

ANALISIS SIFAT DAN KEMAMPUAN MEMBRAN ELEKTROLIT KITOSAN-SILIKA DARI LIMBAH CANGKANG KELAPA SAWIT UNTUK APLIKASI DIRECT METHANOL FUEL CELL

F. P. Ardi¹, I. P. Anggraeni¹, M. Purwanto^{1,*}, D. Permana², A. Priyanga³, dan L. Atmaja³

¹*Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan 76127, Indonesia*

²*Jurusan Pendidikan Kimia, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Kolaka 93517, Indonesia*

³*Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60181, Indonesia*

**Email: m.purwanto@lecturer.itk.ac.id*

Article Received on: 18th May 2024

Revised on: 29th March 2025

Accepted on: 1st July 2025

ABSTRAK

Membran elektrolit berbasis kitosan dengan penambahan *filler* silika dari cangkang sawit telah berhasil disintesis melalui teknik inversi vasa. Pada tahap awal, kitosan diperoleh melalui proses demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi dari serbuk kulit udang, sedangkan silika diperoleh dari limbah cangkang kelapa sawit. Hadirnya silika dalam lapisan struktur membran diketahui mampu meningkatkan kerapatan membran dan menyediakan jalur media lintasan proton yang dapat mengurangi terjadinya methanol crossover dan meningkatkan pergerakan proton sehingga kinerja membran lebih optimal. Pada penelitian ini, fabrikasi membran dilakukan dengan melarutkan serbuk kitosan dan silika pada asam asetat 2% dengan variasi komposisi silika 5%, 10%, dan 15% (b/b). Karakterisasi membran dilakukan dengan FTIR, *water uptake*, *methanol uptake*, *permeabilitas methanol*, dan *ion exchange capacity*. Hasil pengujian menunjukkan kinerja terbaik diperoleh pada sampel membran dengan kandungan silika 15% dengan nilai *water uptake*, *methanol uptake*, *permeabilitas methanol*, dan *Ion Exchange Capacity* (IEC) secara berturut-turut sebesar 72,89%, 62,19%, 0,006 mgcm²/s mol, dan 4,15 mmol/g. Semua hasil pengujian menunjukkan bahwa membran komposit kitosan dengan *filler* silika menjanjikan sebagai membran alternatif untuk aplikasi *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC).

Kata kunci: kitosan, silika, cangkang kelapa sawit, membran, DMFC

ABSTRACT

A chitosan-based electrolyte membrane with the addition of silica filler from palm kernel shells has been successfully synthesized using the phase inversion technique. In the initial stage, chitosan was obtained through a demineralization, deproteination, and deacetylation process from shrimp shell powder, while silica was obtained from palm oil shell waste. The presence of silica in the membrane structure layer can increase membrane density and provide a media pathway for proton passage, which will reduce the occurrence of methanol crossover and increase proton movement; therefore, membrane performance is more optimal. In this research, membrane fabrication was carried out by dissolving chitosan and silica powder in 2% acetic acid with variations in silica composition of 5%, 10%, and 15% (w/w). Membrane characterization was carried out using FTIR, water uptake, methanol uptake, methanol permeability, and ion exchange capacity. The test results showed that the best performance was obtained on membrane samples with a silica content of 15% with values of water uptake, methanol uptake, methanol permeability, and Ion Exchange Capacity (IEC), respectively, of 72.89%, 62.19%, 0.006 mg/cm²/s mol, and 4.15 mmol/g. All test results show that the chitosan composite membrane with silica filler is promising as an alternative membrane for Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) applications.

Keywords: chitosan, silica, palm shell, membrane, DMFC

PENDAHULUAN

Membran merupakan lapisan tipis semipermeabel yang berfungsi sebagai pemisah selektif antar dua fasa yang mengatur transpor tertentu. Berdasarkan jenisnya, membran

dibedakan menjadi dua yaitu membran komposit dan membran non komposit. Membran komposit terbuat dari polimer organik sebagai matriks dan bahan organik sebagai pengisi (Adiyar et al., 2020). DMFC membutuhkan *Proton Exchange Membrane*

(PEM) sebagai membran elektrolit. Nafion merupakan membran komersial yang dikenal memiliki kinerja terbaik namun memiliki beberapa kelemahan seperti harganya yang mahal, permeabilitas metanol yang tinggi dan mudah terjadinya hidrasi (Prapainainar et al., 2019). Salah satu polimer yang berpotensi untuk menggantikan nafion adalah kitosan. Kitosan adalah suatu biopolimer yang memiliki gugus amina bebas yang dapat terprotonasi, sehingga dapat dikategorikan sebagai polikation alami. Selain gugus amina bebas, kitosan juga memiliki gugus hidroksi. Kedua gugus tersebut memungkinkan dilakukannya modifikasi pada kitosan untuk menghasilkan sifat fisik dan kimia yang diinginkan (Purwanto et al., 2021).

