

Biosintesis Nanopartikel Hidroksiapatit Termodifikasi Ekstrak Daun Gedi (*Abelmoschus manihot* L) sebagai Agen Antibakteri

Yuanita Amalia Hariyanto⁽¹⁾, Meilani Jayanti⁽²⁾, As'ari⁽³⁾

^{1,2}Program Studi Farmasi, Universitas Sam Ratulangi
Jl. Kampus UNSRAT Bahu, Malalayang, Manado, 95115, Indonesia

³Program Studi Fisika, Universitas Sam Ratulangi
Jl. Kampus UNSRAT Bahu, Malalayang, Manado, 95115, Indonesia

Email: ¹yuanita.ah@unsrat.ac.id

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima 20 Februari 2025
Direvisi 24 Februari 2025
Disetujui 25 Februari 2025
Dipublikasikan 28 Februari 2025

Keywords:

Biosynthesis; nHA; *Abelmoschus manihot* L; antibacterial

Kata Kunci:

Biosintesis; nHA; *Abelmoschus manihot* L; antibakteri

Corresponding Author:

Name:
Yuanita Amalia Hariyanto
Email:
yuanita.ah@unsrat.ac.id

Abstract: A tuna bones, particularly in the jaw region, constitute a category of food waste prevalent in North Sulawesi. Hydroxyapatite can be produced from tuna jaws. *Abelmoschus manihot* L (gedi) can improve the efficacy of hydroxyapatite as an antibacterial agent owing to its bioactive components. This study aimed to assess the antibacterial efficacy of hydroxyapatite treated with *Abelmoschus manihot* L extract. The samples were produced through multiple stages: preparation of tuna fish bones, synthesis of hydroxyapatite nanoparticles (nHA), extraction of gedi leaves and biosynthesis of nHA from gedi leaf extract. Biosynthesis was conducted via the co-precipitation technique with diverse compositions. The samples were then analyzed using FTIR and TEM, and their antibacterial activity was assessed using the well diffusion method. According to the results of the FTIR study, functional groups from the gedi leaf extract were detected at wave numbers 1731 cm^{-1} , 1234 cm^{-1} , and 896 cm^{-1} , and nHA was discovered at wave numbers 576 cm^{-1} , 608 cm^{-1} , 964 cm^{-1} , and 1041 cm^{-1} , indicating the phosphate group. Furthermore, the results of the TEM investigation revealed that the samples formed spheres smaller than 100 nm. The antibacterial activity of gedi extract/nHA at concentrations of 0.5%, 1%, and 1.5% revealed the presence of inhibitory zones in the strong and very strong categories for *S. aureus* bacteria. Meanwhile, *E. coli* bacteria's inhibitory zones were moderate to strong. This suggests that gedi/nHA extract possesses antibacterial properties, making it ideal for use in biomedical applications.

Abstrak: Tulang ikan Tuna khususnya bagian rahang merupakan salah satu *food waste* yang berada di Sulawesi Utara. Rahang tuna dapat disintesis menjadi hidroksiapatit. *Abelmoschus manihot* L (gedi) dapat meningkatkan performa hidroksiapatit sebagai agen antibakteri karena mengandung senyawa bioaktif. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui potensi antibakteri dari hidroksiapatit yang termodifikasi ekstrak *Abelmoschus manihot* L. Sampel difabrikasi dengan beberapa tahapan yaitu preparasi tulang ikan tuna, sintesis nanopartikel hidroksiapatit (nHA), ekstraksi daun gedi, dan biosintesis ekstrak daun gedi nHA. Biosintesis dilakukan dengan metode kopresipitasi dengan variasi komposisi. Selanjutnya, sampel dikarakterisasi menggunakan FTIR, TEM, dan aktivitas antibakterinya diuji menggunakan metode difusi sumuran. Berdasarkan hasil analisis FTIR menunjukkan hadirnya gugus fungsi dari ekstrak daun gedi pada bilangan gelombang 1731 cm^{-1} , 1234 cm^{-1} , 896 cm^{-1} dan nHA pada bilangan gelombang 576, 608, 964, dan 1041 cm^{-1} . Selanjutnya, hasil analisis TEM menunjukkan bahwa sampel membentuk sferis dengan ukuran di bawah 100 nm. Aktivitas antibakteri ekstrak gedi/nHA pada konsentrasi 0,5%; 1%; 1,5% menunjukkan

