

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baterai merupakan perangkat penyimpanan energi yang tersusun atas satu atau lebih sel elektrokimia yang terhubung secara elektrik dan memiliki terminal untuk memasok energi listrik. Energi listrik dihasilkan melalui reaksi kimia yang berlangsung di dalam sel baterai. Berdasarkan proses kimianya, baterai dibedakan menjadi dua jenis, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Kedua jenis baterai tersebut memiliki fungsi yang sama, yakni mengubah energi kimia menjadi energi listrik, namun berbeda dalam kemampuan pengisian ulang. Baterai primer bersifat sekali pakai, sedangkan baterai sekunder dapat diisi ulang berkali-kali. Meskipun baterai primer lebih murah dan mudah diperoleh, baterai sekunder lebih ramah lingkungan serta lebih ekonomis dalam jangka panjang karena dapat digunakan berulang kali (Suyitno dan Aritonang, 2024).

Perkembangan teknologi elektrokimia yang semakin meluas, membuat sistem penyimpanan energi berbasis baterai mengalami peningkatan penggunaan yang cukup signifikan pada berbagai sektor, seperti perangkat elektronik, transportasi listrik, dan penyimpanan energi terbarukan. Peningkatan kebutuhan terhadap baterai mendorong pengembangan material yang memiliki kinerja tinggi, efisiensi energi yang baik, serta tingkat keselamatan yang tinggi. Selain komponen utama seperti elektroda dan elektrolit, sistem baterai juga memerlukan material pendukung yang berfungsi sebagai isolator atau bahan dielektrik. Material dielektrik berperan sangat penting dalam menjaga kestabilan medan listrik dan mencegah terjadinya hubungan pendek antar komponen (Cholewinski et al., 2021). Secara umum, material dielektrik berfungsi sebagai isolator listrik yang mampu menyimpan energi melalui mekanisme polarisasi, menekan kebocoran arus, serta meningkatkan stabilitas sistem kelistrikan. Pada sistem baterai, material dielektrik berfungsi sebagai pemisah (separator) antar elektroda sekaligus pengendali medan listrik internal, yang berperan mencegah hubungan arus pendek, menjaga kestabilan distribusi muatan, serta meningkatkan keselamatan dan kinerja baterai (Ellison et al., 2017).

Saat ini, material dielektrik yang paling umum digunakan pada baterai adalah *polivinilidena fluorida* (PVDF). *Polivinilidena fluorida* salah satu bahan polimer berkualitas tinggi yang banyak digunakan dalam industri kimia, kelistrikan, dan konstruksi karena sifatnya yang tahan terhadap korosi, suhu tinggi, dan bahan kimia. Meskipun PVDF memiliki sifat mekanik dan kimia yang sangat baik, tetapi memiliki beberapa kelemahan yang cukup serius. Salah satu kelemahan PVDF adalah ketergantungan pada pelarut organik beracun seperti *N-methyl-2-pyrrolidone* (NMP), yang tidak hanya berdampak negatif terhadap lingkungan tetapi juga meningkatkan biaya produksi. Selain itu, sifat nonpolar dan hidrofobik PVDF dapat memengaruhi interaksi partikel, seperti yang ditemukan dalam studi pemisahan anoda-katoda baterai bekas, yang menyebutkan kesulitan dalam proses pemisahan akibat interaksi hidrofobik PVDF (Setyawan, 2023).

Dari sisi ekonomi, harga PVDF di Indonesia relatif tinggi karena sebagian besar masih bergantung pada impor. Menurut penelitian Suryanto et al. (2021), harga impor *polyvinylidene fluoride* (PVDF) di Indonesia cenderung lebih tinggi dibandingkan