Biopolimer kitosan dapat dikolaborasikan dengan material lain untuk menghasilkan membran komposit. Dengan adanya pengisi filler pada lapisan struktur membran kitosan akan memberikan peluang dihasilkannya membran yang lebih baik (Berghius, 2020; Wulandari, 2017). Salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan menambahkan bahan pengisi berupa silika yang diharapkan mampu meningkatkan efektifitas membran elektrolit dalam aplikasi DMFC (Anggasari et al., 2013; Ikubanni et al., 2020). Silika dapat diperoleh dari cangkang kelapa sawit, yang merupakan limbah perkebunan dan belum banyak dimanfaatkan. Pada studi sebelumnya (Pausa et al., 2015), telah berhasil mendapatkan kemurnian silika dari abu cangkang kelapa sawit berdasarkan konsentrasi pengasaman. Serbuk silika mempunyai dua situs aktif di permukaan, yaitu gugus silanol (Si-OH) dan gugus siloksan (Si-O-Si) yang dapat memperkuat lapisan struktur membran dan memberikan peningkatan kualitas pertukaran proton dalam perannya sebagai membran elektrolit (Rapierna, 2012).

Pada penelitian ini pembuatan membran dilakukan dengan teknik inversi fasa, yaitu perubahan wujud polimer dari fase cair menjadi fase padat. Kitosan diperoleh dari ekstraksi kulit udang, sedangkan serbuk silika diperoleh dari limbah cangkang kelapa sawit. Pemanfaatan silika yang berasal dari limbah cangkang kelapa sawit sebagai bahan filler yang dapat mendukung sifat dan kemampuan membran elektrolit untuk aplikasi DMFC merupakan kebaruan dari penelitian ini. Adapun penambahan filler silika dalam lapisan struktur membran dilakukan dengan beberapa

variasi komposisi untuk menghasilkan optimasi membran terbaik. Nilai – nilai sifat dan kemampuan membran komposit yang dihasilkan diharapkan mampu menjadi alternatif sebagai membran elektrolit pada aplikasi direct methanol fuel cell dengan kinerja tinggi.

MATERI DAN METODE

Bahan

Kitosan disintesis dari limbah kulit udang, sedangkan silika disintesis dari limbah cangkang kelapa sawit. Reagen yang digunakan antara lain asam klorida (HCl), natrium hidroksida (NaOH), asam sulfat (H₂SO₄), asam asetat (CH₃COOH), natrium klorida (NaCl), dan metanol (CH₃OH) yang diperoleh dari Merck.

Peralatan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat alat penggerus, oven, pengaduk magnet, pengaduk kaca, gelas beaker, erlenmeyer, buret, statif, klem, neraca analitik, pH universal, termometer, alat sentrifugasi, corong, ayakan 100 mesh, karet penghisap, pipet, hotplate, *crucible*, *furnace*, spektrofotometer FTIR, dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

Cara Kerja

Preparasi Kitosan dari Limbah Kulit Udang

Kulit udang yang sudah dikeringkan dihaluskan dan di saring dengan ayakan berukuran 100 mesh. Pembuatan kitosan dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu demineralisasi, deproteinasi dan deasetilasi. Pada tahap pertama demineralisasi, serbuk kulit udang dilarutkan sambil diaduk pada larutan HCl 1M dengan perbandingan 1:15 (b/v) dan dipanaskan pada suhu 65°C selama 30 menit. Sampel dicuci dengan aquades hingga pH netral kemudian dikeringkan. Selanjutnya pada tahap kedua deproteinasi, serbuk kering hasil demineralisasi di larutkan sambil diaduk pada larutan NaOH 3,5% dengan perbandingan 1:10 (b/v) dan dipanaskan pada suhu 65 °C selama 2 jam. Sampel dicuci dengan aquades hingga pH netral kemudian dikeringkan. Serbuk yang dihasilkan pada tahap ini disebut sebagai kitin. Tahap ketiga deasetilasi, serbuk kitin dilarutkan dan diaduk pada larutan HCl 1 M dengan perbandingan 1:15 (b/v) dan dipanaskan pada suhu 65°C selama 30 menit. Sampel dicuci

dengan aquades dan dikeringkan. Semua proses pengeringan dilakukan pada suhu 105 °C selama 4 jam. Serbuk yang dihasilkan berupa kitosan.

