

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Energi merupakan sumber utama yang memiliki peranan sangat penting bagi kehidupan manusia. Energi dapat digunakan sebagai penerangan, proses industri, dan lain sebagainya. Manusia akan kesulitan dalam melakukan kegiatan tanpa adanya energi. Bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas bumi dan batu bara sampai dengan saat ini masih mendominasi kebutuhan manusia diseluruh dunia (Siahaan, 2020). Data yang tercatat pada *International Energy Agency* (IEA) tahun 2021 produksi energi dunia diatur untuk memulihkan kondisi pandemi yang melanda pada awal tahun 2020, pengembalian produksi energi dunia dengan peningkatan sebesar 4% dari tahun sebelum pandemi. Produksi energi yang berasal dari energi terbarukan (*renewable energy*) dan nuklir mengalami kenaikan dari tahun 2020 sejak pandemi melanda yaitu masing-masing sekitar 500-1050 dan sekitar 0-80 *terawatt-hour* (TWh). Tahun 2021 bahan bakar fosil pada akhirnya menyumbangkan produksi energi sebesar >80% (IEA, 2021).

Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tak terbarukan (*non-renewable energy*) dan bersifat polutif. Energi yang berasal dari bahan bakar fosil memiliki harga yang relatif tinggi, proses pembentukan energi membutuhkan waktu yang relatif lama, dan cadangannya yang semakin menipis dikarenakan permintaan terus meningkat disetiap tahunnya (Kadhafi, 2020). Masyarakat dunia saat ini mengalami krisis energi yang menjadi suatu permasalahan yang penting di dunia bahkan di Indonesia, untuk itu diperlukan perkembangan energi alternatif yang dapat menggantikan energi fosil sebagai energi yang tak terbarukan (*non-renewable energy*) menjadi energi yang terbarukan (*renewable energy*), berkelanjutan dan ramah lingkungan seperti tenaga angin, *biofuel*, *fuel cell*, *geothermal*, *solar photovoltaic* dan lain sebagainya (Berghuis *et al.*, 2020).

Energi alternatif saat ini yang sedang banyak diteliti dan dikembangkan yaitu sel bahan bakar (*fuel cell*). *Fuel cell* dianggap sebagai energi terbarukan (*renewable energy*) yang paling menjanjikan, sehingga *fuel cell* menjadi perhatian di mata dunia pada beberapa tahun terakhir karena memiliki sifat yang ramah lingkungan serta memiliki efisiensi yang tinggi untuk menggantikan bahan bakar fosil yang kini masih menjadi energi utama bagi kehidupan manusia (Nursyafitri, 2021), maka dari itu *fuel cell* dapat menjadi salah satu pilihan energi alternatif yang dapat menangani krisis energi saat ini.

*Fuel cell* merupakan suatu perangkat elektrokimia yang secara langsung dapat mengubah energi kimia dari bahan bakar seperti hidrogen dan metanol, kemudian diubah menjadi energi listrik (Wang *et al.*, 2016). *Fuel cell* menggunakan teknologi energi terbarukan (*renewable energy*) yang aman, memiliki efisiensi energi yang tinggi dan tentunya tidak bersifat polutif. Proses pada elektrokimia ini tidak memerlukan proses mekanis atau termal, hanya memerlukan oksigen untuk memulai reaksi. Listrik yang dihasilkan berupa jenis arus searah (DC) yang bertegangan rendah. Prinsip kerjanya menyerupai baterai, bahan bakar dan oksidan dalam hal ini yakni hidrogen dan oksigen yang sesuai dengan anoda dan katoda kemudian disalurkan menuju elektrolit. Elektrolit yang digunakan dapat berupa bentuk padat ataupun cair, dapat beroperasi pada suhu tinggi dan rendah, serta dapat menghantarkan ion spesifik yang berbeda. Keuntungan dari penggunaan *fuel cell* yaitu tidak menghasilkan polusi, efisiensi termodinamika yang lebih tinggi, memiliki efisiensi yang relatif tinggi untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik yang mengakibatkan hanya sedikit kehilangan energinya, tidak memerlukan sistem pengisian ulang dikarenakan energi listrik yang dihasilkan akan terus berjalan seiring dengan pasokan bahan bakar yang terpenuhi (Olabi *et al.*, 2020). Keuntungan lainnya yaitu mampu menghasilkan energi listrik dalam rentang waktu yang relatif lama, berbeda dengan baterai yang hanya mengandung material bahan bakar yang terbatas (Safitri *et al.*, 2016).

