



Article History

Submitted : 21 December 2025

Revised : 4 February 2026

Accepted : 24 February 2026

Optimasi Sintesis Biokomposit Selulosa Bakteri Termodifikasi Ekstrak Etanol Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinensis* L.) dan Aktivitas Antibakterinya**Via Apipah, Riza Apriani***

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Garut, Jl Prof. Aam Hamdani No.42B, Tarogong Kaler, West Java, 44151, Indonesia

Email: aprianiriza@uniga.ac.id**Abstrak**

Selulosa bakteri adalah polisakarida ekstraseluler yang diproduksi oleh berbagai spesies bakteri, salah satunya yaitu *Gluconacetobacter xylinus*. Material ini memiliki sejumlah keunggulan, seperti kristalinitas tinggi, tingkat polimerisasi tinggi, kekuatan tarik yang baik, dan memiliki kemurnian yang tinggi dibandingkan dengan selulosa tumbuhan. Namun, selulosa bakteri tidak memiliki sifat antibakteri, sehingga harus dimodifikasi dengan material lain. Kulit jeruk manis (*Citrus sinensis* L.) mengandung senyawa fenolik yang berpotensi sebagai antimikroba. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis biokomposit selulosa bakteri-ekstrak etanol kulit jeruk manis, mengkarakterisasi struktur dan morfologi, dan mengidentifikasi aktivitas antibakterinya. Sintesis biokomposit dilakukan dengan penambahan ekstrak etanol kulit jeruk manis secara *ex-situ* dengan variasi konsentrasi (6%, 12% dan 24% w/v) dan waktu modifikasi (6 dan 24 jam). Karakterisasi terhadap biokomposit yang dihasilkan menggunakan spektrofotometer FTIR dan SEM. Uji antibakteri dilakukan dengan metode cakram terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* selama 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak dan lamanya waktu perendaman berpengaruh terhadap aktivitas antibakteri biokomposit. Kondisi optimum diperoleh pada konsentrasi ekstrak 24% dengan waktu modifikasi 24 jam, yang menghasilkan zona hambat sebesar 8,05 mm terhadap *S. aureus* dan 5,51 mm terhadap *E. coli*. Hasil karakterisasi FTIR dan SEM mengkonfirmasi adanya interaksi dan pelapisan komponen ekstrak pada matriks selulosa bakteri. Temuan ini menunjukkan bahwa biokomposit selulosa bakteri-ekstrak etanol kulit jeruk manis berpotensi dikembangkan sebagai material antibakteri berbasis sumber daya alam.

Kata kunci: Antibakteri, selulosa bakteri, biokomposit, ekstrak etanol kulit jeruk manis**Abstract**

Bacterial cellulose is an extracellular polysaccharide produced by various bacterial species, one of which is *Gluconacetobacter xylinus*. This material has several advantages, such as high crystallinity, high degree of polymerization, good tensile strength, and high purity compared to plant cellulose. However, bacterial cellulose does not have antibacterial properties, so it must be modified with other materials. Orange peel (*Citrus sinensis* L.) contains phenolic compounds that have potential as antimicrobials. This study aims to synthesize a biocomposite of bacterial cellulose-orange peel ethanol extract, characterize its structure and morphology, and investigate its antibacterial activity. The biocomposite synthesis was carried out by adding orange peel ethanol extract *ex-situ* with varying concentrations (6%, 12% and 24% w/v) and modification times (6 and 24 hours). Characterization of the resulting biocomposite used FTIR spectrophotometer and SEM. Antibacterial tests were conducted using the disc diffusion method against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* bacteria for 24 hours. The results showed that increasing the extract concentration and the period of soaking time significantly affected the antibacterial activity of the biocomposite. The optimum condition was obtained at an extract concentration of 24% with a modification time of 24 hours, which resulted in an inhibition zone of 8.05 mm against *S. aureus* and 5.51 mm against *E. coli*. The results of FTIR and SEM confirmed the interaction and coating

of extract components in the bacterial cellulose matrix. These findings indicate that the bacterial cellulose biocomposite-orange peel ethanol extract has the potential to be developed as a natural resource-based antibacterial material.

