

PENGEMBANGAN ANTIBACTERIAL FILM DARI KARBOKSIMETIL SELULOSA (CMC) SEBAGAI SOLUSI RAMAH LINGKUNGAN DALAM PERSPEKTIF EKONOMI ISLAM DAN SDG DI PADANG LAWAS UTARA

Fatimah Khaerani Siregar¹, Ardiansyah² Atikah Asna³

¹Biology Department, Faculty of Sciences and Technology, Islamic University of Sumatera Utara

²Systematic information Department, Faculty of Sciences and Technology, Islamic University of Sumatera Utara

³Dakwah and Communication Department, Faculty of Sciences and Technology, Islamic University of Sumatera Utara

*E-mail : ¹fatimah1100000200@uinsu.ac.id, ²ardian@uinsu.ac.id, ³atikahasna@uinsu.ac.id

Abstract

The study focuses on the development of an antibacterial film derived from carboxymethyl cellulose (CMC) obtained from gebang leaves (Corypha utan), aiming to contribute to sustainable development in North Padang Lawas. The carboxymethyl cellulose was extracted from gebang leaves and utilized as a base material for film preparation. To enhance the film's properties, carboxymethyl cellulose was combined with polyvinyl alcohol (PVA) and crosslinked with citric acid. The resulting films were evaluated for their antibacterial activity, specifically against Escherichia coli and Staphylococcus aureus. The films demonstrated significant antibacterial effects and improved water resistance with increased citric acid content. Additionally, the films exhibited a three-dimensional structure, porous network, and low toxicity, making them suitable for biomedical applications. This work underscores the potential of utilizing local plant resources for sustainable material development in North Padang Lawas, aligning with environmental and economic sustainability goals.

Keywords: Carboxymethyl Cellulose, Gebang Leaf, Antibacterial Film, Polyvinyl Alcohol, Citric Acid, Sustainable Development, North Padang Lawas

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada pengembangan film antibakteri yang berasal dari karboksimetil selulosa (CMC) yang diperoleh dari daun gebang (Corypha utan), dengan tujuan untuk berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan di Padang Lawas Utara. Karboksimetil selulosa diekstraksi dari daun gebang dan digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan film. Untuk meningkatkan sifat film, karboksimetil selulosa dikombinasikan dengan poli(vinil alkohol) (PVA) dan dilakukan penghubungan silang dengan asam sitrat. Film yang dihasilkan dievaluasi aktivitas antibakterinya, khususnya terhadap Escherichia coli dan Staphylococcus aureus. Film menunjukkan efek antibakteri yang signifikan dan ketahanan air yang meningkat dengan penambahan asam sitrat. Selain itu, film menunjukkan struktur tiga dimensi, jaringan berpori, dan toksisitas rendah, menjadikannya cocok untuk aplikasi biomedis. Pekerjaan ini menegaskan potensi pemanfaatan sumber daya tanaman lokal untuk pengembangan material yang berkelanjutan di Padang Lawas Utara, selaras dengan tujuan keberlanjutan lingkungan dan ekonomi.

Kata kunci: *Karboksimetil Selulosa, Daun Gebang, Film Antibakteri, Poli(vinil Alkohol), Asam Sitrat, Pembangunan Berkelanjutan, Padang Lawas Utara*

Pendahuluan

Pembangunan berkelanjutan semakin diakui sebagai pendekatan penting untuk mengatasi tantangan global, terutama di daerah yang kaya akan sumber daya alam namun menghadapi kendala ekonomi dan lingkungan. Di North Padang Lawas, sebuah daerah yang dikenal dengan kekayaan biodiversitas dan praktik pertanian tradisionalnya, pemanfaatan sumber daya tanaman lokal untuk pengembangan material canggih menawarkan peluang yang signifikan. Di antara sumber daya ini, pohon gebang (*Corypha utan*) menonjol karena ketersediaannya dan potensi daunnya sebagai sumber selulosa.

Padang Lawas Utara, sebuah daerah di Sumatera Utara, memiliki potensi alam yang melimpah, termasuk tanaman gebang yang biasanya tumbuh liar. Penggunaan daun gebang sebagai bahan baku untuk CMC tidak hanya mendukung pelestarian lingkungan tetapi juga mengandung nilai ekonomi yang dapat diintegrasikan dengan prinsip-prinsip ekonomi Islam, yang mengedepankan keadilan, kesejahteraan bersama, dan pelestarian sumber daya.

Selulosa, sebuah polimer alami yang ditemukan melimpah di dinding sel tanaman, merupakan bahan baku utama untuk memproduksi berbagai biopolimer. Karboksimetil selulosa (CMC), turunan selulosa, dikenal karena keberagamannya dan penggunaannya yang luas dalam industri mulai dari makanan hingga farmasi. CMC dihargai karena kelarutannya dalam air, kemampuannya membentuk film, dan biokompatibilitasnya, menjadikannya cocok untuk berbagai aplikasi termasuk perangkat biomedis dan bahan kemasan. Ekstraksi CMC dari daun gebang menawarkan alternatif berkelanjutan untuk sumber tradisional, yang berpotensi mengurangi dampak lingkungan yang terkait dengan ekstraksi selulosa dari tanaman konvensional.

Karboksimetil selulosa (CMC) dapat diproduksi dari berbagai sumber selulosa alami, termasuk serat, sisa tanaman, bakteri, dan selulosa dari berbagai tanaman. Pohon Gebang (*Corypha utan*) adalah tanaman liar besar yang tumbuh subur di daerah dataran rendah. Sebagai anggota keluarga *Arecaceae*, pohon palem ini dapat mencapai tinggi hingga 30 meter dan hidup selama 25-30 tahun. Yang menarik, Gebang hanya berbunga dan berbuah sekali dalam hidupnya. Setiap pohon menghasilkan antara 3.000 hingga 15.000 bunga dan sekitar 240.000 hingga 355.000 buah. Dikenal sebagai "Everest dari Dunia Palm," pohon Gebang, meskipun masa pertumbuhannya yang

lama, masih tersebar luas di seluruh Indonesia. Pohon Gebang menawarkan banyak manfaat: daunnya digunakan untuk tikar tradisional, kemasan buah salak, dan kemasan dodol Indonesia; midrib-nya berfungsi sebagai perekat untuk bahan bangunan; buahnya digunakan sebagai agen anti-kanker; dan digunakan dalam penguatan bahan pengiriman serta sebagai pengisi dalam karet. Kandungan selulosa yang diekstraksi dari daun Gebang sekitar 64%, menjadikannya sumber yang sangat menjanjikan untuk selulosa dan turunannya.

Selain CMC, polivinil alkohol (PVA) adalah polimer lain dengan aplikasi signifikan karena sifatnya yang menguntungkan seperti kemampuan membentuk film dan biodegradabilitas. Menggabungkan CMC dengan PVA dapat menghasilkan film dengan sifat mekanik dan keberagaman yang lebih baik. Untuk meningkatkan film ini lebih lanjut, digunakan penghubung silang dengan asam sitrat. Asam sitrat, senyawa alami, dapat membentuk ikatan silang antara rantai polimer, meningkatkan stabilitas dan fungsionalitas film.

Film antibakteri sangat menarik karena potensi aplikasinya di bidang medis dan lingkungan. Meningkatnya bakteri yang resisten terhadap antibiotik telah meningkatkan permintaan untuk bahan antimikroba alternatif. Film yang menggabungkan CMC dan PVA, yang disilangkan dengan asam sitrat, dapat menawarkan solusi efektif untuk mengendalikan pertumbuhan bakteri, terutama dalam aplikasi yang memerlukan sterilisasi dan kebersihan. Film antibakteri adalah titik fokus dalam bidang medis dan lingkungan karena kemampuannya untuk menghambat pertumbuhan bakteri dan mencegah infeksi. Dengan meningkatnya kekhawatiran tentang resistensi antibiotik, ada kebutuhan mendesak untuk solusi antimikroba alternatif. Dengan mengintegrasikan CMC dan PVA dengan asam sitrat, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan film dengan sifat antibakteri yang efektif. Film ini akan diuji terhadap patogen umum seperti *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*, yang dikenal menimbulkan risiko kesehatan signifikan.