Salah satu jenis dari *fuel cell* yang paling efektif untuk digunakan adalah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC). PEMFC dapat dikatakan

efektif untuk digunakan karena memiliki kelebihan antara lain memiliki efisiensi tinggi, membran yang digunakan bersifat non-volatil karena berbentuk padatan, elektrolit yang tahan terhadap CO<sub>2</sub>, kemungkinan kecil terbentuknya korosi, beroperasi pada suhu rendah, tidak memerlukan waktu yang lama pada saat proses *start-up* dan pengisian (Hasanah *et al.*, 2018) serta memiliki daya spesifik tinggi yang dapat mencapai 1 kW/kg (Herlambang dan Roihatin, 2019). PEMFC juga memiliki kelemahan diantaranya yaitu sangat sensitif, bahan yang digunakan memiliki harga yang cukup tinggi, lapisan difusi gas (GDL) dan lapisan medan aliran, katalis yang digunakan juga masih memiliki harga yang relatif mahal yaitu platina, degradasi dan kesulitan dalam pembuatan *Membrane Electrode Assembly* (MEA) (Taner, 2015).

Pusat PEMFC adalah MEA yang terdiri dari *Proton Exchange Membrane* (PEM) dan katalis. MEA menjadi komponen yang terpenting dalam PEMFC, secara umum terdapat tiga komponen seperti katoda, anoda dan membran polimer yang digabungkan untuk membentuk MEA sebagai inti reaksi di PEMFC. MEA terdiri dari katoda dan anoda dengan membran elektrolit yang diapit pada kedua sisinya (Baroutaji *et al.*, 2016). PEM yang paling sering digunakan adalah membran Nafion. Nafion terbuat dari *Perfluorosulfonic Acid* (PFSA) yakni polimer sintesis yang dikenal sebagai polietilen (Moazeni dan Khazaei, 2020). Nafion memiliki potensi yang baik untuk menghantarkan H<sup>+</sup> dari anoda ke katoda dan menahan elektron di anoda. Nafion memiliki konduktivitas proton yang tinggi sebesar 0,0983 S/cm, akan tetapi ketika mencapai suhu tinggi sekitar >100°C kemampuan konduktivitas proton tersebut akan semakin menurun dan tidak dapat terdegradasi. Nafion juga memiliki kemampuan dalam penyerapan air (*water uptake*) yaitu sebesar 3,04%. Membran Nafion digunakan sebagai membran elektrolit polimer dan sering ditemukan langsung dalam sel bahan bakar alkohol karena konduktivitas ionik yang tinggi. Sayangnya membran Nafion ini sangat permeabilitas terhadap bahan bakar dengan nilai sebesar  $1.37 \times 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/s (Zakaria *et al.*, 2019), sehingga dapat terjadi persilangan bahan bakar yang menyebabkan beberapa masalah yaitu kehilangan bahan bakar etanol, keracunan katalis

katoda, dan kinerja sel tunggal yang menurun (Karimi, 2019). Pengoperasian Nafion yang sulit serta harga yang masih relatif tinggi, membuat para peneliti mencari dan membuat sebuah inovasi berupa alternatif membran polimer yang lebih murah, terjangkau, hemat biaya, memiliki konduktivitas proton yang tinggi, dan memiliki stabilitas termal, mekanik, serta kimia yang sangat baik (Kadhafi, 2020).

Studi mengenai polimer alam sebagian besar telah dilakukan terutama pada polisakarida antara lain kitosan, pati, asam polilaktat, polibutilen suksinat, dan turunan dari selulosa (Chen S. *et al.*, 2020). Polimer terbarukan dan tersedia dalam jumlah besar dari berbagai sumber tanaman serta menempati urutan pertama dalam kelimpahannya di alam adalah selulosa (Voicu *et al.*, 2016). Selulosa asetat (SA) sebagai turunan dari selulosa yang memiliki ketertarikan khusus karena memiliki sifat mekanik yang memungkinkan dapat digunakan banyak pengaplikasian yaitu pada pengolahan dan filtrasi air, pengemasan, dan aplikasi *fuel cell* (Mendes *et al.*, 2018; Niu *et al.*, 2018). Selulosa asetat (SA) sebagai polimer alami mempunyai karakteristik yang baik, yaitu antara lain tak beracun, dapat mengadsorpsi, terbiodegradasi dan lainnya (Roberson, 2019). Selulosa asetat (SA) memiliki banyak keunggulan dalam penerapannya sebagai membran. Membran ini termasuk membran yang bersifat hidrofilik yang memiliki permukaan kutub aktif serta dapat berikatan dengan molekul atau senyawa polar (Kusworo *et al.*, 2018). Selulosa asetat (SA) murni memiliki daya serap air yang tinggi sebesar 71,6% yang harus diturunkan, serta kekuatan mekanik yang kecil sebesar 9,7 mPa, konduktivitas listrik yang rendah, selanjutnya ketahanan panas dan ketahanan kimia yang terbatas harus dinaikkan dan dimaksimalkan (Etemadi *et al.*, 2018).