adanya zona hambat yang berada pada kategori kuat dan sangat kuat untuk bakteri *S. aureus*. Sementara pada bakteri *E. coli* berada pada kategori sedang dan kuat. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak gedi/nHA memiliki potensi sebagai agen antibakteri, sehingga dapat dikembangkan sebagai material biomedis.

PENDAHULUAN

Indonesia menempati peringkat kedua sebagai negara penghasil *food waste* terbesar di dunia. Berdasarkan data *United Nations Environment Programme* (UNEP) pada tahun 2020, tercatat angka *food waste* di Indonesia mencapai 20,94 juta metrik ton (Ibrahim, 2023). Hal serupa juga terjadi di Sulawesi Utara, dimana salah satu *food waste* yang melimpah adalah tulang ikan tuna. Hal ini dikarenakan produksi tuna menjadi salah satu komoditas andalan di Sulawesi Utara. Untuk menekan angka *food waste* yang tinggi, maka perlu dilakukan sebuah inovasi dalam fabrikasi tulang ikan tuna. Tulang ikan tuna memiliki kandungan kalsium yang tinggi dibandingkan unsur lainnya, yang kemudian dapat digunakan sebagai sumber kalsium dalam pembuatan hidroksiapatit.

Hidroksiapatit (HAp) mengandung mineral kalsium fosfat yang dapat memperbaiki kerusakan tulang secara alami (Zhang dkk., 2014). Jika ditinjau dari sifat biologinya, senyawa HAp memiliki sifat biokompatibel dan bioaktif yang membuat material ini menjadi primadona dibidang biomaterial (Foroughi dkk., 2016). Pada penelitian Alinavaz et al (2021) Menjelaskan bahwa hidroksiapatit memiliki potensi sebagai agen antibakteri (Alinavaz dkk., 2021). Namun sayangnya, hidroksiapatit mudah untuk teraglomerasi. Sehingga untuk meningkatkan performa hidroksiapatit juga perlu ditambahkan agen penstabil yang berguna untuk mencegah terjadinya aglomerasi partikel. Agen penstabil yang secara umum digunakan adalah polimer sintetik seperti PVP, PVA, dan PEG (Alinavaz dkk., 2021; Basak dkk., 2018; Głab dkk., 2021). Namun penggunaannya terindikasi dapat merusak lingkungan. Oleh karena itu, beberapa peneliti telah mengembangkan inovasi sintesis nanopartikel menggunakan tanaman (Kalaiselvi dkk., 2018; Orooji dkk., 2020; Zheng dkk., 2021). Sehingga dapat meminimalisir penggunaan bahan-bahan anorganik yang berbahaya dan limbahnya.

Banyak tumbuhan yang berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi alternatif dalam sintesis nanopartikel. Salah satu tanaman endemik di Sulawesi Utara yang berpotensi sebagai penstabil, pereduksi, dan *chelating agent* adalah *Abelmoschus manihot L* (gedi). Tanaman ini mengandung sejumlah senyawa flavonoid, steroid, tannin, dan fenol (Hendrawati dkk., 2020). Senyawa fitokimia ini memiliki potensi aktivitas antibakteri yang mampu meperluas aplikasi hidroksiapatit (HAp) sebagai agen antibakteri. Polifenol juga dilaporkan memiliki pengaruh dalam mengontrol bentuk HAp karena adanya interaksi berbagai gugus fungsional selama nukleasi. Disisi lain, modifikasi ekstrak daun gedi dalam biosintesis hidroksiapatit nanopartikel juga dapat meningkatkan sifat antibakteri dari hidroksiapatit (Kambey dkk., 2019). Pada konsentrasi tinggi fenol diketahui memiliki spektrum antibakteri yang luas, dimana mampu menembus dan mengganggu dinding sel bakteri. Sehingga dengan modifikasi ekstrak daun gedi performa hidroksiapatit sebagai agen antibakteri menjadi optimal. Inovasi lain yang ditawarkan ialah fabrikasi HAp dengan *recycle system* tulang ikan tuna, yang memberikan nilai tambah pada riset ini.

