

Fabrikasi Membran Asimetris La_{0,7}Sr_{0,3}Co_{0,2}Fe_{0,8}O_{3-δ} (LSCF 7328) Dengan Penambahan Aditif Polietilen Glikol (PEG)

Naimatul Khoiroh, Wahyu Prasetyo Utomo, dan Hamzah Fansuri

Departemen Kimia, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: h.fansuri@chem.its.ac.id

Abstrak—Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh berat molekul Polietilen glikol (PEG) terhadap morfologi pori membran prekursor asimetris oksida perovskit La_{0,7}Sr_{0,3}Co_{0,2}Fe_{0,8}O_{3-δ} (LSCF 7328). Membran dipreparasi menggunakan metode *tape casting* berbasis inversi fasa menggunakan N-metil 2 piroolidon (NMP) sebagai pelarut, air sebagai koagulan, dan polietersulfon (PESf) sebagai polimer pengikat. PEG adalah polimer yang bersifat hidrofilik sehingga pada penelitian ini dijadikan sebagai aditif. Modifikasi morfologi pori memberikan peranan penting untuk meningkatkan kinerja membran khususnya permeasi oksigen. Variasi berat molekul PEG (dalam satuan Dalton/Da) yang digunakan adalah 300, 600, dan 1500 Dalton pada konsentrasi 3%. Karakterisasi kristal perovskit dengan XRD, sedangkan morfologi dan struktur pori membran diamati dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil SEM menunjukkan bahwa semua membran berhasil terbentuk asimetris dengan pori yang berbentuk *finger-like* dan *sponge-like* dengan lapisan rapat yang tipis, hal ini juga menunjukkan bahwa penambahan PEG dapat berperan sebagai agen pembentuk pori di mana berat molekul PEG sebanding dengan besarnya ukuran pori dan kekerasan membran namun berbanding terbalik dengan volume pori dan porositas membran.

Kata Kunci—Membran asimetris, konfigurasi pori, perovskit; polietilen glikol.

I. PENDAHULUAN

TINGGINYA ketergantungan terhadap minyak bumi dan batubara sebagai sumber energi dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca [1]. Kontribusi besar lainnya terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca adalah dari gas alam di mana 95% kandungan dari volume totalnya merupakan gas metana (CH₄) [2]. Pengolahan gas alam menjadi sumber energi alternatif merupakan pilihan terbaik karena akan dapat menghemat energi dan mengurangi emisi gas rumah kaca dengan pemanfaatan metana [3]. Teknologi baru sedang terus dikembangkan untuk mengeksplorasi bahan mentah ini dengan lebih baik, di mana secara umum langkah awal proses yang digunakan adalah produksi syngas [4]. Adapun rute alternatif potensial untuk produksi syngas adalah salah satunya Oksidasi Parsial Metana (OPM) [5] di mana prosesnya membutuhkan material yang dapat mengatur jumlah oksigen yang bereaksi agar tidak terjadi oksidasi sempurna, seperti membran *mixed ionic and electronic conducting* (MIEC) berbahan dasar oksida perovskit [6] salah satunya adalah La_{1-x}

Sr_xCo_{1-y}Fe_yO_δ (LSCF) [7]. LSCF menunjukkan aktivitas yang baik terhadap oksidasi metana dan resisten terhadap CO₂ [8].

Material ideal yang digunakan sebagai membran reaktor untuk proses OPM harus menunjukkan fluks oksigen yang tinggi, kekuatan mekanik yang cukup, dan stabilitas kimia yang terjaga [9]. Kemampuan fluks oksigen dapat ditingkatkan dengan membuat membran setipis mungkin [10]. Namun secara mekanis, membran tipis rapuh serta tidak mampu bertahan pada suhu dan tekanan tinggi [11]. Untuk mengatasi hal tersebut maka dibuatlah membran dengan struktur asimetris yang mengandung lapisan tipis membran rapat terdukung material berpori [12].

Salah satu metode pembuatan membran asimetris adalah inversi fasa [13]. Morfologi membran terutama distribusi ukuran pori dapat dikontrol dengan memilih pelarut, non pelarut, polimer dan pembentuk pori yang berbeda [14]. Dari banyaknya faktor, penambahan aditif ke dalam larutan cetak merupakan salah satu faktor utama untuk mendapatkan struktur membran yang optimal [15]. Aditif yang sering digunakan adalah makromolekul seperti polivinilpirolidon (PVP), polietilena oksida (PEO), polietilen glikol (PEG), air, senyawa organik seperti gliserol, alkohol, garam anorganik seperti LiCl dan ZnCl₂, dan air [16].