dengan bahan polimer lainnya karena tingginya biaya produksi dan teknologi yang dibutuhkan untuk memproduksi PVDF. Harga impor PVDF di Indonesia dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk fluktuasi nilai tukar mata uang, biaya logistik, dan permintaan pasar global. Selain itu, ketergantungan Indonesia pada impor PVDF dari negara-negara seperti China, Jepang, dan Amerika Serikat juga berkontribusi pada tingginya harga, terutama karena adanya tarif impor dan biaya transportasi. Studi tersebut juga menyoroti bahwa peningkatan permintaan PVDF di sektor energi terbarukan, seperti dalam pembuatan baterai, turut mendorong kenaikan harga impor. Data BloombergNEF dan pasar global Alibaba menunjukkan bahwa harga PVDF untuk aplikasi baterai berada pada kisaran US\$ 50–90 per kilogram. Kondisi ini mendorong pengembangan material alternatif yang lebih ramah lingkungan, ekonomis, dan berbasis sumber daya lokal. Oleh karena itu, dilakukan upaya untuk mengembangkan bahan material dielektrik yang lebih aman, lebih ramah lingkungan dan lebih hemat biaya terus menjadi perhatian pada saat ini. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pengembangan bahan berbasis biomaterial seperti *carboxymethyl cellulose* (CMC) (Kusuma dan Amin, 2022).

Carboxymethyl cellulose (CMC) senyawa yang memiliki ciri-ciri tidak berbau, tidak berwarna, biodegradable, dan tidak memiliki sifat beracun (Kamar et al., 2024). Menurut Pujokaroni et al (2022) CMC paling sering ditemui berupa serbuk halus yang mampu larut dalam air akan tetapi tidak dapat larut pada pelarut organik seperti alkohol dan dietil eter, dan secara alami stabil dalam lemak. Material ini telah banyak dimanfaatkan dalam industri makanan, farmasi, kosmetik, dan deterjen sebagai bahan pengental, penstabil, dan pengikat. Selain itu, CMC memiliki kemampuan membentuk film, sifat isolator listrik, serta mengandung gugus polar yang berpotensi memberikan respon terhadap medan listrik, sehingga menjadikannya kandidat material dielektrik berbasis biomassa untuk aplikasi penyimpanan energi (Cholewinski et al., 2021).

Penggunaan CMC dalam sistem baterai juga telah dilaporkan mampu meningkatkan stabilitas struktur elektroda dan mempertahankan kapasitas siklus dalam jangka panjang. Studi oleh Sanchez et al. (2025) menunjukkan bahwa binder berbasis CMC mampu memberikan adhesi yang baik antara material aktif dan kolektor arus, serta meningkatkan integritas mekanik elektroda selama proses *charge-discharge* berulang. Selain itu, sifat hidrofilik dan keberadaan gugus karboksilat pada CMC memungkinkan terbentuknya interaksi yang lebih kuat dengan partikel aktif, sehingga dapat mengurangi degradasi struktur dan meningkatkan kestabilan performa elektrokimia. Temuan tersebut memperkuat potensi CMC sebagai alternatif pengganti PVDF yang lebih ramah lingkungan sekaligus mendukung performa baterai yang lebih stabil dan berkelanjutan (Sanchez et al., 2025).

Secara kimia, CMC merupakan turunan selulosa yang diperoleh melalui reaksi eterifikasi antara selulosa teraktivasi basa dengan asam monokloroasetat atau garamnya. Proses ini menyebabkan substitusi gugus hidroksil ($-OH$) pada unit anhidroglukosa oleh gugus karboksimetil ($-CH_2COO^-$), yang dinyatakan melalui parameter derajat substitusi (DS). Nilai DS sangat menentukan sifat fisikokimia CMC seperti kelarutan, stabilitas termal, dan morfologi permukaan. Penelitian yang dilakukan oleh Suchaiya et al (2022) melaporkan bahwa peningkatan waktu reaksi karboksimetilasi dari 1 hingga 4 jam mampu meningkatkan nilai DS dan rendemen

CMC, namun pada waktu reaksi yang terlalu lama terjadi penurunan DS akibat reaksi samping dan degradasi produk. Studi tersebut juga menunjukkan bahwa modifikasi kimia selulosa menjadi CMC menyebabkan perubahan morfologi dari struktur padat dan halus menjadi lebih berpori dan berserat. Temuan ini menegaskan bahwa pengendalian kondisi sintesis sangat berpengaruh terhadap kualitas CMC yang dihasilkan serta performanya sebagai material fungsional (Suchaiya et al., 2022).

