *Jurnal Farmasi, Kesehatan dan Sains (FASKES)*, vol. 2, no. 1, Jul. 2024.

[34] F. K. Rhamdiyah and D. K. Maharani, "Biosynthesis of ZnO Nanoparticles from Aqueous Extract of Moringa Oleifera L.: Its Application as Antibacterial and Photocatalyst," *Indonesian Journal of Chemical Science*, vol. 11, no. 2, 2022, [Online]. Available: http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs

[35] E. D. Sari, R. Kosman, and Herwin, "Literature Study of Antibacterial Assay of Averrhoa bilimbi L. Against Gram Positive Bacteria," *Journal Microbiology Science*, vol. 2, no. 1, pp. 9–14, 2022.