

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemasan bahan pangan umumnya menggunakan bahan berbasis polietilena atau ko-polimer dari bahan bakar fosil yang membutuhkan waktu ratusan tahun untuk terurai yang telah digunakan selama 50 tahun (Rosida, 2019; Mansoor *et al.*, 2022). Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN) mencatat bahwa total sampah tahun 2024 mencapai 35.313.107,58-ton dan 19,69% (sekitar 6,9 juta ton) diantaranya merupakan sampah plastik. Tetapi, dari total sampah tersebut, tercatat hanya 47,83% yang dikelola oleh pemerintah (SIPSN, 2024). Sisa-sisa sampah plastik yang tidak dikelola akan mencemari lingkungan sehingga berdampak negatif terhadap ekosistem (Fayshal *et al.*, 2023). Penggunaan plastik di berbagai sektor industri mendorong produksi plastik yang tinggi. Menurut Fayshal *et al.* (2023), 40,5% plastik dihasilkan dari sektor pengemasan. Data tersebut membuktikan penggunaan kemasan berbasis bahan bakar fosil akan meningkatkan total limbah plastik sehingga diperlukan langkah preventif dan inovatif sebagai substitusi plastik konvensional.

Berbagai macam metode telah dikembangkan hingga saat ini untuk mengatasi masalah tersebut, salah satunya adalah dengan menggunakan *edible film*. *Edible film* merupakan material menyerupai lembaran plastik atau kemasan berbahan dasar dari organik material seperti polisakarida, lipid, dan protein yang dapat dikonsumsi (Picauly *et al.*, 2024). Penelitian mengenai *edible film* telah banyak dikembangkan hingga saat ini dengan menggunakan campuran dari berbagai bahan serta metode pembuatan yang berbeda-beda. Keunggulan dari *edible film* dibandingkan dengan kemasan konvensional, yaitu sifatnya yang ramah lingkungan, terbuat dari bahan yang terbarukan, serta dapat dikonsumsi (Pirsa & Hafezi, 2023). Tren saat ini dalam industri kemasan pangan, penggunaan *edible film* tidak hanya bertujuan untuk mengurangi penggunaan plastik konvensional sebagai bahan pengemas, tetapi juga dapat digunakan sebagai kemasan instan. Pembuatan *edible film* sebagai kemasan instan dapat dibuat dari beberapa bahan baku seperti pati.

Pati merupakan hasil biosintesis tanaman yang disimpan pada bagian tubuh tanaman seperti batang, buah, akar, dan bagian lainnya yang berguna sebagai cadangan makanan untuk tanaman tersebut (Wang *et al.*, 2023). Pati disusun oleh unit-unit glukosa ($C_6H_{12}O_6$) yang dihubungkan oleh ikatan glikosida pada atom oksigen C1. Pada bagian ujung struktur dari pati keduanya memiliki sifat yang berbeda, yaitu ujung kiri memiliki sifat non pereduksi (gugus OH terikat pada atom karbon dan ujung kanan memiliki sifat pereduksi akibat dari unsur OH yang tidak diikat (anomer) (Laga, 2021). Penyusun utama pati adalah amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan unit-unit glukosa pada rantai lurus yang dihubungkan oleh ikatan α -1-4 glikosida dan memiliki sifat tidak larut dalam air, sedangkan amilopektin merupakan unit-unit glukosa yang memiliki rantai lurus ikatan α -1-4 glikosida dan

rantai cabang yang dihubungkan oleh ikatan α -1-6 glikosida dan bersifat larut dalam air (Sari *et al.*, 2020). Berdasarkan sumbernya, pati terbagi menjadi tiga, yaitu pati dari umbi (kentang, ubi), pati dari biji dan buah (gandum, beras, pisang, dan sebagainya), serta pati dari batang seperti sawit dan sagu (Laga, 2021).

