

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baterai menjadi alat yang digunakan untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia kemudian diubah menjadi energi listrik untuk memperoleh arus listrik yang diperlukan sehingga dapat digunakan menghidupkan peralatan elektronik. Baterai termasuk salah satu energi listrik yang sangat diandalkan saat ini untuk mengoperasikan peralatan elektronik yang memiliki sifat portabel (Nasution, 2021). Baterai tersusun atas anoda berfungsi sebagai elektroda negatif yang memiliki fungsi dalam pengumpul ion serta merupakan material aktif, katoda sebagai elektroda positif yang memiliki fungsi dalam pengumpul ion serta material aktif, elektrolit berfungsi sebagai penghantar ion dari anoda ke katoda atau sebaliknya, dan separator termasuk material dielektrik berpori di antara anoda-katoda guna mencegah hubungan singkat sekaligus melancarkan perpindahan ion litium melalui elektrolit. Sebagai lapisan isolator, bahan ini mendukung polarisasi serta stabilitas medan listrik untuk menjaga efisiensi konversi energi, kestabilan proses pengisian dan pelepasan muatan, serta keselamatan operasi baterai (Perdana, 2020).

Kebutuhan energi dan penggunaan baterai mengalami pertumbuhan secara masif, perhatian terhadap dampak lingkungan dari material penyusunnya semakin meningkat. Saat ini sebagian besar *organic field-effect transistors* (OFET) masih menggunakan bahan dielektrik, seperti oksida logam dan nitrat, maupun dielektrik berbasis polimer sintesis. Bahan tersebut mampu menghasilkan film dielektrik berkualitas tinggi dengan konstanta dielektrik yang relatif besar. Namun, pencapaian karakteristik tersebut umumnya memerlukan metode deposisi yang kompleks, memakan waktu, dan berbiaya tinggi karena melibatkan kondisi vakum serta proses fabrikasi pada suhu tinggi. Banyak komponen baterai konvensional masih menggunakan material berbasis mineral dan logam berat yang berpotensi mencemari lingkungan. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan material alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, termasuk dalam pengembangan bahan dielektrik yang berperan penting sebagai material isolator dan pendukung penyimpanan muatan listrik. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai bahan dielektrik yaitu, biomassa yang memiliki kandungan selulosa yang tinggi. Sifat dielektrik selulosa dan turunannya seperti nanoselulosa, nanokristal selulosa, dan trimetilsilil selulosa, memiliki konstanta dielektrik pada kisaran 3-8 Volt (Rosas et al., 2025). Menurut penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Rosas et al., (2025) memperoleh hasil pengujian dielektrik pada lapisan CMC menunjukkan medan tembus sekitar 1,8 mV/cm.

Carboxymethyl Cellulose (CMC) tersusun atas koloid hidrofilik yang memiliki sifat efektif untuk mengikat air sehingga dapat memberikan tekstur yang seragam, CMC dapat meningkatkan kekentalan atau viskositas dan memiliki sifat cenderung membatasi dalam pengembangan (Masrullita et al., 2021). Karboksimetil selulosa sangat umum digunakan dalam bidang industri sebagai zat aditif dalam detergen, cat, keramik, tekstil, kertas dan makanan. *Carboxymethyl Cellulose* berfungsi sebagai pengental, penstabil emulsi atau suspensi dan bahan pengikat. Berdasarkan *Foodchem International Cooperation* harga CMC relatif mahal yaitu \$2000 USD dengan *shipping* dari China ke Indonesia

menjadi \$2180,36 USD dan kebutuhan CMC di Indonesia sementara hanya dipenuhi oleh 2 pabrik dengan kapasitas 6.000 ton per tahun dan 500 ton per tahun. Berdasarkan ekspor impor yang disediakan oleh BPS, Indonesia masih mengimpor lebih banyak CMC daripada mengekspor CMC. Limbah yang kaya akan serat selulosa sangat banyak ditemukan di Indonesia yang dapat digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan CMC (Samah et al., 2022). Indonesia salah satu negara yang memiliki ketersediaan bahan alam yang melimpah, baik bahan alam yang berasal dari darat maupun laut dan masih banyak yang belum tereksplorasi. Namun, bahan alam yang mengandung selulosa dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai bahan baku pembuatan karboksi metil selulosa. Salah satu tanaman yang memiliki kadar selulosa yang tinggi yaitu eceng gondok. Eceng gondok dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan CMC (Nugraheni et al., 2024).