Keywords: Antibacterial, bacterial cellulose, biocomposite, ethanol extract of orange peel

1. PENDAHULUAN

Selulosa merupakan salah satu biopolimer yang paling melimpah di muka bumi dan akhir-akhir ini menarik perhatian besar untuk beberapa aplikasi teknologi karena merupakan bahan terbarukan, berkelanjutan, ramah lingkungan, dan biokompatibel (Aditya et al., 2022). Selulosa bakteri memiliki rumus molekul sama dengan selulosa tanaman yaitu $(C_6H_{10}O_5)_n$, akan tetapi ciri fisik dan kimia keduanya berbeda (Fitriarni et al., 2019). Selulosa bakteri adalah polisakarida ekstraseluler yang diproduksi oleh berbagai spesies bakteri, termasuk *Gluconabacter* (sebelumnya *Acetobacter*), *Agrobacterium*, *Aerobacter*, *Achromobacter*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Sarcina*, dan *Salmonella* (Albu et al., 2014). Selulosa bakteri memiliki sifat yang unik seperti kristalinitas tinggi, tingkat polimerisasi tinggi, kekuatan tarik tinggi dan memiliki kemurnian tinggi, dibandingkan dengan selulosa tanaman (Çakar et al., 2014). Aplikasi selulosa bakteri banyak digunakan dalam bidang seperti industri biomedis, produksi kertas, industri makanan, dan kosmetik (Fitriarni et al., 2019). Namun, selulosa bakteri ini tidak memiliki sifat antibakteri (Orlando et al., 2020).

Tumbuhan jeruk manis merupakan salah satu jenis tanaman yang dapat dimanfaatkan untuk pengobatan. Jeruk manis biasanya digunakan dengan cara dimanis sarinya untuk dikonsumsi langsung. Hal ini menyebabkan limbah kulit jeruk merupakan sampah organik yang dapat terurai di lingkungan mengingat jeruk manis terdiri dari 35-50% sari buah, 10-20% serat, dan hingga 35-45% kulitnya (Ramadhani et al., 2023). Kulit jeruk biasanya hanya dibuang dan tidak dimanfaatkan, serta menjadi sampah yang tidak ada manfaatnya. Hal ini menyebabkan limbah kulit jeruk yang dapat mencemari lingkungan. Namun, ekstrak kulit jeruk manis juga mampu menghambat pertumbuhan bakteri seperti *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Staphylococcus aureus* (Deasy, 2019).

Di sisi lain, kulit jeruk mengandung senyawa fenolik, karotenoid, dan asam askorbat. Senyawa fenolik utama yang dilaporkan meliputi hesperidin, narirutin, naringin, dan rutin sebagai flavonoid glikosida, serta turunan polimetoksiflavin seperti nobiletin, sinensetin, dan tangeretin, yang semuanya dikenal memiliki aktivitas antioksidan dan potensial antibakteri (M'hiri et al., 2015). Senyawa alkaloid seperti synefrin dan asam fenolik seperti asam kafeat, asam ferulat, asam klorogenat, dan asam sinapinik juga telah dilaporkan di kulit jeruk (Munir et al., 2024). Senyawa fenolik memiliki banyak manfaat salah satunya yaitu antimikroba (Mustafidah et al., 2022). Namun, hingga saat ini penelitian mengenai optimasi sintesis biokomposit selulosa bakteri dengan penambahan ekstrak etanol kulit jeruk peras serta

evaluasi pengaruh konsentrasi dan waktu modifikasi terhadap aktivitas antibakteri masih terbatas dilaporkan.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis biokomposit selulosa bakteri, mengkarakterisasi dan mengidentifikasi aktivitas antibakterinya. Pada penelitian ini dilakukan optimasi kondisi sintesis biokomposit, meliputi konsentrasi ekstrak etanol kulit jeruk manis, yaitu 6%, 12% dan 24% (w/v) dan waktu modifikasi, yaitu 6 dan 24 jam. Biokomposit yang telah diperoleh kemudian dikarakterisasi gugus fungsi serta morfologi permukaannya menggunakan spektrofotometer FTIR dan SEM dan diuji aktivitas antibakterinya terhadap bakteri gram positif *Staphylococcus aureus* dan bakteri gram negatif *Escherichia coli* menggunakan metode difusi cakram.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah autoklaf, neraca analitik, *hot plate*, oven, inkubator, pinset, *cotton swab*, corong, labu erlenmeyer, gelas ukur, gelas kimia, batang pengaduk, pipet tetes, cawan petri, labu takar, mikropipet, *vortex*, FTIR (Thermo Scientific Nicolet™) dan SEM (SEM JEOL JSM IT3000).

2.2. Bahan

Bahan yang digunakan meliputi air kelapa, gula pasir, amonium sulfat, starter bakteri *Gluconacetobacter xylinus*, natrium hidroksida, aquades, kulit jeruk manis, etanol 96%, asam asetat, *nutrient agar* (NA), *nutrient broth* (NB), tetrasiklin HCl, isolat bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*, kertas saring, kertas cakram, kain kasa, kapas, kertas koran.