Sagu dapat dimanfaatkan sebagai pangan pokok dengan berbagai bentuk olahan, khususnya pada makanan tradisional seperti papeda, kapurung, sagu bakar, dan lain-lain. Selain itu, pati sagu juga dimanfaatkan sebagai bahan pengisi, pengental, stabilisator pada berbagai olahan pangan komersial seperti roti, biskuit, mi, sohon, kerupuk, bakso dan sebagainya (Rosida, 2019). Sagu banyak dijumpai di Asia Tenggara, secara alami tumbuh subur di negara-negara seperti Indonesia, Malaysia, Papua Nugini, Filipina, Thailand, dan Kepulauan Solomon (Chua *et al.*, 2022; Rosida, 2019). Penyebarannya di Indonesia sendiri banyak dijumpai pada daerah Riau, Sulawesi, hingga Papua. Tumbuh optimal pada lahan basah dengan ketinggian sekitar 400 hingga 1000 MDPL (Suroto *et al.*, 2023). Berdasarkan data Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian (2022) produksi sagu di Indonesia sekitar 385,905 ton per tahun 2022. Kadar pati dalam sagu berkisar 95% dengan rasio amilosa sebanyak 23% dan amilopektin sebanyak 73% (Rahmawati *et al.*, 2019). Karakteristik dari pati sagu, yaitu memiliki pasta yang keras dan tidak bening, sangat lengket dan tidak tahan terhadap asam, granula pati sagu berbentuk oval, elips, beberapa bulat lonjong utuh, dan sebagian (granula yang lebih besar) cenderung tampak kerucut dengan ujung datar, dengan ukuran rata-rata sekitar 40 μm dengan rentang antar 15-65 μm (Gaspersz *et al.*, 2020). Titik gelatinasi pati sagu berkisar antara 70-72°C, letak hilumnya tidak terpusat dan sifat polarisasinya (*birefringence*) tidak beraturan dengan bentuk garis bersilangan (Rosida, 2019).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Picauly *et al.*, (2024), *edible film* yang dihasilkan dari pati sagu memiliki ketebalan 0,076 mm, daya kuat tarik 2,31 mPa, Laju Transmisi Uap Air (LTUA) 13,63 %, dan kelarutan 45,32 %. Berdasarkan hasil tersebut, tingkat kelarutan yang diperoleh masih tergolong rendah, namun pada kekuatan mekanis yang dimiliki telah memenuhi standar dari *Japanese Industrial Standard* (JIS), yaitu ketebalan maksimal 0,25 mm, daya kuat tarik minimum 0,392 mPa, dan LTUA maksimal 10 g/m²/d (Warkoyo *et al.*, 2022). Kelarutan dipengaruhi oleh kekuatan interaksi antar molekul di dalam *edible film*, semakin kuat interaksinya maka kelarutan akan semakin menurun. Oleh sebab itu, diperlukan metode untuk memperbaiki karakteristik tersebut. Salah satu yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan pemlastis seperti gliserol atau sorbitol (Laga, 2021). Selain itu, hidrolisis dapat dilakukan untuk mengurai sebagian ikatan dari molekul *edible film* sehingga kekuatan interaksi antar molekul dapat menurun. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ghizdareanu *et al.*, (2023) hasil dari hidrolisis pati jagung menghasilkan *edible film* dengan sifat mekanis yang lebih baik. Selain itu, juga disebutkan bahwa hidrolisis menyebabkan peningkatan penyerapan air, hal ini terjadi karena struktur granula pati lebih terbuka membuatnya lebih larut dalam air (Ghizdareanu *et al.*, 2023). Hal ini menjadi poin penting terhadap *edible film* sebagai kemasan primer pada produk instan saji karena dapat dimanfaatkan sebagai

kemasan instan yang dapat larut dengan cepat dalam air (Julyaningsih *et al.*, 2025). Namun, tingkat kelarutan yang terlalu tinggi juga dapat memperpendek waktu simpan baik pada kemasan dan produk yang dikemas, sehingga diperlukan bahan pengisi dan stabilisator serta emulsi contohnya *carboxymethyl cellulose*, gum xantan, dan soya lesitin.

