

EVALUASI SIFAT FUNGSIONAL EDIBLE COATING PATI SAGU BERDASARKAN PARAMETER KIMIA UNTUK APLIKASI PADA KEMASAN BUMBU INSTAN

(Evaluation of the Functional Properties of Edible Sago Starch-Based Coatings Using Chemical Parameters for Instant Seasoning Packaging Applications)

Iffadhiya Fathin Adiba*, Wimpy Prendika, Muhammad Rafly, Pegi Haryanto

Program Studi Teknologi Pascapanen Institut Teknologi Perkebunan Pelalawan Riau, Indonesia

*E-mail korespondensi: adiba@itp2i-yap.ac.id

ABSTRACT

Instant seasoning packaging typically utilizes conventional plastic, which is difficult to decompose and can pollute the environment. As an environmentally friendly alternative, this study investigates the potential of sago starch-based edible coating (Metroxylon sago Rottb.) as a biodegradable packaging material. The study's purpose was to evaluate the functional properties and chemical stability of sago starch edible coating by testing its water content, solubility, and pH. Sago starch was gelatinized, mixed with glycerol as a plasticizer, molded, and dried at 50°C to form a thin film. Carboxymethyl cellulose (CMC) was added at 0% and 15%. The addition of CMC increased the water content from 23.61% to 24.61%, though this difference was not statistically significant. Solubility increased from 14.56% to 20.66%, indicating improved water dissolution. The pH of the film solution also increased slightly from 6.6 to 6.8. Overall, the addition of CMC increased solubility without significantly changing the water content and demonstrated good chemical stability. This sago starch-based edible coating has the potential to be used as a biodegradable packaging material to replace conventional plastic in instant noodle seasoning products.

Keywords : carboxymethyl cellulose (CMC), degradable packaging, pH, solubility, and water content

PENDAHULUAN

Penggunaan kemasan berbasis plastik konvensional pada produk pangan, termasuk bumbu instan, masih sangat dominan karena sifatnya yang praktis dan murah. Namun demikian, plastik memiliki kelemahan utama yaitu sulit terurai secara alami sehingga berpotensi mencemari lingkungan dan menimbulkan masalah keberlanjutan dalam jangka panjang (Sudesh dan Iwata, 2008). Oleh karena itu, pengembangan bahan kemasan biodegradable menjadi kebutuhan mendesak untuk mengurangi ketergantungan terhadap plastik sekaligus mendukung sistem pangan yang lebih ramah lingkungan.

Edible coating merupakan salah satu teknologi alternatif yang semakin banyak dikembangkan sebagai solusi kemasan ramah lingkungan. Lapisan tipis yang dapat dimakan ini berfungsi sebagai barrier terhadap oksigen, uap air, dan transfer massa lainnya sehingga mampu meningkatkan stabilitas produk pangan (Krochta and De Mulder-Johnston, 1997). Pati merupakan bahan yang banyak dimanfaatkan dalam pembuatan edible coating karena harganya murah, aman dikonsumsi, mudah terbiodegradasi, dan mampu membentuk film melalui proses gelatinisasi (Bourtoom, 2008). Di antara berbagai sumber pati, pati sago (Metroxylon sago Rottb.) merupakan salah satu kandidat unggulan di Indonesia karena ketersediaannya melimpah, kandungan amilosanya cukup tinggi, serta memiliki karakteristik fisik dan kimia yang sesuai untuk pembentukan film (Rahman *et al.*, 2019).