Eceng gondok biasa disebut sebagai gulma air yang memiliki laju pertumbuhan yang sangat cepat, sehingga dapat menyebabkan kerusakan lingkungan perairan, seperti peningkatan evapotranspirasi dan penurunan kadar oksigen terlarut dalam air. Pertumbuhan eceng gondok dalam waktu 52 hari, satu batang eceng gondok dapat menghasilkan area tanaman baru seluas 1 meter persegi. Pesatnya pertumbuhan eceng gondok ini menyebabkan penyempitan sungai, rawa, dan danau, serta mengganggu aktivitas di perairan. Namun, eceng gondok juga memiliki potensi besar sebagai karboksimetil selulosa. Kandungan lignoselulosa dalam eceng gondok, yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Syamsuddin et al., 2024). Eceng gondok yang memiliki tingkat pertumbuhan tinggi, mencapai 3,69% berat basah/hari. Eceng gondok ini merupakan salah satu bahan serat alam yang belum banyak dimanfaatkan sehingga dapat memiliki potensi yang cukup beragam. Ketersediaannya sangat melimpah di Indonesia dikarenakan pertumbuhannya yang begitu cepat, sehingga memiliki potensi yang cukup besar dilihat dari segi bahan baku dan kandungan unsur hara tempat tumbuhnya dan sifat daya serapan tumbuhan tersebut. (Salimi et al., 2021).

Menurut penelitian sebelumnya oleh (Pratiwi et al., 2024) eceng gondok memiliki kandungan lignoselulosa pada eceng gondok terdapat pada batang eceng gondok yaitu wax (lilin) 1,56%, selulosa 69,12%, hemiselulosa 17,9%, dan lignin 12,98%. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Salimi et al., 2021) kandungan selulosa yang terdapat pada eceng gondok sebesar 64,51% pada penelitian ini dimanfaatkan menjadi Na-CMC dan menghasilkan kemurnian 93%. Penelitian yang telah dilakukan oleh (Kusumawati dan Haryadi, 2021) diperoleh kandungan selulosa pada eceng gondok sebesar 72,63%. Penelitian yang telah dilakukan oleh (Putri et al., 2019) kandungan selulosa yang diperoleh sebesar 66,87%. Kandungan selulosa yang terdapat pada eceng gondok yang cukup tinggi memungkinkan tumbuhan eceng gondok dimanfaatkan secara beragam. Salah satu pemanfaatan selulosa yaitu pembuatan *carboxymethyl cellulose*.

Berdasarkan uraian di atas, dilakukan penelitian transformasi biomassa eceng gondok (*eichhornia crassipes*) menjadi *carboxymethyl cellulose* sebagai kandidat bahan dielektrik untuk aplikasi penyimpanan energi pada baterai. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi pemanfaatan eceng gondok sebagai bahan baku dalam pembuatan *carboxymethyl cellulose*, serta mampu meningkatkan nilai guna dari limbah eceng gondok sebagai kandidat bahan dielektrik untuk aplikasi penyimpanan energi secara berkelanjutan.