METODE

Materials

Bahan kimia yang digunakan untuk mensintesis nanopartikel hidroksiapatit (nHA) dan ekstrak gedi/nHA memiliki kualitas reagen analitik p.a. nHA dan ekstrak gedi/nHA dibuat dengan menggunakan kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dari tulang ikan tuna, HNO_3 p.a, amonium dihidrogen fosfat $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ p.a, amonium hidroksida NH_4OH p.a, daun gedi, etanol 96%, asam asetat p.a, dan *de-ionized water*.

Methods

Preparasi tulang ikan tuna

Sebelum masuk tahap sintesis hidroksiapatit, hal pertama yang dilakukan yaitu preparasi limbah tulang ikan tuna. Limbah tulang ikan tuna dipotong kecil, dicuci dengan air mengalir hingga bersih, direbus selama 30 menit, disaring, dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Tulang ikan tuna dimasukkan *furnace* dengan suhu 1000 °C selama 5 jam agar membentuk CaO. Setelah dikalsinasi CaO direaksikan dengan *de-ionized water* dan ditumbuk hingga halus. kemudian diayak menggunakan ayakan 200 mesh, hingga membentuk serbuk kalsium hidroksida [Ca(OH)₂] (Chadijah, 2018).

Sintesis nHA

Pembuatan hidroksiapatit dari limbah tulang ikan tuna dilakukan dengan mereaksikan Ca(OH)₂ dengan HNO₃ sebanyak 5 mL dan di aduk pada suhu ruang untuk memperoleh larutan Ca(NO₃)₂. kemudian, dititrasi menggunakan (NH₄)₂HPO₄ yang sudah dilarutkan dengan 100 mL *de-ionized water*. Larutan NH₄OH dititrasi secara perlahan agar larutan tetap basa (pH 10). Selama proses titrasi, larutan diaduk pada suhu 75 °C selama 1 jam hingga terbentuk endapan. Endapan tersebut dicuci, disaring, dan dioven suhu 100 °C selama 1 jam (Chadijah, 2018; Hariyanto, Taufiq, Sunaryono, Mufti, dkk., 2019; Hariyanto, Taufiq, Sunaryono, & Soontaranon, 2019).

Pembuatan Ekstrak Daun *Abelmoschus manihot* L

Serbuk daun *Abelmoschus manihot* L diekstraksi dengan metode maserasi menggunakan pelarut etanol 96%. Maserasi dilakukan dengan perbandingan ekstrak dan pelarut yaitu 1:5 (w/v) sampai semua sampel terendam oleh pelarut selama 5x24 jam dengan beberapa kali pengadukan. Ekstrak hasil maserasi kemudian disaring sehingga diperoleh filtrat dan residu. Selanjutnya dilakukan remaserasi residu dengan perbandingan residu dan pelarut 1:3 (w/v) yang ada selama 2x24 jam dengan beberapa kali pengadukan. Kemudian dilakukan remaserasi secara berkala selama 2x24 jam kemudian maserat disaring sehingga diperoleh filtrat dan residu. Filtrat dikumpulkan lalu diuapkan dengan *rotary evaporator* hingga diperoleh ekstrak kental.

Biosintesis Nanopartikel Hidroksiapatit dengan ekstrak daun *Abelmoschus manihot* L

Sintesis hidroksiapatit merujuk pada penelitian sebelumnya. Larutan hidroksiapatit 1% dibuat dengan melarutkan 0,2 g hidroksiapatit dalam 20 ml asam asetat. Larutan hidroksiapatit 1% yang telah dibuat, selanjutnya dimasukkan ke dalam gelas kimia sebanyak 2 ml dan ditambahkan dengan ekstrak daun gedi sebanyak 0,5 g, 1 g, dan 1,5 g, kemudian diaduk hingga homogen.

