

FTIR STUDIES OF THE TEOS/TEVS XEROGEL STRUCTURE USING RAPID THERMAL PROCESSING METHOD

Yanti Mawaddah^{1,2)}, Linda Suci Wati^{1,2)}, Erdina L. A Rampun²⁾, Anna Sumardi^{1,2)}
Aptar Eka Lestari^{1,2)}, Zaini Lambri Assyaifi^{1,2)}, Muthia Elma^{1,2)*}

¹⁾Chemical Engineering Department, Lambung Mangkurat University (ULM)
JL.A. Yani KM 36, Banjarbaru, South Kalimantan 70714, Indonesia

²⁾Materials and membranes Research Group (M2ReG), Lambung Mangkurat University
JL.A. Yani KM 36, Banjarbaru, South Kalimantan 70714, Indonesia

*E-mail corresponding author: melma@ulm.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: Received in revised form: 26-10-2020 Accepted: 26-10-2020 Published: 27-10-2020</p>	<p><i>The tetra ethyl orthocycate (TEOS) is mainly used as silica precursor. Silanol content of silica material is the main cause of low hydrostability which led to resulting in the poor performance especially in water treatment. The stronger bond strength formed by incorporating a carbon structure from triethoxy vinyl silane (TEVS). The xerogel fabrication resulted in composition of TEOS: TEVS: EtOH: HNO₃: H₂O: NH₃ to be 0.9: 0.1: 38: 0.00078: 5: 0.0003. . The purpose is to study the structure of organosilica xerogel calcined at 350°C, 450°C and 600°C in the Fourier-transform infrared (FTIR) using rapid thermal processing. The deconvolution of FTIR spectra calculated using the Fityk software. The result of the best xerogel peak shows at calcination of 450°C with peak area siloxane of 15.39, silanol of 3.32 and silica carbon of 3.85.</i></p>
<p><i>Keywords:</i> Calcination Organosilica Membrane Precursor Sol-gel</p>	

ANALISA FTIR DARI STRUKTUR XEROGEL TEOS/TEVS MENGGUNAKAN METODE RAPID THERMAL PROCESSING

Abstrak- Tetra Etil Orthocycate (TEOS) digunakan sebagai prekursor silika. Kandungan silanol bahan silika adalah penyebab utama rendahnya *hidrostability* yang menyebabkan kinerja tidak baik terutama dalam pengolahan air. Kekuatan ikatan yang lebih kuat dibentuk dengan menggabungkan struktur karbon dari *Triethoxy Vinyl Silane* (TEVS). Fabrikasi *xerogel* menghasilkan komposisi TEOS: TEVS: EtOH: HNO₃: H₂O: NH₃ menjadi 0,9: 0,1: 38: 0,00078: 5: 0,0003. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari struktur organosilika xerogel yang dikalsinasi pada 350°C, 450°C dan 600°C dalam *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) menggunakan *rapid thermal processing*. Dekonvolusi spektra FTIR dihitung menggunakan perangkat lunak Fityk. Hasil dari puncak terbaik menunjukkan *xerogel* pada kalsinasi 450°C dengan *peak area siloxane* 15,39, silanol 3,32 dan silika karbon 3,85.

Kata kunci: Kalsinasi, *xerogel* organosilika, prekursor, karbon-silika, TEOS/TEVS.

PENDAHULUAN

Membran organosilika merupakan salah satu membran yang banyak digunakan karena mengandung silika. Membran dengan material silika memiliki keuntungan diantaranya memiliki stabilitas termal dan mekanik yang baik (Elma et al., 2013, Rampun et al., 2019). Akan tetapi, membran silika memiliki kelemahan yaitu rendahnya tingkat hidrostabilitas membran (Rahma et al., 2020b, Rahma et al., 2020a, Lestari et al., 2020b). Hal ini terlihat jika membran silika diaplikasikan pada waktu yang lama (Elma et al., 2015b, Elma et al.,

2019c) Kontak yang terjadi antara membran silika dan air menyebabkan pori-pori membran semakin lama akan runtuh (*pore collapse*) sehingga perlu adanya modifikasi membran (Pratiwi et al., 2019) (Lestari et al., 2020a). Hal ini disebabkan adanya gugus silanol yang bersifat hidrofilik sehingga perlunya adanya bahan yang mampu memperkuat pori-pori silika dan meningkatkan hidrostabilitas. Beberapa penelitian telah dikembangkan untuk meningkatkan kinerja membran silika seperti bahan organik-anorganik hibrida, penggabungan oksida logam ke dalam jaringan silika (Tsuru et al., 2011)

dan karbon *template* silika (Elma et al., 2019a, BP et al., 2011, Duke et al., 2007) (Rampun et al., 2019)