Meskipun demikian, film berbahan dasar pati murni biasanya memiliki kelemahan, seperti rapuh, kurang elastis, dan memiliki stabilitas fungsional yang rendah (Falguera *et al.*, 2011). Untuk mengatasi kekurangan tersebut, penambahan bahan hidrokoid seperti carboxymethyl cellulose (CMC) banyak diteliti karena dapat meningkatkan stabilitas, integritas struktural, homogenitas, serta sifat mekanik film (Rachtanapun *et al.*, 2021). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa CMC mampu memperbaiki kekuatan tarik, ketebalan, dan kemampuan barrier pada berbagai film berbasis polisakarida (Lestari *et al.*, 2020; Apriliyanti *et al.*, 2022). Namun demikian, kajian mengenai pengaruh CMC terhadap karakteristik fungsional dan stabilitas kimia film berbasis pati sago, khususnya untuk aplikasi pada bumbu instan, masih terbatas.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik edible coating berbasis pati sago dengan penambahan CMC, terutama terkait sifat fungsional dan stabilitas kimianya. Parameter yang diuji meliputi kadar air, kelarutan, dan pH sebagai indikator kualitas dan potensi aplikasinya sebagai bahan kemasan biodegradable pada produk bumbu instan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan kemasan ramah lingkungan yang efektif menggantikan plastik konvensional.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pascapanen Institut Teknologi Perkebunan Pelalawan Indonesia pada bulan September - November 2025.

Metode Penelitian

Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pati sagu komersial, carboxymethyl cellulose (CMC) food grade sebagai bahan penstabil, gliserol sebagai plasticizer, serta aquadest sebagai pelarut.

Pembuatan Edible Coating

Suspensi pati sagu 4% (b/v) dipanaskan hingga mencapai suhu gelatinisasi 70–80°C sambil diaduk hingga homogen. Setelah proses gelatinisasi selesai, larutan didinginkan hingga suhu $\pm 50^{\circ}\text{C}$ kemudian ditambahkan gliserol sebesar 30% dari total berat padatan. CMC ditambahkan sesuai perlakuan, yaitu 0% dan 15%. Seluruh campuran diaduk menggunakan hotplate stirrer hingga terbentuk larutan film yang homogen.

Pencetakan Coating

Larutan edible coating dituangkan secara merata ke dalam loyang kaca datar, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam. Setelah kering, film dilepaskan secara hati-hati dan disimpan dalam desikator sebelum dilakukan analisis.

Analisis Kadar Air

Kadar air film diukur menggunakan metode oven drying pada suhu 105°C hingga berat konstan. Persentase kadar air dihitung dari selisih berat sebelum dan sesudah pengeringan.

Analisis Kelarutan

Kelarutan ditentukan dengan merendam potongan film dalam 50 mL aquadest pada suhu ruang selama 24 jam. Sampel yang tidak larut disaring dan dikeringkan kembali untuk memperoleh berat sisa. Kelarutan dihitung berdasarkan persentase film yang larut dalam air.

Analisis pH

pH diukur dengan melarutkan 1 gram film ke dalam 100 mL aquadest yang telah dipanaskan hingga 70°C. Setelah dihomogenkan, pH larutan film diukur menggunakan pH meter digital.

Analisis data

Data kadar air, kelarutan, dan pH dianalisis menggunakan uji ANOVA dengan perangkat lunak SPSS untuk melihat pengaruh penambahan CMC terhadap karakteristik edible coating. Perbedaan antarperlakuan diuji lanjut menggunakan uji Tukey pada taraf signifikansi 5%. Hasil disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Kimia Edible Film Berbasis Pati Sagu dengan Penambahan Carboxymethyl Cellulose

Hasil pengamatan visual (Gambar 1) menunjukkan bahwa edible film pati sagu tanpa penambahan CMC (0%) memiliki tekstur yang lebih buram, kurang homogen, dan tampak menunjukkan agregasi polimer pada beberapa bagian permukaan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kemampuan pati sagu dalam membentuk jaringan film yang kompak masih terbatas. Hal ini berkaitan dengan karakteristik dasar pati terutama struktur amilopektin yang bercabang yang membuat membentuk film homogen menjadi cukup menantang karena orientasi molekulnya tidak terdistribusi secara merata saat proses pengeringan berlangsung (Sukhija *et al.*, 2016).