PEG sebagai aditif relatif jarang digunakan dibandingkan dengan PVP, padahal memiliki fungsi yang sama [16]. PEG adalah senyawa polieter linear yang tersedia dalam berbagai berat molekul dan rumus umumnya dinyatakan sebagai H(OCH₂CH₂)_nOH, di mana n adalah jumlah rata-rata kelompok oxyethylene berulang [17]. PEG larut dalam air dan dalam banyak pelarut organik termasuk hidrokarbon aromatik sehingga PEG dilaporkan sebagai pembentuk pori untuk meningkatkan sifat permeasi [18].

Penekanan makrovoid masing-masing membran dapat dilakukan dengan menggunakan aditif yang sama, namun dengan variasi berat molekul yang berbeda [15]. Pada membran polimer, penambahan aditif PEG telah dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pembentukan struktur mikro membran dan terbukti dapat secara efektif mempengaruhi mikrostruktur akhir membran [19]. Namun untuk fabrikasi membran keramik, tidak banyak laporan terkait mekanisme yang mendasari pengaruh penambahan PEG pada inversi fasa [20]. Padahal dari sudut pandang kimia polimer, interaksi antara aditif PEG dengan larutan *casting*

tidak hanya bergantung pada polimer dan pelarut, tetapi juga berat molekul PEG yang dapat sesuai dengan kondisi inversi fasa untuk mempengaruhi proses pembentukan membran, menghasilkan struktur dan kinerja membran yang berbeda [17]. Oleh karena itu perlu dipelajari lebih lanjut terkait pengaruh penambahan PEG dengan berat molekul yang berbeda terhadap struktur membran keramik sehingga membran dapat dimodifikasi dan dihasilkan membran yang optimal sesuai dengan kebutuhan.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain oven, desikator, neraca analitik, kaca arloji, spatula besi, mortar dan pastel, krusibel porselen, erlenmeyer, *magnetic stirrer*, *muffle furnace*, *high temperature furnace*, ayakan 400 mesh, plat kaca, alat penggulung, bak, difraktometer sinar-X (PANalytical Xpert MPD system) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM FEI S-50 dan SEM ZEISS EVO MA 10), serta Vicker's Microhardness Tester MITUTOYO tipe 211. Bahan-bahan yang digunakan yaitu (La_2O_3) p.a 99,5% (Merck), strontium karbonat (SrCO_3) p.a 99,9% (Merck), oksida kobalt (Co_3O_4) p.a 99,5% (Merck), dan oksida besi (Fe_2O_3) p.a 97% (Merck), Prolietilen Glikol (PEG) dengan berat molekul (dalam satuan Dalton/Da): 300, 600, dan 1500 (Merck); Polietersulfon (PESf) (Aldrich), N-Metil Pirolidon (NMP) (Aldrich, 97%), aquades, dan resin, serta hardener.

B. Prosedur Kerja

1) Sintesis Oksida Perovskit LSCF 7328

Oksida perovskit LSCF 7328 disintesis melalui metode reaksi *solid state* sebagaimana yang telah dilakukan oleh [21]. (2017). Pereaksi yang meliputi La_2O_3 , SrCO_3 , Co_3O_4 dan Fe_2O_3 dikeringkan terlebih dahulu di dalam oven pada suhu 105 °C selama 1 jam. Pereaksi kering yang diperoleh kemudian dimasukan ke dalam desikator selama 24 jam sebelum dilakukan penimbangan sesuai stoikiometrinya pada Tabel 1. Setelah ditimbang, campuran reaktan digerus dengan mortar dan pastel porselen selama 2 jam dan selanjutnya disebut sebagai prekursor.

Tabel 1.
Komposisi sintesis 50 g oksida perovskit LSCF 7328

Oksida Perovskit	Massa Prekursor (g)			
	La_2O_3	SrCO_3	Co_3O_4	Fe_2O_3
LSCF 7328	25,58	9,93	3,62	14,33

Prekursor kemudian dikalsinasi dengan kenaikan suhu secara bertahap mulai dari suhu kamar dengan penahanan pada suhu 400 °C selama 1 jam dan dilanjutkan ke suhu 890 °C selama 2 jam. Proses tersebut diulang sebanyak dua kali dengan penggerusan dilakukan selama 15 menit setiap kali selesai kalsinasi satu tahap. Selanjutnya dikalsinasi kembali pada suhu 1000 °C selama 2 jam dengan kenaikan suhu mulai dari suhu kamar. Produk dari proses kalsinasi ini digerus lagi selama 15 menit dan disebut sebagai serbuk oksida perovskit.

