

Morfologi Membran Datar Asimetris La_{0.7}Sr_{0.3}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-δ} (LSCF 7328) Pasca Sintering Dengan Penambahan Aditif Polietilen Glikol (PEG)

Ahyudia Malisa Ilham, 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—Membran datar asimetris La_{0.7}Sr_{0.3}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-δ} (LSCF 7328) telah dibuat dengan metode inversi fasa rendam-endap dan sintering. Oksida perovskit LSCF 7328 disintesis dengan metode *solid-state*. Dalam pembuatan membran, polietersulfon (PESf) digunakan sebagai polimer perekat (*polimer binder*), N-metil-2-pirolidon (NMP) sebagai pelarut dan air sebagai non-pelarut (koagulan) dengan variasi konsentrasi polietilen glikol (PEG) sebagai aditif pengatur pori. Variasi PEG sebagai kontrol morfologi membran dilakukan pada berat molekul 300 dan 600 (Da) dengan konsentrasi sebesar 0,55; 1,00 dan 3,00%. Morfologi permukaan dan penampang lintang membran pasca sintering diamati menggunakan SEM. Hasil menunjukkan bahwa penambahan PEG sebagai aditif menghasilkan struktur pori yang cenderung berbentuk *finger like* dengan lapisan rapat yang tipis pada membran datar mentah asimetris LSCF 7328. Namun terdapat beberapa variasi yang menghasilkan struktur *closed-macroid*.

Kata Kunci—Membran asimetris, LSCF 7328, PEG, inversi fasa.

I. PENDAHULUAN

METANA (CH₄) merupakan salah satu sumber energi yang berlimpah yang tersedia di alam maupun sebagai produk dari proses-proses petrokimia. Kandungan metana sebagai penyusun utama gas alam mencapai 80-90% [1]. Selain itu, metana juga dihasilkan sebagai produk samping pada industri pertambangan minyak bumi dan proses pengilangan minyak mentah [2]. Oleh karena itu, metana merupakan bahan yang berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi. Namun hal tersebut tidaklah tanpa masalah karena metana berfasa gas sehingga terdapat resiko yang sangat besar saat penyimpanan dan pendistribusiannya. Gas metana akan lebih efektif digunakan apabila dikonversi menjadi bahan bakar cair, baik berupa metanol, hidrokarbon berantai lebih panjang [3], maupun diubah menjadi syngas melalui Oksidasi Parsial Metana (OPM) [4].

Konversi metana melalui OPM memerlukan suplai oksigen yang ketat karena produk hasil reaksi dapat teroksidasi lebih lanjut oleh oksigen menjadi CO₂ dan H₂O. Oksidasi lanjutan tersebut tidak diharapkan karena akan mengurangi *yield* produk yang diharapkan, baik berupa metanol, etana, etena, ataupun produk hidrokarbon rantai panjang yang lain. Oleh karena itu, kontrol jumlah oksigen perlu dilakukan, salah satunya dengan menggunakan membran penghantar ion oksigen [5] dan [6]. Membran yang

berpotensi digunakan adalah membran berbasis material perovskit, dimana membran perovskit dapat menghantarkan oksigen dari satu sisi ke sisi lain dari membran [7]. Transfer oksigen pada membran perovskit terjadi akibat adanya kekosongan oksigen pada struktur kristal perovskit sehingga material ini merupakan material yang sangat selektif dalam menghantarkan oksigen [8].

Difusi ion oksigen sangat dipengaruhi oleh ketebalan membran. Semakin tebal membran, semakin tinggi hambatan difusinya. Hambatan difusi ion dapat dikurangi dengan mengurangi ketebalan membran rapat [9]. Pengurangan ketebalan membran dapat dilakukan dengan membuat membran rapat asimetris. Membran asimetris adalah model membran yang memiliki beberapa lapisan dengan tingkat kerapatan dan ukuran pori yang berbeda-beda pada tiap lapisannya. Membran asimetris umumnya terdiri dari lapisan pendukung berpori yang tebal dan lapisan rapat yang tipis [1].

Inversi fasa merupakan metode yang sangat penting untuk menyiapkan membran dengan struktur asimetris pada morfologinya [10]. Terdapat beberapa komponen penting dalam pembuatan membran dengan proses inversi fasa yaitu, polimer, pelarut (*solvent*) dan non pelarut (koagulan). Ketika proses inversi fasa terjadi, satu fasa larutan polimer terkonversi menjadi dua yaitu fasa padat (mengandung banyak polimer) yang membentuk struktur membran dan fasa cair (mengandung sedikit polimer) yang membentuk pori [11]. Hal inilah yang menyebabkan terbentuknya membran asimetris.