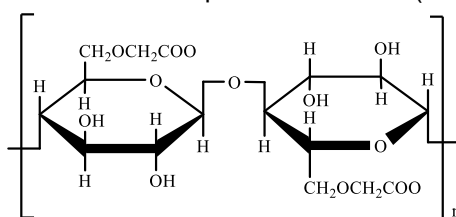
1.2 Landasan Teori

Baterai merupakan satu atau lebih sel elektrokimia yang dapat dihubungkan secara elektrik dan memiliki terminal atau kontak dalam pemasokan energi listrik. Baterai dapat menghasilkan energi listrik melalui proses reaksi kimia. Berdasarkan proses reaksi kimia baterai dibedakan menjadi dua jenis yaitu, *primary battery* dan *secondary battery*. *Primary battery* adalah baterai yang memiliki satu sel atau kumpulan dari beberapa sel yang dapat membangkitkan energi listrik yang hanya digunakan sampai habis tanpa adanya proses pengisian ulang. *Secondary battery* atau baterai isi ulang adalah baterai yang memiliki satu sel atau kumpulan dari beberapa sel yang dapat membangkit energi listrik, Energi listrik dapat dikembalikan ke kondisi bermuatan aslinya setelah energi listrik pada baterai habis dengan arus listrik yang mengalir ke arah yang berlawanan, penggunaan *secondary battery* dapat dilakukan berulang kali (Khasan et al., 2021).

Baterai merupakan perangkat yang dapat menyuplai energi listrik searah, proses utama dari cara kerja baterai adalah perubahan energi kimia dalam baterai menjadi energi listrik. Pengisian daya pada *rechargeable energy* dilaksanakan dengan cara mengalirkan arus terus menerus hingga voltase pada baterai naik ke nilai yang telah ditentukan sesuai spesifikasi baterai, dan tidak boleh diisi secara berlebihan, apabila dilakukan pengisian daya baterai melebihi kapasitas maksimal pada baterai maka akan menyebabkan baterai dan mengurangi masa pakai baterai (Pradhana et al., 2022). Baterai terdiri atas elektroda positif atau anoda, elektroda negatif atau katoda dan separator yang berada pada antara anoda dan katoda (Hilal, 2023). Separator atau bahan dielektrik adalah zat non-konduktif yang terutama digunakan untuk menyimpan muatan listrik. Dielektrik digunakan dalam pembuatan kapasitor penyimpanan energi. Meskipun dapat digunakan sebagai media isolasi dan pendingin dalam transformator, dielektrik dengan permitivitas tinggi juga dapat berfungsi sebagai semikonduktor. Sifat terpenting dari dielektrik adalah konduktivitasnya yang rendah, sehingga dapat digunakan sebagai isolator. Dielektrik dapat dikategorikan berdasarkan sifat mekaniknya, seperti cair, fleksibel, lunak, atau kaku. Namun, sebagian dielektrik ditemukan dalam bentuk padat (Hussain et al., 2024). Biomassa dan limbah hayati memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai material dielektrik alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, seperti sekam padi, jerami padi, ampas tebu, tempurung kelapa, dan kulit jagung, eceng gondok umumnya mengandung komponen lignoselulosa, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Komponen-komponen tersebut memiliki gugus fungsi polar yang mampu mengalami polarisasi ketika dikenai medan listrik, sehingga *bio-waste* dapat berfungsi sebagai bahan isolator yang mampu menyimpan energi listrik. Selain itu, kandungan karbon yang relatif tinggi pada biomassa turut berkontribusi terhadap peningkatan konstanta dielektrik dan kemampuan penyimpanan energi. Salah satu turunan selulosa yaitu *carboxy Methyl Cellulose* (CMC) dapat digunakan sebagai bahan dielektrik (Zainol et. al., 2023).

Carboxymethyl cellulose termasuk senyawa anion yang bersifat *biodegradable*, tidak berbau, tidak beracun, memiliki nilai pH sebesar 6.5 - 8.0, stabil pada rentang pH 2-10, dan dapat larut dalam air. Berdasarkan SNI 06-3726-1995 CMC memiliki beberapa karakteristik yaitu, derajat substitusi, kemurnian, dan viskositas. *Carboxymethyl cellulose* terbagi beberapa atas tingkat kemurniannya yaitu CMC dengan kualitas teknis