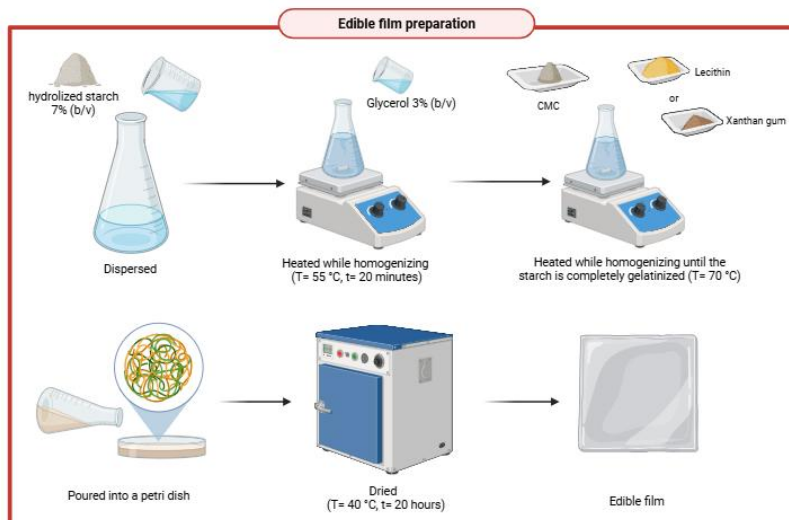
Carboxymethyl cellulose atau CMC merupakan turunan selulosa yang diperoleh melalui proses karboksimetilasi, yaitu penggantian sebagian gugus hidroksil (-OH) pada rantai selulosa dengan gugus karboksimetil (-CH₂-COOH) (Baghel *et al.*, 2021). Proses modifikasi tersebut menghasilkan polimer anionik yang larut dalam air dan memiliki kemampuan membentuk larutan kental serta stabil pada berbagai kondisi pH dan suhu (Pirsa & Hafezi, 2023). Secara fisik, CMC berbentuk bubuk putih yang bersifat hidrofilik dan memiliki kemampuan yang tinggi dalam mengikat air (Baghel *et al.*, 2021). Sifat tersebut menjadikan CMC banyak digunakan dalam berbagai industri, termasuk industri pangan, farmasi, dan kosmetik. Pada industri pangan, CMC berperan sebagai pengental (*thickener*), penstabil (*stabilizer*), serta pengemulsi (*emulsifier*) yang mampu meningkatkan kekentalan, homogenitas, dan kestabilan produk seperti saus, minuman, es krim, serta produk roti (Pirsa & Hafezi, 2023). CMC dalam pembuatan *edible film* secara umum digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) yang berfungsi untuk meningkatkan homogenitas larutan pembentuk film, memperbaiki sifat mekanis seperti kekuatan tarik dan elastisitas, meningkatkan transparansi, serta mengurangi permeabilitas terhadap gas dan uap air (Yildirim-Yalcin *et al.*, 2022). CMC juga dikenal sebagai bahan pengisi (*filler*) karena dapat memperkuat matriks polimer melalui pembentukan ikatan hidrogen dengan komponen lain seperti pati, gum, atau protein, sehingga menghasilkan *film* yang lebih kompleks (Indriani *et al.*, 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Smith *et al.*, (2023) membuktikan bahwa *edible film* CMC dengan tambahan propilen glikol mampu menghambat pertumbuhan tungau (*Tyrophagus putrescentiae*) pada daging ham kering. Hasil analisis sensori juga menunjukkan bahwa perlakuan *edible film* CMC tidak mengubah sifat sensori ham yang diberi perlakuan dibandingkan dengan kontrol yang tidak diberi perlakuan (Smith *et al.*, 2023). Penelitian lain yang dilakukan oleh Tan *et al.*, (2024) menghasilkan *edible film* dengan campuran CMC dan pati tapioka menghasilkan ketebalan 0,037 mm, densitas 0,0039 g/cm², LTUA 0,031 g/h, kadar air 24,42 %, dan kuat tarik 52,17 mPa. Tan *et al.*, (2024) juga menambahkan bahwa *edible film* ini memiliki struktur padat dan tidak berpori, yang menunjukkan bahwa komponen polimernya kompatibel satu sama lain. Penelitian yang dilakukan oleh Julyaningsih *et al.*, (2025), memperoleh *edible film* dengan pati sagu 7% ditambah dengan CMC 1% menghasilkan film dengan kuat tarik dan ketebalan yang tinggi.