2.3. Pembuatan Ekstrak Etanol Kulit Jeruk Manis

Kulit jeruk yang diperoleh dari pasar Wanaraja, Kabupaten Garut, dicuci kemudian dipotong kecil-kecil dan dikeringkan dalam oven pada suhu 45°C. Kulit jeruk yang sudah kering diblender hingga sampel berukuran lebih kecil atau serbuk. Sebanyak 1084 gram sampel serbuk kulit jeruk diekstraksi menggunakan metode maserasi dengan cara direndam menggunakan etanol 96% selama 3 hari sambil sesekali diaduk. Setelah itu, sampel disaring dan diambil filtratnya kemudian dievaporasi hingga diperoleh ekstrak pekat.

2.4. Penentuan Konsentrasi Hambat Minimum (KHM)

Dalam penelitian ini, nilai KHM ditentukan dengan metode makrodilusi menggunakan *nutrient broth*. Sebanyak 5 mL *nutrient broth* dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian diberi larutan ekstrak dan dibuat serial konsentrasi 1,5%, 3%, 6% dan 12% (w/v). Sebanyak 100 µL suspensi bakteri yang telah disamakan kekeruhannya dengan standar McFarland 0,5 ditambahkan ke dalam

media. Sebagai pembanding dibuat dua jenis kontrol yakni kontrol positif yang berisi *nutrient broth* dan bakteri uji, serta kontrol negatif yang berisi *nutrient broth* dan ekstrak untuk membandingkan kekeruhannya kemudian diinkubasi selama 24 jam.

2.5. Sintesis Biokomposit Selulosa Bakteri-Ekstrak Etanol Kulit Jeruk Manis

Modifikasi *ex situ* dilakukan setelah selulosa bakteri terbentuk dan sudah dimurnikan. Adapun proses sintesis selulosa bakteri sendiri mengacu pada prosedur yang telah dioptimasi sebelumnya (Apriani et al., 2024). Selulosa bakteri murni direndam menggunakan ekstrak etanol kulit jeruk manis dengan variasi konsentrasi 6%, 12%, dan 24% (w/v) selama 6 jam dan 24 jam. Sisa ekstrak etanol kulit jeruk manis pada permukaan selulosa bakteri dihilangkan dengan cara dibilas menggunakan aquades, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C.

2.6. Karakterisasi

Analisis gugus fungsi dilakukan menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (Thermo Scientific Nicolet™) dan analisis morfologi permukaan dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM JEOL JSM IT3000) terhadap selulosa bakteri dan biokomposit selulosa bakteri-ekstrak etanol kulit jeruk manis.

2.7. Uji Aktivitas Antibakteri

Uji aktivitas antibakteri dilakukan dengan metode difusi cakram. Sebanyak 10 mL larutan *nutrient agar* yang telah disterilisasi dimasukkan kedalam cawan petri secara aseptis dan dibiarkan hingga memadat. Setelah media memadat, ditambahkan 100 µL suspensi bakteri yang telah disamakan kekeruhannya dengan standar McFarland 0,5 kemudian ditempelkan selulosa bakteri, biokomposit selulosa bakteri-ekstrak etanol kulit jeruk manis yang telah dikeringkan dan dipotong bentuk bulat dengan diameter 3 x 3 mm, serta kertas cakram yang telah diresapi dengan 20 µL ekstrak dengan konsentrasi yang digunakan untuk modifikasi. Sebagai pembanding, dibuat dua jenis kontrol, yakni kontrol positif (antibiotik tetrasiklin HCl 1%) serta kontrol negatif (etanol 96% p.a). Selanjutnya diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37°C selama 24 jam. Aktivitas antibakteri dapat dilihat dari diameter zona bening di sekitar sampel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Sintesis dan Karakteristik Makroskopik Selulosa Bakteri

Selulosa bakteri pada penelitian ini disintesis menggunakan bakteri *Gluconacetobacter xylinus* dengan media air kelapa yang diperkaya sukrosa dan amonium sulfat sebagai sumber karbon dan nitrogen. Penambahan nutrisi ini berperan penting dalam mendukung metabolisme bakteri serta pembentukan fibril selulosa secara optimal. Sukrosa berfungsi sebagai sumber karbon utama untuk

biosintesis rantai β -1,4-glukan, sedangkan amonium sulfat menyediakan nitrogen yang diperlukan untuk sintesis protein dan enzim yang terlibat dalam proses polimerisasi selulosa.

Proses inkubasi dilakukan selama 9 hari dalam kondisi statis untuk memungkinkan difusi oksigen yang memadai, mengingat *G. xylinus* merupakan bakteri aerob obligat. Selulosa bakteri yang terbentuk berupa membran transparan hingga putih keruh dengan tekstur kenyal dan homogen. Setelah proses pemurnian menggunakan larutan NaOH, diperoleh selulosa bakteri murni yang berwarna putih bersih, menandakan keberhasilan penghilangan komponen non-selulosa seperti protein dan sisa sel bakteri.