(dengan kemurnian <75%) dapat digunakan untuk bidang industri pertambangan dan detergen, CMC semi murni (dengan kemurnian 75-85%) digunakan pada bidang pengeboran minyak dan gas. CMC murni (dengan kemurnian >98%) dapat digunakan pada industri kertas, tekstil, kaca, dan perminyakan, dan CMC ekstra murni (dengan kemurnian >99,5%) digunakan dalam industri makanan dan farmasi. Hal ini menyebabkan *Carboxymethyl cellulose* (CMC) dapat digunakan secara luas, baik dalam bidang farmasi, bidang makanan, dan pada bidang industri. CMC dapat digunakan sebagai *stabilizer*, *thickener*, *adhesive emulsifier* dan sebagai bahan pengikat pada baterai (Trisnawita dan Putri, 2024). Bahan alam yang dimiliki Indonesia contohnya yaitu, kulit buah kakao, kulit kacang tanah, enceng gondok, jerami padi, kulit buah durian, kulit singkong, pelepah kelapa sawit, sisa baglog jamur tiram, rumput gajah, ampas tebu, umbi ganyong dan eceng gondok memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi sehingga, dapat digunakan sebagai bahan dasar dari pembuatan CMC (Nugraheni et al., 2024).



karboksimetil selulosa

Gambar 1. Struktur *Carboxymethyl Cellulose*

Eceng gondok merupakan gulma air invasif yang melimpah dan berpotensi besar dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku berbasis biomassa (Liu et al., 2024). Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) menjadi gulma di berbagai perairan terbuka di banyak belahan dunia terutama di negara-negara tropis dan sub tropis salah satunya di Indonesia. Eceng gondok hidup di perairan dangkal dan keruh dengan suhu rata-rata 28°C- 30°C. Gulma akuatik ini mampu tumbuh pada pH 4 hingga 12. Eceng gondok biasa ditemukan di danau, waduk, pinggiran sungai dari hulu hingga hilir dan juga persawahan. Eceng gondok biasanya dikenal sebagai gulma invansif yang mengapung dipermukaan air dalam dan mengakar pada perairan dangkal. Sebagai tanaman gulma yang bersifat invasif, pertumbuhan eceng gondok yang tak terkontrol bisa menjadi masalah bagi kesehatan ekosistem perairan. Eceng gondok mampu tumbuh dengan kecepatan tinggi yang keberadaanya di perairan dapat menyebabkan tersumbatnya saluran air, mempercepat pendangkalan pada perairan dan menyebabkan air sungai dapat menguap (Prasetyo et all., 2021).



Gambar 2. Eceng Gondok

Jumlah eceng gondok yang melimpah di perairan Indonesia, memiliki potensi mejadi gulma dapat dikelola dengan baik melalui peningkatan nilai tambah eceng gondok menjadi produk yang bernilai ekonomi. Para peneliti memberikan alternatif solusi pengolahan eceng gondok menjadi barang kerajinan yang bernilai ekonomis. Eceng gondok juga dapat dijadikan unsur hara. Kandungan nutrisi eceng gondok dapat digunakan sebagai pakan ternak. Eceng gondok merupakan tumbuhan yang banyak mengandung selulosa, hemiselulosa, dan sedikit lignin. Kandungan tersebut berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku dalam produksi berbagai jenis sumber energi terbarukan, yaitu, biogas, bioetanol, briket arang, bio-oil, dan sebagai bahan baku pembuatan karboksimetil selulosa. Sehingga, dengan berbagai potensi kebermanfaatan eceng gondok tersebut, melalui peran serta masyarakat sekitar perairan, dapat mengolahnya menjadi produk yang bernilai jual (Poernama et al., 2023). Adapun kandungan dari eceng gondok dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kandungan Eceng gondok

Kandungan	Nilai
Protein	11,5%
Selulosa	72,63%
Hemiselulosa	8%
Lignin	17%

Sumber : (Kusumawati dan Haryadi, 2021)

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. apakah dimungkinkan mengubah eceng gondok menjadi CMC?
2. bagaimana karakter karboksimetil selulosa (CMC) yang dihasilkan dari eceng gondok?
3. apakah dimungkinkan menggunakan CMC dari eceng gondok sebagai kandidat bahan dielektrik untuk penyimpanan energi ?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. mensintesis CMC dari eceng gondok
2. menghasilkan karakter CMC dari eceng gondok
3. menghasilkan data aplikasi CMC dari eceng gondok sebagai bahan dielektrik untuk penyimpanan energi