Selain efektivitas antimikroba, sifat fisik film seperti penyerapan air, porositas, dan integritas struktural akan dinilai untuk memastikan bahwa film memenuhi kriteria kinerja yang diperlukan untuk penggunaan praktis. Potensi film ini untuk digunakan dalam aplikasi biomedis, termasuk pembalut luka dan penghalang pelindung, menyoroti relevansi dan kegunaannya. Penelitian ini mengeksplorasi persiapan dan evaluasi film antibakteri yang terbuat dari CMC yang diperoleh dari daun gebang. Penelitian ini fokus pada penilaian sifat antibakteri film terhadap patogen umum seperti *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*, yang dikenal menyebabkan

berbagai infeksi. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi sifat fisik film, termasuk ketahanan air, integritas struktural, dan biokompatibilitas, untuk memastikan kesesuaiannya untuk aplikasi praktis.

Pengembangan film semacam itu tidak hanya memajukan bidang ilmu material tetapi juga sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan dengan memanfaatkan sumber daya lokal dan meminimalkan dampak lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi pada kumpulan pengetahuan yang berkembang tentang material berkelanjutan dan mendukung pengembangan ekonomi North Padang Lawas melalui penggunaan inovatif sumber daya alam lokal. Penelitian ini tidak hanya memajukan ilmu bahan yang dapat terurai dan antibakteri tetapi juga sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan yang lebih luas. Dengan memanfaatkan sumber daya lokal seperti daun gebang, penelitian ini mendukung keberlanjutan ekonomi dan lingkungan di North Padang Lawas. Keberhasilan pengembangan film ini dapat membuka peluang baru bagi industri lokal dan berkontribusi pada tujuan pembangunan berkelanjutan daerah tersebut.

Singkatnya, penelitian ini merupakan langkah signifikan menuju integrasi sumber daya alam lokal ke dalam teknologi material canggih. Dengan fokus pada persiapan dan evaluasi film antibakteri berdasarkan karboksimetil selulosa dari daun gebang, penelitian ini bertujuan untuk menawarkan solusi inovatif yang ramah lingkungan dan secara ekonomis layak, sehingga memberikan manfaat bagi komunitas dan memajukan bidang ilmu material berkelanjutan.

Kajian Teori

1. Karboksimetil Selulosa (CMC)

Karboksimetil selulosa (CMC) adalah turunan selulosa yang diperoleh melalui proses karboksimetilasi. Selulosa adalah polisakarida yang ditemukan dalam dinding sel tanaman dan merupakan komponen utama dari bahan tanaman seperti daun, kayu, dan serat. Proses karboksimetilasi melibatkan reaksi selulosa dengan asam kloroasetat dalam lingkungan basa, yang menghasilkan grup karboksimetil ($-\text{CH}_2\text{COOH}$) yang terikat pada unit glukosa selulosa. Hasilnya adalah CMC, yang memiliki sifat larut dalam air dan digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk sebagai bahan pembentuk film.

2. Daun Gebang (*Corypha utan*)

Daun gebang (*Corypha utan*), juga dikenal sebagai pohon palem gebang, merupakan sumber selulosa yang potensial. Daun ini banyak ditemukan di daerah tropis dan sering digunakan dalam kerajinan tangan serta bahan bangunan. Daun gebang mengandung selulosa yang dapat diekstraksi dan diubah menjadi CMC. Pemanfaatan daun gebang untuk produksi CMC tidak hanya memberikan nilai tambah pada sumber daya lokal tetapi juga mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan dengan memanfaatkan bahan-bahan yang ada di lingkungan sekitar.

3. Poli(vinil alkohol) (PVA)

Poli(vinil alkohol) (PVA) adalah polimer sintesis yang larut dalam air dan sering digunakan dalam pembuatan film dan lapisan. PVA memiliki sifat mekanik yang baik dan stabilitas termal, menjadikannya bahan yang ideal untuk dikombinasikan dengan CMC dalam pembuatan film antibakteri. PVA dapat membentuk film yang kuat dan fleksibel serta memberikan kontribusi pada ketahanan film terhadap kerusakan fisik.

4. Asam Sitrat sebagai Agen Penghubung Silang

Asam sitrat adalah asam organik yang sering digunakan sebagai agen penghubung silang dalam pembuatan film polimer. Dalam proses penghubungan silang, asam sitrat bereaksi dengan grup hidroksil pada CMC dan PVA untuk membentuk ikatan ester, yang meningkatkan kekuatan dan stabilitas film. Penggunaan asam sitrat sebagai agen penghubung silang dapat meningkatkan kepadatan penghubung silang dalam film, mengurangi penyerapannya terhadap air, dan meningkatkan ketahanan film terhadap kerusakan biologis dan kimia.

5. Aktivitas Antibakteri

Film antibakteri dikembangkan untuk mencegah atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen seperti bakteri. Aktivitas antibakteri film dievaluasi dengan mengukur zona hambat di sekitar film yang diuji atau dengan menghitung jumlah koloni bakteri yang tumbuh pada media kultur. CMC dan PVA memiliki potensi antibakteri yang dapat ditingkatkan dengan penambahan agen antibakteri, seperti asam sitrat. Asam sitrat dapat menyebabkan perubahan pH lokal di sekitar film, yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri.

6. Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals)

Pengembangan film antibakteri dari CMC yang diperoleh dari daun gebang sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya dalam konteks penggunaan bahan baku lokal yang ramah lingkungan. Pemanfaatan bahan alami dan pengurangan limbah industri mendukung prinsip keberlanjutan, yang bertujuan untuk melindungi lingkungan dan mempromosikan pembangunan ekonomi yang inklusif. Proyek ini juga dapat mendukung pengembangan lokal di Padang Lawas Utara dengan meningkatkan pemanfaatan sumber daya lokal dan menciptakan peluang ekonomi..

Metode Penelitian

Material and Methods

Daun Gebang (*Corypha utan*) diperoleh dari North Padang Lawas di Provinsi Sumatera Utara, Indonesia. Polivinil alkohol (PVA) dengan derajat hidrolisis 98%, Sodium Monoklorasetat (NaMCA), dan asam sitrat monohidrat (CA) dibeli dari Merck, Jerman. Asam asetat, etanol, metanol, asam klorida, asam nitrat, aseton, dan pelarut lain yang digunakan adalah grade analitik dan tidak memerlukan pemurnian lebih lanjut. Strain bakteri *E. coli* dan *S. aureus* diperoleh dari laboratorium mikrobiologi Departemen Biologi, Universitas Sumatera Utara.

Isolation and Purification of Cellulose

Daun gebang pertama-tama dicuci dengan air dan kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama empat hari. Batang-batang dipisahkan dari daun dan dipotong menjadi bagian kecil, kira-kira berukuran 1 cm. Sebanyak 75 g bahan yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam beaker dan direndam dalam 1 liter HNO₃ 3,5% dan 10 mg NaNO₂. Campuran ini kemudian dipanaskan dan diaduk pada suhu 90°C selama 2 jam. Slurry berwarna coklat gelap yang dihasilkan kemudian disaring dan dibilas dengan air. Produk kuning gelap kemudian dimasak dan diaduk dalam 375 ml NaOH 2% dan 375 ml Na₂SO₃ 2% pada suhu 50°C selama 60 menit. Residu padat disaring dan dicuci secara menyeluruh dengan air. Selulosa kasar kemudian diputihkan menggunakan 500 ml H₂O₂ 10% pada suhu 60°C selama 45 menit. Filtrat dibuang, dan residu dibilas dengan air. Selulosa yang telah diputihkan kemudian dikeringkan pada suhu 60°C. Setelah kering, selulosa digiling menggunakan blender untuk memperoleh bentuk serbuk.