Selain ketiga faktor tersebut aditif merupakan salah satu faktor utama dan memainkan peran penting dalam pembentukan struktur membran dengan memperbesar atau mencegah pembentukan *macroid*, meningkatkan pembentukan pori, meningkatkan interkoneksi pori, serta meningkatkan hidrofilitas dari membran [12]. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh aditif polietilen glikol (PEG) dengan beberapa berat molekul dan variasi konsentrasi terhadap morfologi dan struktur pori pada membran datar asimetris LSCF 7328.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi krusibel porselen, neraca analitis, oven, spatula besi, kaca

arloji, elemeyer berpenutup, pipet tetes pipet ukur, pengaduk magnetik, *magnetic bar*, plat kaca, *roll* besi, bak koagulan, dan *furnace*. Karakterisasi fasa kristal dilakukan dengan difraksi sinar-X (XRD-PANalytical). Dan untuk morfologi permukaan membran diamati dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM Zeiss EVO MA-10).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk-serbuk oksida dan karbonat seperti oksida lantanum (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), oksida besi (Fe_2O_3) p.a 97% (Merck), polietersulfon (PESf) (Aldrich), N-metil-2-pirolidon (NMP) (Aldrich, 97%), polietilen glikol (PEG) (Merck) dengan berat molekul 300 dan 600 (Da), air.

B. Prosedur Penelitian

1) Sintesis Oksida Perovskit

Oksida perovskit $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{Co}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{O}_{3-\delta}$ disintesis dengan metode *solid state* [13]. Sebelum penimbangan reaktan, seluruh reaktan dipanaskan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam untuk menghilangkan kemungkinan adanya uap air yang terserap pada serbuk reaktan.

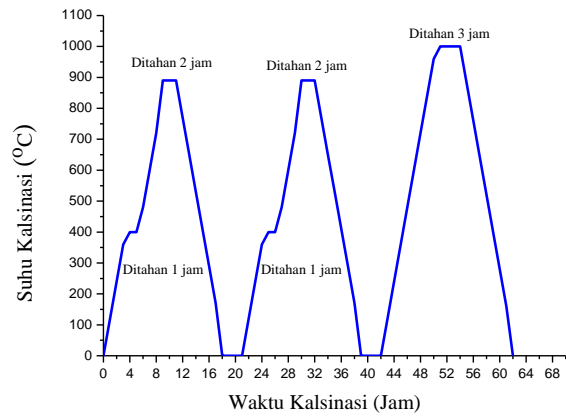
Proses sintesis diawali dengan mencampurkan reaktan berupa La_2O_3 , SrCO_3 , Co_3O_4 dan Fe_2O_3 dengan jumlah stoikiometris sesuai komposisi oksida perovskit yang disintesis. Perhitungan massa reaktan ini didasarkan pada perbandingan mol komponen-komponen kation penyusun perovskit, misalnya jumlah masing-masing reaktan yang dibutuhkan untuk menghasilkan 50 gram perovskit ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1
Massa reaktan untuk membentuk 50 gram perovskit

Jenis	Massa Reaktan (gram)			
	La_2O_3	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	Co_3O_4	Fe_2O_3
LSCF 7328	25,02	9,71	3,52	14,00

Campuran reaktan selanjutnya digerus dengan mortar dan pastel porselen selama dua jam. Campuran reaktan selanjutnya dikalsinasi dengan kenaikan suhu bertahap dengan penahanan pada 400°C selama 1 jam dan dilanjutkan 890°C selama 2 jam, kemudian digerus selama 15 menit dan diulang sebanyak dua kali, terakhir pada suhu 1000°C selama 3 jam dengan kenaikan suhu $20^\circ\text{C}/\text{menit}$. Tahapan proses kalsinasi ditunjukkan pada Gambar 1.