2) Karakterisasi Serbuk Oksida Perovskit

Karakterisasi serbuk oksida perovskit hasil sintesis dilakukan dengan difraksi sinar-X. Sampel oksida perovskit diletakan di wadah sampel (sampel holder) difraktometer sinar-X. Analisis difraksi dilakukan dengan diambil pada rentang sudut 2θ antara 20° sampai dengan 80° dengan interval 0,02° dan laju 0,4° per detik. Sumber radiasi yang digunakan adalah $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1.54 \text{ \AA}$). Difraktogram yang dihasilkan selanjutnya dicocokkan dengan data standar dari kartu PDF (Powder Diffraction File) bernomor 00-025-1060 yang dikeluarkan oleh ICPDS- *International Centre for Diffraction Data*.

3) Pembuatan Membran Keramik Asimetris

Pembuatan membran perovskit LSCF 7328 dengan menggunakan komposisi seperti pada Tabel 2.

Tabel 2.
Komposisi Larutan cetak (Dope)

LSCF 7328 (%b/b)	PESf (%b/b)	NMP (%b/b)	PEG (%b/b)	BM PEG (Da)	Kode
52.1	6.7	41.2	-	-	P1
49.1	6.7	41.2	3	300	P3
49.1	6.7	41.2	3	600	P5
49.1	6.7	41.2	3	1500	P7

Adapun metode yang digunakan adalah metode inversi fasa. Serbuk perovskit LSCF 7328 dan PEG dilarutkan dengan pelarut NMP di dalam erlenmeyer dan diaduk selama 24 jam. Setelah campuran perovskit dan aditif tercampur dengan sempurna kemudian PESf ditambahkan ke dalam erlenmeyer dan diaduk kembali selama 24 jam. Larutan cetak yang terbentuk kemudian disonikasi untuk menghilangkan gelembung udara yang terjebak di dalam larutan cetak.

Setelah campuran homogen dan tidak ada gelembung yang terjebak di dalam larutan cetak maka dilakukan pencetakan membran dengan metode inversi fasa rendam-endap. Suspensi dimasukkan ke dalam cetakan plat kaca kemudian diratakan dengan batang pengaduk kaca lalu dicelupkan ke dalam nonpelarut (air). Selanjutnya membran mentah ini disinter pada suhu 1250 °C selama 4 jam.

4) Uji dan Karakterisasi Membran

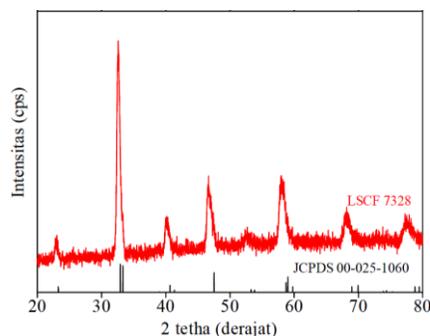
Pengamatan morfologi membran dilakukan dua kali, yakni sebelum disinter (membran mentah) dan setelah disinter menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) mulai dari penampang lintang, permukaan atas maupun permukaan bawahnya. Dari hasil foto SEM ini juga akan didapatkan ukuran pori. Kekerasan membran setelah sinter diuji menggunakan metode *Micro Vickers Hardness* dengan indenter intan berbentuk piramid. Gaya yang diberikan saat indentasi adalah 0,05 Kgf dan ditahan selama 10 detik pada 4 titik berbeda. Selanjutnya, metode adsorpsi cairan digunakan untuk mengukur porositas dan volume pori membran [22]. Membran datar dipotong dengan dimensi 1 x 1 cm² dan direndam ke dalam air selama 20-30 menit. Massa kering dan massa membran setelah perendaman ditimbang menggunakan neraca analitik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Oksida Perovskit LSCF 7328

Oksida perovskit $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{Co}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{O}_{3-\delta}$ (LSCF 7328) pada penelitian ini disintesis dengan metode *solid state* dengan komposisi pereaksi sebagaimana yang disebutkan pada Tabel 1. Setelah dilakukan penggerusan, campuran pereaksi (prekursor) berwarna merah bata seperti warna asal Fe_2O_3 . Tidak adanya warna lain pada prekursor ini menunjukkan bahwa prekursor telah tercampur secara merata. Warna merah bata yang terlihat terjadi karena Fe_2O_3 berjumlah lebih banyak dari Co_3O_4 yang berwarna sedangkan dua prekursor lainnya yaitu La_2O_3 dan SrCO_3 berwarna putih. Berbeda dengan hasil penggerusan, campuran perovskit berubah menjadi warna hitam setelah dilakukan kalsinasi. Perubahan ini mengindikasikan telah terjadinya reaksi padat-padat antar prekursor menghasilkan senyawa lain berbeda dari asalnya, yakni diduga LSCF 7328 sebagaimana target yang diinginkan.