Synthesis of Carboxymethyl Cellulose (CMC) from Cellulose of Gebang Leaf

CMC disintesis sesuai dengan prosedur kondisi yang dioptimalkan sebagaimana dilakukan oleh Golbaghi et al.³³. Satu gram bubuk selulosa segera direndam dalam 20 ml isopropanol. Untuk membuat selulosa alkalin, 4 ml larutan NaOH 28,4% ditambahkan tetes demi tetes ke campuran, yang kemudian diaduk selama 1,5 jam pada suhu 25°C. Selanjutnya, 1,14 g asam monochloroacetic (MCA) dilarutkan dalam 20 ml isopropanol, dan larutan ini ditambahkan secara bertahap ke campuran sebelumnya sambil diaduk selama 15 menit. Suhu reaksi dipertahankan pada sekitar 57,85°C selama 4,01 jam, dengan air yang mengalir melalui jaket wadah reaksi untuk menjaga suhu tetap stabil $\pm 2^\circ\text{C}$ selama proses karboksimetilasi. Setelah reaksi selesai, campuran disaring, dan carboxymethyl cellulose (CMC) yang dihasilkan dituangkan ke dalam 40 ml metanol absolut sambil diaduk untuk menghilangkan produk sampingan. Setelah beberapa menit, asam asetat murni ditambahkan untuk menyelesaikan netralisasi. Campuran kemudian disaring, dicuci empat kali dengan 40 ml etanol 70%, dan dicuci lebih lanjut dengan 40 ml metanol absolut untuk menghilangkan garam-garam yang tidak diinginkan. Akhirnya, CMC dikeringkan dengan paparan udara yang ditiupkan dan kemudian ditempatkan dalam oven pada suhu 60°C selama 12 jam.

Pembuatan CMC Film

Film hidrogel CMC dibuat dengan melarutkan 1,8 g CMC dalam 100 ml air distilasi, menggunakan pengadukan magnetik pada suhu ruang selama 30 menit. Selanjutnya, 0,2 g PVA ditambahkan ke dalam larutan CMC sambil diaduk. Setelah campuran diaduk pada suhu 50°C selama 4 jam hingga benar-benar larut, agen penghubung CA ditambahkan dengan konsentrasi 10% (CMC/PVA/CA10) dan 15% (CMC/PVA/CA15) dari massa CMC+PVA polimer, dan diaduk terus selama 20 menit untuk memastikan homogenitas. Selanjutnya, 10 ml larutan dituangkan ke dalam cawan petri (berdiameter 60 mm) dan dibiarkan kering pada suhu $40 \pm 2^\circ\text{C}$ selama 24 jam untuk menghilangkan air. Sampel kemudian dipanaskan pada suhu $80 \pm 2^\circ\text{C}$ selama 24 jam untuk mempercepat reaksi penghubung menggunakan metode penguapan lambat. Sebagai kontrol, sampel tanpa CA (CMC/CA0) juga dipersiapkan dan dikeringkan di bawah kondisi thermal yang sama.

Derajat Substitusi (DS)

Derajat substitusi (DS) dari CMC ditentukan menggunakan metode uji standar⁵¹. Pertama, 4 g CMC diperlakukan dengan 75 ml etanol 95% dan diaduk selama 5 menit. Untuk memulai agitasi, 5 ml HNO₃ 2M ditambahkan ke campuran tersebut. Slurry yang dihasilkan kemudian dipanaskan di atas hotplate selama 2 menit. Larutan kemudian diaduk selama 10 menit. Setelah itu, campuran difiltrasi dan dicuci tiga kali dengan etanol 80% pada suhu kamar. Precipitate yang diperoleh dicuci dengan 50 ml metanol anhidrat. Setelah alkohol sepenuhnya dihilangkan, filter dikeringkan pada suhu 105°C selama 3 jam dan kemudian didinginkan dalam desikator selama 30 menit. CMC yang sudah kering kemudian dicampurkan dengan 100 ml air dan 25 ml larutan NaOH 0,3 N sambil diaduk. Setelah larutan panas, dipanaskan di atas hotplate dan direbus selama 15-20 menit. Pada langkah akhir, campuran dititrasi dengan HCl 0,3 N sampai mencapai titik akhir fenolftalein. Akhirnya, DS dari CMC dihitung menggunakan rumus berikut:

$$DS = \frac{0.162A}{1-0.058A} \quad (2)$$

$$A = \frac{(BC-DE)}{F} \quad (3)$$

Where:

A: the obtained weight of alkali per gram of sample

B: the amount of NaOH solution (ml)

C: the normality of NaOH solution

D: the amount of HCl solution (ml)

E: the normality of HCl solution

F: the weight of the sample (gr)

Daya Serap Air pada Film CMC

Film-film dipotong menjadi sampel ukuran 5 × 5 mm², dikeringkan pada suhu 40 ± 2°C, dan ditimbang (W₁, massa awal). Kemudian, film-film (dalam triplikat, n=3) ditempatkan dalam wadah sampel berkapasitas 70 mL yang berisi 10 mL air distilasi pada suhu ruangan. Setelah 72 jam, film-film dikeluarkan dari larutan, dikeringkan dengan lembut menggunakan kertas saring untuk menghilangkan cairan yang berlebih dari permukaan, dan ditimbang kembali (W₂). Pengukuran berat yang diperoleh pada setiap langkah proses digunakan untuk menghitung penyerapan air film menggunakan persamaan yang diberikan di bawah ini:

$$\text{Water Absorption (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad (4)$$

Degree of Crosslinking

Untuk menilai secara kuantitatif derajat pengikatan silang, kandungan film dianalisis. Konten gel dari film diukur dengan mengekstraksi film kering (W_d) dalam air distilasi panas pada suhu 100°C selama 36 jam, kemudian dikeringkan pada suhu 50°C selama 4 jam hingga mencapai berat tetap (W_e). Hasil gel dari film kemudian dihitung menggunakan metode berikut:

$$\text{Gel \%} = \left(\frac{W_e}{W_d} \right) \times 100 \quad (5)$$

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Spektrum Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk selulosa yang diekstraksi, CMC, PVA, dan sampel film CMC diperoleh menggunakan spektrofotometer Shimadzu IR Prestige-21. Setiap sampel disiapkan dalam bentuk pellet dengan KBr pada rasio kira-kira 0,05 (g/g). Pengukuran transmisi diambil pada rentang panjang gelombang $500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$.

X-Ray Diffractometry (XRD)

Pola difraksi dari selulosa yang diekstraksi, CMC, PVA, dan sampel film CMC dianalisis menggunakan difraktometer X-ray Shimadzu XRD-6100, beroperasi pada 40 kV dan 30 mA dengan radiasi $\text{CuK}\alpha$ yang difilter Ni. Data difraksi dikumpulkan dalam rentang 2θ dari 0° hingga 70° dengan kecepatan pemindaian $20^{\circ}/\text{menit}$.

Scanning Electron Microscopy (SEM)

Morfologi permukaan film diperiksa menggunakan mikroskop elektron pemindai, Coxem Benchtop EM 30 AX Plus dari Korea Selatan. Untuk mencegah pengisian di bawah sinar elektron, permukaan resin yang telah dikeringkan dilapisi dengan lapisan tipis emas. Gambar SEM diambil pada berbagai perbesaran, mulai dari $50\times$ hingga $2000\times$.