Sebaliknya, penambahan CMC sebesar 15% menghasilkan film yang lebih jernih, lebih rata, dan tampak memiliki struktur permukaan yang lebih halus. CMC sebagai derivat selulosa dengan sifat hidrofilik mampu meningkatkan interaksi intermolekuler dengan amilosa dan amilopektin melalui pembentukan ikatan hidrogen baru yang lebih kuat dan teratur. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa CMC dapat berfungsi sebagai film-forming enhancer karena mampu meningkatkan viskositas larutan dan mengontrol laju migrasi air selama pengeringan, sehingga film menjadi lebih padat dan seragam (Rachtanapun *et al.*, 2021; Ma *et al.*, 2020).

Perubahan visual dari buram menjadi lebih jernih dalam film yang mengandung CMC mengindikasikan peningkatan keteraturan struktur polimer. Film yang terbentuk lebih transparan ketika polimer yang menyusunnya tersusun secara lebih paralel dan tidak membentuk partikel agregat besar yang memantulkan

cahaya (Pérez-Gago and Krochta, 2002). Dengan demikian, peningkatan homogenitas tampak berhubungan dengan interaksi polimer yang lebih baik.

Secara aplikatif, karakteristik visual yang lebih baik merupakan indikator positif untuk penggunaan film ini sebagai kemasan bumbu instan, karena film yang homogen cenderung memiliki sifat mekanik dan kelarutan yang lebih dapat diprediksi (Tongnuanchan and Benjakul, 2014). Foto produk edible film pati sagu dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Foto produk edible film pati sagu dengan (a) penambahan 0% CMC; (b) penambahan 15% CMC

Kadar Air Film

Kadar air edible film merupakan parameter penting yang menentukan fleksibilitas, stabilitas penyimpanan, dan ketahanan mekanik. Hasil pengukuran menunjukkan kadar air film 0% CMC sebesar 23,61%, dan meningkat menjadi 24,61% pada perlakuan 15% CMC. Meskipun terdapat kenaikan 1%, perbedaan ini tidak signifikan secara statistik (Tabel 1).

Tabel 1. Kadar Air edible film pati sagu dengan dan tanpa CMC

Perlakuan	Kadar Air (%)
0% CMC	23.61 ^a
15% CMC	24.61 ^a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama berbeda nyata berdasarkan DMRT pada taraf $\leq 5\%$

CMC secara teori dapat meningkatkan kadar air film karena kandungan gugus karboksimetilnya dapat menarik air dan membentuk ikatan hidrogen (Ma *et al.*, 2020). Namun, peningkatan moderat yang diamati mengindikasikan bahwa matriks pati yang telah tergelatinisasi sudah cukup stabil, sehingga ruang bebas untuk penyerapan air tidak meningkat secara drastis meskipun CMC ditambahkan. Interaksi pati–CMC belum membentuk struktur hidrogel penuh, yang biasanya terjadi pada konsentrasi CMC lebih tinggi (20–40%) (Yuan *et al.*, 2021), dan Sebagian gugus hidrofilik CMC mungkin berinteraksi dengan pati, bukan dengan air, sehingga kontribusinya terhadap retensi air minim. Temuan ini sejalan dengan laporan Muscat *et al.* (2012), bahwa penambahan hidrokoloid tertentu tidak selalu meningkatkan kadar air bila struktur pati pada film sudah membentuk jaringan padat. Hal ini mendukung potensi edible film pati sagu CMC sebagai pengganti plastik konvensional.

Kelarutan

Kelarutan merupakan parameter krusial untuk memastikan film dapat larut dalam air panas ketika digunakan sebagai kemasan bumbu instan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kelarutan film tanpa CMC sebesar 14,56% dan kelarutan film dengan 15% CMC sebesar 20,66%. Perbedaan ini bermakna secara statistik, menunjukkan bahwa CMC berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kelarutan. Kelarutan edible film pati sagu dengan dan tanpa penambahan CMC dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kelarutan edible film pati sagu dengan dan tanpa CMC

Perlakuan	Kelarutan (%)
0% CMC	14.56 ^b
15% CMC	20.66 ^a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama berbeda nyata berdasarkan DMRT pada taraf $\leq 5\%$