Pembuatan Silika Dari Limbah Cangkang Kelapa Sawit

Prose pembuatan Silika dilakukan melalui dua (2) tahap. Pertama *pre-treatment*, cangkang kelapa sawit yang sudah dikeringkan akan dihaluskan dan disaring dengan ayakan berukuran 100 mesh. Serbuk yang diperoleh direndam pada larutan HCl 4 M selama 3 jam, lalu dibilas dengan aquades hingga pH netral dan dikeringkan pada suhu 100°C. Serbuk dibakar dengan *furnace* pada suhu 300°C untuk dijadikan arang, dan kemudian di bakar pada suhu 900°C untuk dijadikan abu. Abu direndam pada larutan HCl 3 M selama 3 jam dan dinetralkan. Kedua tahap sol-gel, 50 g abu dilarutkan sambil diaduk pada larutan NaOH 3 M dan dipanaskan selama 2 jam. Reaksi yang terjadi menghasilkan larutan silikat. Larutan didinginkan dan disaring dengan menggunakan kertas filtrasi. Residu hasil filtrasi dicuci dengan 100 ml aquades mendidih. Filtrat di titrasi dengan HCl 3 M hingga pH kisaran 7,5-8,5 dengan dilakukan pegadukan secara terus menerus hingga terbentuk gel berwarna putih. Larutan disaring hingga diperoleh padatan gel. Gel dikeringkan pada suhu 80°C selama 24 jam untuk menghasilkan serbuk.

Fabrikasi Membran Elektrolit

Serbuk silika dan kitosan masing-masing dilarutkan kedalam 25 ml CH₃COOH 2% (v/v). Larutan berisi silika disonifikasi selama 30 menit, sedangkan larutan berisi kitosan diaduk dan dipanaskan pada suhu 60°C selama 30 menit. Kedua larutan dicampur dan diaduk pada suhu 60°C selama 30 menit. Campuran larutan dihomogenkan dengan perlakuan sonifikasi selama 30 menit, didiamkan selama 30 menit, dan kembali disonifikasi selama 30 menit. Larutan dicetak pada pelat kaca dan didiamkan hingga kering. Membran direndam dengan larutan NaOH 0,1 M selama 1 jam dan dicuci dengan aquades hingga netral.

Karakterisasi Membran

Struktur dan gugus fungsi dari kitosan, silika dan membran komposit dianalisis menggunakan Fourier Transform Infra-Red (FTIR). Sampel seberat 0,1 hingga 0,2 g

dipersiapkan pada penahan pin stub dan dianalisis dalam rentang bilangan gelombang 650 hingga 4000 cm⁻¹. Sedangkan kristalinitas silika yang dihasilkan dianalisis menggunakan X-Ray Diffractometer (XRD, Philips Analytical). Sampel dipersiapkan dalam jumlah tertentu pada pin stub holder dan dikeringkan. Proses analisis dilakukan menggunakan radiasi Cu-K α (λ = 0,154056 Å).

Uji Kemampuan Membran

Water dan Methanol Uptake, pengujian *water uptake* dilakukan dengan mengukur perbedaan berat membran sebelum dan sesudah direndam air sedangkan untuk pengujian *methanol uptake* dilakukan dengan merendam membran dalam larutan metanol 1 M. Membran dipotong dengan ukuran 1 x 1 cm, dikeringkan pada suhu 35°C hingga berat keringnya konstan. *Water dan methanol uptake* dihitung dengan persamaan 1.

$$Uptake (\%) = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{dry}} \times 100\% \quad \dots(1)$$

Dimana W_{wet} merupakan berat basah membran setelah perendaman dan W_{dry} merupakan berat kering membran sebelum perendaman.

Permeabilitas Metanol, pengujian permeabilitas metanol dilakukan dengan menggunakan kompartemen. Kedua sisi kompartemen diisi masing-masing dengan air pada kompartemen B dan metanol 1 M pada kompartemen A sebanyak 75 mL. Membran dipotong dengan ukuran 3 x 3 cm yang diletakkan diantara dua kompartemen. Sampel pada kompartemen air diambil dengan pipet setiap 30 menit selama 2 jam untuk mengukur densitasnya. Permeabilitas metanol dihitung dengan persamaan 2.

$$P = \left(\frac{\Delta\rho_B}{\Delta t}\right)\left(\frac{L V_B}{A C_A}\right) \quad \dots(2)$$

Dimana P merupakan permeabilitas metanol, $\Delta\rho_B/\Delta t$ merupakan *slope* dari variasi densitas dengan fungsi waktu, L merupakan ketebalan membran (cm), V_B merupakan volume air di kompartemen B (cm³), A merupakan luas area membran (cm²), dan C_A merupakan konsentrasi metanol di kompartemen A.