Karakterisasi serbuk oksida perovskit hasil sintesis dilakukan dengan difraktometer sinar-X di Laboratorium Departemen Teknik Material ITS. Sampel oksida perovskit LSCF diletakkan pada sel difraksi (*sample holder*) kemudian disinari dengan sinar CuK_α ($1,54056 \text{ \AA}$). Data difraksi diambil pada rentang sudut 2θ antara 20° sampai 80° dengan *step size* $0,02^\circ$ dan laju $X^\circ \text{ menit}^{-1}$. Difraktogram yang terbentuk selanjutnya dicocokkan dengan data standar dari kartu PDF (*Powder Diffraction File*) yang dikeluarkan oleh JCPDS (*Join Committee on Powder Diffraction Standard*) No. 00-025-1060. Serbuk yang telah jadi kemudian diayak dengan ayakan 400 mesh untuk digunakan dalam pembuatan membran.



Gambar 1. Tahapan proses kalsinasi dalam sintesis oksida perovskit

2) Pembuatan Membran Datar Asimetris LSCF 7328

Membran datar asimetris dibuat dengan metode inversi fasa untuk mendapatkan morfologi membran yang rapat dan berpori. Pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi Polietilen Glikol (PEG) dengan berat molekul 300 dan 600 pada konsentrasi 0,55%; 1,00%; dan 3,00%. Tabel 2 menunjukkan komposisi larutan cetak yang digunakan beserta nonpelarut.

Serbuk perovskit $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{Co}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{O}_{3-\delta}$ (LSCF 7328) yang telah diayak 400 mesh dan Polietilen Glikol (PEG) sebagai additif dicampur dengan pelarut NMP di dalam sebuah erlenmeyer berpenutup dan diaduk dengan pengaduk magnetik selama 24 jam. Setelah PEG larut sempurna, ke dalam campuran yang terbentuk ditambahkan Polietersulfon (PESf) dan pengadukan dilanjutkan selama 24 jam dalam erlenmeyer berpenutup. Larutan cetak yang terbentuk kemudian disonikasi selama 0,5 menit untuk menghilangkan gelembung udara yang terjebak di dalamnya.

Setelah campuran homogen dan bebas gelembung, dilakukan pencetakan membran dengan metode inversi fasa endap-remam. Larutan cetak tersebut kemudian dituangkan ke permukaan cetakan yang terbuat dari plat kaca yang di tepi-tepinya telah diberi pembatas ketebalan dan diratakan. Setelah diratakan, cetakan kaca beserta larutan cetak dicelupkan ke dalam nonpelarut (air). Ketika mengalami kontak dengan non pelarut, suspensi larutan cetak mengalami pemadatan (*solidification*) sehingga terbentuk membran mentah yang masih mengandung polyethersulfon (PESf). Membran mentah yang terbentuk dibiarkan terendam di dalam non pelarut selama 24 jam kemudian ditiriskan. Selanjutnya membran mentah tersebut dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 5 jam. Membran mentah yang telah terbentuk kemudian disinter, mula-mula pada suhu 550°C selama 1 jam dan dilanjutkan pada suhu 1250°C selama 4 jam.

Tabel 2
Variasi komposisi dalam 100 gram larutan cetak dengan air sebagai non pelarut

Berat Molekul (% wt)	LSCF 7328 (wt%)	PESf (wt%)	NMP (wt%)	Additif (wt%)	Non Pelarut (wt%)
PEG				PEG	
300	51,55	6,7	41,2	0,55	Air
	51,1			1	
	49,1			3	
600	51,55			0,55	
	51,1			1	
	49,1			3	

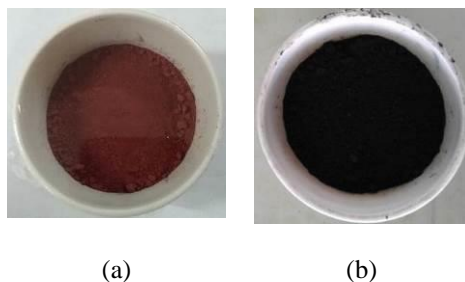
3) Karakterisasi dan Pengujian Membran Keramik

Membran datar asimetris LSCF 7328 sesudah sintering dikarakterisasi morfologinya menggunakan SEM untuk mengetahui struktur pori yang terbentuk. Analisis morfologi permukaan dan penampang lintang membran dilakukan pada beberapa daerah fokus antar lapisan membran. Data morfologi membrane perovskit diperoleh dari sinyal elektron sekunder dengan tegangan pemercepat 20 kV.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sintesis Oksida Perovskit $La_{0,7}Sr_{0,3}Co_{0,2}Fe_{0,8}O_{3-\delta}$ (LSCF 7328)