Antibacterial Activity

Sifat antibakteri dari film dengan berbagai jumlah CA dinilai menggunakan metode uji AATCC 100-1998. Aktivitas antibakteri diukur dengan menggunakan metode zona hambat dan hitungan koloni terhadap bakteri gram-positif, *S. aureus*, dan bakteri gram-negatif, *E. coli*. Untuk uji zona hambat, koloni *S. aureus* (ATCC 25923) dan *E. coli* (ATCC 35218) dari kultur semalam disiapkan dalam Muller Hinton Broth (MHB) untuk membentuk suspensi, disesuaikan dengan kekeruhan standar 0,5 McFarland. Sebanyak $200\ \mu\text{L}$ dari suspensi ini dioleskan pada plat Muller Hinton Agar

(MHA) untuk menciptakan pertumbuhan semi-konfluen. Membran kemudian ditempatkan dalam media yang diinokulasi, dan plat diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Zona hambat diamati pada hari berikutnya.

Untuk metode hitungan koloni, *E. coli* (ATCC 11105) digunakan sebagai bakteri uji dengan konsentrasi awal 10^5 CFU/ml. Luria/Nutrient broth disiapkan, dan sampel uji serta kontrol diinokulasi dengan bakteri di wadah terpisah. Wadah-wadah ini disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 20 menit dengan tekanan 15 lb. Setelah sterilisasi, wadah yang berisi nutrient broth, sampel, dan kultur bakteri dikocok pada 200 rpm pada suhu 37°C selama 24 jam. Plat agar disiapkan dengan menuangkan campuran steril dari nutrient/luria agar ke dalam cawan Petri dan membiarkannya mengeras. Setelah pengenceran bertingkat, cairan pertumbuhan dioleskan pada agar yang mengeras. Cawan Petri kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam, dan aktivitas antimikroba film dihitung.

Hasil dan Pembahasan

Derajat Substitusi (DS) dan Persentase Hasil dari CMC

Hasil selulosa dari daun gebang yang dikeringkan ditemukan sebesar 64%. Sintesis CMC dilakukan dalam dua tahap: alkalinisasi dan karboksimetilasi menggunakan natrium monoklorasetat (NaMCA). Nilai derajat substitusi (DS) umumnya berkisar antara 0,4 hingga 1,336. Kelarutan CMC ditentukan oleh substitusi kelompok karboksimetil dalam struktur selulosa. Berdasarkan kondisi optimasi produksi CMC yang dilaporkan oleh Golbaghi et al., CMC yang diperoleh dari daun gebang memiliki DS sebesar 1,2 dan hasil sebesar 166%. Berdasarkan temuan Sjostrom, kelompok OH dalam selulosa disubstitusi oleh kelompok karboksimetil pada posisi C2 karena keasaman yang lebih tinggi dan disosiasi kelompok OH.

Derajat Ikat Silang

Persentase penjaringan silang meningkat seiring dengan konsentrasi CA. Secara spesifik, persentase penjaringan silang untuk CMC/PVA/CA10% dan CMC/PVA/CA15% masing-masing ditemukan sebesar 9% dan 11%. Konsentrasi CA yang lebih tinggi menyediakan lebih banyak radikal monomer yang dapat berinteraksi dengan makroradikal CMC, yang mengarah pada

peningkatan persentase penjaringan silang. Pembentukan ikatan ester, yang dihasilkan dari reaksi penjaringan silang, lebih mungkin terjadi pada posisi C6 dari rantai selulosa karena reaktivitas kelompok OH yang lebih besar dalam esterifikasi. Mekanisme reaksi potensial untuk pembentukan film digambarkan dalam Gambar 1.

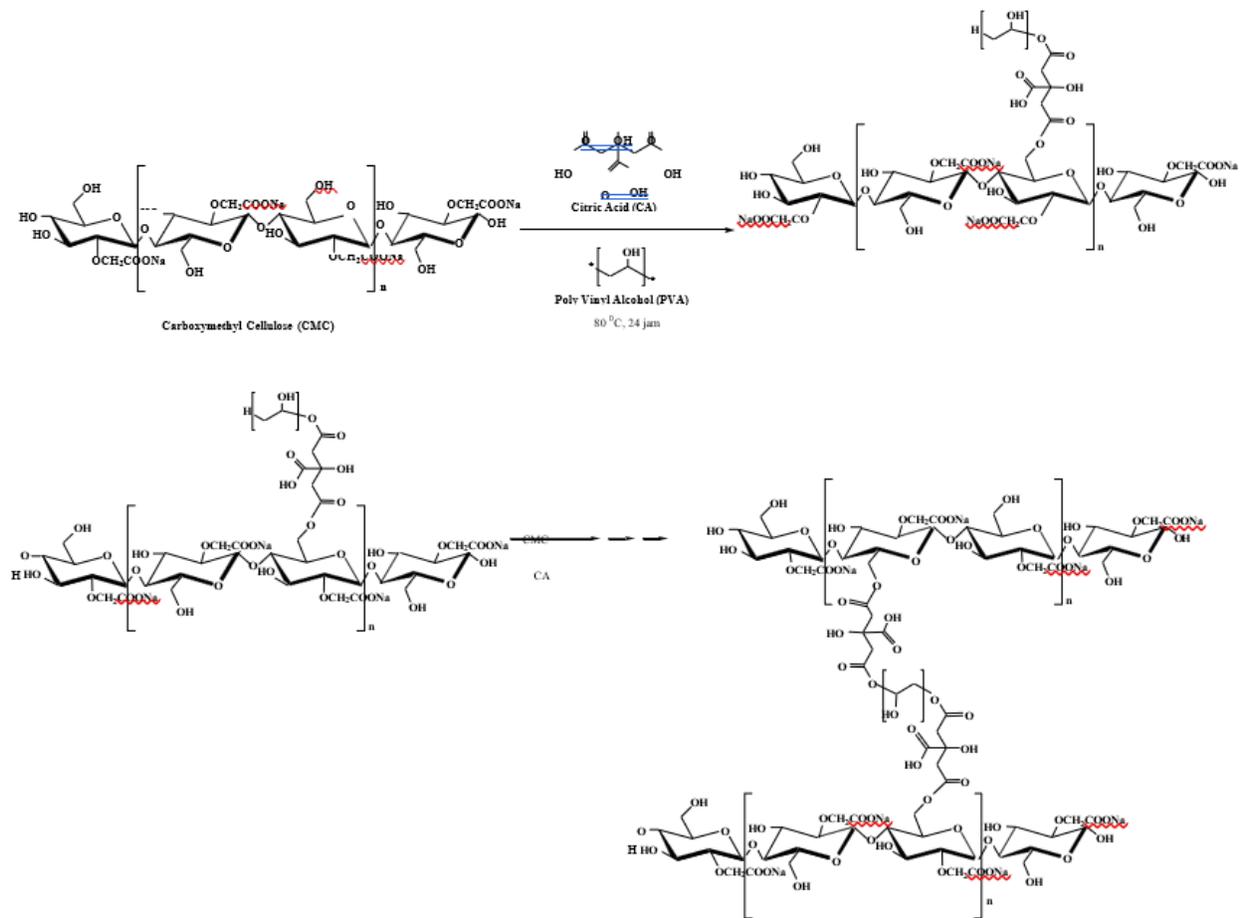
Penyerapan Air dari Film CMC/PVA/CA

Dampak konsentrasi CA terhadap penyerapan air film CMC/PVA dievaluasi dengan mengukur perubahan berat. Penyerapan air film menurun dari 50% menjadi 35% seiring dengan meningkatnya konsentrasi CA. Penurunan penyerapan air ini dikaitkan dengan kepadatan penjaringan silang yang lebih tinggi akibat dari peningkatan konsentrasi CA. Seiring dengan meningkatnya penjaringan silang rantai polimer, segmen rantai menjadi lebih pendek, membatasi ruang yang tersedia bagi air bebas untuk menembus ke dalam jaringan yang terjaring silang. Akibatnya, nilai penyerapan air film menurun.