Berdasarkan data perdagangan internasional, impor *carboxymethyl cellulose* (HS 391231) di Indonesia terus mengalami fluktuasi. Pada tahun 2021 volume impor CMC mencapai sekitar 6,34 juta kg dengan nilai sekitar US\$ 21,41 juta, meningkat menjadi 7,45 juta kg pada 2022 senilai US\$ 28,21 juta, dan pada 2023 tercatat 6,95 juta kg dengan nilai sekitar US\$ 22,40 juta. Data ini menunjukkan bahwa kebutuhan bahan baku CMC di Indonesia tetap signifikan dan berpotensi meningkat seiring pemanfaatan CMC sebagai material fungsional dalam berbagai aplikasi industri. Harga CMC sendiri menurut data Alibaba sekitar US\$ 270-280 per kilogramnya. Tingginya kebutuhan ini membuka peluang untuk mengembangkan CMC berbasis sumber daya lokal guna menekan ketergantungan impor sekaligus menghasilkan material fungsional bernilai tambah.

Carboxymethyl cellulose (CMC) salah satu senyawa yang dihasilkan dari modifikasi karakteristik CMC yang dipengaruhi oleh proses alkalisasi dan karboksimetilasi. Alkalisasi umumnya menggunakan basa, seperti NaOH untuk mengaktifkan gugus hidroksil (-OH) pada molekul glukosa yang selanjutnya akan digunakan sebagai inisiasi untuk mempermudah terjadi reaksi karboksimetilasi. Karboksimetilasi menggunakan monokloroasetat baik dalam bentuk asam maupun garamnya. Semakin bertambah kadar basa yang digunakan, maka dapat mempercepat reaksi gugus -OH selulosa dengan monokloroasetat. Selulosa yang terdapat pada tumbuhan biasanya berada dalam bentuk terikat dengan senyawa lain seperti selulosa maupun lignin. Selulosa tersebut dapat dipisahkan dari ligninnya dengan cara delignifikasi menggunakan NaOH. Pada proses delignifikasi ini sekaligus juga melepaskan ikatan hemiselulosa. Sumber selulosa yang dapat dimanfaatkan pada sintesis CMC sangat melimpah di alam. Salah satu jenis tanaman yang tinggi kandungan selulosanya adalah batang pisang (Rahim et al., 2021).

Tanaman pisang raja (*Musa paradisiaca*) salah satu tumbuhan yang sering dijumpai di daerah tropis, karena menyukai iklim panas dan memerlukan matahari penuh. Pemanfaatan buah pisang oleh masyarakat sangatlah besar sehingga menghasilkan limbah batang pisang yang besar pula (Berutu et al., 2022). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Perkebunan produksi pisang di Sulawesi Selatan pada tahun 2023 mencapai 168.284 ton. Angka produksi ini akan terus meningkat seiring dengan tingkat konsumsi yang semakin tinggi pula tiap tahunnya sehingga produksi limbah pohon pisang juga akan menjadi aspek yang perlu diperhatikan sebagai akibat dari peningkatan tersebut. Limbah batang pisang yang dihasilkan biasanya hanya dibiarkan atau dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai pakan untuk ternak dan media tanam (Saragi et al., 2023). Pada penelitian yang telah dilakukan Pine et al (2021) tentang produksi dan karakterisasi serbuk selulosa dari batang pisang menunjukkan bahwa selulosa terdapat dalam tumbuhan yang merupakan komponen utama penyusun dinding sel tumbuhan. Pada batang pisang terdapat kandungan selulosa