Ion Exchange Capacity, Pengujian *ion exchange capacity* dengan memotong membran 1 x 1 cm kemudian ditimbang massanya. Masing-masing membran direndam dalam HCl 1 M selama 1 jam lalu ditiriskan. Membran

yang telah ditiriskan tersebut direndam lagi pada larutan NaCl 1 M selama 3 jam. Sampel yang telah direndam kemudian ditetesi 3 tetes indikator phenolphthalein dan dititrasi menggunakan NaOH 0,01 M hingga berwarna merah muda dan dicatat volume titrasinya. Ion Exchange Capacity dihitung dengan persamaan 3.

$$IEC (mmol g^{-1}) = \frac{M_{NaOH} \times 1000 \times V_{NaOH}}{W_d} \dots (3)$$

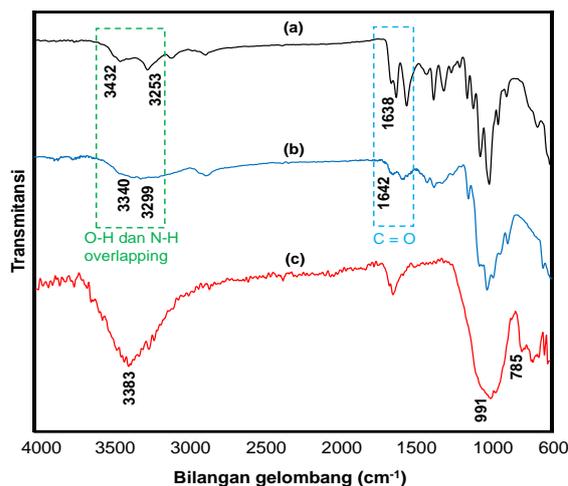
Dimana M_{NaOH} merupakan konsentrasi NaOH, V_{NaOH} merupakan volume NaOH yang digunakan untuk titrasi dan W_d merupakan berat kering membran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Kitin, Kitosan dan Silika

Kitin dan Kitosan yang dihasilkan dari ekstraksi limbah kulit udang telah dilakukan analisis gugus fungsi dengan menggunakan FTIR. Spektra FTIR kitin menunjukkan adanya serapan yang muncul pada bilangan gelombang 3432 cm^{-1} yang merupakan gugus fungsi N-H dan bilangan gelombang 3253 cm^{-1} untuk gugus fungsi O-H. Selanjutnya keberadaan gugus fungsi C=O pada kitin dapat ditunjukkan pada bilangan gelombang 1638 cm^{-1} . Pada spektra kitosan diketahui adanya serapan pada bilangan gelombang 3299 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi O-H. Selain itu, gugus fungsi C=O juga terlihat pada bilangan gelombang 1642 cm^{-1} namun mengalami penurunan intensitas. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Azizati, 2019), yang menjelaskan bahwa penurunan intensitas gugus C=O pada kitosan menandakan bahwa terjadi pelepasan gugus asetil yang terjadi karena proses deasetilasi kitin menjadi kitosan.

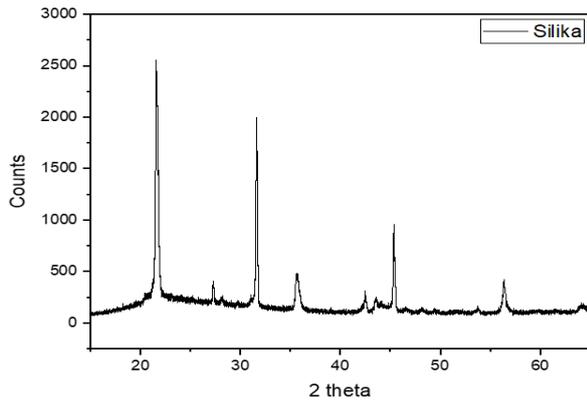
Hasil pengujian FTIR untuk kitin, kitosan dan silika sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Pada spektra kitosan menunjukkan adanya gugus fungsi N-H yang nampak pada bilangan gelombang 3340 cm^{-1} . Berdasarkan analisis karakteristik FTIR kitin dan kitosan menunjukkan perbedaan cukup signifikan. Adanya spektrum utama pada daerah panjang gelombang tertentu yang menunjukkan adanya gugus fungsi khas dari kitosan yaitu gugus amida dan hidroksil yang mengidentifikasi bahwa senyawa hasil reaksi deasetilasi kitin telah terbentuk kitosan (Purwanto et al., 2017; Handayani et al., 2018).