Analisis Spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR)

Menurut Gambar 3, frekuensi pita serapan dari selulosa dan selulosa karboksimetil mirip, menunjukkan bahwa mereka memiliki kelompok fungsional yang sebanding. Puncak lebar antara $3300-3450\text{ cm}^{-1}$ sesuai dengan peregangan O-H, sementara kelompok C-H alifatik jenuh dari rantai selulosa terlihat antara $2900-3000\text{ cm}^{-1}$. Pita sekitar 1060 cm^{-1} disebabkan oleh peregangan C-O-C. Dalam spektrum selulosa yang diperoleh, pita dekat $1635,65\text{ cm}^{-1}$ terkait dengan ikatan O-H dalam struktur selulosa. Namun, dalam spektrum CMC, puncak-puncak ini sepenuhnya tidak ada. Sebaliknya, puncak baru pada $1604,77\text{ cm}^{-1}$ muncul, yang dikaitkan dengan getaran peregangan dari kelompok karbonil dari COO^- . Ini menunjukkan bahwa kelompok O-H dalam rantai selulosa telah berhasil digantikan oleh kelompok karboksimetil. Selain itu, puncak kecil pada $894,97\text{ cm}^{-1}$ mengonfirmasi keberadaan ikatan β -1,4-glikosidik. Puncak serapan pada $1604,77$ dan $1419,61\text{ cm}^{-1}$, yang berbeda dari selulosa, terkait dengan peregangan C=O dan kelompok $-\text{CH}_2$, masing-masing. Menurut Mario et al., keberadaan kelompok karbonil dan garamnya, yang terkait dengan kelompok karboksimetil, teramati antara $1600-1640\text{ cm}^{-1}$ dan $1400-1450\text{ cm}^{-1}$. Ini mengonfirmasi bahwa CMC dapat disintesis dari selulosa daun gebang.

Spektrum FTIR dari PVA menunjukkan pita-pita lebar yang khas untuk kelompok hidroksil pada 3387 cm^{-1} , untuk getaran peregangan ikatan C-H pada 2939 cm^{-1} , dan untuk getaran peregangan ikatan C-O pada 1419 dan 1096 cm^{-1} . Selain itu, puncak kecil pada $918,12\text{ cm}^{-1}$ dan $848,68\text{ cm}^{-1}$ sesuai dengan keberadaan ikatan $-\text{OH}$ dan tekukan $-\text{CH}$. Pita-pita ini sebelumnya telah didokumentasikan oleh Silverstein et al. Penurunan intensitas pita OH pada $3400\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$, yang terkait dengan ikatan hidrogen, bersama dengan puncak referensi pada sekitar 896 cm^{-1} untuk ikatan $\beta\text{-}1,4\text{-glikosidik}$, mengonfirmasi selulosa yang terjaring silang. Spektrum FT-IR dari film CMC/PVA/CA10% dan CMC/PVA/CA15% menunjukkan pengurangan kelompok hidroksil di CMC sekitar $3448,72\text{ cm}^{-1}$ selama reaksi penjaringan silang, akibat reaksi kimia dengan asam sitrat yang membentuk ikatan ester. Selain itu, puncak-puncak baru terlihat pada $1720,50\text{ cm}^{-1}$ dan antara $1205\text{-}1230\text{ cm}^{-1}$.



Gambar 1: Reaksi yang Mungkin Terjadi untuk Pembentukan Film CMC/PVA/CA (B)

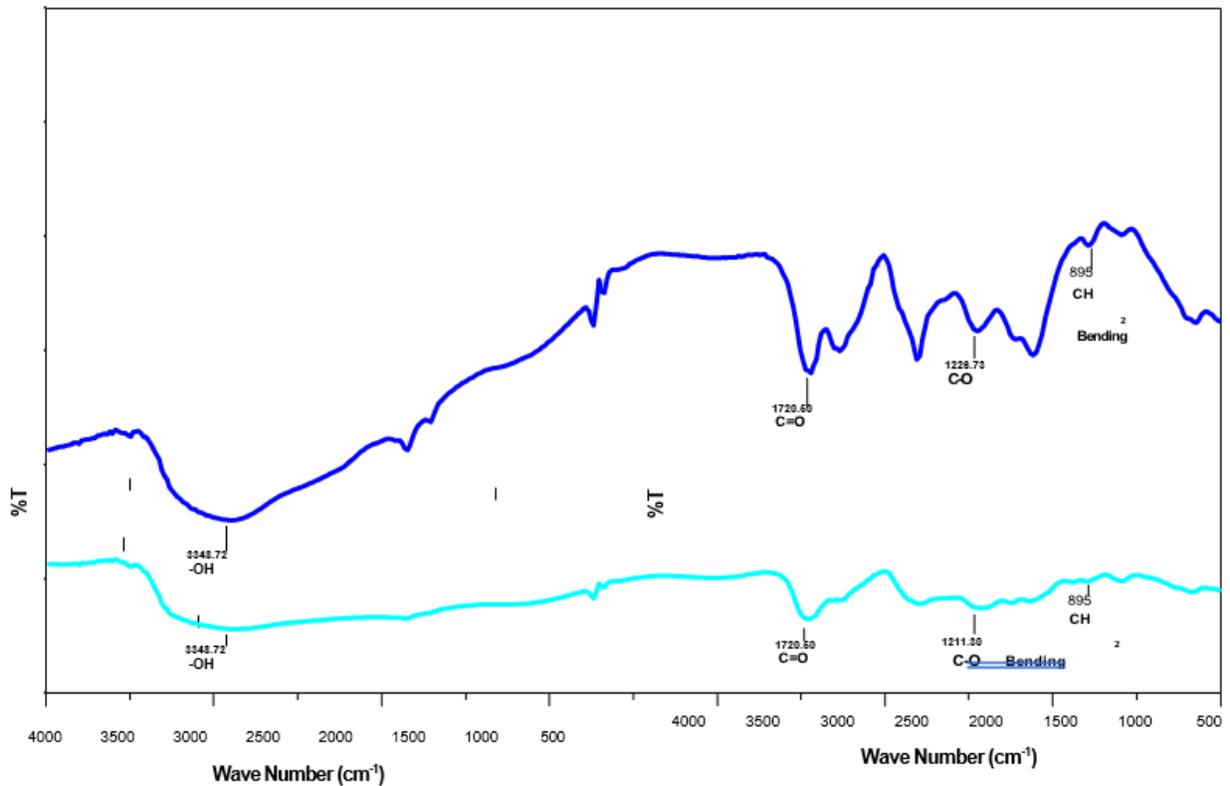


Fig.-2: FT-IR Spectra of Extracted Cellulose, Obtained CMC, PVA, and CMC/PVA/CA Films

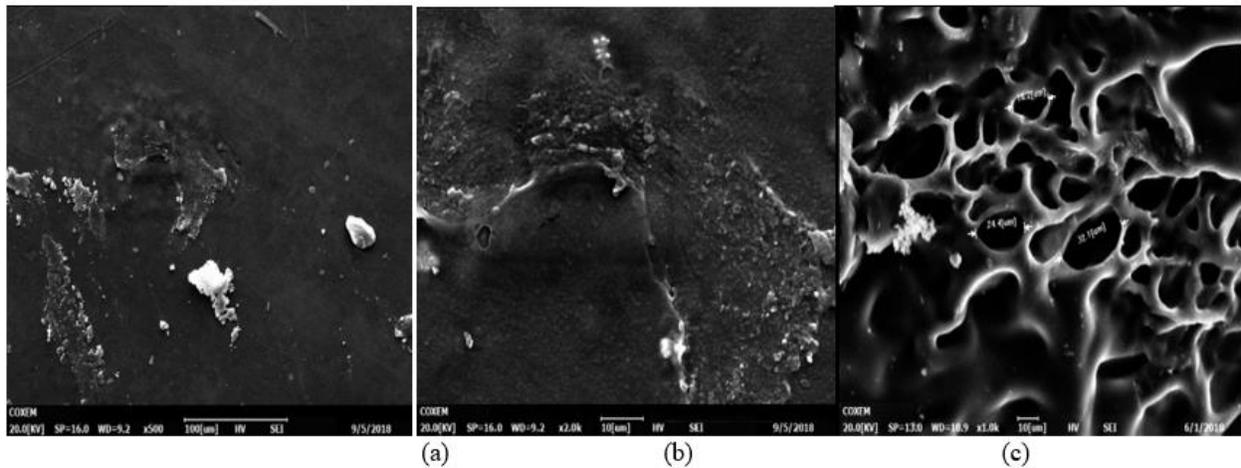
Analisis Difraksi Sinar-X (XRD)