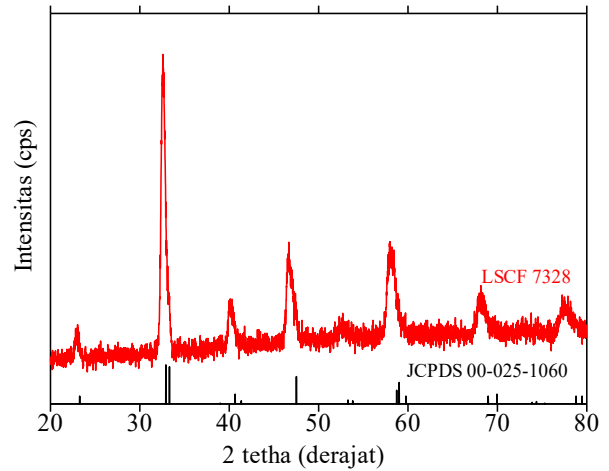
Oksida perovskit $La_{0,7}Sr_{0,3}Co_{0,2}Fe_{0,8}O_{3-\delta}$ (LSCF 7328) disintesis dengan metode *solid state*. Metode ini dipilih karena proses sintesisnya yang relatif mudah dilakukan dan menghasilkan perovskit dengan komposisi sesuai dengan yang diinginkan. Reaksi yang terjadi pada metode ini adalah reaksi padat-padat antar serbuk reaktan oksida dan karbonat yang digunakan. Reaktan yang digunakan penelitian ini yakni La_2O_3 dan $SrCO_3$ yang berwarna putih, Co_3O_4 yang berwarna hitam, dan Fe_2O_3 yang berwarna merah bata. Tahapan sintesis oksida perovskit LSCF 7328 sebagaimana yang telah dijabarkan pada sub bab 2. Serbuk oksida sebelum dan setelah kalsinasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Prekursor oksida perovskit (a) sebelum kalsinasi dan (b) setelah kalsinasi

Gambar 2 merupakan difraktogram sinar-X dari perovskit LSCF 7328 hasil sintesis. Difraktogram tersebut menunjukkan keberadaan puncak-puncak pada $2\theta = 22,9^\circ; 32,4^\circ; 39,90^\circ; 46,53^\circ; 52,56^\circ; 58,4^\circ; 67,9^\circ$ dan $77,27^\circ$. Puncak-puncak tersebut sesuai dengan standar difraktogram dari JCPDS no. 00-025-1060 yang merupakan pola difraksi dari $LaCoO_3$. Namun puncak-puncak dari LSCF 7328 lebih bergeser kekiri menuju 2θ yang lebih kecil meskipun LSCF

7328 memiliki ukuran satuan unit sel (*unit cell*) yang sedikit lebih besar yakni $3,882 \text{ \AA}$ dibandingkan $LaCoO_3$ (*unit cell* = $3,820 \text{ \AA}$). Sedikit perbedaan ukuran satuan unit sel tersebut disebabkan oleh substitusi Sr^{2+} terhadap La^{3+} (pada situs-A) dan Fe^{3+} pada Co^{3+} (pada situs-B). Hal tersebutlah yang menyebabkan jarak antar ion LSCF menjadi lebih besar dan menyebabkan membesarnya bidang Kristal [14]. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sintesis yang dilakukan telah berhasil membentuk oksida perovskit LSCF 7328.



Gambar 3. Difraktogram oksida perovskit LSCF 7328

B. Pembuatan Membran Datar Asimetris LSCF 7328

Membran datar asimetris berbasis oksida perovskit LSCF 7328 dibuat dengan metode inversi fasa rendam-endap. Pada proses inversi fasa digunakan aqua DM sebagai nonpelarut-koagulan untuk memperoleh membran mentah. Metode ini dipilih karena telah menghasilkan membran berbasis perovskit dengan struktur asimetris yakni lapisan rapat yang didukung oleh lapisan berpori [8] dan membran berbasis polimer [14]. Selain itu, metode ini juga dianggap fleksibel serta mudah diaplikasikan pada material anorganik [11]. Pada penelitian ini, membran asimetris yang diharapkan adalah membran yang memiliki lapisan rapat yang tipis dan lapisan berpori yang berbentuk menjari atau *fingerlike*. Komposisi larutan cetak dapat dilihat pada Tabel 2.