Gambar 1. Spektra FTIR dari Kitin, Kitosan dan Silika

Analisis FTIR juga telah dilakukan pada silika yang dihasilkan dari ekstraksi limbah cangkang kelapa sawit. Hasil spektra FTIR menunjukkan adanya gugus -OH pada bilangan gelombang 3383 cm^{-1} . Selanjutnya ditemukan adanya sifat khas dari silika dengan hadirnya gugus Si-O dari Si-O-Si yang ditunjukkan pada bilangan gelombang 991 cm^{-1} dan gugus Si-O dari Si-OH pada bilangan gelombang 785 cm^{-1} .

Silika yang telah dihasilkan juga dianalisis sifat kristalinitasnya dengan menggunakan XRD sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil analisis diperoleh puncak difraksi yang landai pada kisaran $2\theta = 21,586^\circ$, $2\theta = 31,614^\circ$ dan $2\theta = 45,346^\circ$ yang menunjukkan pergeseran ke intensitas yang semakin rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa serbuk silika memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi. Struktur kristal yang diperoleh merupakan hasil dari penambahan metode kalsinasi pada suhu $900^\circ C$. Proses kalsinasi ini mengubah fase *amorf* menjadi kristobalit yang diperjelas dengan munculnya puncak-puncak utama yang dapat diidentifikasi sebagai puncak utama kristobalit (Imoisili et al., 2020; Zaki et al., 2017). Derajat kristalinitas kristobalit dapat ditentukan berdasarkan puncak-puncak utama yang muncul dengan cara membandingkan nilai puncak intensitas dan nilai intensitas minimum pada grafik, sehingga diperoleh derajat kristalinitas silika sebesar 88,65%. Hasil serupa juga pernah dilaporkan oleh peneliti sebelumnya (Pausa et al, 2015), yang menunjukkan hasil kristalinitas yang tinggi.



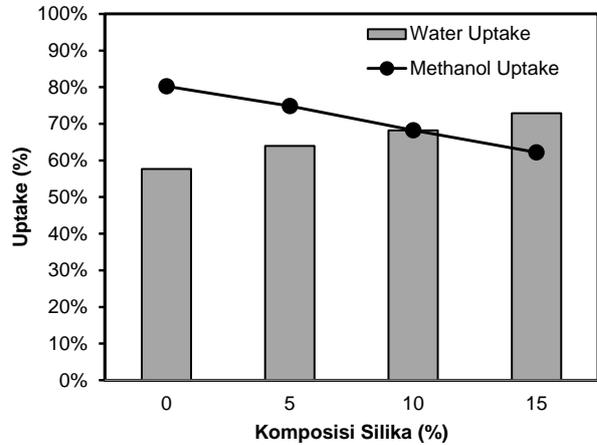
Gambar 2. Grafik XRD Silika

Sifat dan Kemampuan Membran *Water uptake dan methanol uptake*

Pengujian water uptake dan methanol uptake dilakukan untuk mengetahui kemampuan membran dalam menyerap air atau metanol. Sifat ini penting dimiliki oleh membran karena salah satu media pergerakan proton dari anoda ke katoda dalam struktur membran dipengaruhi oleh keberadaan air (Nugraeni et al. 2021). Dalam hal ini kondisi membran yang mengandung air akan memiliki fasa ruah air yang dapat membantu memperbanyak jalur lintasan proton sehingga kinerja membran meningkat. Adapun hasil pengujian water uptake dan methanol uptake ditunjukkan sebagaimana Gambar 3. Grafik hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi komposisi silika yang terkandung pada membran menjadikan kemampuan membran dalam menyerap air akan meningkat. Hadirnya silika pada lapisan struktur membran memberikan kontribusi terhadap kemampuan membran dalam menyerap air karena memiliki gugus hidrofilik yang dapat menarik air (Purwanto et al, 2016). Namun demikian, tren yang dihasilkan berbeda pada analisis *methanol uptake* yang menunjukkan grafik menurun seiring dengan penambahan silika pada membran.

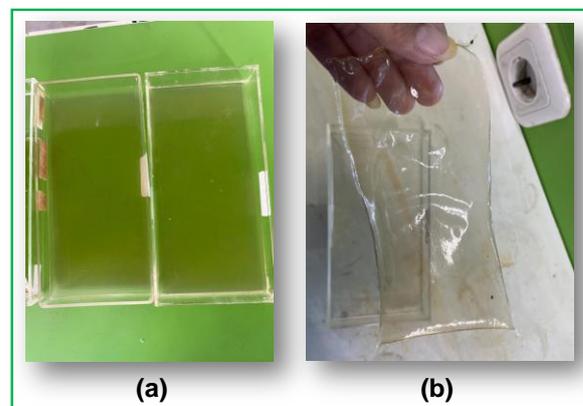
Membran komposit dengan berbagai konfigurasi silika telah berhasil difabrikasi dengan teknik inversi fasa sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Membran dengan muatan komposisi silika 15% menunjukkan nilai serapan air tertinggi yaitu sebesar 72,89%. Pada proses sistem DMFC, membran dapat bekerja dengan baik dalam menghantarkan proton jika berada pada keadaan terhidrasi. Namun demikian, membran juga dapat mengalami *swelling* jika terlalu banyak

mengandung air. Banyaknya air dalam membran dapat mempermudah transport proton yang dapat meningkatkan efektifitas sel bahan bakar.