Beberapa literatur menyebutkan bahwa material karbon dari prekursor TEVS (*triethoxy vinyl silane*) dan TEOS (*Tetraethyl orthosilicate*) dapat meningkatkan stabilitas membran (Elma et al., 2015c). Penambahan TEVS pada membran organosilika dapat meningkatkan hidrofobisitas membran karena keduanya merupakan *carbon sources* (Wei et al., 2008). TEVS merupakan prekursor silika yang memiliki karbon dan dimanfaatkan untuk membentuk ikatan Si-C. Prekursor TEVS yang mengandung banyak ligan vinil sedangkan Prekursor TEOS tidak memiliki ligan vinil (Elma et al., 2015c).

Katalis yaitu suatu senyawa yang ditambahkan untuk mempercepat suatu reaksi. Penggunaan katalis pada metode sol gel akan menyebabkan reaksi hidrolisis menjadi lebih cepat dan sempurna, tetapi katalis tidak diperlukan dalam reaksi kondensasi (Elma et al., 2018). Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah katalis asam nitrat dan ammonia. Penggunaan dua katalis tersebut bertujuan membuat membran organosilika memiliki struktur mesopori dan hidrostabilitas yang tinggi. Selain itu juga, dengan adanya katalis dapat meningkatkan performa dan mengurangi biaya produksi (Elma et al., 2013). Berdasarkan penelitian elma et (Elma et al., 2015a) menggunakan prekursor TEOS/TEVS/KPS dengan katalis asam (asam nitrat) dan basa (ammonia) menghasilkan struktur mesopori pada membran. Yang et al (Yang et al., 2016) juga melaporkan bahwa kombinasi TEOS/TEVS/P123 dengan katalis asam (asam nitrat) dan basa (ammonia) menghasilkan performa yang baik untuk diaplikasikan pada proses desalinasi. Metode sol gel adalah proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah. Proses tersebut terjadi pada perubahan fase dari suspensi koloid (sol) membentuk fase cair kontinu (gel). Keuntungan metode sol gel adalah tingkat stabilitas termal yang baik, stabilitas mekanik yang tinggi dan daya tahan pelarut yang baik (Wiyono, 2016)

Penelitian ini dilakukan dengan memodifikasi metode sol gel yaitu dengan penambahan prekursor TEVS sebagai sumber karbon dan katalis asam nitrat dan amonia untuk membentuk sol. Tujuan dari penelitian ini untuk menentukan suhu kalsinasi xerogel yang optimum digunakan sebagai pelapis silika membran dengan mempelajari struktur organosilika menggunakan analisis FTIR dan dekonvolusi area. Sehingga dari penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan minat dan meningkatkan kontribusi peneliti terhadap hasil penelitian yang berhubungan langsung dengan material silika untuk aplikasi desalinasi melalui proses pervaporasi, serta

menginformasikan pemanfaatan *thin film* sebagai pelapis silika membran.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas beker, pipet tetes, pipet volume, gelas arloji, labu ukur, propipet, sudip, pengaduk kaca, gelas ukur, *stirrer*, botol *centrifuge*, cawan porselin, botol *schott*, pH meter, neraca ohaus, *micropipet*, *oven*, *petridish*, *vacuum pump*, alat flokulator, *hotplate*, *magnetic stirrer*, termometer, mortar dan alu, *furnance*, *ice crusher*, statif dan klem. Bahan-bahan yang digunakan adalah *tetraethyl orthosilicate* (TEOS), *triethoxy vinyl silane* (TEVS), asam nitrat (HNO_3), ethanol, membran $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ *tubular support*, ammonia (NH_3), *plastic wrap*, *aluminium foil*.

Pembuatan Xerogel Organosilika

Organosilika dibuat dengan mencampurkan TEOS dan TEVS ke dalam etanol pada kondisi 0°C . Setelah itu ditambahkan katalis asam (asam nitrat) yang di *refluks* 1 jam pada suhu 50°C . Kemudian ditambahkan katalis basa (amonia) yang di *refluks* 2 jam pada suhu 50°C . Konsentrasi TEOS, TEVS, etanol, HNO_3 , H_2O dan NH_3 dijaga konstan. Komposisi molar rasio TEOS: TEVS: EtOH: HNO_3 : H_2O : NH_3 adalah 0,9: 0,1: 38: 0,00078: 5: 0,0003. Setelah itu pH sol gel diukur.