Uji Aktivitas Antibakteri Komposit Hidroksiapatit dengan Ekstrak Daun *Abelmoschus manihot* L

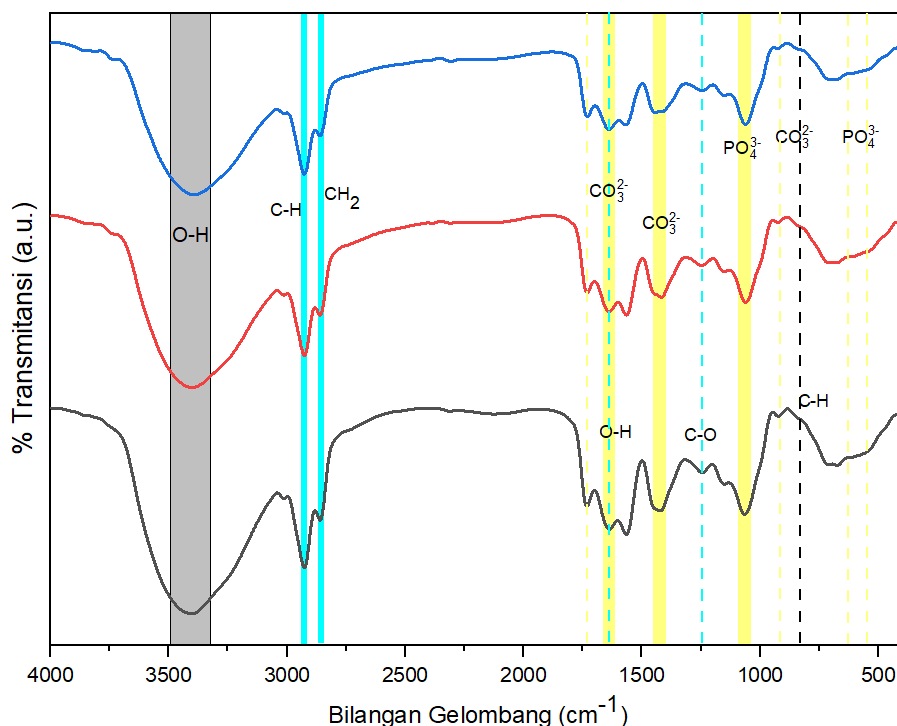
Pengujian aktivitas antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi agar, khususnya metode sumuran. Media agar yang telah ditanami bakteri uji dibuat sumuran dengan pencadang berdiameter 4 mm. Kemudian, sumuran tersebut diisi dengan sampel yang akan diuji aktivitas antibakterinya. Sampel dalam sumuran akan berdifusi ke media agar yang telah ditanami bakteri. Pengamatan dilakukan dengan melihat terbentuknya zona bening di sekitar sumuran setelah media agar yang ditanami bakteri diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Pada pengujian ini, bakteri uji yang digunakan adalah bakteri *E.coli* dan *S.aureus* untuk mengetahui kemampuan daya hambat dari ekstrak gedi/nHA pada konsentrasi 0,5%; 1%; 1,5%. Aktivitas antibakteri yang diamati berasal dari zat uji, bukan dari pelarut. Kontrol negatif yang digunakan adalah aquadest. Dari hasil pengujian, kontrol negatif tidak menunjukkan adanya zona hambat, yang membuktikan bahwa

daya hambat yang diamati tidak dipengaruhi oleh pelarut. Kontrol positif yang digunakan adalah ciprofloxacin, yang berfungsi untuk memberikan gambaran zona hambat yang terbentuk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi FTIR

Spektrum FTIR dari ekstrak gedi/nHA dengan variasi konsentrasi 0,5%; 1%; 1,5% disajikan pada Gambar 1.