Gambar 3. Water uptake dan methanol uptake untuk membran komposit

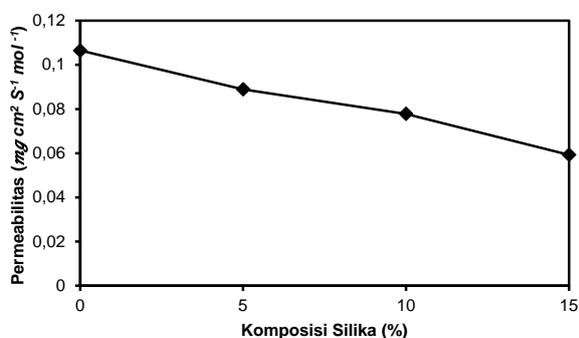
Pada sifat yang lain, membran dengan kandungan silika 15% menghasilkan nilai *methanol uptake* terendah yaitu 62,19%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan silika dan modifikasi membran dapat membantu mengurangi terjadinya *crossover* pada membran. Nilai serapan metanol yang rendah mengartikan bahwa peluang terjadinya *crossover* pada membran juga rendah. Selain itu, penurunan *methanol uptake* mengindikasikan bahwa membran akan memiliki permeabilitas yang rendah. Fenomena serupa juga pernah dilaporkan oleh peneliti sebelumnya (Agustina, 2015), yang menunjukkan rendahnya nilai methanol uptake pada membran yang dihasilkan.



Gambar 4. Proses pencetakan membran (a) dan membran kering yang dihasilkan (b)

Permeabilitas methanol

Permeabilitas metanol merupakan performa penting bagi membran dalam aplikasi DMFC. Besarnya nilai permeabilitas metanol menjadi faktor utama untuk mengetahui ketahanan membran dalam menghalangi terjadinya methanol crossover, yaitu fenomena methanol yang menyebrang ke dalam membran sehingga dapat mengganggu efektifitas kinerja membran (Atmaja et al., 2019). Oleh karena itu membran yang baik adalah membran yang sangat sedikit terjadinya methanol crossover, yang dalam hal ini adalah rendahnya nilai permeabilitas methanol. Gambar 5 merupakan grafik hasil pengujian permeabilitas methanol yang menunjukkan nilai permeabilitas yang menurun seiring dengan bertambahnya muatan silika dalam membran.

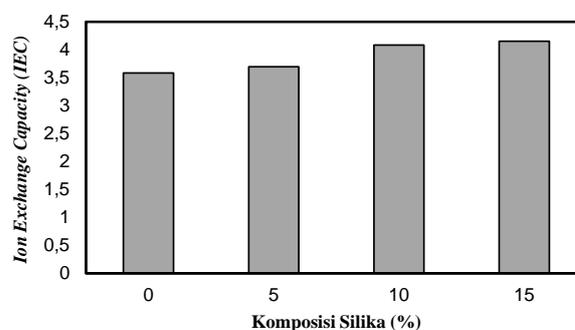


Gambar 5. Permeabilitas methanol membran komposit

Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai permeabilitas metanol terbaik diperoleh pada membran dengan kandungan silika 15% yaitu sebesar 0,06 mg cm²/s mol. Semakin banyak komposisi jumlah silika yang dimasukkan pada membran, menunjukkan trend nilai permeabilitas methanol yang menurun. Berdasarkan grafik hasil pengujian yang diperoleh, menunjukkan bahwa membran kitosan memiliki permeabilitas yang lebih besar dibandingkan membran komposit kitosan-silika. Fenomena ini disebabkan oleh keberadaan silika yang dapat meningkatkan kerapatan struktur membran sehingga metanol dapat tertahan pada permukaan dan memperkecil peluang masuknya metanol dalam struktur membran. Hasil serupa juga pernah dilaporkan pada studi sebelumnya (Thiam et al., 2013) [24] bahwa membran polimer dengan komposisi filler yang meningkat menunjukkan penurunan nilai permeabilitasnya.