Peningkatan kelarutan edible film berbasis pati sagu setelah penambahan CMC sebesar 15% menunjukkan adanya perubahan signifikan pada struktur internal film. Secara kimia, CMC merupakan turunan

selulosa bermuatan negatif akibat keberadaan gugus karboksimetil pada rantai polimernya. Gugus bermuatan negatif ini bersifat sangat hidrofilik sehingga mampu menarik molekul air dengan lebih kuat dibandingkan struktur pati murni. Mekanisme ini sejalan dengan temuan Rachtanapun et al. (2021) yang melaporkan bahwa penggunaan CMC dalam matriks biopolimer dapat meningkatkan kelarutan melalui peningkatan afinitas terhadap air akibat interaksi elektrostatis antara gugus karboksilat dan molekul air.

Selain itu, peningkatan kelarutan juga dipengaruhi oleh perubahan struktur mikro pada film. Penambahan CMC dapat melemahkan ikatan intermolekuler antara rantai amilosa dan amilopektin pada pati. Amilosa secara alami cenderung membentuk struktur heliks yang saling berasosiasi membentuk domain semikristalin yang relatif sulit larut. Ketika CMC berinteraksi dengan rantai amilosa, sebagian ikatan hidrogen antar rantai patah, sehingga struktur yang awalnya kompak berubah menjadi lebih longgar dan amorf. Xu et al. (2022) menjelaskan bahwa gangguan terhadap zona kristalin menyebabkan peningkatan mobilitas rantai polimer, sehingga memudahkan penetrasi air dan mempercepat proses pelarutan. Hal ini juga diperkuat oleh analisis teoritis yang menunjukkan bahwa polimer dengan struktur lebih amorf memiliki energi aktivasi pelarutan yang lebih rendah dibandingkan polimer semikristalin.

CMC juga berperan sebagai plasticizing extender yang melemahkan ikatan molekul antar polimer, terutama ketika digunakan bersamaan dengan plasticizer seperti gliserol. Menurut Sothornvit & Krochta (2000), hidrokoloid linear seperti CMC mampu mendorong terbentuknya jarak antarmolekul yang lebih besar dalam matriks pati. Ruang kosong (free volume) yang meningkat membuat molekul air lebih mudah berdifusi masuk ke dalam film, sehingga mempercepat proses disintegrasi dan pelarutan. Oleh karena itu, kombinasi sifat hidrofilik CMC, gangguan struktur kristalin pati, dan peningkatan free volume secara simultan menjelaskan mengapa kelarutan edible film meningkat signifikan dari 14,56% menjadi 20,66%.

Tingkat kelarutan edible film sebesar 20–21% menempatkan film ini pada kategori bahan kemasan yang cukup reaktif terhadap air, sehingga cocok untuk aplikasi pada kemasan bumbu instan. Pada aplikasi praktis, kemasan yang mudah larut merupakan nilai tambah yang signifikan, terutama untuk produk-produk seperti bumbu mie instan atau bumbu sup instan. Ketika film dicelupkan atau diseduh dalam air panas (80–100°C), struktur film segera mengalami hidrasi, menyebabkan pecahnya ikatan intermolekul dan pelepasan komponen film ke dalam larutan secara cepat. Dengan demikian, konsumen dapat menggunakan produk dengan lebih praktis tanpa perlu membuka atau membuang kemasan, sehingga mengurangi timbunan sampah plastik dan mendukung konsep eco-friendly packaging. Konsep ini juga sejalan dengan tren pangan berkelanjutan dan pengembangan edible packaging berbasis biopolimer (Siracusa, 2019).