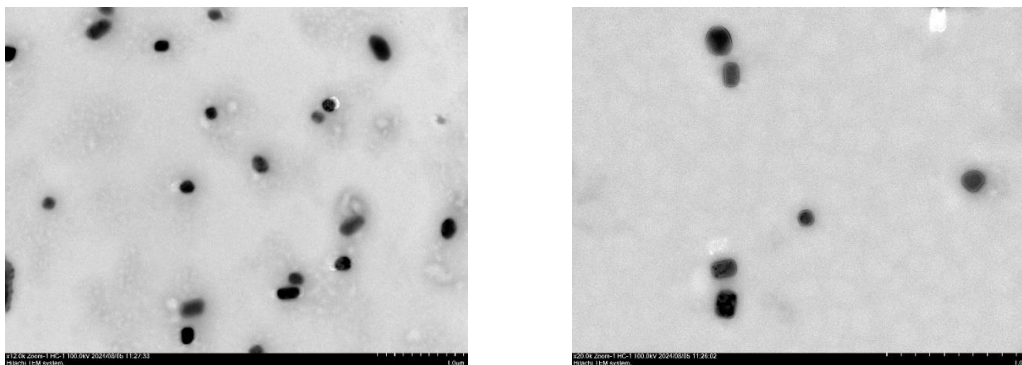
Gambar 1. Spektrum FTIR dari sampel ekstrak gedi/nHA 0,5%; 1%; 1,5%

Berdasarkan Gambar 1 teramati adanya vibrasi stretching O-H pada gugus OH dalam molekul selulosa muncul pada bilangan gelombang 3400 – 3300 cm^{-1} . Puncak pada bilangan gelombang 1731 cm^{-1} vibrasi stretching C=O dari kelompok asetil dan ester uronat, pektin, hemiselulosa, atau ikatan ester dari kelompok karboksilat asam ferulat dan p-kumarat dari lignin/hemiselulosa. Puncak absorpsi yang teramati pada 1641 cm^{-1} merepresentasikan vibrasi gugus O-H. Sementara, puncak absorpsi pada 1234 cm^{-1} dalam ekstrak *Abelmoschus manihot* diindikasikan dengan stretching C-O keluar bidang dari gugus asetil dalam lignin. Puncak pada 896 cm^{-1} menunjukkan vibrasi rocking dari ikatan β -glikosidik (Teli & Jadhav, 2016). Lebih lanjut, vibrasi gugus fungsional yang terbentuk seperti phosphate, carbonate, dan hidroksil dari nHA juga teramati. Vibrasi dari gugus fungsi phosphate terjadi pada bilangan gelombang 576, 608, 964, dan 1041 cm^{-1} . Vibrasi dari gugus fungsi karbonat terjadi pada bilangan gelombang 878, 1419, dan 1636 cm^{-1} . Hasil penelitian ini selaras dengan hasil penelitian sebelumnya yang melaporkan gugus fungsional karbonat berada pada bilangan gelombang 878 cm^{-1} dan 1300-1650 cm^{-1} (Hariyanto, Taufiq, Sunaryono, Mufti, dkk., 2019). Vibrasi stretching O-H dari nHA teramati pada bilangan gelombang 3372 cm^{-1} .

Hasil Karakterisasi TEM

Morfologi komposit ekstrak nHA diamati dengan TEM seperti Gambar 2. Berdasarkan hasil analisis morfologi, distribusi komposit ekstrak nHA lebih menunjukkan bentuk yang seragam berbentuk sferis. Berdasarkan hasil fitting dengan menggunakan model distribusi

Gaussian ukuran komposit ekstrak gedi/nHA memiliki ukuran di bawah 100 nm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Karakterisasi dari Sampel Ekstrak Gedi/nHA