3.2. Karakteristik Ekstrak Etanol Kulit Jeruk Manis dan Konsentrasi Hambat Minimum

Ekstraksi kulit jeruk manis dilakukan dengan metode maserasi menggunakan etanol 96% untuk memaksimalkan perolehan senyawa metabolit sekunder yang bersifat polar hingga semipolar, khususnya senyawa fenolik dan flavonoid. Dari 1084 g serbuk kulit jeruk manis diperoleh ekstrak kental berwarna coklat sebanyak 108,79 g dengan rendemen sebesar 10,03% (w/w) terhadap berat kering simplisia. Rendemen ini menunjukkan bahwa pelarut etanol mampu mengekstraksi komponen semi-polar hingga polar seperti senyawa fenolik dan flavonoid yang dilaporkan berperan dalam aktivitas antibakteri. Nilai rendemen tersebut masih berada dalam kisaran yang dilaporkan pada penelitian ekstrak kulit jeruk sejenis, yang umumnya berkisar 8–15%, tergantung kondisi ekstraksi dan ukuran partikel bahan.

Penentuan konsentrasi hambat minimum (KHM) dilakukan sebagai dasar pemilihan konsentrasi ekstrak pada tahap modifikasi selulosa bakteri. Hasil uji menunjukkan bahwa pada konsentrasi 6% dan 12% tidak terjadi pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* maupun *Escherichia coli*, yang ditandai dengan kondisi media yang tetap jernih setelah inkubasi. Sebaliknya, pada konsentrasi 3% dan 1,5% media menunjukkan kekeruhan, menandakan masih terjadinya pertumbuhan bakteri. Dengan demikian, nilai KHM ekstrak etanol kulit jeruk manis terhadap kedua bakteri uji ditetapkan sebesar 6%. Hasil ini mengindikasikan bahwa ekstrak kulit jeruk manis memiliki potensi aktivitas antibakteri yang relatif baik dan layak digunakan sebagai agen aktif dalam modifikasi selulosa bakteri.

Tabel 1. Nilai KHM ekstrak etanol kulit jeruk manis

No	Konsentrasi	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
1	12%	-	-
2	6%	-	-
3	3%	+	+
4	1,5%	+	+

Keterangan: (-) = tidak terdapat pertumbuhan bakteri

(+) = terdapat pertumbuhan bakteri

3.3. Modifikasi Selulosa Bakteri dengan Ekstrak Etanol Kulit Jeruk Manis

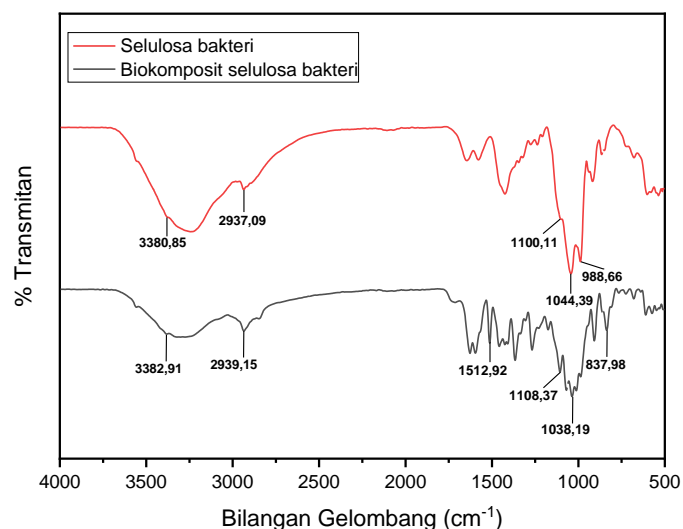
Modifikasi selulosa bakteri dilakukan menggunakan ekstrak etanol kulit jeruk manis secara *ex-situ*. Modifikasi ini dilakukan setelah selulosa bakteri terbentuk dan dimurnikan. Pendekatan *ex-situ* untuk mengimpregnasi matriks selulosa bakteri dengan senyawa bioaktif telah dilaporkan mampu menghasilkan komposit dengan aktivitas antibakteri yang memadai, sebagaimana ditunjukkan oleh Kamal et al., 2022 yang menggunakan ekstrak nabati untuk meningkatkan sifat antimikroba selulosa bakteri melalui karakterisasi SEM dan FTIR. Ekstrak etanol kulit jeruk manis dipilih sebagai bahan untuk memodifikasi selulosa bakteri dengan harapan setelah selulosa bakteri dimodifikasi dengan ekstrak tersebut, dapat meningkatkan sifat selulosa bakteri yang awalnya tidak memiliki sifat antibakteri menjadi memiliki sifat tersebut.