Mohy Eldin *et al.*, pada tahun 2016 menggunakan selulosa asetat (SA) tersulfonasi sebagai PEMFC. Elektrolit ini menunjukkan stabilitas termal yang tinggi yakni sebesar 375,72°C, sifat mekanik yang tinggi dengan nilai sebesar 49,25 N, dan juga menunjukkan permeabilitas metanol yang rendah sebesar  $1,729 \times 10^{-17}$  cm<sup>2</sup>/s. Najafi *et al.*, pada tahun 2017 menggunakan bahan polimer alam berbasis selulosa asetat (SA) sebagai PEMFC melaporkan bahwa stabilitas

termal yang baik hingga mencapai 224°C dengan memiliki kekuatan mekanik yang dibutuhkan dalam pengoperasian *fuel cell*. Samaniego *et al.*, pada tahun 2020 juga menggunakan polimer alam selulosa asetat (SA) sebagai PEMFC mengungkapkan bahwa kapasitas penukar ion yang tinggi sebesar 2,15 mmol/g. Laksono *et al.*, pada tahun 2016 menggunakan polimer alam yang sama yakni selulosa asetat (SA) sebagai PEMFC menyampaikan bahwa nilai konduktivitas dari membran selulosa asetat (SA) murni sebesar  $1,54 \times 10^{-6}$  S/cm dan nilai untuk konduktivitas tertinggi pada membran selulosa asetat (SA) yang dikompositkan dengan garam LiCl pada komposisi 65/35 sebesar  $2,95 \times 10^{-4}$  S/cm yang diukur pada suhu ruang. Membran polimer selulosa asetat (SA) memiliki konduktivitas rendah dengan nilai kurang dari  $10^{-6}$  S/cm. Strategi yang mudah dan juga efisien dengan tujuan untuk meningkatkan konduktivitas proton pada membran selulosa asetat (SA) dapat dilakukan dengan didoping *filler* anorganik salah satunya adalah grafena oksida (GO) yang dapat mempengaruhi kinerja PEMFC (Yadav *et al.*, 2018).

Grafena oksida (GO) telah menarik banyak perhatian pada beberapa tahun terakhir karena penggunaannya sebagai elektrolit untuk PEMFC. Salah satu turunan grafena adalah grafena oksida yang berasal dari fungsionalisasi kimia dan pengelupasan serbuk grafit dengan rasio C/O sebesar 2,1. Struktural dari grafena oksida (GO) merupakan campuran monolayer dua dimensi dari bahan karbon grafit yang memiliki hibridisasi  $sp^2$  dan  $sp^3$  difungsikan dengan gugus fungsi permukaan yang mengandung oksigen. Chowdury *et al.*, pada tahun 2020 menggunakan material grafena oksida (GO)-hidrogen sebagai PEMFC menyatakan bahwa para peneliti meletakkan perhatiannya yang besar terhadap grafena oksida (GO) dikarenakan memiliki karakteristik yang menarik dengan membuktikan bahwa proses operasi grafena oksida (GO) yang sederhana dan murah dengan luas permukaan yang besar yakni 736,6 m<sup>2</sup>/g, bersifat hidrofilik, permeabilitas terhadap gas yang lebih rendah yaitu sebesar 2,1914 Barrer, penyerapan air pada membran grafena oksida (GO) yang tinggi sebesar 30% dengan penyerapan selama 3 jam. Gugus fungsi asam yang dimiliki oleh grafena oksida (GO) menyebabkan mudahnya untuk terhidrasi