sebanyak $\pm 63\%$. Kandungan selulosa yang tinggi pada serat batang pisang memiliki potensi yang dapat digunakan sebagai bahan penguat dalam pembuatan Karboksilmetil Selulosa (CMC).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa batang pisang merupakan biomassa lignoselulosa yang memiliki potensi besar sebagai sumber selulosa untuk sintesis carboxymethyl cellulose (CMC). Amelia et al. (2021) melaporkan bahwa batang pisang mengandung selulosa sebesar 63–64%, hemiselulosa sekitar 20%, dan lignin sekitar 5%, yang menunjukkan dominasi fraksi selulosa dalam struktur biomassa tersebut. Sementara itu, penelitian oleh Iliyini et al. (2020) menunjukkan bahwa kandungan selulosa batang pisang dapat mencapai 86% setelah melalui proses perlakuan dan pemurnian tertentu, yang semakin menegaskan potensi batang pisang sebagai bahan baku selulosa. Pemanfaatan selulosa batang pisang untuk sintesis CMC telah diteliti oleh Yuliasmi et al. (2019), yang menunjukkan bahwa proses alkalisasi dan karboksimetilasi mampu mengonversi selulosa batang pisang menjadi CMC secara efektif. Penelitian lain oleh Salama et al. (2024) melaporkan sintesis CMC dari biomassa pisang dengan rendemen yang sangat tinggi, yaitu sebesar 98,26%, yang menunjukkan efisiensi reaksi yang baik dan kualitas produk yang kompetitif.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa batang pisang memiliki kandungan selulosa yang berpotensi digunakan untuk memproduksi CMC. Hal ini dapat menjadi dasar untuk meneliti pemanfaatan selulosa yang terkandung pada batang pisang raja. Penelitian ini juga mencakup pemanfaatan CMC sebagai penyimpanan energi pada baterai yang ramah lingkungan. Penelitian ini diharapkan dapat memperoleh alternatif pengikat baterai yang lebih berkelanjutan. Upaya ini sejalan dengan kebutuhan global akan material yang lebih ramah lingkungan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan kelangkaan sumber daya.

1.2 Dasar Teori

Sistem penyimpanan energi yang berbasis baterai merupakan teknologi yang memanfaatkan reaksi elektrokimia untuk menyimpan dan melepaskan energi listrik secara terkendali. Kinerja sistem ini dipengaruhi oleh interaksi antara komponen penyusunnya, baik material aktif maupun material pendukung. Selain kapasitas dan efisiensi energi, aspek kestabilan struktur, keselamatan operasional, serta ketahanan terhadap medan listrik menjadi faktor penting dalam pengembangan material baterai modern. Oleh karena itu, penelitian material baterai tidak hanya difokuskan pada reaksi elektrokimia, tetapi juga pada karakteristik fisik dan listrik material penyusunnya. Material polimer memiliki peran penting dalam sistem baterai, terutama sebagai material pendukung yang berfungsi menjaga integritas struktur dan kestabilan listrik. Polimer dapat berperan sebagai pengikat, separator, maupun material isolator yang menghambat aliran arus listrik secara langsung. Sifat mekanik yang baik, fleksibilitas, serta kemampuan membentuk film menjadikan polimer banyak digunakan dalam sistem penyimpanan energi. Selain itu, sifat listrik polimer, seperti kemampuan menyimpan energi dalam medan listrik, menjadikan beberapa polimer berpotensi sebagai bahan dielektrik (Cholewinski et al., 2021).

Dielektrik merupakan material isolator yang tidak menghantarkan arus listrik secara bebas, namun mampu menyimpan energi listrik ketika berada dalam medan listrik. Kemampuan ini berasal dari terjadinya polarisasi, yaitu pergeseran muatan positif dan

Sifat fisikokimia CMC dipengaruhi oleh pH, konsentrasi, dan derajat substitusi. CMC dapat terdispersi dengan baik dalam air pada rentang pH 5-11. Pada kondisi pH terlalu rendah, CMC cenderung mengalami pengendapan, sedangkan pada pH netral hingga basa, partikel CMC bersifat hidrofilik dan mampu menyerap air sehingga dapat menyebabkan peningkatan viskositas pada larutan. Peningkatan viskositas ini terjadi akibat terbentuknya struktur jaringan polimer yang akan menghambat pergerakan molekul air (Wijaya dan Lina, 2021). Kemampuan CMC dalam membentuk struktur polimer yang stabil serta sifat hidrofiliknya menunjukkan potensi material ini dalam aplikasi yang memerlukan kestabilan mekanik dan listrik, termasuk sebagai bahan dielektrik berbasis biomassa.