Salah satu parameter penting dalam pembuatan membran datar asimetris LSCF 7328 adalah ukuran partikel dari oksida perovskit. Sebelum digunakan dalam pembuatan larutan cetak, oksida perovskit yang telah dikalsinasi diayak dengan ayakan 400 mesh. Tujuan dari pengayakan tersebut adalah untuk memperkecil dan menyeragamkan ukuran partikel dari oksida perovskit LSCF 7328 sehingga diperoleh membran mentah pra sintering dengan kerapatan yang tinggi [15]. Untuk mengontrol struktur dan ukuran pori pada membran datar asimetris LSCF 7328 digunakan polietilen glikol (PEG) sebagai aditif. Pada penelitian ini PEG yang digunakan adalah PEG dengan berat molekul 300 dan 600, (Da) yang divariasikan konsentrasinya sebesar 0,55%; 1,00%; serta 3,00%. Membran datar mentah perovskit LSCF 7328 ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Membran datar mentah asimetris LSCF 7328

Aditif yang ditambahkan dalam pembuatan membran berbasis perovskit dengan struktur asimetris memiliki pengaruh yang sangat penting terhadap sifat reologi dan viskositas larutan cetak [16] dan [17]. Hal tersebut dikarenakan kekentalan atau viskositas dari larutan cetak merupakan parameter utama yang mempengaruhi kinetika pembentukan membran pada proses inversi fasa. Semakin besar berat molekul dari aditif yang digunakan, semakin tinggi viskositas dari larutan cetaknya yang mana dapat mempengaruhi ketidakstabilan termodinamika larutan cetak saat bereaksi dengan air (koagulan) [18]. Perbedaan viskositas dari larutan cetak mengakibatkan proses *demixing* berlangsung cepat atau lambat, sehingga pori yang terbentuk dapat lebih besar atau sebaliknya. Viskositas larutan cetak yang semakin besar dapat memperlambat pepadatan saat proses inversi fasa (efek kinetika) dan menghambat efek termodinamika [19]. Untuk itu perlu dilakukan pengamatan terhadap morfologi baik permukaan atas maupun penampang lintang membran asimetris oksida perovskit LSCF 7328 dengan SEM. Dari hasil foto SEM, Semua variasi penambahan aditif PEG membentuk membran dengan struktur asimetris yang memiliki lapisan rapat dengan ketebalan yang tipis dan lapisan berpori berbentuk seperti jari (*finger like*) serta beberapa yang berbentuk *macrovoid* [20]. Pembentukan pori disebabkan oleh terjadinya difusi antara pelarut dan nonpelarut-koagulan [21]. Struktur pori berbentuk *finger like* disebabkan oleh laju difusi non-pelarut-koagulan yang masuk lebih cepat dibandingkan dengan laju difusi pelarut yang keluar dari larutan cetak berbasis perovskit [8].

Penambahan aditif PEG 300 (Da) menghasilkan pori berbentuk bentuk *finger like* yang lebih teratur dibandingkan dengan aditif PEG 600 (Da) [22]. Hal ini terjadi karena setiap komponen aditif memiliki pengaruh terhadap termodinamika maupun kinetika sistemnya masing-masing saat proses *dimixing*, sehingga menyebabkan pepadatan (*solidify*) dari membran yang semakin cepat atau lambat [11]. Perbedaan berat molekul dari aditif PEG yang ditambahkan juga mempengaruhi kekentalan atau viskositas dari larutan cetak, yang menentukan pembentukan pori dan struktur pori pada morfologi membrane [20]. Semakin besar berat molekul aditif PEG semakin besar pula pori yang dihasilkan.