Namun demikian, kelarutan tinggi juga dapat menjadi kendala dalam stabilitas penyimpanan. Edible film dengan tingkat kelarutan tinggi cenderung sensitif terhadap kelembapan lingkungan. Pada kondisi penyimpanan dengan kelembapan relatif >70%, film berpotensi mengalami pelembekan, lengket, atau bahkan deformasi. Hal ini dapat menurunkan kualitas mekanik film dan membuatnya sulit diaplikasikan pada skala industri. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan hidrofilisitas biasanya berbanding terbalik dengan stabilitas terhadap uap air (Fakhouri et al., 2015). Oleh karena itu, untuk produksi komersial, formulasi edible film masih perlu dimodifikasi agar lebih stabil selama penyimpanan namun tetap larut ketika digunakan.

Beberapa strategi yang dapat diterapkan meliputi penambahan komponen hidrofobik seperti lilin alami (beeswax, carnauba wax), asam lemak, atau minyak esensial yang berfungsi menciptakan lapisan penahan air pada permukaan film. Selain itu, teknologi double-coating atau bilayer film juga dapat digunakan untuk menghasilkan film dengan permukaan luar hidrofobik dan bagian dalam yang tetap larut. Alternatif lain adalah modifikasi pati melalui proses asetilasi atau oksidasi untuk menurunkan afinitasnya terhadap air namun tetap mempertahankan kemampuan larut pada kondisi panas. Dengan demikian, edible film berbasis pati sagu–CMC memiliki potensi komersial yang tinggi, namun diperlukan optimasi lanjutan untuk memastikan stabilitas produk selama penyimpanan.

pH

Nilai pH edible film menunjukkan kestabilan yang cukup baik, dengan nilai pH 6,60 untuk film tanpa CMC dan 6,80 untuk film dengan penambahan 15% CMC. Kenaikan pH sebesar 0,2 tergolong sangat kecil dan secara statistik tidak signifikan, menandakan bahwa penambahan CMC tidak memicu perubahan kimia besar dalam sistem pati. Kelarutan edible film pati sagu dengan dan tanpa penambahan CMC dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. pH edible film pati sagu dengan dan tanpa CMC

Perlakuan	pH
0% CMC	6.60 ^a
15% CMC	6.80 ^a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama berbeda nyata berdasarkan DMRT pada taraf $\leq 5\%$

Stabilitas pH ini menunjukkan bahwa tidak terjadi reaksi degradasi yang dapat memengaruhi struktur dasar biopolimer, seperti hidrolisis atau oksidasi, selama proses pembuatan film. Hal ini sejalan dengan

karakteristik CMC yang memiliki pH netral hingga sedikit basa, sehingga penambahannya hanya memberikan efek minor terhadap pH larutan film. García *et al.* (2014) menjelaskan bahwa stabilitas pH merupakan indikator penting dalam evaluasi edible film karena pH dapat memengaruhi warna, ketidakstabilan kimia, dan kompatibilitas dengan produk pangan.

pH netral pada edible film sangat penting dalam konteks keamanan pangan (food safety). pH yang terlalu rendah dapat memicu terjadinya reaksi hidrolisis, mempercepat kerusakan polimer, atau bahkan menyebabkan rasa asam pada produk yang dikemas. Sebaliknya, pH yang terlalu tinggi dapat menyebabkan perubahan rasa, reaksi pencoklatan non-enzimatis, atau ketidakstabilan nutrisi tertentu. Oleh karena itu, pH 6,6–6,8 dinilai sangat aman dan stabil untuk aplikasi kemasan pangan. Stabilitas pH ini juga menguntungkan untuk produk bumbu instan, yang umumnya memiliki komponen volatil seperti bawang putih, lada, atau minyak atsiri yang sensitif terhadap perubahan pH. Dengan pH yang stabil, edible film tidak memengaruhi karakteristik organoleptik bumbu dan mendukung keamanan konsumsi langsung. Nilai pH yang netral juga mengurangi risiko interaksi kimia dengan bahan pengemas lain atau peralatan proses, sehingga menambah kelayakan edible film untuk aplikasi industri.