Ion Exchange Capacity (IEC)

Kemampuan membran sebagai media perjalanan proton adalah salah satu sifat penting dari membran elektrolit untuk mencapai kinerja tinggi pada sel bahan bakar. Sifat ini berkaitan dengan kemampuan membran untuk melakukan pertukaran ion, yang merupakan dasar dari pergerakan proton dalam struktur membran (Bai et al., 2014). Analisis sifat ini dapat dilakukan melalui parameter yang disebut sebagai Kapasitas Pertukaran Ion atau *Ion Exchange Capacity* (IEC), yang mengukur kemampuan membran dalam menukar ion. Ion utama yang terlibat dalam proses ini adalah proton, yang menjadi ion khas dalam sistem operasi sel bahan bakar. Oleh karena itu, suatu membran yang efektif harus mampu memfasilitasi pertukaran ion dengan baik dalam sel bahan bakar. Semakin tinggi aktivitas pertukaran ion di dalam membran, semakin besar peluang bagi proton untuk bergerak dengan bebas dalam sel bahan bakar tersebut. Adapun pengujian terhadap Kapasitas Pertukaran Ion telah dilakukan untuk mengevaluasi kualitas membran dengan hasil data yang ditampilkan dalam Gambar 6. Adanya fenomena meningkatnya kemampuan pertukaran ion, maka membran memiliki potensi bahwa kinerja sel bahan bakar juga akan meningkat.



Gambar 6. Hasil pengujian Ion Exchange Capacity untuk membran komposit

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai kapasitas pertukaran ion meningkat dengan adanya penambahan komposisi silika. Membran dengan kandungan silika 15% menunjukkan nilai kapasitas pertukaran ion tertinggi yaitu 4,15 mmol/g. Besarnya nilai kapasitas pertukaran ion ini memiliki trend yang sama dengan nilai *water uptake* pada membran, bahwa semakin tinggi nilai serapan air pada membran diperoleh nilai kapasitas

pertukaran ion juga ikut meningkat. Hasil yang serupa juga pernah dilaporkan pada penelitian sebelumnya dengan trend peningkatan nilai kapasitas pertukaran ion (Wang et al, 2010). Kitosan sebagai bahan dasar membran dalam strukturnya memiliki gugus NH_2 yang akan terprotonisasi dalam air membentuk ion NH_3^+ . Banyaknya ion NH_3^+ yang hadir dalam lapisan struktur membran dapat mempengaruhi kemampuannya dalam mengikat proton (H^+). Selain itu, adanya gugus SiO_2 dengan komposisi tertentu yang telah berhasil ditambahkan dalam membran menjadikan peningkatan kualitas membran sebagai media pertukaran ion.

SIMPULAN

Membran komposit kitosan dengan optimasi konfigurasi silika menunjukkan kinerja yang baik untuk aplikasi DMFC dengan rendahnya nilai permeabilitas metanol dan tingginya *Ion Exchange Capacity* (IEC). Adanya penambahan *filler* silika menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan membran kitosan murni, tanpa konfigurasi silika. Membran Kitosan/Silika 15 menunjukkan karakteristik terbaik dengan nilai permeabilitas metanol membran $0,06 \text{ mg cm}^2/\text{s}$ dan nilai *Ion Exchange Capacity* (IEC) $4,15 \text{ mmol/g}$. Semua hasil pengujian menunjukkan bahwa membran kitosan dengan filler silika dari cangkang sawit berpotensi sebagai membran alternatif pada aplikasi direct methanol fuel cell.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiyar, S. S. 2020. An Overview of Synthetic Polymer-Based Membrane Modified With Chitosan For Direct Methanol Fuel Cell Application. *Materials Science and Engineering*. 1-10.
- Agustina, S., Swantara, I. M. D., & Suartha, I. N. 2015. Isolasi kitin, karakterisasi, dan sintesis kitosan dari kulit udang. *Jurnal Kimia*. 9(2): 271-278.
- Anggasari, N., Alauhdin, M., dan Prasetya, A. T. 2013. Synthesis and Characterization of Tripolyphosphate Chitosan Membranes as an Alternative to Control Drug Release Systems. *Indo. J. Chem. Sci.* 29(3): 190-193.
- Atmaja L., Mochammad Purwanto, Muhammad Taufiq Salleh, Mohamad Azuwa Mohamed, Juhana Jaafar, Ahmad Fauzi Ismail, Mardi Santoso, Nurul Widiastuti. 2019. GPTMS-Montmorillonite-filled biopolymer chitosan membrane with improved compatibility, physicochemical, and thermal stability properties. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 15(4): 492-497
- Azizati, Z. 2019. Pembuatan dan karakterisasi kitosan kulit udang galah. *Walisono Journal of Chemistry*. 2(1): 10-16.
- Bai H., Haoqin Zhang, Yakun He, Jindun Liu, Bing Zhang, Jingtao Wang. 2014. Enhanced proton conduction of chitosan membrane enabled by halloysite nanotubes bearing sulfonate polyelectrolyte brushes. *Journal of Membrane Science*. 454: 220 – 232.
- Berghius, N. Z. 2020. Sintesis Membran Komposit Berbahan Dasar Kitosan Dengan Metode Sol-Gel Sebagai Membran Fuel Cell Pada Suhu Tinggi. *Al-Kimiya*. 7(1): 35-46.
- Handayani, L., Syahputra, F., & Astuti, Y. 2018. Utilization and characterization of oyster shell as chitosan and nanochitosan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*. 21(4): 224-231.
- Ikubanni, P. O. 2020. Influence of Temperature on The Chemical Compositions and Microstructural Changes of Ash Formed From Palm Kernel Shell. *Result in Engineering*. 8: 1-9.
- Imoisili, Patrick E., Kingsley O. Ukoba & Jen, T. C. 2020. Green Technology Extraction and Characterisation of Silica Nanoparticles from Palm Kernel Shell Ash via Sol-Gel. *Journal of Materials Research and Technology*. 9(1): 307-313.
- Nugraeni C.D., Lukman Atmaja, Nur Hayati, Mochammad Purwanto, Mardi Santoso, Yuli Kusumawati. 2021. Fabrication and Characterization of Chitosan/N-Phthaloyl Composite Membrane for DMFC Application. *Jurnal Riset Kimia*. 12(2): 143 – 150.
- Pausa, Y., Malino, M. B. A., & Arman, Y. 2015. Optimasi Tingkat Kemurnian Silika, SiO_2 , dari Abu Cangkang Sawir