Gum xantan merupakan polisakarida alami hasil fermentasi karbohidrat oleh bakteri *Xanthomonas campestris* dengan rumus kimia (C₃₅H₄₉O₂₉)_n (Vaishnav & Choudhary, 2021). Gum xantan memiliki struktur utama berupa rantai polimer β-D-glukosa dengan cabang yang mengandung manosa dan asam glukuronat (Patel *et al.*, 2020). Secara fisik, gum xantan berbentuk serbuk, berwarna putih dengan sedikit kekuningan, sangat larut dalam air serta memiliki kemampuan yang baik dalam

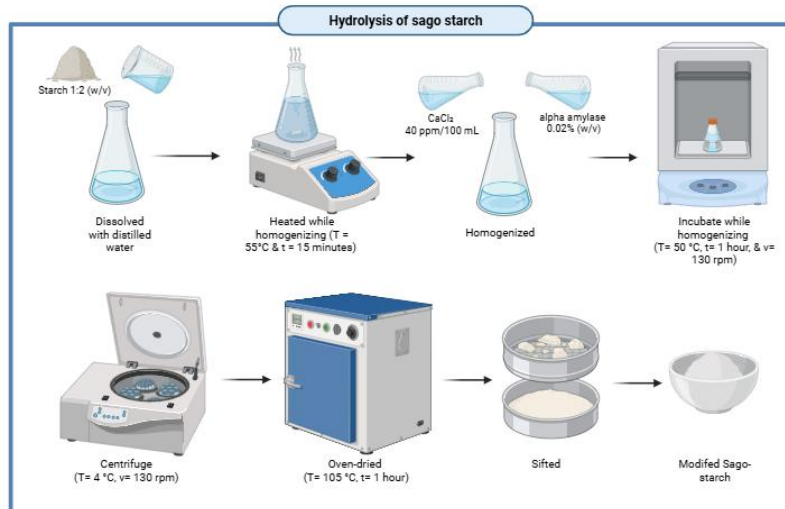
membentuk larutan kental (Vaishnav & Choudhary, 2021). Salah satu keunggulan utama gum xantan adalah kestabilan viskositasnya terhadap perubahan pH, suhu, serta keberadaan ion garam, sehingga sangat banyak digunakan di berbagai industri, termasuk pangan, farmasi, dan kosmetik (Patel *et al.*, 2020). Gum xantan dalam industri pangan secara umum digunakan sebagai pengental (*thickening agent*), penstabil (*stabilizer*), serta pembentuk tekstur (*texturizer*) yang mampu meningkatkan konsistensi dan kestabilan sistem dispersi maupun emulsi pada produk seperti saus, minuman, dan es krim (Vaishnav & Choudhary, 2021). Gum xantan dalam pembuatan *edible film* memiliki peran sebagai agen emulsi untuk mengikat polimer matriks agar dapat memperbaiki sifat mekanik dan struktural film (Baety *et al.*, 2024). Penambahan gum xantan ke dalam matriks polimer seperti pati dapat meningkatkan kekuatan tarik dan elastisitas film karena gum xantan mampu membentuk jaringan tiga dimensi melalui ikatan hidrogen antarmolekul (Patel *et al.*, 2020). Selain itu, gum xantan berfungsi sebagai agen penstabil yang mencegah terjadinya pemisahan fase dalam larutan pembentuk film (*film-forming solution*), sehingga menghasilkan lapisan yang lebih homogen dan seragam (Barreiros *et al.*, 2022). Kombinasi gum xantan dengan bahan hidrofilik lain seperti CMC juga dapat meningkatkan ketahanan mekanik serta memperbaiki sifat barrier terhadap gas dan uap air (Bandyopadhyay *et al.*, 2021). Namun, penggunaan gum xantan secara berlebihan dapat menyebabkan film menjadi terlalu kental dan sulit dicetak, serta menurunkan tingkat transparansi film akibat peningkatan kekeruhan (Barreiros *et al.*, 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Fan *et al.*, (2021) menemukan bahwa *edible film* yang terdiri dari pektin, natrium alginat, dan gum xantan dapat mencapai nilai kekuatan tarik 29,65 mPa, perpanjangan putus 19,02% dan laju transmisi uap air $18,12 \times 10^{-11} \text{ g/(m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{pa)}$. Penelitian lain yang dilakukan oleh Olowolafe *et al.*, (2024) membuktikan bahwa *edible film* dari gum xantan memiliki sifat mekanik dan sifat penghalang yang baik, namun kelarutannya tinggi yaitu sekitar 43,44% hingga 44,12%.