serta mudah dalam menyerap molekul air, selain itu gugus fungsi asam tersebut dan ikatan hidrogen antarmolekul menyediakan jalur yang melimpah untuk penghantar proton. Grafena oksida (GO) akan memberikan konduktivitas ionik yang baik karena adanya gugus fungsi oksigenik seperti gugus hidroksil, karboksilat, dan epoksi di daerah hidrofilik yang mengelilingi grafena oksida (GO). Shi *et al.*, pada tahun 2019 menyatakan bahwa potensi dari penambahan grafena oksida (GO) sebagai doping yang dapat meningkatkan konduktivitas membran yang hampir mencapai  $10^{-2}$  S/cm. Grafena oksida (GO) dapat bereaksi dengan polimer hidrofobik melalui ikatan  $\pi$ - $\pi$  yang terpengaruh secara hidrofobik (Chee *et al.*, 2015). Ekstraksi grafena menggunakan metode *Hummer* merupakan salah satu metode tertua, akan tetapi juga termasuk salah satu metode yang paling tepat dalam pembentukan grafena massal. Pembuatan grafena oksida (GO) berasal dari oksidasi *Natural Flake Graphite* (NFG) dimurnikan dengan metode *Hummer* yang dimodifikasi. Peneliti banyak tertarik pada metode ini karena efisiensi serta tingkat keamanan reaksi yang tinggi. Metode ini masih memiliki beberapa kekurangan, diantaranya sulit untuk melepaskan gas beracun seperti  $\text{NO}_2$  dan  $\text{N}_2\text{O}_4$  selama proses oksidasi dan sulitnya untuk menghilangkan sisa ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  dari air limbah pada proses sintesis dan pemurnian grafena oksida (GO). Grafena diperoleh dalam bentuk grafit oksida tereduksi, yang sering juga disebut sebagai grafena oksida (GO). Sebuah cara telah dilakukan untuk mensintesis grafena oksida (GO) multi-layer menggunakan metode *Hummer* yang dimodifikasi, di mana jumlah dari  $\text{NaNO}_3$  telah menurun dan jumlah dari  $\text{KMnO}_4$  meningkat (Alam *et al.*, 2017). Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja grafena oksida (GO) dalam aplikasi fotokatalitik yaitu dengan menggabungkan grafena oksida (GO) dengan oksida logam. Penggabungan ini memiliki keuntungan untuk meningkatkan kinerja dari fotokatalitik (Faiz *et al.*, 2020).

Penelitian ini dilakukan pembuatan membran komposit selulosa asetat-grafena oksida (SA-GO) dengan lima variasi konsentrasi grafena oksida (GO) yakni sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%. Sintesis grafena oksida (GO) dilakukan dengan menggunakan metode *Hummer*. Grafena oksida (GO) yang

telah disintesis dapat diidentifikasi fasa kristalinnya menggunakan karakterisasi XRD dengan sudut sebesar  $2\theta = 5^\circ-90^\circ$ , selain itu juga dapat diidentifikasi perubahan struktur ikatan yang terjadi pada grafit setelah melalui proses oksidasi dengan menggunakan karakterisasi FTIR pada rentang bilangan gelombang sebesar  $500-4.500\text{ cm}^{-1}$ . Pembuatan membran komposit selulosa asetat-grafena oksida (SA-GO) dilakukan melalui teknik inversi fasa dengan cara pencelupan. Membran komposit selulosa asetat-grafena oksida (SA-GO) yang telah terbentuk dilakukan pengujian berupa uji sifat mekanik pada membran antara lain uji *swelling* dan uji tarik (*stress*, *strain*, dan *modulus Young*), serta dilakukan uji kinerja membran antara lain uji konduktivitas proton, uji kapasitas penukar ion, dan uji permeabilitas metanol. Membran komposit selulosa asetat-grafena oksida (SA-GO) yang paling optimal untuk aplikasi PEMFC dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR dan SEM.

## 1.2 Rumusan Penelitian

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi grafena oksida (GO) terhadap kinerja membran komposit selulosa asetat-grafena oksida (SA-GO) sebagai *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi grafena oksida (GO) terhadap sifat mekanik membran komposit selulosa asetat-grafena oksida (SA-GO) sebagai *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)?
3. Bagaimana efektivitas membran komposit selulosa asetat-grafena oksida (SA-GO) dibandingkan dengan Nafion produk komersil sebagai *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menguji pengaruh variasi konsentrasi grafena oksida (GO) terhadap kinerja membran komposit selulosa asetat-grafena oksida (SA-GO) sebagai *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC).
2. Untuk menguji pengaruh variasi konsentrasi grafena oksida (GO) terhadap sifat mekanik membran komposit selulosa asetat-grafena oksida (SA-GO) sebagai *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC).
3. Untuk menguji efektivitas membran komposit selulosa asetat-grafena oksida (SA-GO) dibandingkan dengan Nafion produk komersil sebagai *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC).

### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang kimia serta dapat membantu pengembangan aplikasi dari membran polimer alam yang dikompositkan dengan material lain dalam hal ini yakni selulosa asetat-grafena oksida (SA-GO). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait penggunaan polimer alam sebagai bahan pembuatan membran pada sel bahan bakar (*fuel cell*) yang mudah didapatkan, terjangkau, terbarukan (*renewable energy*), dan ramah lingkungan. Membran komposit selulosa asetat-grafena oksida (SA-GO) juga dapat menggantikan membran Nafion sebagai PEMFC yang memiliki harga relatif lebih mahal, selain itu penelitian ini dapat memanfaatkan kekayaan alam Indonesia yang sangat melimpah dan terjangkau tanpa harus memakai produk luar negeri.