Karakterisasi Xerogel

Karakterisasi silika sol yang dilakukan adalah FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) untuk mengetahui gugus fungsi dari *xerogel*.

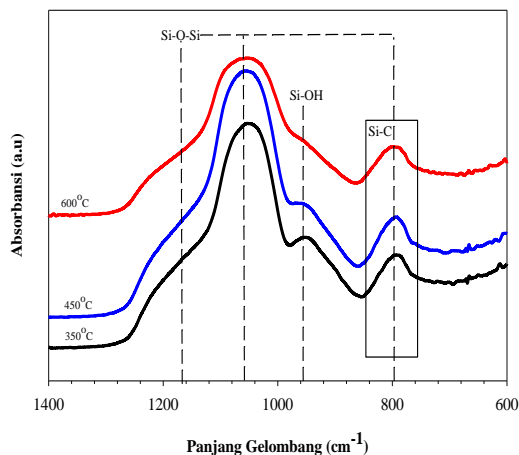
HASIL DAN PEMBAHASAN

Xerogel dibuat dengan cara pembuatan silika sol menggunakan proses sol gel. Untuk mempercepat reaksi digunakan katalis asam nitrat (HNO_3). Molar rasio yang digunakan yaitu TEOS: TEVS: EtOH: HNO_3 : H_2O : NH_3 (0,9: 0,1: 38: 0,00078: 5: 0,0003). Molar rasio yang digunakan ini merupakan dari penelitian (Elma et al., 2018).

Gel yang dikeringkan di *oven* dari silika sol disebut *xerogel*. Tujuan pengovenan ini untuk menghilangkan *liquid* di dalam silika sol, sehingga didapatkan *xerogel* yang bebas air. Proses hidrolisis dan kondensasi menyebabkan adanya kandungan air dalam silika sol. *Xerogel* yang kering dihaluskan sehingga menghasilkan serbuk. Kemudian serbuk *xerogel* di kalsinasi menggunakan teknik kalsinasi atmosferik secara RTP (*Rapid Thermal Processing*).

Karakteristik *xerogel* menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) adalah metode yang mengamati interaksi molekul dengan adanya radiasi elektromagnetik yang berada pada panjang

gelombang tertentu (Elma, 2018). Analisa FTIR ini digunakan untuk mengetahui ada tidaknya kandungan dari gugus silanol dan *siloxane* yang terdapat dalam sol-gel. Berikut adalah hasil analisa uji FTIR pada *xerogel* organosilika variasi suhu kalsinasi.



Gambar 2. Spektrum FTIR dari *Xerogel* Organosilika dengan Variasi Suhu Kalsinasi

Gambar menunjukkan spektrum FTIR untuk *xerogel* yang dikalsinasi pada kondisi atmosferik dengan variasi suhu 600°C, 450°C dan 350°C menggunakan metode *Rapid Thermal Processing* (RTP) selama 1 jam tanpa menggunakan *ramping/cooling rates*. Gugus fungsi *siloxane* (Si-O-Si) terdapat pada panjang gelombang >1000 cm⁻¹

¹, gugus silanol (Si-OH) pada gelombang ≤1000 cm⁻¹ dan gugus silika karbon (Si-C) terdapat pada panjang gelombang ≤800 cm⁻¹. Gugus silanol dan *siloxane* inilah yang mempengaruhi ukuran dari pori-pori membran. Selanjutnya variasi suhu kalsinasi juga berpengaruh terhadap terbentuknya puncak *siloxane*, silanol dan karbon. Semakin tinggi suhu kalsinasi, maka puncak *siloxane* akan semakin tinggi. Semakin tinggi suhu kalsinasi maka kandungan karbon akan terdekomposisi sehingga pori-pori membran akan membesar (Elma et al., 2019b). Gugus silanol terbentuk pada proses hidrolisis. Proses hidrolisis terjadi pada saat penambahan katalis asam pada larutan sol gel (Elma et al., 2019b) gugus *siloxane* terjadi saat proses kondensasi (Elma and Setyawan, 2018). Proses reaksi kondensasi air dan kondensasi alkohol yang diperoleh dari reaksi kimia selama proses sol gel berlangsung. Begitu juga dengan gugus silanol, gugus ini diperoleh dari reaksi hidrolisis pada tahap awal proses sol-gel. Proses hidrolisis ini terjadi akibat dari penambahan asam sebagai katalis (Elma et al., 2019a).