Proses modifikasi selulosa bakteri dengan ekstrak etanol kulit jeruk manis dilakukan pada suhu ruang. Modifikasi selulosa bakteri ini dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi ekstrak yang digunakan yaitu 6%, 12% dan 24% dan optimasi waktu perendaman selama 6 jam dan 24 jam yang dilarutkan dalam etanol 96% p.a.

Secara visual, selulosa bakteri yang telah dimodifikasi menunjukkan perubahan warna dari putih menjadi coklat dengan intensitas warna yang meningkat seiring bertambahnya konsentrasi ekstrak dan lamanya waktu perendaman. Fenomena ini mengindikasikan adanya difusi dan adsorpsi senyawa bioaktif dari ekstrak ke dalam matriks selulosa bakteri. Interaksi tersebut diduga terjadi melalui pembentukan ikatan hidrogen antara gugus hidroksil selulosa dengan gugus hidroksil dan gugus aromatik pada senyawa fenolik ekstrak kulit jeruk manis.

3.4. Analisis Gugus Fungsi menggunakan FTIR

Spektrum FTIR selulosa bakteri murni menunjukkan pita serapan khas selulosa, yaitu pita lebar pada bilangan gelombang sekitar 3380 cm^{-1} yang berkaitan dengan vibrasi ulur gugus O–H, pita pada sekitar 2937 cm^{-1} yang mengindikasikan vibrasi ulur C–H, serta pita pada daerah $1044\text{--}988\text{ cm}^{-1}$ yang berkaitan dengan vibrasi C–O dan C–O–C dari ikatan glikosidik. Hasil ini mengkonfirmasi keberhasilan sintesis selulosa bakteri dengan struktur kimia yang khas.

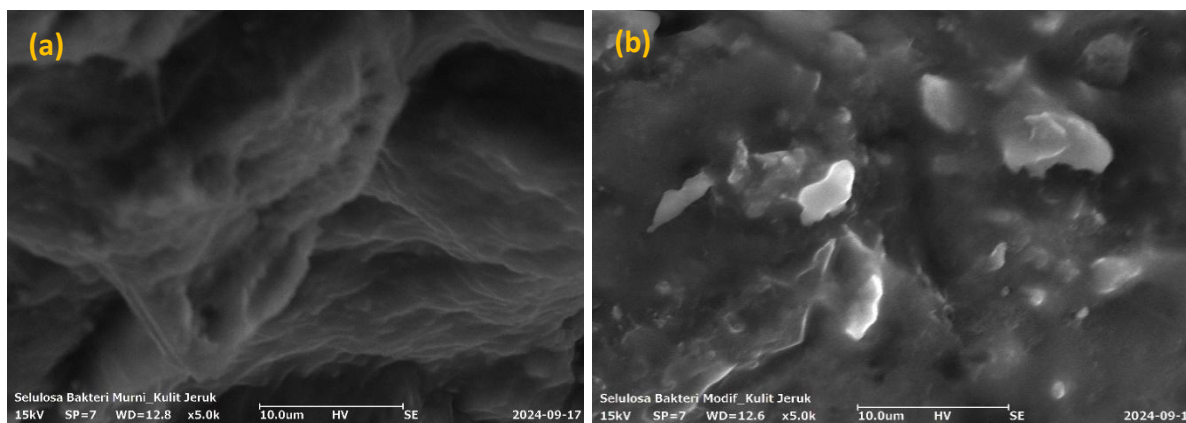


Gambar 1. Spektrum FTIR Selulosa Bakteri dan Biokomposit Selulosa Bakteri

Berdasarkan spektrum FTIR di Gambar 1, pada biokomposit selulosa bakteri–ekstrak etanol kulit jeruk manis tidak ditemukan pita serapan baru yang signifikan, namun terjadi pergeseran bilangan gelombang dan perubahan intensitas beberapa pita serapan. Pergeseran pita O–H ke bilangan gelombang yang sedikit lebih tinggi mengindikasikan gaya ikat hidrogen antar gugus O–H pada selulosa lebih lemah sehingga ikatan O–H menjadi kurang terstabilisasi oleh interaksi tersebut. Dalam biokomposit, integrasi matriks polimer atau komponen tambahan mengganggu jaringan ikatan hidrogen internal selulosa, mengurangi kekuatan ikatan hidrogen antar molekul selulosa bakteri, sehingga pita O–H mengalami pergeseran ke posisi lebih tinggi dibandingkan dengan selulosa bakteri murni. Fenomena ini mengindikasikan adanya perubahan pola ikatan hidrogen dan kemungkinan penurunan derajat kristalinitas pada material biokomposit akibat interaksi antara selulosa dan ekstrak etanol kulit jeruk (Gitari et al., 2019). Selain itu, munculnya pita pada sekitar 1512 cm^{-1} dan 837 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan cincin aromatik, yang mengkonfirmasi keberhasilan immobilisasi senyawa fenolik ke dalam matriks selulosa bakteri. Temuan ini menunjukkan bahwa modifikasi berlangsung secara fisikokimia tanpa merusak struktur utama selulosa bakteri.