Soya lesitin merupakan suatu campuran fosfolipid alami yang diperoleh melalui proses pemurnian dan fraksinasi minyak kedelai (*Glycine max*) (Al Amin *et al.*, 2023). Komponen utama penyusun lesitin meliputi fosfatidilkolin, fosfatidiletanolamin, fosfatidilinositol, serta sejumlah kecil trigliserida dan glikolipid. Fosfolipid tersebut memiliki struktur amfifilik yang terdiri atas gugus kepala hidrofilik yang mengandung fosfat dan dua rantai asam lemak yang bersifat hidrofobik sehingga lesitin mampu menurunkan tegangan antarmuka larutan minyak-air untuk menghasilkan sistem emulsi pada suatu larutan (Gutiérrez-Méndez *et al.*, 2022). Secara umum, soya lesitin tersedia dalam bentuk cairan kental berwarna kuning kecokelatan atau granula yang larut dengan baik dalam minyak dan memiliki kelarutan terbatas dalam air sebelum proses hidrasi (Al Amin *et al.*, 2023). Lesitin dimanfaatkan pada bidang industri pangan dan farmasi sebagai agen pengemulsi (*emulsifier*), penstabil, *wetting agent*, serta agen peningkat tekstur pada produk seperti coklat, margarin, roti, es krim, dan minuman berprotein (Gutiérrez-Méndez *et al.*, 2022). Pada pembuatan *edible film* lesitin digunakan sebagai surfaktan untuk mengatur tegangan antar muka antara senyawa dalam larutan *edible film* sehingga

dapat menghasilkan matriks yang homogen. Selain itu, lesitin juga mampu meningkatkan fleksibilitas atau kemampuan regangan *edible film* melalui penurunan interaksi intramolekul yang antara rantai polimer (Socha *et al.*, 2024). Penelitian yang dilakukan oleh Socha *et al.*, (2024) menemukan bahwa lesitin mampu menurunkan titik leleh *edible film* hingga 20°C, menurunkan kecerahan film, menurunkan kekuatan tarik dari 172,3 hingga 108,5 mPa. Penelitian lain yang dilakukan oleh Julyaningsih *et al.*, (2025) menyatakan bahwa penggunaan lesitin 1% dalam campuran *edible film* dengan pati sagu 7% dengan gliserol 3% menghasilkan film yang larut lebih cepat dalam air. Skema proses hidrolisis pati sagu metode enzimatik dan proses pembuatan *edible film* dapat dilihat pada gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Proses modifikasi pati sagu metode enzimatik