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberi manfaat sebagai informasi terkini mengenai pengolahan biomassa limbah eceng gondok sebagai bahan baku dalam pembuatan karboksimetil selulosa (CMC) serta penggunaan produknya sebagai bahan dielektrik dalam penyimpanan energi.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), natrium hipoklorit (NaOCl, Merck), natrium hidroksida (NaOH, Merck), natrium monoklorasetat (NaMCA, Merck), asam asetat (CH₃COOH, Merck), asam asetat glasial (CH₃COOH, Merck), Natrium Klorida (NaCl, Merck), isopropanol (C₃H₇OH, Merck), kalium bromida (KBr, Merck), asam sulfat (H₂SO₄ Merck), Perak Nitrat (AgNO₃, Merck), Kalium Kromat (K₂CrO₄, Merck), indikator metil merah, etanol 70%, etanol 96%, grafit, bahan konduktif, kertas saring, kertas pH, dan Cu Foil.

2.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah serangkaian alat gelas kaca, blender lumpang dan alu, ayakan, oven, desikator, neraca analitik, *hot plate*, *magnetic stirrer*, pipet tetes, batang pengaduk, sendok tanduk, spatula, labu semprot, pisau, cawan porselin, buret, termometer, bulb, instrumen FTI-R (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), SEM (*Scanning Electron Microscope*), XRD (*X-Ray Diffraction*) dan alat uji tegangan tembus.

2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2025-Januari 2026 di 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 Mikrosruktur Universitas Muslim Indonesia. Pengambilan sampel eceng gondok di Jalan Dusun Mangento, Desa Pattontongan, Kecamatan Mandai, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Preparasi Sampel (Salimi et al., 2021)

Eceng gondok pada bagian batang dan daunnya dibersihkan dengan air bersih. Dijemur hingga kering kurang lebih selama 7 hari dibawah sinar matahari bertujuan untuk menghilangkan kandungan air yang sangat banyak. Eceng gondok yang telah kering dipotong kecil-kecil dan dihaluskan menggunakan blender lalu di ayak dengan ayakan 100 mesh.

2.4.2 Isolasi Selulosa (Emenike et al., 2021)

Serbuk eceng gondok ditimbang sebanyak 20 g ke dalam labu dasar bulat ditambahkan etanol 70% lalu dipanaskan sambil diaduk dan direfluks selama 120 menit pada suhu 85°C. Cairan dikeringkan dan residu dibilas dengan etanol 50% untuk menyelesaikan

proses penghilangan lemak. Pada tahap ini pektin, lemak, bahan lilin, dan ekstrak air dipisahkan dari residu. Selanjutnya ditambahkan dengan larutan NaOH 17,5% pada suhu ruang selama 60 menit dalam rasio serat terhadap cairan 1:20 dengan pengadukan sesekali untuk menghilangkan hemiselulosa.

Campuran tersebut disaring dan residunya dicuci dengan asam asetat 5%, air bersih, dan akuades bertujuan untuk menetralkan reaksi. Residu tersebut kemudian diputihkan dengan natrium hipoklorit 2% (NaOCl) selama 120 menit pada suhu 30°C. bertujuan untuk menghilangkan hemiselulosa dan lignin. Kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C hingga diperoleh berat yang konstan. Selulosa yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan FT-IR.

2.4.3 Pembuatan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) (Hariani dan Fatmayati, 2023)

Selulosa eceng gondok sebanyak 5 g, dimasukkan kedalam erlenmeyer 250 ml lalu ditambahkan dengan 100 mL isopropanol dan dialkalisasi dengan 20 mL larutan NaOH 15% secara perlahan. Campuran tersebut kemudian dipanaskan diatas hotplate magnetic stirrer pada suhu 60 °C selama 1 jam dengan kecepatan 100 rpm. Setelah alkalisasi selesai dilanjutkan proses karboksimetilasi dengan menambahkan natrium monokloroasetat sebanyak 7 gram. Campuran kemudian dipanaskan pada suhu 45°C dan dilakukan pengadukan dengan waktu 5 jam. Proses ini dilakukan di hotplate magnetik stirrer. Setelah itu campuran disaring dan residunya dilanjutkan ke proses penetralan. Setelah proses karboksimetilasi selesai, hotplate magnetik stirrer dimatikan kemudian campuran disaring dan residunya di pindahkan ke dalam gelas kimia dan diukur pH-nya. Selanjutnya ditambahkan asam asetat glasial sampai pH-nya netral. Setelah netral maka campuran disaring dan dilakukan pencucian dengan alkohol 96%. Padatan yang diperoleh dari hasil penyaringan kemudian dikeringkan dengan menggunakan oven dengan suhu 60°C. Padatan yang kering kemudian digerus menggunakan lumpang dan alu sehingga diperoleh serbuk CMC.