Pembuatan CMC dipengaruhi oleh proses alkalisasi dan karboksimetilasi yang selanjutnya menentukan mutu CMC yang dihasilkan. Proses alkalisasi menggunakan basa NaOH. Alkalisasi berfungsi untuk mengaktifkan gugus gugus hidroksil (-OH) dari selulosa untuk selanjutnya dilakukan reaksi karboksimetilasi. Selain itu, tujuan dilakukan penambahan NaOH adalah sebagai pengembang selulosa, yang memudahkan difusi reagen karboksimetilasi. Tahap karboksimetilasi menggunakan asam monokloroasetat ataupun bentuk garamnya. Jumlah penggunaan natrium monokloroasetat merupakan faktor lain mempengaruhi proses substitusi pada molekul selulosa. Seiring dengan bertambahnya jumlah basa yang digunakan akan mempermudah dan mempercepat proses difusi monokloroasetat menuju ke gugus hidroksil pada selulosa. Melihat fungsi natrium hidroksida dan natrium monokloroasetat maka komposisi kedua reagen baik reagen alkalisasi maupun karboksimetilasi dalam proses ini sangat menentukan kualitas CMC yang akan dihasilkan (Safitri et al., 2021).

Pada saat ini penelitian tentang CMC di Indonesia banyak difokuskan pada pemanfaatan sumber daya lokal, seperti limbah pertanian dan perkebunan, untuk menghasilkan CMC dengan kualitas yang kompetitif. Misalnya, penelitian oleh Susilowati et al (2020) mengembangkan CMC dari limbah tandan kosong kelapa sawit, yang menunjukkan potensi besar sebagai alternatif sumber selulosa. Salah satu bahan potensial yang sedang dikembangkan sebagai sumber selulosa untuk produksi CMC adalah batang pisang. Batang pisang merupakan limbah biomassa dari tanaman pisang yang kaya akan kandungan serat selulosa. Selulosa dari batang pisang memiliki kemurnian yang cukup tinggi dan berpotensi digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk bahan dasar pembuatan CMC.

Pisang Raja (*Musa paradisiaca*) adalah tanaman yang berasal Asia Tenggara termasuk di Indonesia yang dibudidayakan secara luas. Pisang merupakan tanaman yang termasuk keluarga tumbuhan *Musaceae* (Asfar et al., 2023). Tanaman pisang termasuk salah satu tanaman yang memiliki keistimewaan. Hal ini disebabkan seluruh bagian dari tanaman ini memiliki manfaat (Lubis., 2021). Pemanfaatan batang pisang digunakan sebagai sayur untuk dikonsumsi, namun tidak jarang juga batang pisang sering kali dijadikan sebagai pakan untuk ternak. Batang pisang mengandung senyawa alkaloid, tanin, flavonoid, dan steroid (Dewi et al., 2021).

Batang pisang yang merupakan limbah dapat dimanfaatkan menjadi sumber serat agar mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Manfaat batang pisang adalah dalam bidang industri sebagai bahan alternatif dalam pembuatan kertas HVS, sedangkan dalam bidang kesehatan batang pisang dapat dimanfaatkan sebagai detoksifikasi sistem pencernaan, mengontrol kolesterol dan tekanan darah, menstabilkan gula

darah, serta mengurangi asam lambung. Batang pisang yang telah dipanen bisa diambil selulosanya ($\pm 63\%$). Batang pisang sebagian berisi air dan serat (selulosa), disamping mineral, kalium, fosfor, dan lain-lain. Merujuk pada pemanfaatan batang pisang yang sangat kurang, maka limbah batang pisang dapat dimanfaatkan sebagai alternative bahan dasar pembuatan selulosa (Antonius, 2021). Pada penelitian yang telah dilakukan Pine et al (2021) tentang produksi dan karakterisasi serbuk selulosa dari batang pisang raja (*Musa paradisiaca*) menunjukkan bahwa selulosa terdapat dalam tumbuhan yang merupakan komponen utama penyusun dinding sel tumbuhan. Hal utama yang menjadi alasan adalah potensi pemanfaatan selulosa yang dapat memenuhi hampir seluruh aspek standar kebutuhan manusia, seperti industri kayu dan kertas (Kendole et al, 2022). Berikut kandungan senyawa yang terdapat pada batang pisang:

Tabel 1. Kandungan senyawa yang terdapat pada batang pisang

Komponen	Senyawa	Fungsi/Manfaat
Serat	Selulosa (63-64%), hemiselulosa (20%)	Bahan baku kertas, tekstil, bioplastik, bioethanol
Polimer kompleks	Lignin (5%)	Memberi kekakuan sel, bahan karbon aktif, precursor kimia aromatik
Air	(80-90%)	Pelarut alami, membantu pengangkutan zat dalam batang
Non-selulosa	Pektin, pati (dalam jumlah sedikit), protein (11-12%)	Sumber energi, bahan pangan atau bioplastik

Sumber: Erdiwan et al., 2022

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. apakah dimungkinkan mengubah batang pisang raja menjadi CMC?
2. bagaimana karakter karboksimetil selulosa (CMC) yang dihasilkan dari batang pisang raja?
3. apakah dimungkinkan menggunakan CMC dari batang pisang raja sebagai bahan dielektrik untuk penyimpanan energi pada baterai?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Mensintesis CMC dari batang pisang raja
2. Menghasilkan karakter CMC dari batang pisang raja
3. Menghasilkan data aplikasi CMC dari batang pisang raja sebagai bahan dielektrik untuk penyimpanan energi pada baterai

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberi manfaat sebagai informasi terkini mengenai pengolahan limbah batang pisang raja sebagai bahan baku dalam pembuatan karboksimetil selulosa (CMC) serta penggunaan produknya sebagai bahan dielektrik dalam penyimpanan energi pada baterai.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Batang pisang raja (*Musa paradisiaca*), gliserol ($C_3H_8O_3$ Merck), natrium Hidroksida (NaOH Merck), metanol (CH_3OH Merck), natrium monokloroasetat (NaMCA, Merck), asam sulfat (H_2SO_4 Merck), isopropanol (C_3H_7OH Merck), konduktif Karbon, hidrogen peroksida (H_2O_2 Merck), perak nitrat ($AgNO_3$ Merck), kalium kromat (K_2CrO_4 Merck), alkohol 96%, kertas saring, akuades, grafit dan Cu Foil.

3.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas berkualitas pyrex, cawang petri, cawang porselin, pipet tetes, batang pengaduk, sendok tanduk, spatula, blender, desikator, ayakan 60 mesh, labu semprot, oven model Sprisof, neraca analitik, *hot plate*, *magnetic stirrer*, Spektrofotometer FT-IR SHIMADZU, instrumen X-Ray Diffraction (XRD) SHIMADZU, *Scanning Electron Microscope* (SEM).

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2025-Januari 2026 di Desa Karangang, Kecamatan Mattiro Bulu, Kabupaten Pinrang untuk pengambilan sampel batang pisang raja, Laboratorium Kimia Anorganik untuk sintesis CMC serta pengukuran FT-IR di Laboratorium Kimia Terpadu Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Pengukuran XRD dilakukan di Laboratorium Analisis Pengolahan Bahan Galian Fakultas Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin, pengukuran tegangan tembus di Laboratorium Tegangan Tinggi Fakultas Teknik Elektro Universitas Hasanuddin, serta pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Mikrosuktur Universitas Muslim Indonesia.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Preparasi sampel (Pine et al., 2021)

Batang pisang raja (*Musa paradisiaca*) yang telah didapatkan dicuci dengan air. Batang pisang yang sudah dicuci, kemudian dipotong-potong kotak dengan ukuran ± 2 cm. Batang pisang kemudian dikeringkan, di bawah sinar matahari selama 3 hari. Kemudian dihaluskan dengan menggunakan blender sampai menjadi serbuk yang sangat halus, kemudian diayak dengan menggunakan ayakan ukuran 60 mesh.