3.5. Analisis Morfologi Permukaan menggunakan SEM

Sifat morfologi membran, seperti porositas dan tekstur permukaan, dapat diketahui dengan analisis menggunakan SEM.



Gambar 2. (a) Hasil SEM selulosa bakteri murni; (b) biokomposit selulosa bakteri-ekstrak etanol jeruk manis pada perbesaran 5000x

Berdasarkan Gambar 2, terdapat perubahan morfologi permukaan selulosa bakteri akibat proses modifikasi. Citra SEM selulosa bakteri murni menunjukkan jaringan fibril nano yang tersusun rapat, homogen, dan relatif halus, mencerminkan struktur khas selulosa bakteri dengan porositas yang baik. Sebaliknya, pada biokomposit selulosa bakteri-ekstrak etanol kulit jeruk manis, terlihat perubahan morfologi permukaan yang signifikan. Permukaan membran tampak lebih kasar dengan adanya lapisan atau partikel yang menutupi sebagian jaringan fibril selulosa. Perubahan ini mengindikasikan bahwa senyawa bioaktif dari ekstrak berhasil terdeposisi dan terdistribusi pada permukaan serta di dalam pori-pori selulosa bakteri. Keberadaan lapisan ini berpotensi meningkatkan kontak antara agen antibakteri dan sel bakteri, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan aktivitas antibakteri biokomposit.

3.6. Aktivitas Antibakteri Biokomposit Selulosa Bakteri

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk menguji aktivitas antibakteri adalah metode cakram. Metode ini dilakukan dengan menempatkan kertas cakram yang telah ditetesi ekstrak etanol kulit jeruk manis dengan berbagai konsentrasi pada media *Nutrient Agar* (NA) yang sudah diinokulasi dengan bakteri *E. coli* dan *S. aureus*. Pemilihan metode cakram didasarkan pada kemampuan kertas tersebut untuk menyerap ekstrak dengan baik, efisiensi dalam pelaksanaan, dan risiko kegagalan yang lebih rendah dibandingkan dengan metode lainnya (Putra, 2020).

Tabel 2. Hasil uji aktivitas antibakteri

No.	Sampel	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	Respon Hambat Pertumbuhan
1.	SB* modif 6% 6 jam	-	-	Tidak ada
	SB Nonmodif	-	-	Tidak ada
	Tetrasiklin HCl	23,08 mm	21,55 mm	Sangat kuat
	Etanol 96% (p.a)	-	-	Tidak ada
2.	SB modif 6% 24 jam	-	-	Tidak ada
	SB Nonmodif	-	-	Tidak ada
	Tetrasiklin HCl	23,08 mm	22,58 mm	Sangat kuat
	Etanol 96% (p.a)	-	-	Tidak ada
3	SB modif 12% 6 jam	-	-	Tidak ada
	SB Nonmodif	-	-	Tidak ada
	Tetrasiklin HCl	23,01 mm	19,51 mm	Sangat kuat
	Etanol 96% (p.a)	-	-	Tidak ada
4.	SB modif 12% 24 jam	2,59 mm	2,09 mm	Lemah
	SB Nonmodif	-	-	Tidak ada
	Tetrasiklin HCl	23,01 mm	20,59 mm	Sangat kuat
	Etanol 96% (p.a)	-	-	Tidak ada
5.	SB modif 24% 6 jam	3,51 mm	5,08 mm	Lemah
	SB Nonmodif	-	-	Tidak ada
	Tetrasiklin HCl	22,54 mm	21,54 mm	Sangat kuat
	Etanol 96% (p.a)	-	-	Tidak ada
6.	SB modif 24% 24 jam	5,51 mm	8,05 mm	Sedang
	SB Nonmodif	-	-	Tidak ada
	Tetrasiklin HCl	22,54 mm	17,51 mm	Sangat kuat
	Etanol 96% (p.a)	-	-	Tidak ada
7.	Larutan ekstrak etanol kulit jeruk 6%	1,53 mm	5,05 mm	Lemah
8.	Larutan ekstrak etanol kulit jeruk 12%	6,59 mm	9,01 mm	Sedang
9.	Larutan ekstrak etanol kulit jeruk 24%	9,05 mm	11,54 mm	Kuat

*SB: Selulosa bakteri

Hasil uji aktivitas antibakteri menunjukkan bahwa selulosa bakteri murni tidak menghasilkan zona hambat terhadap *E. coli* maupun *S. aureus*, menegaskan bahwa selulosa bakteri bersifat inert secara biologis. Sebaliknya, biokomposit selulosa bakteri-ekstrak etanol kulit jeruk manis menunjukkan aktivitas antibakteri yang bergantung pada konsentrasi ekstrak dan waktu modifikasi.