Berdasarkan dugaan tersebut selanjutnya dilakukan pembuktian struktur kristal serbuk hitam hasil sintesis dengan menggunakan difraksi sinar X (XRD). Hasil analisis serbuk hitam menggunakan difraktometer XRD dibandingkan dengan difraktogram oksida perovskit LaCoO_3 dari data JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standar*) No. 00-025-1060 yang memiliki struktur kristal rombohedral R-3m, dengan nilai $a=b= 5,4410 \text{ \AA}$, $c = 13,088 \text{ \AA}$ dan nilai $\alpha=\beta= 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$. Perbandingan difraktogram hasil sintesis dengan referensi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola XRD dari LSCF 7328

Difraktogram serbuk hitam tersebut menunjukkan puncak-puncak yang sesuai dengan difraktogram oksida perovskit LaCoO_3 namun sedikit bergeser ke kiri menuju 2θ yang lebih kecil. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa serbuk hitam hasil sintesis tersebut yaitu LSCF 7328 merupakan oksida perovskit dengan struktur kristal yang serupa dengan oksida perovskit LaCoO_3 , yakni struktur kristal rombohedral R-3m.

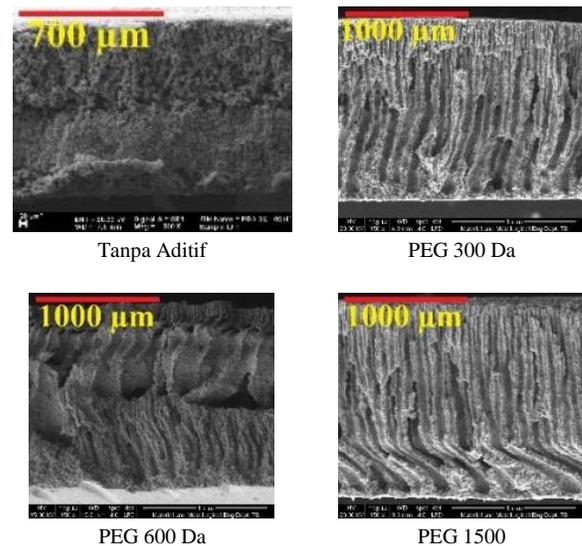
B. Membran Asimetris LSCF 7328 Mentah/Pra Sintering

Metode fabrikasi membran adalah inversi fasa dengan komposisi larutan cetak sebagaimana pada Tabel 2. Membran yang dihasilkan berwarna hitam sebagaimana penyusunnya yang paling dominan, yakni perovskit LSCF 7328. Gambar 2 merupakan hasil dari pengamatan menggunakan SEM sehingga dapat dibandingkan pengaruh dari penambahan PEG dengan berbagai berat molekul. Gambar tersebut menunjukkan

bahwa telah berhasil dibuat membran asimetris LSCF 7328 yakni ditandai dengan adanya permukaan rapat dan permukaan berpori.

Pada saat proses inversi fasa, terjadi difusi pelarut dari larutan polimer menuju non pelarut dan masuknya non pelarut ke polimer. Hilangnya NMP sebagai pelarut dalam membran yang digantikan oleh air sebagai non pelarut inilah yang menyebabkan polimer berubah fasanya dari cairan menjadi padatan dan proses difusi pelarut-non pelarut tersebut menyebabkan terbentuknya pori [23].

Struktur membran berdasarkan jenis porinya dibagi menjadi dua, *sponge-like* dan *finger-like*. Sebagaimana namanya, maka *sponge-like* memiliki bentuk seperti bunga karang (spons) dan *finger-like* berbentuk menjari. Hal yang sering terjadi mengikuti terbentuknya kedua jenis pori tersebut adalah terbentuknya kedua jenis pori tersebut yang berukuran makrovoid. Namun hal ini merupakan sesuatu yang harus dihindari karena akan menciptakan titik lemah pada membran terutama pada membran asimetris keramik yang penerapannya menggunakan suhu dan tekanan tinggi [23].