Dari hasil spektra FTIR pada **Gambar 2.** Dapat dilakukan analisa berdasarkan luas peak area menggunakan Ftyik software. Data spektra FTIR dilakukan *fitting* puncak menggunakan fungsi Gaussian dengan limit error ±0,5% (Park, 2013, Saputra et al., 2018). Adapun perbandingan luas *peak area* pada penelitian ini dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada **Tabel 1.**

Tabel 1. Perbandingan *speak area* gugus fungsi *siloxane*, silanol dan silika karbon

<i>Xerogel</i>	<i>Area Ratio</i>			<i>Ref</i>
	Si-O-Si	Si-OH	Si-C	
TEOS dan TEVS suhu 350°C	13,77	2,90	3,62	Riset ini
TEOS dan TEVS suhu 450°C	15,39	3,32	3,85	Riset ini
TEOS dan TEVS suhu 600°C	9,10	2,09	1,86	Riset ini
<i>Pure ES40</i>	$1,03 \times 10^{-3}$	$9,21 \times 10^{-5}$	$8,25 \times 10^{-5}$	(Maimunawaro et al., 2020)
ES40-P123	$1,02 \times 10^{-3}$	$9,51 \times 10^{-5}$	$8,1 \times 10^{-5}$	(Maimunawaro et al., 2020)
Hybrid P123	14,34	0,01	0,77	(Rahman et al., 2020a)
Katalis asam sitrat	7,17	0,67	0,09	(Lestari et al., 2020c)
Dua katalis asam sitrat-amonia	13,03	1,84	1,61	(Lestari et al., 2020c)

Berdasarkan **Tabel 1.** dapat dilihat bahwa membran organosilika menggunakan *dual precursor* (TEOS & TEVS) memiliki *peak area* Si-C yang lebih tinggi dibandingkan dengan lainnya. Hal ini membuktikan bahwa dengan menggunakan dual prekursor mampu meningkatkan ikatan Si-C (Elma et al., 2015a). Pada gugus fungsi silanol (Si-OH) dihasilkan dari proses hidrolisis pada saat penambahan asam. Gugus silanol ini mengakibatkan ukuran pori yang dihasilkan cenderung microporos. Sedangkan gugus fungsi siloxane berasal dari proses kondensasi pada saat penambahan basa. Gugus ini mengakibatkan ukuran pori makropori (Rahman et al., 2020b). Xerogel ini akan diaplikasikan pada proses desalinasi sehingga ukuran pori yang cocok adalah mesopori, untuk menghasilkan ukuran mesopori maka silanol yang dibutuhkan tidak terlalu tinggi begitu pula dengan siloxane. Adapun variasi suhu juga mempengaruhi terhadap *peak area* silika karbon. Pada penelitian ini *peak area siloxane*, silanol dan silika karbon yang tertinggi terdapat pada suhu kalsinasi 450°C nilainya berturut-turut adalah 15,39, 3,32 dan 3,85. Sedangkan *peak area* silika karbon suhu kalsinasi 350°C dan 600°C memiliki *peak area* yang lebih rendah. Sehingga pada kalsinasi 450°C adalah suhu optimum untuk mengkalsinasi membran. pada suhu 600°C senyawa karbon mengalami dekomposisi sehingga nilai silika karbon yang didapatkan semakin rendah. Hal ini sesuai dengan (Elma et al., 2015b) yaitu, suhu kalsinasi yang tinggi berpengaruh terhadap senyawa karbon sehingga mengalami dekomposisi.