- Berdasarkan Konsentrasi Pengasaman. *Prisma Fisika*. 3(1): 1-4.
- Prapainainar, P., Pattanapisutkun, N., Prapainainar, C., & Kongkachuichay, P. (2019). Incorporating graphene oxide to improve the performance of Nafion-mordenite composite membranes for a direct methanol fuel cell. *International Journal Of Hydrogen Energy*. 44(1): 362-378.
- Purwanto, M., Lukman Atmaja, Mohamad Azuwa Mohamed, M. T. Salleh, Juhana Jaafar, A. F. Ismail, Mardi Santoso, and Nurul Widiastuti. 2016. Biopolymer-Based Electrolyte Membranes from Chitosan Incorporated with Montmorillonite-Crosslinked GPTMS for Direct Methanol Fuel Cells. *RSC Advances*. 6(3): 2314–22.
- Purwanto M., Lukman Atmaja, M.T. Salleh, Mohamad Azuwa Mohamed, Juhana Jaafar, Ahmad Fauzi Ismail, Mardi Santoso, Nurul Widiastuti. 2017. Correlation Between Proton Conductivity, Hydrophilicity, And Thermal Stability Of Chitosan/Montmorillonite Composite Membrane Modified Gptms And Their Performance In Direct Methanol Fuel Cell. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 21(3): 675 – 689.
- Purwanto, M., Widiastuti, N., Saga, B. H., & Gusmawan, H. 2021. Synthesis of Composite Membrane Based Biopolymer Chitosan With Silica From Rice Husk Ash For Direct Methanol Fuel Cell Application. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 830(1): 1-8.
- Rapierna A., 2012. Sintesis dan Pemanfaatan Membran Kitosan-Silika Sebagai Membran Pemisah Ion Logam Fe²⁺. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 37-42.
- Thiam, H. S., W. R W Daud, S. K. Kamarudin, A. B. Mohamad, A. A H Kadhun, K. S. Loh, and E. H. Majlan. 2013. Performance of Direct Methanol Fuel Cell with a Palladium-Silica nanofibre/Nafion Composite Membrane. *Energy Conversion and Management*. 75: 718–26.
- Wang, Y., Zhongyi Jiang, Huifeng Li, and Dong Yang. 2010. Chitosan Membranes Filled by GPTMS-Modified Zeolite beta Particles with Low Methanol Permeability for DMFC. *Chemical Engginering and Processing: Process Intensification*. 49(3): 278-285.
- Wulandari, A. V., Ella K., & Triastuti S. 2017. Pengaruh Penambahan Abu Layang Termodifikasi terhadap Karakteristik Membran Elektrolit Berbahan Dasar Kitosan. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 6(2): 105-109.
- Zaki, A., Saputra, E., & Fadli, A. 2017. Pembuatan Silika High Grade dari Fly Ash Sawit dengan Proses Ekstraksi dan Cation Exchange. *Jom FTEKNIK*. 4(2): 1-4.