Gambar 2. Morfologi Sebelum Sintering Membran LSCF 7328

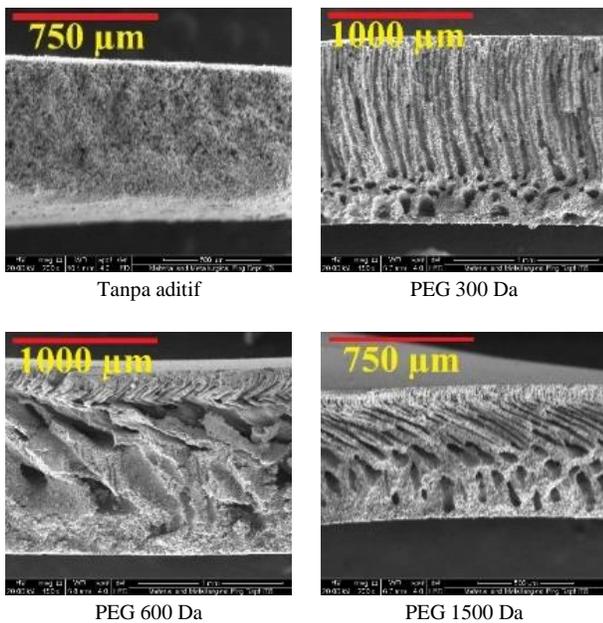
Membran dengan bentuk pori *sponge-like* adalah membran tanpa aditif, sedangkan bentuk *finger-like* muncul pada membran dengan penambahan PEG 300, 600, dan 1500 Dalton. Pembuatan membran LSCF 7328 tanpa penambahan aditif menghasilkan membran asimetris dengan ketebalan lapisan rapat dan berpori yang hampir sama. Penambahan PEG berfungsi sebagai agen pembentuk pori [18]. Gambar SEM yang dihasilkan menunjukkan bahwa terbentuk membran yang berpori dengan dominasi pori *finger like* di mana semakin besar berat molekul PEG yang ditambahkan ukuran pori yang dihasilkan juga semakin besar.

C. Membran Asimetris LSCF 7328 Pasca Sintering

Membran mentah yang telah terbentuk selanjutnya dilakukan proses sintering. Proses sintering dilakukan dalam 2 tahap yakni tahap dekomposisi polimer dan tahap pemadatan. Membran mengalami penyusutan ukuran selama proses sintering. Hal ini terjadi karena hilangnya polimer perekat

selama proses sintering. Selain itu jarak antar serbuk perovskit menjadi lebih kecil bahkan hilang sehingga membran setelah sintering tampak lebih rapat dan keras [23]. Penyusutan yang dialami membran menyebabkan permukaan membran pasca sintering menjadi sedikit melengkung.

Morfologi permukaan dan penampang lintang membran pasca sintering diamati pula menggunakan SEM yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3. Walaupun ada beberapa perbedaan yang terlihat, namun secara garis besar keseluruhan morfologi yang didapatkan pada membran setelah sintering hampir sama seperti membran mentahnya. Membran setelah proses sintering masih mempertahankan struktur asimetris namun kebanyakan membran ukuran porinya menjadi lebih kecil (menyusut). Penyusutan terjadi karena gas (*lubricant*) yang berada pada pori mengalami *degassing*, jika suhu sinter terus dinaikkan akan terjadi difusi permukaan antar partikel yang dapat menyebabkan berkurangnya porositas. Selain itu, permukaan membran juga menjadi lebih rapat karena membran telah mengalami proses densifikasi partikel. Perbedaan proses densifikasi pada masing-masing membran ini disebabkan karena setiap material memiliki suhu optimum yang berbeda untuk proses sintering, sehingga proses densifikasinya juga berdasarkan profil sintering yang digunakan pada penelitian.

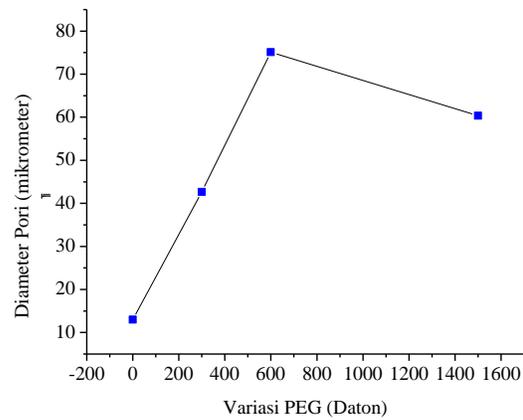


Gambar 3. Morfologi Sebelum Sintering Membran LSCF 7328

Pada hasil foto SEM penampang lintang membran yang sudah disintering tersebut, selain diamati morfologinya juga dilakukan pengukuran diameter porinya yang dapat dilihat pada Gambar 4.