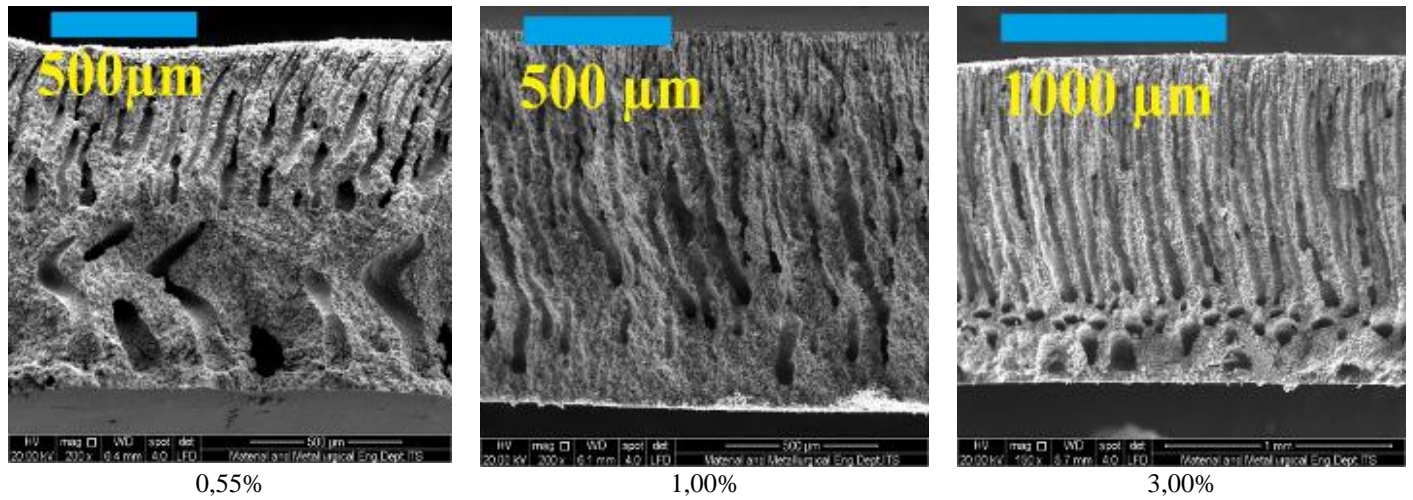
Disamping berat molekul aditif PEG, konsentrasi dari aditif yang ditambahkan ke dalam larutan cetak juga memiliki pengaruh yang tidak kalah pentingnya terhadap pembentukan ukuran serta struktur pori [23]. Diantara ke dua berat molekul, PEG 300 (Da) dengan konsentrasi 0,55; 1,00 dan 3,00% memiliki struktur pori berbentuk *finger like*

yang lebih teratur dan seragam. Hal tersebut dikarenakan berat molekul PEG 300 (Da) merupakan yang lebih kecil dari PEG 600 (Da), sehingga memiliki viskositas yang paling rendah. Rendahnya viskositas dari larutan cetak tersebut menyebabkan proses *dimixing* yang terlalu cepat akibat dari ketidakstabilan termodinamika saat perendaman ke dalam koagulan [15]. Hal serupa terdapat pada PEG 600 (Da) 0,55% yang memiliki struktur pori berbentuk *finger like* yang teratur dan seragam serta lapisan rapat yang tipis [22]. Struktur pori tersebut diperoleh karena PEG 600 (Da) 0,55% merupakan konsentrasi terkecil diantara PEG 600 (Da) 1,00% dan 3% yang ditambahkan ke dalam larutan cetak.

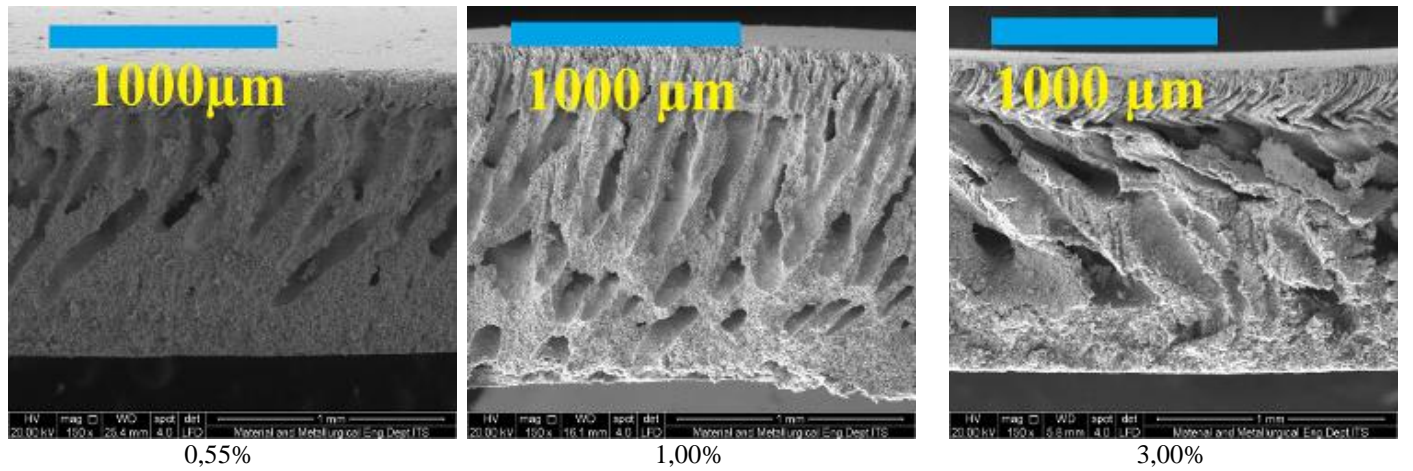
Variasi konsentrasi di tiap-tiap berat molekul PEG yang ditambahkan ke dalam larutan cetak ternyata dapat menghasilkan membran mentah yang memiliki struktur *macrovoid*. *Macrovoid* tersebut terdapat pada PEG 600 (Da) 3,00% [22]. Pembentukan struktur *macrovoid* pada beberapa variasi tersebut disebabkan oleh ketidakstabilan termodinamika pada larutan cetak yang terjadi akibat penambahan aditif PEG yang memiliki perbedaan karakteristik disetiap berat molekulnya.