2.4.4 Karakterisasi *Carboxymethyl Cellulose* dari Eceng Gondok

a. Karakterisasi *Carboxymethyl Cellulose* dengan FT-IR (Salimi et al., 2021)

Karakterisasi menggunakan dengan instrumen FTIR bertujuan untuk melihat gugus fungsi penyusunnya. Analisis dimulai dengan membuat pellet CMC dan mencampurkannya dengan KBr. Serat digerus dengan KBr hingga homogen dan menjadi serbuk halus. Setelah homogen, diambil sejumlah serbuk tersebut yang kemudian dimasukkan ke dalam alat pembuatan pellet. Pellet yang telah terbentuk dimasukkan ke dalam spektrometer infra merah. Setelah semua spektra terbentuk, spektra tersebut dianalisis dan dicocokkan dengan *carboxymethyl cellulose* komersial yang telah di analisis.

b. Karakterisasi *Carboxymethyl Cellulose* dengan Instrumen *Scanning Electron Microscope* (Iliyin 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 (Susi et al., 2024)

Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui kristalinitas dari CMC yang diperoleh berdasarkan puncak-puncak intensitas yang muncul. Kristalinitas *carboxymethyl cellulose* (CMC) ditentukan menggunakan metode difraksi sinar-X. Sampel CMC terlebih dahulu dipadatkan menjadi bentuk pelet, kemudian dianalisis menggunakan difraktometer sinar-X. Intensitas difraksi direkam pada rentang sudut Bragg (2θ) sebesar 3° – 90° , dengan kecepatan pemindaian 10° per menit dan lebar langkah (step size) sebesar $0,02^\circ$. 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 1g 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. Kadar air dihitung dengan perhitungan pada Persamaan 2.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{W1 - W2}{W1 - W0} \times 100 \quad (2)$$

Keterangan :

W0 = Berat cawan kosong (g)

W1 = Berat cawan sampel awal (g)

W2 = Berat cawan sampel akhir (g)

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. Nilai derajat substitusi dapat dihitung dengan perhitungan pada Persamaan 4.

$$B = 0,1 \times \frac{b}{G} \quad (3)$$

$$DS = \frac{0,162 \times B}{1 - 0,08 \times B} \times 100 \quad (4)$$

Keterangan :

- B = Jumlah ekuivalen basa karboksilat dalam CMC per gram sampel (mmol/gram)
 b = Volume larutan asam sulfat (H₂SO₄) (mL)
 G = Massa sampel CMC (g)
 Ds = Derajat substitusi
 0,162 = Berat molekul unit anhidroglukosa selulosa (C₆H₁₀O₅) (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 dititrasi dengan AgNO₃ 0,01 N dan indikator K₂CrO₄ 5% lalu diamati perubahan warna yang terjadi.

2.4.9 Pengujian Tegangan Tembus (Antika dan Hidayat, 2019)

Carboxymethyl Cellulose dilarutkan ke dalam *aquades* kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 50°C selama 20 menit atau sampai CMC benar-benar larut. Selanjutnya ditambahkan serbuk grafit dan bahan konduktif, kemudian diaduk kembali selama 3 jam. Larutan yang telah di buat kemudian dideposisikan pada permukaan substrat Cu foil ukuran 5cm×15cm dengan teknik deposisi spraying. Satu resep larutan di deposisi pada satu sisi substrat Cu foil. Artinya, dibutuhkan dua resep larutan yang sama untuk dideposisikan pada satu lembar substrat Cu foil. Tahap selanjutnya yaitu, melakukan uji tegangan tembus.