Gambar 2. Proses pembuatan *edible film*

1.2 Rumusan Masalah

Sagu memiliki potensi besar sebagai bahan baku *edible film* karena bersifat terbarukan dan ketersediaannya melimpah, namun secara alami masih memiliki keterbatasan karakteristik fungsional. Pati sagu cenderung memiliki kelarutan yang rendah, interaksi antarmolekul yang kuat akibat ikatan hidrogen yang cenderung kuat, sehingga membatasi fleksibilitas dan kecepatan larut *edible film*, khususnya untuk aplikasi sebagai kemasan instan. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi pati, salah satunya melalui proses hidrolisis, untuk menurunkan kekuatan interaksi antarmolekul sehingga meningkatkan kelarutan. Namun, modifikasi tersebut berpotensi meningkatkan penyerapan air secara berlebihan yang dapat menurunkan stabilitas dan daya simpan kemasan. Sehingga, untuk mengatasi kekurangan tersebut, diperlukan penambahan bahan tambahan seperti *carboxymethyl cellulose* (CMC), gum xantan, dan soya lesitin yang berfungsi sebagai pengisi, penstabil, pengemulsi, serta penguat matriks polimer. Namun, diperlukan penentuan kombinasi dan konsentrasi bahan tambahan yang tepat agar diperoleh karakteristik *edible film* yang sesuai. Oleh karena itu, diperlukan formulasi yang tepat dalam pembuatan *edible film* sehingga karakteristik yang dihasilkan memenuhi kriteria untuk digunakan sebagai bahan pengemas.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis karakteristik fisik *edible film* berbasis pati sagu hasil modifikasi enzimatis dengan penambahan CMC dengan emulsi gum xantan dan lesitin.
2. Untuk menganalisis perlakuan terbaik dari formulasi *edible film* pati sagu modifikasi enzimatis dengan penambahan CMC dengan emulsi gum xantan dan lesitin.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini, yaitu dapat memberikan informasi bagi pembaca maupun peneliti untuk membuat *edible film* dari pati sagu dengan karakteristik sesuai dengan formulasi dari bahan yang ditambahkan dalam *edible film*.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan September hingga November 2025, bertempat di Balai Besar Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Hasil Perkebunan, Mineral Logam dan Maritim, Kementerian Perindustrian, Kota Makassar. Laboratorium Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Maros. Laboratorium Kimia Analisa dan Pengawasan Mutu Pangan dan Laboratorium Bioteknologi Pangan, Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin, Makassar.

2.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu ayakan, batang pengaduk, *bulb*, cawan petri, desikator, erlenmeyer, gelas kimia, gelas ukur, *hot plate* (*Sartorius*), inkubator shaker (*Wisd*), kaca arloji, mikropipet (*Dragonlab*), neraca analitik (*Shimadzu*), *oven blower* (*Faithful*), oven (*Memmert*), pipet volume, *Scanning Electron Microscope* (SEM), sendok tanduk, sentrifus, termometer, *thickness gauge*, *thinwall*, dan *Universal Testing Machine* (UTM).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu akuades, *aluminium foil*, α -amilase, CMC, gliserol, gum xantan, kalsium klorida (CaCl_2), kertas saring, lesitin, plastisin, sagu (Merpati 88), dan silica gel.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Hidrolisis pati sagu

Pati sagu yang diperoleh dari toko lokal ditimbang kemudian disuspensikan dengan akuades dengan perbandingan 1:2 (b/v) lalu dihomogenkan. Suspensi pati kemudian dipanaskan hingga mencapai suhu 55°C selama 15 menit. Setelah itu, suhunya diturunkan hingga mencapai 50°C lalu ditambahkan dengan CaCl_2 sebanyak 400 ppm/L. Suspensi kemudian dihomogenkan lalu ditambahkan enzim α -amilase sebanyak 0.02% (b/v). Suspensi diinkubasi pada suhu 50°C sambil dihomogenkan (130 rpm) selama 1 jam. Suspensi kemudian disentrifus pada suhu 4°C dengan kecepatan 7000 rpm selama 15 menit. Endapan kemudian dipisahkan dengan supernatannya, setelah itu pati dikeringkan pada suhu 105°C selama 1 jam. Pati kemudian diayak dan disimpan dalam wadah kering dan tertutup untuk kemudian digunakan pada pembuatan *edible film*.