Menurut Siregar et al., Gambar menunjukkan pola difraksi sinar-X di mana puncak karakteristik dari selulosa dan selulosa karboksimetil terlihat. Pola difraksi untuk selulosa menampilkan dua puncak lebar kecil pada nilai 2θ masing-masing $16,10^\circ$ dan $22,70^\circ$, yang menunjukkan struktur selulosa I. Puncak-puncak ini juga terkait dengan daerah amorf. Puncak intens pada sekitar $2\theta = 43,97^\circ$ dan $64,34^\circ$, bersama dengan puncak lebih kecil pada $2\theta = 37,72^\circ$, sesuai dengan daerah kristalin dari rantai selulosa. Setelah proses karboksimetilasi, puncak-puncak reflektif ini tidak lagi terlihat.

Selama proses alkalinisasi, penambahan NaOH sebagai agen pembengkakan mengganggu struktur kristalin selulosa dalam spektrum CMC. CMC menunjukkan puncak mencolok pada $2\theta = 20,31^\circ$, menunjukkan kristalinitas yang lebih rendah akibat pemutusan ikatan hidrogen oleh NaOH. Nilai DS dari CMC yang diperoleh adalah 1,2, dan nilai DS yang lebih besar dari 1 biasanya mengurangi kristalinitas CMC, seperti yang dicatat oleh Golbaghi et al. Kristalinitas rendah serupa juga diamati

pada CMC yang diperoleh dari kulit durian. Menurut Gambar 3, difraktogram film CMC/PVA pada $2\theta = 20,31^\circ$ mirip dengan CMC yang diperoleh, menunjukkan bahwa interaksi ikatan hidrogen belum terjadi. Ini menunjukkan bahwa reaksi kimia dalam film CMC/PVA tidak terjadi, dan campuran tetap tidak bereaksi. Namun, setelah penambahan asam sitrat (CA), terjadi penjaringan silang, dan intensitas puncak film bergeser ke $18,82^\circ$. Pergeseran ini dapat dijelaskan oleh penurunan kristalinitas akibat penjaringan silang antara CMC dan PVA, yang mengganggu interaksi ikatan hidrogen. Dengan kata lain, penggunaan asam sitrat sebagai agen penjaringan silang mencegah rantai polimer melipat, menghasilkan daerah kristalin yang lebih rendah dalam jaringan polimer.

Dalam studi ini, keseragaman dan karakteristik mikrostruktural film dinilai menggunakan mikroskop elektron pemindai (SEM). Gambar 4 menyajikan mikrograf SEM dari film CMC/PVA. Gambar menunjukkan bahwa morfologi permukaan film CMC/PVA kurang homogen dan halus. Ini menunjukkan bahwa interaksi antara komponen terhambat, kemungkinan besar akibat dari makromolekul CMC yang besar. Dengan meningkatnya konten cross-linker CA, derajat penjaringan silang juga meningkat, menghasilkan struktur film yang lebih kaku. Hasil SEM mengungkapkan bahwa film ini menunjukkan struktur jaringan tiga dimensi. Selain itu, film CMC/PVA/CA10% menunjukkan struktur yang lebih berpori dan homogen dengan jaringan tiga dimensi yang berkembang dengan baik dan pori yang saling terhubung, yang dikaitkan dengan persentase penjaringan silang yang lebih rendah. Struktur pori yang saling terhubung ini memfasilitasi difusi molekul air. Ukuran pori untuk film CMC/PVA/CA10% dan CMC/PVA/CA15% masing-masing adalah $32\ \mu\text{m}$ dan $23\ \mu\text{m}$. Sebaliknya, film CMC/PVA/CA15% menunjukkan struktur yang kurang berpori dan lebih padat, menunjukkan derajat pembentukan ester yang lebih tinggi, yang membatasi kapasitas penyerapan air film.



Gambar 4: Mikrograf SEM dari Morfologi Sampel (a) CMC/PVA pada 500 x, (b) CMC/PVA pada 2000 x, (c) CMC/PVA/CA10% pada 500 x,

Aktivitas Antibakteri

Sifat antibakteri film dievaluasi menggunakan metode difusi cakram, yang mengukur penghambatan pertumbuhan bakteri dengan menilai diameter zona bening di sekitar cakram menggunakan mikrometer. Efektivitas antimikroba dari film CMC/PVA, CMC/PVA/CA10%, dan CMC/PVA/CA15% diuji terhadap *Staphylococcus aureus* yang bersifat Gram-positif dan *Escherichia coli* yang bersifat Gram-negatif. Gambar 6(a) dan 6(b) menampilkan zona hambat. Tidak ada zona hambat yang terlihat di sekitar cakram sampel CMC/PVA, menunjukkan bahwa CMC dan PVA tidak berdifusi ke dalam media bakteri untuk menghambat pertumbuhan bakteri. Sebaliknya, film CMC/PVA/CA10% dan CMC/PVA/CA15% secara efektif menghambat dan membunuh *E. coli* dan *S. aureus*. Efektivitas antibakteri meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi CA dalam film, seperti yang dibuktikan oleh zona indeks antimikroba yang disajikan dalam Tabel 1.

Film CMC/PVA/CA menunjukkan sifat antibakteri yang kuat, yang dikaitkan dengan sifat kimia antimikroba dari asam sitrat dalam jaringan polimer. Derajat penjaringan silang dan spektrum FTIR menunjukkan bahwa asam sitrat (CA), yang bertindak sebagai agen penjaringan silang, tidak bereaksi sepenuhnya dengan CMC dan PVA. Ini menunjukkan bahwa beberapa kelompok COOH dari CA tetap berada di dalam film. Kelompok COOH residu ini mungkin berkontribusi pada aktivitas antibakteri dengan tetap berada dalam bentuk yang tidak terdisosiasi. Molekul asam sitrat

yang tidak terdisosiasi dapat menembus membran sel bakteri dan menyumbangkan ion hidrogen, yang penting untuk aksi antimikroba. Asam sitrat dapat membunuh bakteri dengan memungkinkan molekul yang tidak terdisosiasi (COOH) memasuki sel, di mana mereka terionisasi dan melepaskan ion H⁺. Asidifikasi ini mengganggu pH intraseluler, melemahkan lingkungan internal. Kondisi asam menyebabkan deformasi dan kerusakan aktivitas enzimatik, struktur protein, dan DNA, sehingga mengkompromikan membran sel. Selain itu, perubahan dalam permeabilitas membran sel menghambat transportasi substrat, dan perubahan pH menekan oksidasi NADH, mempengaruhi sistem transportasi elektron dan menyebabkan kematian mikroba⁴⁹.