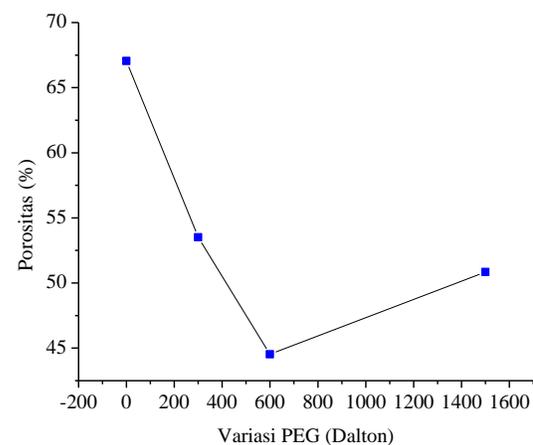
Hasil pengukuran tersebut menunjukkan kecenderungan ukuran pori membran yang semakin meningkat sebanding dengan peningkatan berat molekul PEG yang ditambahkan. Membran LSCF 7328 tanpa tambahan aditif menghasilkan ukuran pori yang paling rendah yakni sebesar 13 μm dan selanjutnya terus meningkat hingga diperoleh nilai paling tinggi pada penambahan variasi berat molekul PEG 600 Da

dengan ukuran pori sebesar 75,11 μm namun kemudian turun kembali turun pada penambahan PEG 1500 Da. Hasil tersebut sesuai dengan referensi yang menyebutkan bahwa PEG dengan berat molekul lebih besar akan menghasilkan ukuran pori yang lebih besar [19].



Gambar 4. Ukuran Pori Membran

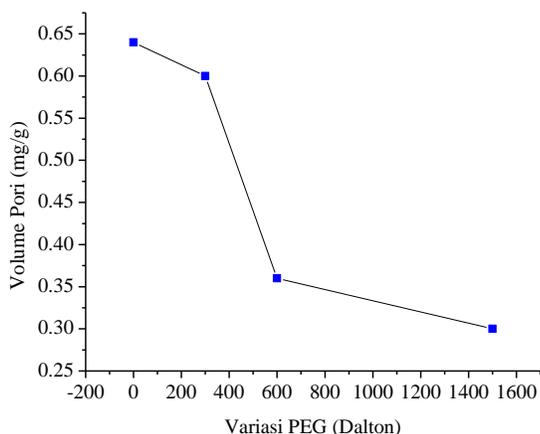
Gambar 5 menunjukkan porositas yang cenderung menurun dengan semakin besarnya berat molekul PEG yang ditambahkan, sedangkan Gambar 3.6 menunjukkan plot grafik volume pori yang semakin menurun mulai membran tanpa aditif hingga dengan penambahan PEG 600 Da namun kembali naik pada penambahan PEG 1500 Da. Nilai paling rendah volume pori dihasilkan pada penambahan PEG 600 Da yang apabila berdasarkan data sebelumnya merupakan membran dengan ukuran pori paling besar. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, sebab pertama menunjukkan distribusi pori masing-masing membran tidak sama, sehingga besarnya ukuran pori tidak bisa secara langsung menunjukkan bahwa porositasnya besar juga.



Gambar 5. Porositas Membran LSCF 7328

Selain itu, hal tersebut juga dapat disebabkan karena adanya pori yang tidak dapat dijangkau oleh air pada saat pengujian porositas menggunakan metode perendaman air sehingga hasil yang didapatkan kecil. Pori-pori yang tidak mendapat serapan air ini dapat disebabkan karena pori terbentuk di dalam

membran, terputus dari permukaan, dan berbentuk tertutup dikelilingi oleh lapisan rapat yang tebal sehingga pori tetap kosong dan tidak terhitug saat pengukuran. Seperti yang dapat diamati pada membran PEG 600 Da dan 1500 Da, pori-pori yang terbentuk cenderung besar namun terputus-putus, sehingga menjadi penghalang pori dalam proses penyerapan air.



Gambar 6. Volume Pori Membran LSCF 7238

Selain itu, hal tersebut juga dapat disebabkan karena adanya pori yang tidak dapat dijangkau oleh air pada saat pengujian porositas menggunakan metode perendaman air sehingga hasil yang didapatkan kecil. Pori-pori yang tidak mendapat serapan air ini dapat disebabkan karena pori terbentuk di dalam membran, terputus dari permukaan, dan berbentuk tertutup dikelilingi oleh lapisan rapat yang tebal sehingga pori tetap kosong dan tidak terhitug saat pengukuran. Seperti yang dapat diamati pada membran PEG 600 Da dan 1500 Da, pori-pori yang terbentuk cenderung besar namun terputus-putus, sehingga menjadi penghalang pori dalam proses penyerapan air.