Pada uji difusi agar, sampel selulosa bakteri-ekstrak 6% tidak menunjukkan zona hambat terhadap *E. coli* dan *S. aureus*, sementara larutan ekstrak etanol kulit jeruk 6% menunjukkan hambatan yang terukur. Fenomena ini kemungkinan disebabkan oleh ketidakefisienan pelepasan (*release*) senyawa antimikroba dari matriks selulosa bakteri ke medium agar. Selulosa bakteri membentuk matriks polimer yang rapat dan memiliki ketergantungan difusivitas yang rendah. Hal ini dapat menghambat pelepasan fitokimia bioaktif yang terinkorporasi dalam biokomposit, sehingga

konsentrasi efektif senyawa di sekitar disk tidak mencapai ambang yang cukup untuk menghasilkan zona hambat yang teramati. Sebaliknya, pada uji KHM, senyawa bioaktif memiliki kesempatan kontak langsung dengan mikroba sehingga hambatan pertumbuhan lebih mudah terlihat meskipun konsentrasi relatif rendah. Fenomena serupa telah dilaporkan dimana carrier polimer dapat memodulasi laju difusi dan bioavailabilitas senyawa antimikroba, sehingga aktivitasnya terlihat lebih rendah pada uji difusi agar dibandingkan uji kontak langsung (Periyasamy et al., 2025).

Zona hambat mulai teramati pada biokomposit dengan konsentrasi ekstrak 12% dan waktu perendaman 24 jam, meskipun masih tergolong lemah. Peningkatan konsentrasi ekstrak menjadi 24% dan perpanjangan waktu perendaman hingga 24 jam menghasilkan peningkatan diameter zona hambat yang signifikan, yaitu sebesar 5,51 mm terhadap *E. coli* dan 8,05 mm terhadap *S. aureus*, yang dikategorikan sebagai respon hambat sedang.

Perbedaan aktivitas antibakteri antara kedua bakteri uji dapat dijelaskan berdasarkan perbedaan struktur dinding sel. *S. aureus* sebagai bakteri Gram positif memiliki lapisan peptidoglikan yang relatif tebal namun sederhana, sehingga lebih mudah ditembus oleh senyawa fenolik. Sebaliknya, *E. coli* sebagai bakteri Gram negatif memiliki lapisan membran luar yang kaya lipid, yang berperan sebagai penghalang terhadap penetrasi senyawa antibakteri. Mekanisme antibakteri ekstrak kulit jeruk manis diduga melibatkan kerusakan membran sel, denaturasi protein, serta gangguan fungsi enzim akibat interaksi senyawa fenolik dengan komponen sel bakteri.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa integrasi ekstrak etanol kulit jeruk manis ke dalam matriks selulosa bakteri mampu menghasilkan biokomposit dengan aktivitas antibakteri yang terkontrol dan dapat dioptimasi melalui pengaturan konsentrasi ekstrak serta waktu modifikasi. Biokomposit yang dihasilkan berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai material antibakteri ramah lingkungan, khususnya untuk aplikasi biomedis seperti pembalut luka atau membran pelindung antibakteri.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mensintesis biokomposit selulosa bakteri–ekstrak etanol kulit jeruk peras melalui metode modifikasi *ex-situ* dengan variasi konsentrasi dan waktu perendaman. Hasil karakterisasi FTIR dan SEM mengkonfirmasi adanya interaksi dan pelapisan komponen ekstrak pada matriks selulosa bakteri. Peningkatan konsentrasi ekstrak dan lamanya waktu modifikasi terbukti meningkatkan aktivitas antibakteri biokomposit. Kondisi optimum diperoleh pada konsentrasi ekstrak 24% dengan waktu perendaman 24 jam, yang menghasilkan zona hambat sebesar $\pm 8,05$ mm terhadap *S. aureus* dan $\pm 5,51$ mm terhadap *E. coli*. Temuan ini menunjukkan bahwa limbah kulit jeruk berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber senyawa antibakteri alami dalam pengembangan biokomposit selulosa