Table-1: Antibacterial Inhibition Zone

Bacteria	CA Concentration	Sample Film Diameter (mm)	Clear Zone Diameter (mm)	Antimicrobial Index Zone
<i>S. aureus</i>	10%	7	16.9	1.41
	15%	7	29.6	3.22
<i>E. coli</i>	10%	7	18.1	1.58
	15%	7	25.9	2.70

Film CMC/PVA/CA15% menunjukkan indeks zona antimikroba yang lebih tinggi terhadap bakteri Gram-positif, seperti *Staphylococcus aureus*, dibandingkan dengan bakteri Gram-negatif seperti *Escherichia coli*. Perbedaan ini muncul karena bakteri Gram-positif tidak memiliki membran luar, yang memudahkan agen antimikroba untuk menembus sel mereka. Bakteri Gram-positif memiliki dinding sel berlapis tunggal dengan kandungan lipid yang rendah (1-4%), sementara bakteri Gram-negatif memiliki struktur yang lebih kompleks dengan kandungan lipid yang tinggi (11-12%) dan membran luar berlapis tiga yang terdiri dari lipopolisakarida, lipoprotein, dan fosfolipid. Akibatnya, bakteri Gram-positif, seperti *S. aureus*, umumnya lebih rentan terhadap agen antimikroba.

Antibacterial Film dari CMC: Solusi Ramah Lingkungan

Karboksimetil Selulosa (CMC) adalah derivat selulosa yang memiliki sifat hidrofilik dan biokompatibel, sehingga menjadikannya bahan yang ideal untuk pengembangan film antibakteri. Dengan mengekstraksi CMC dari daun gebang, bahan ini dapat dimodifikasi lebih lanjut menjadi film antibakteri yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pengemasan makanan, pembungkus medis, dan produk sanitasi.

Penggunaan CMC sebagai bahan dasar antibacterial film membawa sejumlah manfaat lingkungan. Pertama, CMC merupakan bahan yang dapat terurai secara hayati, sehingga mengurangi dampak limbah plastik konvensional terhadap lingkungan. Kedua, produksi CMC dari sumber daya alam lokal, seperti daun gebang, mendukung pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan dan mengurangi ketergantungan pada bahan baku sintetis yang sering kali tidak ramah lingkungan.

Perspektif Ekonomi Islam dalam Pengembangan Inovasi

Ekonomi Islam memiliki prinsip-prinsip yang mendasari aktivitas ekonomi dan pengelolaan sumber daya. Salah satu prinsip utama adalah pengelolaan yang adil dan berkelanjutan terhadap sumber daya alam, sesuai dengan konsep khalifah (pengelolaan) dan amanah (kepercayaan). Dalam konteks pengembangan antibacterial film dari CMC, prinsip-prinsip ini dapat diterapkan melalui penggunaan sumber daya lokal secara bijaksana dan pemberdayaan masyarakat setempat. Dengan memanfaatkan daun gebang yang tumbuh melimpah di Padang Lawas Utara, inovasi ini dapat membuka peluang ekonomi baru bagi masyarakat lokal. Misalnya, produksi CMC dapat menjadi sumber pendapatan tambahan bagi petani lokal, sementara pengembangan dan distribusi produk antibacterial film dapat menciptakan lapangan kerja baru di sektor manufaktur dan distribusi.

Selain itu, ekonomi Islam menekankan pentingnya masalah (kesejahteraan umum) dan maqasid al-shariah (tujuan hukum Islam), yang mencakup perlindungan terhadap agama, jiwa, akal, keturunan, dan harta. Dalam hal ini, pengembangan antibacterial film yang ramah lingkungan dan bermanfaat bagi kesehatan masyarakat selaras dengan tujuan ini. Produk ini tidak hanya mendukung kesehatan dan kesejahteraan, tetapi juga melindungi lingkungan, yang merupakan bagian integral dari tanggung jawab manusia sebagai pengelola bumi.

Kesimpulan

Sintesis CMC dari daun Gebang berhasil dilakukan, dengan film CMC/PVA/CA menunjukkan penjaringan silang yang efektif. Derajat substitusi (DS) untuk CMC ditemukan sebesar 1,2, mengonfirmasi fungsionalisasi selulosa yang berhasil. Penjaringan Silang dan Sifat Struktur: Pencampuran asam sitrat (CA) sebagai agen penjaringan silang meningkatkan kepadatan penjaringan silang pada film CMC/PVA, dengan persentase penjaringan silang mencapai hingga

11%. Ini menghasilkan film dengan penyerapan air yang berkurang—50% untuk CA10% dan 35% untuk CA15%—menunjukkan stabilitas yang lebih baik dan sifat pembengkakan yang lebih rendah. Mikroskop Elektron Pemindai (SEM) mengungkapkan bahwa film mengembangkan jaringan polimer 3D yang kuat dengan mikropori. Analisis Difraksi Sinar-X (XRD) dan FT-IR mengonfirmasi penjarangan silang dan integritas struktural film yang berhasil. Efektivitas antibakteri film dikonfirmasi melalui uji difusi agar, dengan film CMC/PVA/CA menunjukkan aktivitas yang kuat terhadap *Staphylococcus aureus* Gram-positif dan *Escherichia coli* Gram-negatif. Film menunjukkan zona hambat yang lebih besar terhadap bakteri Gram-positif, menunjukkan potensi efektivitasnya dalam aplikasi antimikroba. Persiapan film antibakteri ini dari sumber yang berkelanjutan seperti daun Gebang mendukung pengembangan lokal dan memberikan opsi yang layak untuk bahan ramah lingkungan. Sifat film membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi medis dan industri, berkontribusi pada upaya pengembangan berkelanjutan di North Padang Lawas. Penelitian ini menyoroti potensi penggunaan bahan alami yang bersumber secara lokal untuk mengembangkan bahan fungsional canggih dengan aplikasi praktis dalam kesehatan dan industri, sejalan dengan prinsip-prinsip pengembangan berkelanjutan. Pengembangan antibacterial film dari Karboksimetil Selulosa (CMC) yang diperoleh dari daun gebang adalah contoh konkret bagaimana inovasi teknologi dapat sejalan dengan prinsip-prinsip ekonomi Islam dan tujuan pembangunan berkelanjutan. Dengan memanfaatkan potensi lokal dan memprioritaskan kesejahteraan umum, inisiatif ini tidak hanya menghadirkan solusi ramah lingkungan, tetapi juga mendukung pencapaian SDGs di Padang Lawas Utara. Penerapan pendekatan holistik ini menjadi kunci dalam mewujudkan pembangunan yang adil, berkelanjutan, dan berkesinambungan.

REFERENCES

1. A.W.C. Chua, Y.C. Khoo, B. K. Tan, K.C. Tan, C.L. Foo and S.J. Chong, *Burns & Traum*, 4, 3 (2016), DOI:10.1186/s41038-016-0027-y
2. Firnanely, S. Sugiarti and Charlena, *Rasayan J. Chem.*, 10(2), 570(2017), DOI:10.7324/RJC.2017.1021465
3. S. Haberzeth-Bottcher, T. Biedermann, E. Reichmann, *Burns*, 36(4), 450 (2010), DOI: 10.1016/j.burns.2009.08.016.