2.4.2 Isolasi selulosa (Iliyin et al., 2020)

Dimasukkan 10 gram batang pisang, 150 mL pelarut (gliserol: metanol = 2: 1) dan 35 mL H_2SO_4 1,75% ke dalam gelas kimia. Campuran dipanaskan dalam oven suhu 50 °C selama 1 jam, disaring, dinetralkan dengan metanol dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C. Residu ditambahkan dengan NaOH 4% 200 mL dan dipanaskan dalam oven suhu 105 °C selama 1 jam. Selanjutnya, sampel disaring menggunakan pompa vakum dan residu yang dihasilkan dicuci dengan air suling hingga mencapai pH netral (pH 7). Residu dimasukkan ke dalam oven pada suhu 70 °C untuk dikeringkan

hingga diperoleh berat konstan. Setelah itu, larutan H_2O_2 5% dimasukkan ke dalam wadah sampel, dipanaskan dalam oven suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam, disaring dan endapan dicuci dengan air suling hingga mencapai pH netral. Perlakuan dengan larutan peroksida diulang dua kali secara bersamaan. Sementara itu, produk yang telah diputihkan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 60°C untuk dikeringkan hingga diperoleh berat konstan.

2.4.3 Pembuatan Karboksimetil Selulosa (CMC) (Hariani dan Fatmayati., 2023)

Ditimbang sebanyak 5 g serbuk batang pisang ditimbang dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer berkapasitas 250 mL, kemudian ditambahkan 100 mL isopropanol. Proses alkalisasi dilakukan dengan penambahan larutan NaOH 15% sebanyak 20 mL secara bertahap sambil diaduk. Campuran selanjutnya dipanaskan menggunakan hotplate magnetic stirrer pada suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam dengan kecepatan pengadukan 100 rpm. Setelah tahap alkalisasi selesai, proses dilanjutkan dengan karboksimetilasi melalui penambahan natrium monokloroasetat sebanyak 7 g. Campuran kemudian dipanaskan pada suhu $45\text{ }^\circ\text{C}$ dan diaduk selama 6 jam menggunakan hotplate magnetic stirrer. Setelah reaksi selesai, campuran disaring dan residu yang diperoleh digunakan pada tahap penetralan. Residu dipindahkan ke dalam gelas kimia, kemudian pH campuran diukur dan dinetralkan dengan penambahan asam asetat glasial hingga mencapai pH netral. Selanjutnya, campuran disaring kembali dan padatan yang dihasilkan dicuci menggunakan alkohol 96%. Padatan hasil pencucian kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$. Setelah kering, padatan digerus menggunakan lumpang dan alu hingga diperoleh serbuk carboxymethyl cellulose (CMC). CMC yang dihasilkan dianalisis menggunakan FTIR, SEM, dan XRD.

2.4.4 Karakterisasi Carboxymethyl Cellulose dari Batang Pisang

a. Karakterisasi Carboxymethyl Cellulose dengan FT-IR (Salama et. al., 2024)

Karakterisasi menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada sampel. Tahap awal analisis dilakukan dengan mencampurkan CMC dengan kalium bromida (KBr) untuk pembuatan pelet. Campuran CMC dan KBr digerus hingga diperoleh serbuk yang homogen dan bertekstur halus. Selanjutnya, sejumlah serbuk dimasukkan ke dalam cetakan pelet dan dipres hingga terbentuk pelet. Pelet yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan spektrometer inframerah. Spektrum yang diperoleh selanjutnya dianalisis dan dibandingkan dengan spektrum *carboxymethyl cellulose* murni sebagai acuan.

b. Karakterisasi Carboxymethyl Cellulose dengan Instrumen Scanning Electron Microscope (SEM) (Illiyin et al., 2020)

Karakterisasi menggunakan dengan SEM bertujuan untuk melihat bentuk morfologi *carboxymethyl cellulose*. Analisis SEM dilakukan dengan tegangan 15 kV dengan perbesaran 50 hingga 1000 kali.

c. Karakterisasi Carboxymethyl Cellulose dengan XRD (Dimawarnita et al., 2019)

Karakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kristalinitas CMC yang dihasilkan, yang ditunjukkan oleh pola dan intensitas

puncak difraksi yang terbentuk. Penentuan kristalinitas carboxymethyl cellulose (CMC) dilakukan melalui analisis difraksi sinar-X, di mana sampel terlebih dahulu dikompaksi hingga membentuk pelet. Selanjutnya, sampel dianalisis menggunakan difraktometer sinar-X dengan pencatatan intensitas difraksi pada rentang sudut Bragg (2θ) antara 3° hingga 90° . Ukuran kristalit dapat diperkirakan menggunakan persamaan Scherrer pada Persamaan 1.