Hasil Uji Antibakteri

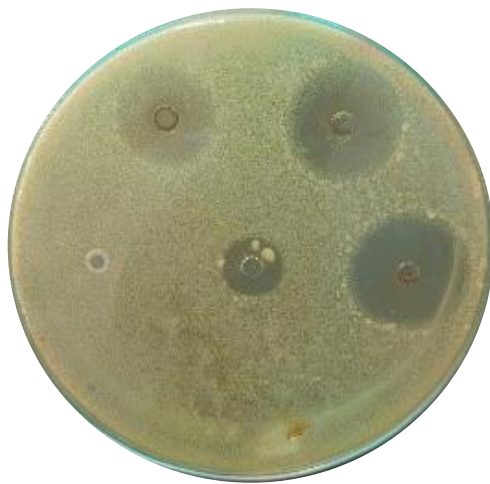
Hasil analisis uji antibakteri disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa dengan bertambahnya konsentrasi ekstrak gedi/nHA (0,5%; 1%; 1,5%) membentuk struktur komposit dengan HA, dapat meningkatkan aktivitas antibakteri. Bertambahnya komposisi ekstrak menyebabkan diameter zona hambat yang terbentuk semakin meningkat. Hal ini terlihat pada konsentrasi ekstrak 0,5%; 1%; 1,5% zona hambat yang terbentuk sebesar 16,53 mm; 19,73 mm; 20,24 mm secara berturut-turut untuk bakteri *S. aureus*. Terlihat juga pada konsentrasi 1% dan 1,5% terjadi peningkatan pada kategori sangat kuat. Sementara untuk *E. coli* yang disajikan pada Tabel 2 sebesar 13,66 mm; 18,09 mm; 19,33 mm, terjadi peningkatan dari kategori sedang (0,5%) menjadi kategori kuat (1% dan 1,5%). Meningkatnya nilai diameter zona hambat mengimplikasikan bahwa ekstrak gedi selain berfungsi sebagai *reducing agent*, juga dapat meningkatkan performa dari HA sebagai agen antibakteri.

Table 1. Hasil Pengukuran Diameter Zona Daya Hambat Bakteri *S. aureus* pada Ekstrak Gedi/nHA

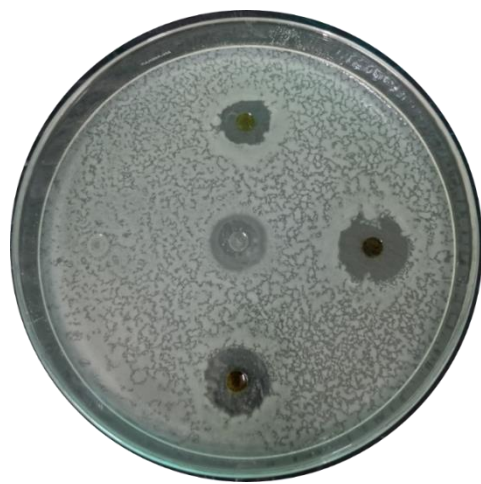
Konsentrasi	Diameter Zona Hambat (mm)			Rata-rata (mm)	Kategori Daya Hambat
	U1	U2	U3		
KE 0,5%	15.63	16.80	17.17	16.53	Kuat
KE 1%	19.27	19.93	20.00	19.73	Sangat Kuat
KE 1,5%	20.17	19.63	20.93	20.24	Sangat Kuat
HA	2.87	2.9	4.87	3.55	Lemah
Kontrol (+)	19.43	18.37	21.17	19.66	Kuat
Kontrol (-)	0	0	0	0	Tidak ada

Tabel 2. Hasil Pengukuran Diameter Zona Hambat Bakteri *E. coli* pada Ekstrak Gedi/nHA

Konsentrasi	Diameter Zona Hambat (mm)			Rata-rata (mm)	Kategori Daya Hambat
	U1	U2	U3		
KE 0,5%	14.13	11.47	15.37	13.66	Sedang
KE 1%	18.27	17.30	18.7	18.09	Kuat
KE 1,5%	19.5	14.9	20.6	18.33	Kuat
HA	6.90	6.40	7.90	7.07	Sedang
Kontrol (+)	15.37	14.8	13.8	14.66	Sedang
Kontrol (-)	0	0	0	0	Tidak ada