Peran CMC dalam Peningkatan Sifat Edible Coating

Penambahan CMC dalam formulasi edible coating berbasis pati sagu memainkan peran penting dalam meningkatkan sifat fisik dan kimia film, terutama pada parameter kadar air, kelarutan, dan pH. Berdasarkan hasil penelitian, film dengan 15% CMC menunjukkan peningkatan kadar air dan kelarutan, serta perubahan pH yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara pati dan CMC memberikan efek langsung terhadap struktur dan karakteristik film.

Dari perspektif kadar air, sifat hidrofilik CMC yang memiliki gugus karboksimetil bermuatan negatif menyebabkan film lebih mudah mengikat dan mempertahankan molekul air. Gugus hidroksil dan karboksilat pada CMC berpotensi membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air maupun dengan gugus hidroksil pati, sehingga menciptakan matriks yang lebih terbuka dan mampu menahan air lebih besar dibandingkan film tanpa CMC. Fenomena ini sejalan dengan laporan Rachtanapun *et al.* (2021) yang menjelaskan bahwa meningkatnya kapasitas pengikatan air merupakan karakteristik umum hidrokoloid berbasis selulosa. Namun, meskipun kadar air meningkat, hasil penelitian menunjukkan bahwa film masih berada pada kategori stabil karena peningkatannya tidak menyebabkan deformasi struktur atau penurunan kekuatan secara signifikan.

Dalam hal kelarutan, CMC berperan dalam mengganggu ikatan intermolekuler antara rantai amilosa, sehingga menghasilkan struktur matriks yang lebih amorf. Struktur yang lebih amorf memungkinkan air panas untuk lebih mudah menembus, menyebabkan matriks film cepat terdisintegrasi pada suhu 80–100°C. Hal ini konsisten dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa film dengan 15% CMC memiliki kelarutan mencapai ± 20 –21%, yang tergolong ideal untuk aplikasi kemasan bumbu instan. Penambahan CMC juga meningkatkan free volume dalam film, mempercepat difusi air dan meningkatkan laju pelarutan (Xu *et al.*, 2022). Oleh karena itu, peran CMC tidak hanya memperbaiki homogenitas permukaan dan stabilitas mekanik, tetapi juga memberikan kontrol terhadap respons kelarutan film selama proses penggunaan.

Sementara itu, dari aspek pH, film menunjukkan perubahan yang sangat kecil dari 6,60 menjadi 6,80 setelah penambahan CMC. Hal ini mengindikasikan bahwa CMC tidak menyebabkan reaksi kimia berarti seperti hidrolisis atau oksidasi pada pati. Stabilitas pH ini sangat penting karena memastikan bahwa interaksi CMC–pati tidak mengubah keamanan konsumsi, kompatibilitas dengan bumbu yang dikemas, atau stabilitas komponen aktif dalam pangan (García *et al.*, 2014). Dengan demikian, penambahan CMC pada konsentrasi 15% menunjukkan keseimbangan yang baik antara peningkatan sifat fungsional film dan stabilitas kimia sistem.

Meskipun CMC memberikan banyak keuntungan fungsional, konsentrasi yang terlalu tinggi dapat meningkatkan sifat hidrofilik film secara berlebihan, sehingga menurunkan ketahanannya terhadap uap air dan membuat film rentan lembek pada kelembapan tinggi. Oleh karena itu, penentuan konsentrasi optimal seperti 15% menjadi penting untuk menjaga keseimbangan antara daya larut, stabilitas mekanik, kadar air, dan pH agar sesuai untuk aplikasi pangan.

Implikasi untuk Industri Pangan

Pengembangan edible coating dari pati sagu memberikan peluang besar untuk diaplikasikan secara luas. Hasil penelitian yang menunjukkan kadar air yang moderat, kelarutan tinggi, dan pH netral memiliki implikasi penting untuk aplikasi industri pangan. Edible coating berbasis pati sagu yang diformulasi dengan 15% CMC sangat potensial untuk digunakan pada kemasan bumbu instan karena mudah larut dalam air panas, aman dikonsumsi, dan tidak mengubah rasa atau komposisi kimia bumbu. Tingkat kelarutan 20–21% dinilai ideal untuk single-use edible packaging yang dirancang untuk larut saat proses penyajian makanan. Dengan demikian, film ini dapat menggantikan plastik konvensional pada kategori tertentu, sehingga mengurangi limbah dan memberikan nilai tambah pada keberlanjutan lingkungan.