C. Karakterisasi Membran Datar Asimetris LSCF 7328 Pasca Sintering

Foto SEM pada Gambar 5-6 menunjukkan bahwa morfologi penampang lintang memiliki struktur asimetris yang jelas, rapat dan lebih tegas dibandingkan dengan morfologi membran sebelum sintering [22]. Setelah proses sintering, struktur pori yang terbentuk cenderung berbentuk *finger like* yang diikuti dengan *closed-macrovoid*. *Closed-macrovoid* yang dimaksud disini adalah pori yang tidak memiliki mulut lubang, sehingga keberadaan pori tersebut tidak memperbesar ataupun memperkecil luas permukaan dari membran [24]. Pada membran dengan aditif PEG 300 (Da) terbentuk struktur pori *finger like* yang diikuti oleh *closed-macrovoid* yang dipisahkan oleh lapisan rapat, baik konsentrasi 0,55% maupun 3,00%. Begitu pula dengan variasi lainnya PEG 600 Da. Terbentuknya struktur *closed-macrovoid* pada membran pasca sintering disebabkan oleh dekomposisi polimer PESf dan sisa PEG setelah sintering. Sisa PEG yang terjebak di dalam membran disebabkan oleh mobilitas larutan cetak yang rendah saat proses inversi fasa. Kemungkinan lain yakni terjebaknya udara didalam membran, sehingga menyebabkan terbentunya *close pore* pada saat proses sintering. Perbedaan karakteristik dari masing-masing PEG memberikan pengaruh yang berbeda-beda pada tiap variasi konsentrasi larutan cetak oksida perovskit LSCF 7328/NMP/PESf.



Gambar 5. Morfologi membran asimetris LSCF 7328 dengan aditif PEG 300 Da (Pasca-sintering)



Gambar 6. Morfologi membran asimetris LSCF 7328 dengan aditif PEG 600 Da (Pasca-sintering)

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penambahan aditif PEG memiliki pengaruh terhadap pembentukan struktur pori membran datar asimetris LSCF 7328. Berdasarkan foto SEM, secara umum terbentuk struktur pori *finger like* dan beberapa yang disertai *closed-macrovoid* baik pada penambahan aditif PEG 300 maupun 600 Da. Sehingga aditif PEG dapat direkomendasikan sebagai agen pembentuk pori

DAFTAR PUSTAKA

[1] W. . Utomo, “Kajian Permeabilitas Ion Oksigen pada Membran Rapat Asimetris $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{Co}_{0,8}\text{Fe}_{0,8}\text{O}_{3-\delta}$ (LSCF 7382), $\text{SrCo}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_{3-\delta}$ (SCF 182), $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{Co}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_{3-\delta}$ (BSCF 5582),” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2014.

[2] C. F. Zuhra, “Penyulingan, Pemrosesan dan Penggunaan Minyak Bumi,” Universitas Sumatera Utara, 2013.

[3] V. J. . Ferreira, “Development of Nanostructured Catalysts for The Oxidative Coupling of Methane,” Universitas Porto, 2017.

[4] Z. Zhao, K. He, F., Huang, Z., Zheng, A., Li, H., Zhao, “ $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$ perovskites as oxygen carriers for the partial oxidation of methane to syngas,” *Chin J. Catal.*, vol. 35, pp. 1196 – 205, 2014.

[5] C. . Balachandran, U., Dusek, J.T., Ma, B., Mievile, R.L, Kleefisch, M.S. dan Udovich, “Ceramic Membran Reactor for Converting Methane to Syngas,” *Catal. Today*, vol. 36, pp. 265–272, 1997.