Staphylococcus aureus



Escherichia coli

Gambar 3. Aktivitas Antibakteri Komposit Ekstrak gedi/nHA

Daya hambat pada bakteri gram positif yaitu *Staphylococcus aureus* memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan bakteri gram negatif yaitu *Escherichia coli*, hal ini menunjukkan bahwa bakteri gram negatif lebih tahan terhadap komposit ekstrak gedi/nHA dibandingkan dengan bakteri gram positif. Hal ini sejalan dengan teori yang ada, dimana bakteri gram negatif memiliki struktur dinding sel yang lebih kompleks karena susunan membran sel terdiri dari lipopolisakarida. Senyawa ini berfungsi untuk menghalangi senyawa antibakteri untuk menembus masuk ke dalam sel. Disisi lain, bakteri gram positif memiliki struktur dinding sel yang lebih sederhana dan berlapis tunggal tanpa membran luar. Hal ini yang membuat komposit ekstrak nHA lebih mudah menembus dinding sel sehingga menyebabkan lisis (kerusakan sel) (Daris dkk., 2023).

SIMPULAN

Vibrasi stretching O-H pada gugus OH dalam molekul selulosa muncul pada bilangan gelombang 3400 – 3300 cm^{-1} . Puncak pada bilangan gelombang 1731 cm^{-1} vibrasi stretching C=O dari kelompok asetil dan ester uronat, pektin, hemiselulosa, atau ikatan ester dari kelompok karboksilat asam ferulat dan p-kumarat dari lignin/hemiselulosa. Puncak absorpsi yang teramati pada 1641 cm^{-1} merepresentasikan vibrasi gugus O-H. Sementara, puncak absorpsi pada 1234 cm^{-1} dalam ekstrak *Abelmoschus manihot* L diindikasikan dengan stretching C-O keluar bidang dari gugus asetil dalam lignin. Puncak pada 896 cm^{-1} menunjukkan vibrasi rocking dari ikatan β -glikosidik. Vibrasi dari gugus fungsi phosphate terjadi pada bilangan gelombang 576, 608, 964, dan 1041 cm^{-1} . Vibrasi dari gugus fungsi karbonat terjadi pada bilangan gelombang 878, 1419, dan 1636 cm^{-1} . Vibrasi stretching O-H dari nHA teramati pada bilangan gelombang 3372 cm^{-1} . Aktivitas antibakteri ekstrak gedi/nHA pada konsentrasi ekstrak 0,5%; 1%; 1,5% menunjukkan adanya zona hambat yang terbentuk sebesar 16,53 mm; 19,73 mm; 20,24 mm secara berturut-turut untuk bakteri *S. aureus*. Sementara untuk *E. coli* sebesar 13,66 mm; 18,09 mm; 19,33 mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sam Ratulangi atas dukungan pendanaan riset melalui hibah penelitian skema Riset Dasar/Terapan Umum Unggulan Unsrat (RDTU3) melalui anggaran DIPA Badan Layanan Umum Universitas Samratulangi tahun 2024 sesuai dengan Nomor Kontrak 624/UN12.13/LT/2024.