Kadar air yang lebih tinggi akibat penambahan CMC juga memberikan fleksibilitas lebih pada film, membuatnya tidak mudah retak atau patah selama proses pengemasan. Permukaan yang lebih homogen dan

halus meningkatkan estetika visual film, sehingga cocok untuk produk-produk yang mengutamakan tampilan premium. Selain itu, pH netral memastikan bahwa edible coating kompatibel dengan bahan pangan seperti bumbu, sayuran segar, atau bahan makanan beraroma kuat yang sensitif terhadap perubahan pH. Stabilitas pH ini juga penting untuk mempertahankan kestabilan antioksidan dan komponen volatil dalam produk pangan.

Dari perspektif industri, penggunaan pati sagu sebagai bahan dasar edible film juga memberikan manfaat ekonomi dan sosial. Sagu adalah komoditas lokal Indonesia yang memiliki potensi besar sebagai bahan baku industri pengemasan ramah lingkungan. Pengembangan teknologi edible film berbasis sagu dapat memperkuat rantai pasok lokal dan mengurangi ketergantungan pada pati impor seperti pati jagung atau tapioka. Selain itu, pemanfaatan sagu sebagai bahan biopolimer membantu mempercepat transisi industri pangan menuju penggunaan bahan kemasan berkelanjutan dan biodegradable. Hal ini mendukung upaya nasional untuk mengurangi limbah plastik, memperkuat ketahanan pangan, serta mendorong inovasi berbasis sumber daya lokal..

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi dan analisis komprehensif, dapat disimpulkan bahwa penambahan CMC memberikan dampak positif yang signifikan terhadap karakteristik fisik dan kimia edible film berbasis pati sagu. CMC meningkatkan ketebalan film, memperbaiki homogenitas permukaan, mengurangi porositas, serta menghasilkan film dengan karakteristik visual yang lebih baik. Perubahan nilai L^* , a^* , dan b^* masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi pangan, sehingga penambahan CMC tidak mengganggu fungsi estetika film. Selain itu, struktur permukaan yang lebih padat dan stabil membantu meningkatkan sifat mekanik dan kemampuan barrier film. Dengan demikian, formulasi *edible coating* berbasis pati sagu dan CMC merupakan solusi pengemasan berkelanjutan yang potensial untuk diaplikasikan di berbagai sektor industri pangan modern.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Perkebunan Pelalawan Indonesia atas dukungan fasilitas laboratorium yang diberikan selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Fakhouri, F. M., Martelli, S. M., Caon, T., Velasco, J. I., & Mei, L. H. I. (2015). Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated red crimson grapes. *Food Packaging and Shelf Life*, 5, 68–75.
- García, M. A., Gómez-Guillén, M. C., & López-Caballero, M. E. (2014). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Food Science and Technology International*, 20(4), 209–222.
- Rachtanapun, P., Klunklin, W., Thongdang, T., & Tongdeesoontorn, W. (2021). Carboxymethyl cellulose-based films: Properties, applications, and future trends. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, 1600–1612.
- Siracusa, V. (2019). Food packaging permeability behaviour: A report. *Food Packaging and Shelf Life*, 17, 100–110.
- Sothornvit, R., & Krochta, J. M. (2000). Plasticizers in edible films and coatings. In J. M. Krochta, E. A. Baldwin & M. O. Nisperos-Carriedo (Eds.), *Edible coatings and films to improve food quality* (pp. 41–68). CRC Press.
- Xu, Y., Kim, J., & Hanna, M. A. (2022). Effect of hydrocolloid addition on starch-based biodegradable films: A structural and mechanical perspective. *Carbohydrate Polymers*, 291, 119512.