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Keterangan:

D = Ukuran kristal (nm)

K = Konstanta Scherrer (0,94)

λ = Panjang gelombang sinar-X (0,15418 nm)

β = Nilai FWHM (rad)

θ = Sudut Bragg/sudut difraksi ($^\circ$)

2.4.5 Uji pH (Rahmi et.al., 2025)

Carboxymethyl Cellulose sebanyak 1 g dilarutkan kedalam 100 mL akuades lalu dipanaskan pada suhu 60°C hingga CMC terdispersi sempurna setelah itu didinginkan pada suhu ruang, kemudian diukur pH menggunakan pH universal.

2.4.6 Penentuan Kadar Air (Rahmi et.al., 2025)

Penentuan kadar air dilakukan dengan metode gravimetri, menimbang 1 g CMC dan dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 5 jam dan timbang berat CMC. Lanjutkan pengeringan dan timbang pada selang waktu 1 jam hingga mencapai bobot tetap dan dihitung menggunakan rumus persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kadar Air} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \quad (2)$$

Keterangan:

W_0 : Berat kosong cawan porselin

W_1 : Berat cawan porselin dengan sampel awal

W_2 : Berat cawan porselin dengan sampel akhir

2.4.7 Penentuan Derajat Substitusi (Emenike et.al., 2021)

Carboxymethyl Cellulose ditimbang sebanyak 0,5 g kedalam cawan. Sampel dibakar di atas api kecil hingga berbentuk arang, kemudian dipanaskan dalam tanur pada suhu 650°C selama 45 menit hingga abu berwarna putih keabu-abuan. Abu dilarutkan dalam 100 ml akuades setelah itu larutan sebanyak 20 ml dititrasi dengan asam sulfat 0,1 N menggunakan metil merah sebagai indikator, lalu diamati perubahan warna dari kuning menjadi merah dan dihitung menggunakan rumus persamaan sebagai berikut:

$$B = 0,1 \times \frac{b}{v}$$

$$DS = \frac{0,162 \times B}{1 - 0,08 \times B}$$

Keterangan :

B = Jumlah ekuivalen basa karboksilat dalam CMC per gram sampel (mmol/gram)

- b = Volume larutan asam sulfat (H_2SO_4) (mL)
 G = Massa sampel CMC (g)
 Ds = Derajat substitusi
 0,162 = Berat molekul unit anhidroglukosa selulosa ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) (mmol/gram)
 0,08 = Selisih berat molekul gugus karboksimetil substituen terhadap gugus hidroksil yang tergantikan (mmol/gram)

2.4.8 Penentuan Kadar NaCl (Salimi et. al., 2021)

Ditimbang sebanyak 0,5 g CMC dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dan diencerkan dengan 100 mL akuades dan dipanaskan pada suhu 70°C . Larutan ini kemudian dititiasi dengan AgNO_3 0,01 N dan indikator K_2CrO_4 5% lalu diamati perubahan warna yang terjadi.

2.4.9 Pengujian CMC Tegangan Tembus (Antika dan Hidayat, 2019)

Carboxymethyl Cellulose dilarutkan dalam akuades dan diaduk menggunakan magnetic stirrer pada suhu 50°C selama 20 menit hingga larutan homogen atau sampai CMC terlarut sempurna. Setelah itu, serbuk grafit dan bahan konduktif ditambahkan ke dalam larutan, kemudian campuran kembali diaduk selama 3 jam. Larutan yang dihasilkan selanjutnya diaplikasikan ke permukaan substrat tembaga (Cu foil) berukuran 5 cm × 15 cm menggunakan metode deposisi semprot (*spraying*). Setiap formulasi larutan digunakan untuk melapisi satu sisi substrat Cu foil, sehingga untuk melapisi kedua sisi substrat diperlukan dua formulasi larutan dengan komposisi yang sama.