2.3.2 Pembuatan *edible film*

Larutan CMC dan emulsi (gum xantan dan lesitin) terlebih dahulu disiapkan hingga diperoleh larutan homogen. Setelah itu dimasukkan pati yang telah dihidrolisis sebanyak 7% (b/v) kemudian ditambahkan akuades lalu dihomogenkan. Larutan kemudian dipanaskan sambil dihomogenkan hingga mencapai suhu 50°C. Setelah

itu, ditambahkan gliserol sebanyak 3% (v/v). Kemudian, larutan dinaikkan suhunya hingga mencapai 55°C dan dipertahankan selama 20 menit sambil dihomogenkan. Selanjutnya, suhu dinaikkan ke 70°C hingga seluruh pati mengalami gelatinasi lalu larutan dituang pada cawan petri (90x15 mm) lalu diratakan. Kemudian dikeringkan dengan *oven blower* pada suhu 40°C selama 20 jam. Film yang telah terbentuk kemudian disimpan dalam wadah *thinwall* berisi *silica gel* hingga dilakukan pengamatan.

2.3.3 Desain penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan hidrolisis terhadap pati sagu. Tahap ini bertujuan untuk memotong ikatan rantai polimer pati menjadi lebih pendek. Selanjutnya, dilakukan pembuatan *edible film* menggunakan pati yang telah dihidrolisis. Kemudian, dilakukan uji ketebalan, kelarutan, Laju Transmisi Uap Air (LTUA), kuat tarik, dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dua faktor dengan tiga kali ulangan ($n = 3$). Faktor pertama adalah **CMC (A)** dan faktor kedua adalah bahan pengemulsi yaitu **gum xantan (B1)** dan **lesitin (B2)**. Adapun matriks dari tiap kombinasi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Matriks kombinasi perlakuan CMC dengan gum xantan dan CMC dengan lesitin

Emulsi \ CMC	CMC	CMC 0,1% (A1)	CMC 0,3% (A2)
Gum Xantan 0,3% (B1 ¹)		A1B1 ¹	A2B1 ¹
Gum Xantan 0,5% (B1 ²)		A1B1 ²	A2B1 ²
Gum Xantan 0,7% (B1 ³)		A1B1 ³	A2B1 ³
Lesitin 0,3% (B2 ¹)		A1B2 ¹	A2B2 ¹
Lesitin 0,5% (B2 ²)		A1B2 ²	A2B2 ²
Lesitin 0,7% (B2 ³)		A1B2 ³	A2B2 ³
Lesitin 0,7% (B2 ³)		A1B2 ³	A2B2 ³
Emulsi 0% (Kontrol)		CMC 0% (Kontrol)	

2.3.4 Parameter penelitian

2.3.4.1 Ketebalan

Ketebalan *edible film* diukur menggunakan mikrometer sekrup dengan tingkat presisi 0,01 mm. *Edible film* diukur pada lima titik berbeda kemudian nilai ketebalan yang diperoleh dirata-ratakan.

2.3.4.2 Kuat Tarik

Kuat tarik diukur menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Sampel *edible film* disiapkan dengan ukuran 2 × 5 cm. Kemudian sampel dijepit pada alat UTM, lalu ditarik dengan kekuatan terukur hingga sampel putus. Nilai gaya maksimum yang diperlukan untuk merobek film, yang diukur selama proses

berlangsung, ditampilkan pada alat UTM. Setelah itu, nilai kuat tarik pada sampel dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kuat tarik} = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

F = Gaya maksimum

A = Luas penampang film

2.3.4.3 Kelarutan

Sampel *edible film* disiapkan dengan ukuran 2×2 cm, lalu ditimbang (W_1). Kemudian sampel dikeringkan pada suhu 105°C selama 24 jam. Sampel kemudian disuspensikan dalam akuades 20 mL, lalu didiamkan selama 24 jam. Sampel kemudian disaring menggunakan kertas saring yang telah diketahui bobotnya. Setelah itu, sampel yang tersaring pada kertas saring dipanaskan pada suhu 105°C selama 24 jam. Sampel kemudian ditimbang sebagai bobot akhir (W_2). Setelah itu, nilai kelarutan pada sampel dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kelarutan} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \% \quad (2)$$

Keterangan:

W_1 = Berat sampel awal

W_2 = Berat sampel akhir

2.3.4.4 Laju Transmisi Uap Air (LTUA)

Sampel *edible film* dipotong menyesuaikan diameter penutup wadah. Setelah itu, ditambahkan akuades kedalam wadah sebanyak 5 mL. Kemudian, sampel direkatkan dengan plastisin pada tutup wadah hingga tidak terdapat celah. Wadah yang telah ditutup dengan sampel kemudian ditimbang (W_1). Setelah itu, wadah disimpan dalam desikator berisi *silica gel* selama 24 jam. Selanjutnya, wadah ditimbang (W_2) lalu dihitung LTUA sampel dengan rumus berikut:

$$\text{LTUA} = \frac{W_1 - W_2}{t \times A} \quad (3)$$

Keterangan:

W_1 = Berat awal (gram)

W_2 = Berat akhir (gram)

t = Lama waktu pengujian (jam)

A = Luas permukaan sampel (m^2)

2.3.4.5 Desirability Function Analysis (DFA)

Desirability Function Analysis (DFA) dimulai dengan memasukkan data dari setiap parameter (kuat tarik, ketebalan, laju transmisi uap air, dan kelarutan). Kemudian menetapkan tujuan untuk masing-masing respon (dimaksimalkan, diminimalkan, atau ditargetkan pada nilai tertentu). Setelah itu, ditentukan batas bawah, batas atas, dan/atau nilai target yang dianggap ideal berdasarkan *Japanese Industrial Standard* (JIS). Data hasil pengujian kemudian dimasukkan ke dalam

model matematika untuk melihat nilai setiap respon, lalu setiap respon tersebut dikonversi menjadi nilai *Individual Desirability* (d_i) dengan rentang 0 sampai 1 (nilai 0 menunjukkan kondisi sangat tidak diinginkan dan nilai 1 menunjukkan kondisi paling optimal). Selanjutnya, nilai *individual desirability* digabungkan menjadi satu nilai *Composite Desirability Index* (CD). Nilai CD yang paling mendekati 1 dianggap sebagai kondisi optimum. Adapun rumus yang digunakan, yaitu:

$$d_i = \begin{cases} 0 & y_i < y_{\min} \\ \left(\frac{y_i - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \right)^s, & y_{\min} \leq y_i \leq y_{\max}, s \geq 0 \\ 1 & y_i > y_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

$$d_i = \begin{cases} 1 & y_i < y_{\min} \\ \left(\frac{y_i - y_{\max}}{y_{\min} - y_{\max}} \right)^r, & y_{\min} \leq y_i \leq y_{\max}, r \geq 0 \\ 0 & y_i > y_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

$$CD = (d_1^{w1} \times d_2^{w2} \times d_3^{w3} \times \dots)^{1/k} \quad (6)$$

Keterangan:

d_i = *Individual Desirability*

y_i = Nilai respon parameter

$y_{\max}$ = Nilai terbesar respon parameter

$y_{\min}$ = Nilai terkecil respon parameter

r = Bobot respon parameter (= 0,5)

CD = *Composite Desirability*

d_1^{w1} = Nilai *Individual Desirability*

k = Jumlah nilai *Individual Desirability*

2.3.4.6 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian SEM dilakukan dengan memotong *edible film* berukuran 1×1 cm, kemudian menempelkannya pada *holder* menggunakan perekat dua sisi. Sampel tersebut selanjutnya dilapisi emas di bawah kondisi vakum. Lalu, sampel dimasukkan ke dalam perangkat SEM untuk memperoleh topografi, kemudian diamati pada berbagai tingkat perbesaran yaitu 50×, 200×, 500×, dan 1000×.

2.3.4.7 Analisis Data

Analisis data untuk parameter ketebalan, kelarutan, laju transmisi uap air, dan kuat tarik akan dilakukan dengan metode *Two-way ANOVA* dan dilanjutkan dengan uji lanjut jika berbeda nyata menggunakan metode Duncan pada masing-masing emulsi dengan tiga replikasi ($n = 3$) menggunakan *software* IBM SPSS Statistic 26. Setelah itu, dilakukan uji *Desirability Function Analysis* (DFA) menggunakan *software* Microsoft Excel untuk mencari perlakuan terbaik pada masing-masing emulsi yang kemudian akan digunakan pada pengamatan topografi menggunakan SEM.