bakteri. Material yang dihasilkan berpotensi diaplikasikan sebagai kandidat material antibakteri berbasis biomaterial terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, T., Allain, J. P., Jaramillo, C., & Restrepo, A. M. (2022). Surface Modification of Bacterial Cellulose for Biomedical Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(2), 610. <https://doi.org/10.3390/ijms23020610>
- Albu, M. G., Vuluga, Z., Panaitescu, D. M., Vuluga, D. M., Cășărică, A., & Ghiurea, M. (2014). Morphology and thermal stability of bacterial cellulose/collagen composites. *Central European Journal of Chemistry*, 12(9), 968–975. <https://doi.org/10.2478/s11532-014-0545-z>
- Apriani, R., Sadino, A., Senania, A., Oetari, Z., & Fajrianti, G. N. N. (2024). Antibacterial Properties of Bacterial Cellulose-Quercetin Composite Membrane. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 27(6), 278–283. <https://doi.org/10.14710/jksa.27.6.278-283>
- Çakar, F., Kati, A., Özer, I., Demirbağ, D. D., Şahin, F., & Aytekin, A. Ö. (2014). Newly developed medium and strategy for bacterial cellulose production. *Biochemical Engineering Journal*, 92, 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2014.07.002>
- Deasy, A. R. D. (2019). Aktivitas antioksidan dan antibakteri ekstrak kulit jeruk manis (*Citrus sinensis*) dan aplikasinya sebagai pengawet pangan. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 30(1), 83–90. <https://doi.org/10.6066/jtip.2019.30.1.83>
- Fitriarni, D., Prawiro, I. S., Verawati, N., Hardiansyah, W., & Aprianti, D. (2019). Biosintesis dan Karakterisasi Selulosa Bakteri menggunakan Media Sari Pedada (*Sonneratia caseolaris*) dan Kundur (*Benincasa hispida*). *JURNAL SELULOSA*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.25269/jsel.v9i01.250>
- Gitari, B., Chang, B. P., Misra, M., Navabi, A., & Mohanty, A. K. (2019). A comparative study on the mechanical, thermal, and water barrier properties of PLA nanocomposite films prepared with bacterial nanocellulose and cellulose nanofibrils. *BioResources*, 14(1), 1867–1889. <https://doi.org/10.15376/biores.14.1.1867-1889>
- Kamal, T., Ul-Islam, M., Khan, S. B., Bakhsh, E. M., & Chani, M. T. S. (2022). Development of plant extract impregnated bacterial cellulose as a green antimicrobial composite for potential biomedical applications. *Industrial Crops and Products*, 187, 115337. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115337>
- M'hiri, N., Ioannou, I., Ghoul, M., & Mihoubi Boudhrioua, N. (2015). Proximate chemical composition of orange peel and variation of phenols and antioxidant activity during convective air drying. *J-Inat*, 16(9), 881–889.
- Munir, H., Yaqoob, S., Awan, K. A., Imtiaz, A., Naveed, H., Ahmad, N., Naeem, M., Sultan, W., & Ma, Y. (2024). Unveiling the Chemistry of Citrus Peel: Insights into Nutraceutical Potential and Therapeutic Applications. In *Foods* (Vol. 13, Issue 11, p. 1681). <https://doi.org/10.3390/foods13111681>
- Mustafidah, R., Asyari, R. P., Velayati, J. M., & Sayekti, T. (2022). Pemanfaatan Limbah Kulit Jeruk sebagai Fortifikan Guna Memperkaya Nilai Gizi pada Cokelat. *Jurnal Tadris IPA Indonesia*, 2(2), 121–130. <https://doi.org/10.21154/jtii.v2i2.445>
- Orlando, I., Basnett, P., Nigmatullin, R., Wang, W., Knowles, J. C., & Roy, I. (2020). Chemical Modification of Bacterial Cellulose for the Development of an Antibacterial Wound Dressing. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 557885. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.557885>
- Periyasamy, T., Asrafali, S. P., & Lee, J. (2025). Recent Advances in Functional Biopolymer Films with Antimicrobial and Antioxidant Properties for Enhanced Food Packaging. In *Polymers* (Vol. 17, Issue 9, p. 1257). <https://doi.org/10.3390/polym17091257>
- Putra, I. M. A. S. (2020). Uji aktivitas antibakteri ekstrak etanol daun sirsak (*Annonae muricata* L.) Dengan metode difusi agar cakram terhadap *Escherichia coli*. *Jurnal Ilmiah Medicamento*, 1(1), www.journal.uniga.ac.id

- 15–19. <https://doi.org/10.36733/medicamento.v1i1.721>
Ramadhani, A. N., Malik, A. F., & Fitriana, W. R. (2023). Utilization of Wasted Cooking Oil and Essential Oil of Sweet Orange Peel (*Citrus sinensis*) as Aromatherapy Candles. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 7(2), 191–198.
<https://doi.org/10.20961/equilibrium.v7i2.80308>