[6] Y. Ishihara, T., Tsaruta, Y., Todaka, T., Nishiguchi, H. dan Takita, “Fe Doped LaGaO_3 Perovskite Oxide as an Oxygen Separating Membrane for CH_4 Partial Oxidation,” *Solid State Ionics*, vol. 152, pp. 709–714, 2001.

[7] W. Takahashi, Y., Kawahara, A., Suzuki, T., Hirano, M. dan Shin, “Perovskit Membrane of $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Ti}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ for Partial Oxidation of Methane to Syngas,” *Solid State Ionics*, vol. 181, no. 5–7, pp. 300–305, 2010.

[8] S. Tan, X., Liu, N., Meng, B., Liu, “Morphology Control of the Perovskite Hollow Fiber Membranes for Oxygen Separation Using Different Bore Fluids,” *J. Memb. Sci.*, vol. 378, pp. 308–318, 2011.

[9] Z. Hong, L., Chen, X. and Cao, “Preparation of perovskite $\text{La}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{CoO}_{3-\delta}$ membrane on porous MgO substrate,” *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 21, no. 12, pp. 2207–2215, 2001.

[10] M. Mulder, *Basic Principle of Membrane Technology*. Amsterdam: Kluwer Academic Publisher, 1996.

[11] P. Strathmann, H., Kock, K.; Amar, “The Formation Mechanism of Asymmetric Membranes,” *Desalination*, vol. 16, pp. 179–203, 1975.

[12] C. . Boom, R.M., Wienk, I.M., Van de Boomgaard, Th. And Smolders, “Microstructures in Phase Inversion Membranes. Part 2 The Role of Polimeric Additive,” *J. Memb. Sci.*, vol. 73, pp. 277–292, 1992.

- [13] H. Nurherdiana, S.D., Sholichah, N., Iqbal, R.M.; Sahasrikirana, M.S., Utomo, W.P., Akhlus, S., Nurlina; Fansuri, "Preparation of $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ (LSCF 7328) by Combination of Mechanochemical and Solid State Reaction," *Key Eng. Mater.*, pp. 399–403, 2017.
- [14] E. Fansuri, H., Trengginas, T., Zulaicha, V., Utomo, W. P., Widiastuti, N., dan Purwanti, "Kerapatan, Kekerasan dan Koefisien Muai Panas Membran Penghantar Ion Oksigen $\text{LaCo}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ Tersubstitusi $\text{Ca}^{2+}(\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta})$," *Reaktor*, vol. 16, no. 2, pp. 87–95, 2016.
- [15] 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.
- [16] K. D. Husnah, "Preparasi Membran Datar Asimetris Oksida Perovskit CaTiO_3 ," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2014.
- [17] K. Kim, J., dan Lee, "Effect of PEG additive on membrane formation by phase inversion," vol. 138, pp. 153–163, 1998.
- [18] F. A. Xu, Z., & Qusay, "Effect of Polyethylene Glycol Molecular Weights and Concentrations on Polyethersulfone Hollow Fiber Ultrafiltration Membranes," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 91, pp. 3398–3407, 2003.
- [19] N. Lalia, B.S., Kochkodan, V., Hashaikeh, R., Hilal, "A Review on Membrane Fabrication: Structure, Properties, and Performance Relationship," *Desalination*, vol. 326, pp. 77–95, 2013.
- [20] C. H. Feng, L.M., Jiang, L.Q., Zhu, M., Liu, H.B., Zhou, X., li, "Formability of ABO_3 Cubic Perovskite," *J. Physics and Chem. Solids*, vol. 69, pp. 967–974, 2008.
- [21] K. Othman, N.H., Wu, Z., Li, "Bi_{1.5}Y_{0.3}Sm_{0.2}O_{3-δ} based Ceramic Hollow Fibre Membranes for Oxygen Separation and Chemical Reactions," *J. Memb. Sci.*, vol. 432, pp. 58–65, 2013.
- [22] H. Ilham, AM., Khoiroh, N., Jovita, S., Iqbal, RM., Harmelia, L., Utomo, WP., Fansuri, "Pengaruh Konsentrasi Polietilen Glikol (PEG) terhadap Morfologi Membran Datar Asimetris $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ LSCF 7328," 2018.
- [23] 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.
- [24] A. Prasetyoko, D., Fansuri, H., Ni'mah, Y.L., Fadlan, *Karakterisasi Struktur Padatan*. Yogyakarta: Deepublish, 2016.