DAFTAR RUJUKAN

- Alinavaz, S., Mahdavinia, G. R., Jafari, H., Hazrati, M., & Akbari, A. (2021). Hydroxyapatite (HA)-based hybrid bionanocomposite hydrogels: Ciprofloxacin delivery, release kinetics and antibacterial activity. *Journal of Molecular Structure*, 1225, 129095. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129095>
- Basak, P., Pahari, P., Das, P., Das, N., Samanta, S. K., & Roy, S. (2018). Synthesis and Characterisation of Gelatin-PVA/Hydroxyapatite(HAP) Composite for Medical Applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 410, 012021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/410/1/012021>
- Chadijah, S. (2018). ANALISIS HIDROKSIAPATIT DARI TULANG IKAN TUNA (THUNNUS ALBACORES) DENGAN XRF, FTIR, dan XRD. *Al-Kimia*, 6(2). <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v6i2.5067>
- Daris, U. S., Syam, H., & Sukainah, A. (2023). Uji Daya Hambat serta Penentuan Minimum Inhibitor Concentration (MIC) Dan Minimum Bactericidal Concentration (MBC) Ekstrak Daun Bidara Terhadap Bakteri Patogen. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 9(2), 223–234. <https://doi.org/10.26858/jptp.v9i2.682>
- Foroughi, F., Hassanzadeh-Tabrizi, S. A., & Bigham, A. (2016). In situ microemulsion synthesis of hydroxyapatite-MgFe₂O₄ nanocomposite as a magnetic drug delivery system. *Materials Science and Engineering: C*, 68, 774–779.
- Głąb, M., Kudłacik-Kramarczyk, S., Drabczyk, A., Walter, J., Kordyka, A., Godzierz, M., Bogucki, R., Tyliszczak, B., & Sobczak-Kupiec, A. (2021). Hydroxyapatite Obtained via the Wet Precipitation Method and PVP/PVA Matrix as Components of Polymer-Ceramic Composites for Biomedical Applications. *Molecules*, 26(14), 4268. <https://doi.org/10.3390/molecules26144268>
- Hariyanto, Y. A., Taufiq, A., Sunaryono, Mufti, N., Soontaranon, S., & Kamonsutthipaijit, N. (2019). Study on Structural Characters of Nano-sized Hydroxyapatite Prepared from Limestone. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 515(1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/515/1/012020>
- Hariyanto, Y. A., Taufiq, A., Sunaryono, & Soontaranon, S. (2019). Investigation on the Three-Dimensional Nanostructure and the Optical Properties of Hydroxyapatite/Magnetite Nanocomposites Prepared from Natural Resources. *Journal of the Korean Physical Society*, 75(9), 708–715. <https://doi.org/10.3938/jkps.75.708>
- Hendrawati, T. Y., Nuraini, A., Hakim, R. J., & Fithriyah, N. H. (2020). Characterization and Properties of Gedi (*Abelmoschus Manihot* L.) Leaf Extract with Liquid Chromatography Mass Spectrometry Using Quadrupole Time-of-Flight Technology (LCMS-QToF). *Food Science and Technology*, 8(4), 79–86. <https://doi.org/10.13189/fst.2020.080402>
- Ibrahim, M. (2023, Oktober 30). Food Waste RI Terbesar ke-2 Dunia, Bos Great Giant Foods Ungkap Penyebabnya. *Infobanknews*. <https://infobanknews.com/food-waste-ri-terbesar-ke-2-dunia-bos-great-giant-foods-ungkap-penyebabnya/>
- Kalaiselvi, V., Mathammal, R., Vijayakumar, S., & Vaseeharan, B. (2018). Microwave assisted green synthesis of Hydroxyapatite nanorods using *Moringa oleifera* flower extract and its antimicrobial applications. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 6(2), 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.ijvsm.2018.08.003>
- Kambey, B., Sudewi, S., & Jayanto, I. (2019). ANALISIS KORELASI ANTARA KANDUNGAN FENOL TOTAL DENGAN AKTIVITAS ANTIBAKTERI EKSTRAK DAN FRAKSI *Abelmoschus manihot* L. TERHADAP *Escherichia coli*. *PHARMACON*, 8(2), 472. <https://doi.org/10.35799/pha.8.2019.29315>
- Orooji, Y., Mortazavi-Derazkola, S., Ghoreishi, S. M., Amiri, M., & Salavati-Niasari, M. (2020). Mesoporous Fe₃O₄@SiO₂-hydroxyapatite nanocomposite: Green sonochemical synthesis using strawberry fruit extract as a capping agent, characterization and their

- application in sulfasalazine delivery and cytotoxicity. *Journal of Hazardous Materials*, 400, 123140. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123140>
- Teli, M. D., & Jadhav, AkshayC. (2016). Extraction and Characterization of Novel Lignocellulosic Fibre. *Journal of Bionanoscience*, 10(5), 418–423. <https://doi.org/10.1166/jbns.2016.1392>
- Zhang, J., Liu, W., Schnitzler, V., Tancret, F., & Bouler, J.-M. (2014). Calcium phosphate cements for bone substitution: Chemistry, handling and mechanical properties. *Acta Biomaterialia*, 10(3), 1035–1049. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2013.11.001>
- Zheng, F., Wang, C., Huang, K., & Li, J. (2021). Surface Adsorption in PEG/Hydroxyapatite and PEG/Dickite Composite Phase Change Materials. *Energy & Fuels*, 35(13), 10850–10859. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c00885>