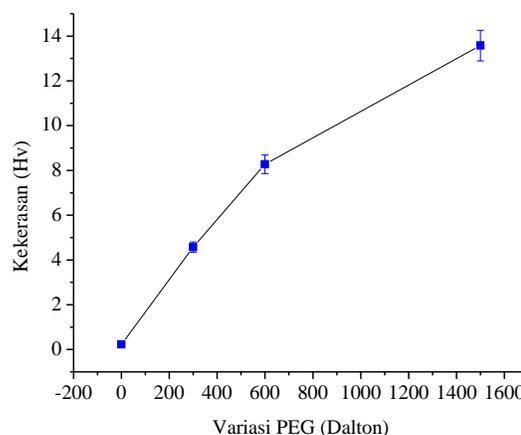
Kondisi lain yang berlawanan adalah membran tanpa aditif, ukuran porinya berukuran sangat kecil bahkan terlihat seperti membran rapat, namun karena pori-porinya terdistribusi secara merata sehingga memiliki porositas yang tinggi. Begitu pula dengan variasi membran lainnya juga menunjukkan gejala serupa, adapun struktur *finger-like* menunjukkan distribusi yang lebih merata dan teratur dibandingkan dengan membran dengan pori *finger-like* makrovoid.

D. Hasil Pengujian Kekerasan Membran

Hasil uji kekerasan membran ditunjukkan pada Gambar 7. Membran LSCF 7328 yang dimodifikasi dengan PEG memiliki kekerasan berkisar antara 0,2 hingga 13,6 Hv, di mana semakin besar berat molekul PEG yang ditambahkan nilai kekerasan cenderung semakin berkurang.

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui juga bahwa nilai kekerasan membran berbanding terbalik dengan ukuran pori dan sebanding dengan volume pori dan porositas. Membran tidak cukup kuat menahan indentasi dengan ukuran pori yang semakin besar sehingga menyebabkan bekas indentasi

memiliki luas area yang semakin besar dan menunjukkan bahwa kekerasan membran semakin kecil. Selain itu, hal ini juga membuktikan dari penjelasan sebelumnya bahwa makrovoid akan memberikan titik-titik lemah pada membran.



Gambar 7. Nilai kekerasan Membran LSCF 7328

Seperti dapat diamati pada membran PEG 1500 Da yang tidak memiliki pori makrovoid ternyata memiliki nilai kekerasan paling besar. Hal lain yang dapat menjadi penyebab fenomena ini adalah proses densifikasi yang berbeda-beda masing-masing membran pada saat proses sintering. Membran dengan nilai kekerasan tinggi menunjukkan bahwa membran tersebut telah mengalami proses densifikasi selama sintering. Terjadinya proses densifikasi selama sintering dapat diamati dari penyusutan ketebalan membran dan mengecilnya ukuran pori. Seperti juga dapat diamati pada membran PEG 1500 Da yang mengalami penyusutan ketebalan membran sangat besar dan porinya juga semakin rapat.

IV. KESIMPULAN

Membran datar LSCF 7328 telah dipreparasi dari larutan *casting* dengan penambahan PEG berat molekul 300, 600, dan 1500 Da sebagai aditif. Semua membran memiliki struktur asimetris yang memiliki lapisan rapat dan lapisan pendukung pori berbentuk *finger-like* dan *sponge-like* dengan keteraturan yang seragam. Sehingga dalam hal ini PEG dapat digunakan untuk memodifikasi pori membran LSCF 7328. Adapun pengaruh berat molekul PEG terhadap morfologi dan sifat mekanik membran adalah semakin besar berat molekul PEG akan menghasilkan membran dengan ukuran pori dan kekerasan yang semakin besar namun dengan volume pori dan porositas yang semakin menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. W. Ngan, M. S., dan Tan, "Assessment of economic viability for PV/wind/diesel hybrid energy system in southern Peninsular Malaysia," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 1, pp. 634–647, 2012.
- [2] W. Dong, H., Shao, Z., Xiong, G., Tong, J., Sheng, S., dan Yang, "Investigation on POM reaction in a new perovskite membrane reactor," *Catal. Today*, vol. 67, no. 1–3, pp. 3–13, 2001.
- [3] J. Zhou, H., Yang, Q., Cheng, Y., Ge, C., dan Chen, "Methane drainage and utilization in coal mines with strong coal and gas