4. M. Mühlstädt, C. Thomé, and C. Kunte, *British Journal of Dermatology*, 167, 343 (2012), DOI: 10.1111/j.1365-2133.2012.10999.x
5. V. Ki and C. Rotstein, *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*, 19, 17 (2008)
6. G. Nandhavathy, S. P. Selvam, M. M. Kumar and E. R. Sadiku, *Rasayan J. Chem.*, 10(2), 542(2017), DOI: 10.7324/RJC.2017.1021724
7. E.Ramu, V.Kotra, N. Bansal, R.Varala and S. R. Adapa, *Rasayan J. Chem.*, 1(1)188 (2008)
8. A.F. Cardona and S.E. Wilson, *Clin Infect Dis*, 61, S69 (2015), DOI: 10.1093/cid/civ528
9. M. Sand, T. Gambichler, D. Sand, M. Skrygan, P. Altmeyer, F.G. Bechara, *Journal of Dermatological Sciences*, 53, 169 (2009), DOI:10.1016/j.jdermsci.2008.10.004
10. May A.K, *Surg Infect (Larchmt)*, 12(3), 179 (2011), DOI:10.1089/sur.2011.034
11. A.K. Elbadawy, X. Chen, M.S.M. Eldin, E.S. Kenawy, *Arabian Journal of Chemistry*, 8(1), 1(2015), DOI:10.1016/j.arabjc.2014.07.005
12. F.E.F. Silva, M.C.B. Di-Medeiros, K.A. Batista, and K.F. Fernandes, *Journal Materials*, 1(2013), DOI:10.1155/2013/413578
13. A.Sannino, C. Demitri, and M. Madaghiele, *Materials*, 2(2), 353(2009), DOI:10.3390/ma2020353
14. F. Jia, H.J. Liu, G.G. Zhang, *Procedia Environmental Sciences*, 31, 98(2016), DOI:10.1016/j.proenv.2016.02.013
15. A.Sannino, M. Madaghiele, F. Conversano, G. Mele, A. Maffezzoli, P.A. Netti, L. Ambrosio, L. Nicolais, *Biomacromolecules*, 5(1), 92 (2004), DOI:10.1021/bm0341881
16. D.Charpentier, G. Mocanu, A. Carpov, S. Chapelle, L. Merle and G. Muller, *Carbohydrate Polymers*, 32, 177 (1997), DOI:10.1016/S0144-8617(97)00031-3
17. D.Sahoo, S. Sahoo, J. Das, T.K. Dangar, P.L. Nayak, *NanoTrends: A Journal of Nanotechnology and Its Applications*, 10, 1 (2011), DOI: 10.13140/RG.2.2.10095.74406
18. R.E.Nasution, and H.C. Ong, In: Brink M and RP Escobin (Eds). *Fibre plants*. Yayasan PROSEA (Plant Resources of South East Asia) Foundation, Bogor, Indonesia, pp 114-117 (2003).

19. R.P.Sancayaningsih, S.H.M.B. Santosa and M.F Maharani, In Conference of International Seminar on New Paradigm and Innovation on Natural Sciences and Its Application (ISNPINSA), Semarang, Indonesia, pp 1-6 (2012).
20. L. Heliawati, A. Kardinan, T. Mayanti1, and R. Tjokronegoro, Journal of Applied Pharmaceutical Science, 5(1), 110 (2015), DOI: 10.7324/JAPS.2015.50119
21. H.B. Setiawan, H. Yudo, and S. Jokosisworo, Jurnal Teknik Perkapalan, 5(2), 1 (2017), <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/16963>
22. R.D.Indiah, A. Yuniari, M. Sholeh, N.M. Setyadewi, In proceedings of Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet, dan Plastik, Yogyakarta, Indonesia, pp 1-10 (2016).
23. Z. Gao, Z. Yu, C. Huang, L. Duan, G.H. Gao, Journal of Applied Polyme Science, 134, 11(2016), DOI: 10.1002/APP.44590
24. C. M.Hassan, J. E. Stewart, and N.A. Peppas ,European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 49(2), 161(2000), DOI: 10.1016/S0939-6411(99)00056-9
25. C.Chang and L.Zhang, Carbohydrate Polymer, 84(1), 40(2011), DOI: 10.1016/j.carbpol.2010.12.023
26. N. Reddy and Y. Yang, Food Chemistry, 118(3), 702(2010), DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.05.050
27. A. H.Saputra,M. Hapsari, A. B. Pitaloka, P. P. D. K. Wulan. In SOMCHE 2014 and RSCE 2014 Conference, Selangor Darul Ehsan, Malaysia, Journal of Engineering Science and Technology, 10, 75(2015).
28. M.Sauer, D. Porro, D. Mattanovich, and P. Branduard, Trends Biotechnol, 26(2), 100 (2008), DOI: 10.1016/j.tibtech.2007.11.006
29. E.Menzel, Olsson, T. S. Plivelic, R. Andersson, C. Johansson et al, CarbohydrPolym, 96, 270 (2013), DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.03.044
30. S. Denghani, S.V. Hosseini, and J.M. Regenstein, Food Chemistry, 240, 505 (2018), DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.07.034
31. Kim, B.R., Yoo, J.-H., Jung, K.-S., Heu, S. G., & Lee, S.-Y., Journal of Food Hygiene and Safety, 27, 449(2012).
32. J. Uranga, A.I. Puertas, A. Etxabide, M.T. Dueñas, P. Guerrero, K. de la Caba, Food Hydrocolloids, 86, 95(2019), DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.02.018

33. L.Golbaghi, M. Khamforoush, and T. Hatami, *Carbohydrate Polymers*, 174, 780 (2017), DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.06.123
34. P.Rachtanapun, S. Luangkamin, K. Tanprasert, R. Suriyatem, *Food Science and Technology*, 48(1), 52 (2012), DOI: 10.1016/j.lwt.2012.02.029
35. R. W. Eyley, E. D. Klug, and F. Diephuis, *Analytical Chemistry*, 19, 24(1947), DOI: 10.1021/ac60001a007
36. M. P.Adinugraha, D.W. Marseno, and Hayadi, *Carbohydrate Polymers*, 62(2), 164(2005), DOI: 10.1016/j.carbpol.2005.07.019
37. T.H.Heinze, And K. Pflifer, *Macromolecular Materials and Engineering*, 266, 37 (1999), DOI:10.1002/(SICI)1522-9505(19990501)266:1<37::AID-APMC37>3.0.CO;2-Z
38. E. Sjostrom, *Wood Chemistry Fundamentals and Applications second edition*, Academic Press, Inc, United States, p.204,216(1993).
39. Sutradhar, S. Chandra, M.M.R. Khan, M.M. Rahman and N.C. Dafadar, *Journal of Physical Science*, 26(2), 23(2015)
40. B.Soni, Hassan, E. B., & Mahmoud, B. *Carbohydrate Polymers*, 134, 581(2015), DOI:10.1016/j.carbpol.2015.08.031
41. A.Salama, M. Neumann, C. Günter, and A. Taubert, *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 5, 1553(2014), DOI: 10.3762/bjnano.5.167
42. P.Mario, D.W. Adinugrada, M. Haryadi, *Carbohydr. Polym*, 62(2), 164(2005), DOI: 10.1016/j.carbpol.2005.07.019
43. A.A.P.Mansur, F.G. de Carvalho, R.L. Mansur, S.M. Carvalho, L.C. de Oliveira, H.S. Mansur, *Int. J. Biol. Macromol*, 96, 675 (2017), DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.12.078
44. R.M.Silverstein, G.C. Bassler, and T.C. Masrill, *Spectrometric Identification of Organic Compound*, Fifth Edition, Jhon Wiley & Sons, Inc, New York, p. 1(1991).
45. H.M.C.Azeredo, C. Kontou-Vrettou, G.K. Moates, N. Wellner, K. Cross, P.H.F. Pereira, K.W. Waldron, *Food Hydrocoll*, 50, 1(2015), DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.04.005
46. N.S.V.Capanema, A.A.P. Mansur, A.C. de Jesus, S.M. Carvalho, L.C. de Oliveira, and H.S. Mansur, *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, 1218(2017), DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.08.124

47. M. D.Harun-or-Rashid, M. D. Saifur Rahaman, Shariff Enamul Kabir, Mubarak A Khan, J. Appl. Polym., 133(2), 1(2016), DOI: 10.1002/APP.42870
48. E.Mani-López, H.S. Garcia, and A. López-Malo, J. Food Res., 45(2), 713(2012), DOI: 10.1016/j.foodres.2011.04.043
49. Y.J.Kong, B.K. Park, and D.H Oh, Korean J. Food Sci. Technol., 33(2), 178(2001).
50. S. Fardiaz, 1992. Mikrobiologi Pangan I. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.