- outburst dangers: A case study in Luling mine, China,” *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, vol. 20, pp. 357–365, 2014.
- [4] M. Meshkani, F., Rezaei, M., dan Andache, “Investigation of the catalytic performance of Ni/MgO catalysts in partial oxidation, dry reforming and combined reforming of methane,” *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 20, no. 4, pp. 1251–1260, 2014.
- [5] S. T. Santos, M. de S., Neto, R. C. R., Noronha, F. B., Bargiela, P., Rocha, M. da G. C. da, Resini, C., dan Brandão, “Perovskite as catalyst precursors in the partial oxidation of methane: The effect of cobalt, nickel and pretreatment,” *Catal. Today*, vol. 299, pp. 229–241, 2017.
- [6] J. C. Sunarso, J., Baumann, S., Serra, J. M., Meulenberg, W. A., Liu, S., Lin, Y. S., dan Diniz da Costa, “Mixed ionic-electronic conducting (MIEC) ceramic-based membranes for oxygen separation,” *J. Memb. Sci.*, vol. 320, no. 1–2, pp. 13–41, 2008.
- [7] J. Huang, B. X., dan Malzbender, “The effect of an oxygen partial pressure gradient on the mechanical behavior of perovskite membrane materials,” *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 34, no. 7, pp. 1777–1782, 2014.
- [8] I. S. Scott, S. P., Mantzavinos, D., Hartley, A., Sahibzada, M., dan Metcalfe, “Reactivity of LSCF perovskites,” *Solid State Ionics*, pp. 152–153, 777–781, 2002.
- [9] H. Luo, H., Wei, Y., Jiang, H., Yuan, W., Lv, Y., Caro, J., dan Wang, “Performance of a ceramic membrane reactor with high oxygen flux Ta-containing perovskite for the partial oxidation of methane to syngas,” *J. Memb. Sci.*, vol. 350, no. 1–2, pp. 154–160, 2010.
- [10] D. Rachadel, P. L., Souza, D. F., Nunes, E. H. M., Diniz, J. C., Vasconcelos, W. L., dan Hotza, “A novel route for manufacturing asymmetric BSCF-based perovskite structures by a combined tape and freeze casting method,” *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 37, pp. 5249–5257, 2017.
- [11] H. Biesheuvel, P. M., dan Verweij, “Design of ceramic membrane supports : permeability, tensile strength and stress,” p. 156, 1999.
- [12] M. Ren, J., Zhou, J., dan Deng, “Morphology transition of asymmetric polyetherimide flat sheet membranes with different thickness by wet phase-inversion process,” *Sep. Purif. Technol.*, vol. 74, no. 1, pp. 119–129, 2010.
- [13] B. Košutić, K., Kaštelan-Kunst, L., dan Kunst, “Porosity of some commercial reverse osmosis and nanofiltration polyamide thin-film composite membranes,” *J. Memb. Sci.*, vol. 168, no. 1–2, pp. 101–108, 2000.
- [14] Y. Zhu, Z., Xiao, J., He, W., Wang, T., Wei, Z., dan Dong, “A phase-inversion casting process for preparation of tubular porous alumina ceramic membranes,” *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 35, no. 11, pp. 3187–3194, 2015.
- [15] M. K. Chakrabarty, B., Ghoshal, A. K., dan Purkait, “Effect of molecular weight of PEG on membrane morphology and transport properties,” *J. Memb. Sci.*, vol. 309, no. 1–2, pp. 209–221, 2008.
- [16] C. Ma, Y., Shi, F., Ma, J., Wu, M., Zhang, J., dan Gao, “Effect of PEG additive on the morphology and performance of polysulfone ultra filtration membranes,” 2011.
- [17] C. Wongchitphimon, S., Wang, R., Jiratananon, R., Shi, L., & Heng, “Effect of polyethylene glycol (PEG) as an additive on the fabrication of polyvinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene (PVDF-HFP) asymmetric microporous hollow fiber membranes,” vol. 369, pp. 329–338, 2011.
- [18] M. C. Khayet, M., Cojocar, C., dan García-Payo, “Experimental design and optimization of asymmetric flat-sheet membranes prepared for direct contact membrane distillation,” *J. Memb. Sci.*, vol. 351, no. 1–2, pp. 234–245, 2010.
- [19] K. Kim, J., dan Lee, “Effect of PEG additive on membrane formation by phase inversion,” vol. 138, pp. 153–163, 1998.
- [20] F. Ren, C., Liu, T., Maturavongsadit, P., Amie, J., dan Chen, “Effect of PEG additive on anode microstructure and cell performance of anode-supported MT-SOFCs fabricated by phase inversion method,” vol. 279, pp. 774–780, 2015.
- [21] H. Nurherdiana, S.D., Sholichah, N., Iqbal, R.M.; Sahasrikirana, M.S., Utomo, W.P., Akhlus, S., Nurlina; Fansuri, “Preparation of La_{0.7}Sr_{0.3}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-δ} (LSCF 7328) by Combination of Mechanochemical and Solid State Reaction, Key Engineering Materials, Vol. Hal 399-403M. Young,” in *The Technincal Writers Handbook*, Mill Valley, 2017.
- [22] T. Saljoughi, E., Amirilargani, M., dan Mohammadi, “Effect of PEG additive and coagulation bath temperature on the morphology , permeability and thermal / chemical stability of asymmetric CA membranes,” *DES*, vol. 262, no. 1–3, pp. 72–78, 2010.
- [23] M. Mulder, *Basic Principle of Membrane Technology*. Amsterdam: Kluwer Academic Publisher, 1996.