KESIMPULAN

Suhu kalsinasi pada membran berpengaruh terhadap ukuran pori-pori membran yang terbentuk. Berdasarkan analisa FTIR (*Fourier Transform Infrared*) variasi suhu berpengaruh terhadap pembentukan gugus silanol, *siloxane* dan silika karbon. Suhu 450°C merupakan suhu kalsinasi optimum yang memiliki *peak area siloxane* 15,39, silanol 3,32 dan silika karbon 3,85. Dimana suhu kalsinasi yang tinggi akan mengakibatkan senyawa karbon terdekomposisi dan *peak area* yang dihasilkan semakin rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Universitas Lambung Mangkurat, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Kimia dan M2ReG (*Material and Membranes Research Group*) yang telah mendukung penelitian ini sehingga terlaksana. Penulis mengucapkan terima kasih kepada hibah PKM mahasiswa tahun 2020. Muthia Elma berterima kasih kepada hibah Tesis Magister tahun 2020, hibah PTUPT 2019-2020 serta hibah Dosen Wajib Meneliti PNPB ULM tahun 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- BP, L., YH, T., CXC, L., LADEWIG, JC, D. D. C. & S, S. 2011. Preparation, Characterization and Performance of Templated Silica Membranes in Non-Osmotic Desalination. *Materials*, 4, 845.
- DUKE, M. C., S. MEE, J. C. & COSTA, D. D. 2007. Performance of porous inorganic membranes in non-osmotic desalination. *Water Research*, 41, 3998-4004.
- ELMA, M. 2018. Pembuatan Silica Thin Film Sebagai Pelapis Membran Dari Prekursor Teos (Tetra Ethyl Orthosilicate). *Quantum: Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*, 8, 78-82.
- ELMA, M., AYU, R., RAMPUN, E. L. A., ANNAHDLIYAH, S., SUPARSIH, D. R., SARI, N. L. & PRATOMO, D. A. 2019a. Fabrication of interlayer-free silica-based membranes – effect of low calcination temperature using an organo-catalyst. *Membrane Technology*
- ELMA, M., LESTARI, A. E. & RABIAH, S. 2018. Fabrication of Silica Thin Film Using Organic Catalyst as Inorganic Membrane Coatings. *Konversi*, 7, 62-66.
- ELMA, M. & SETYAWAN, H. Synthesis of silica xerogels obtained in organic catalyst via sol gel route. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018. 012008.
- ELMA, M., SETYAWAN, H., RAHMA, A., PRATIWI, A. & RAMPUN, E. L. A. Fabrication of Interlayer-free P123 Caronised Template Silica Membranes for Water Desalination: Conventional Versus Rapid Thermal Processing (CTP vs RTP) Techniques. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019b. IOP Publishing, 012076.
- ELMA, M., SETYAWAN, H., RAHMA, A., PRATIWI, A. E. & RAMPUN, E. L. A. 2019c. Fabrication of Interlayer-free P123 Caronised Template Silica Membranes for Water Desalination: Conventional Versus Rapid Thermal Processing (CTP vs RTP) Techniques. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 543.
- ELMA, M., WANG, D. K., YACOU, C. & COSTA, J. C. D. D. 2015a. *Interlayer-Free Hybrid Organo-Silica Membranes Based TEOS and TEVS for Water Desalination. Internal Conference on Oleo and Petrochemical Engineering.*
- ELMA, M., WANG, D. K., YACOU, C. & COSTA, J. C. D. D. 2015b. Interlayer-free P123 carbonised template silica membranes for desalination with reduced

- salt concentration polarisation *Journal of Membrane Science*, 475.
- ELMA, M., WANG, D. K., YACOU, C., MOTUZAS, J. & COSTA, J. C. D. D. 2015c. High Performance Interlayer-Free Mesoporous Cobalt Oxide Silica Membranes For Desalination Application. *Desalination*, 365.
- ELMA, M., YACOU, C., COSTA, J. C. D. D. & WANG, D. K. 2013. Performance and Long Term Stability of Mesoporous Silica Membranes for Desalination. *Membranes*, 3.
- LESTARI, R. A., ELMA, M., RAHMA, A., SUPARSIH, D., ANADHLIYAH, S., SARI, N. L., PRATOMO, D. A., SUMARDI, A., LESTARI, A., ASSYAIFI, Z. L. & SATRIAJI, G. 2020a. Organo Silica Membranes for Wetland Saline Water Desalination: Effect of membranes calcination temperatures. *E3S Web of Conference*, 148.
- LESTARI, R. A., ELMA, M., RAHMA, A., SUPARSIH, D., ANADHLIYAH, S., SARI, N. L., PRATOMO, D. A., SUMARDI, A., LESTARI, A. E., ASSYAIFI, Z. L. & SAPUTRO, G. S. 2020b. Organo Silica Membranes for Wetland Saline Water Desalination: Effect of membranes calcination temperatures. *E3S Web Conf.*, 148, 07006.
- LESTARI, R. A., ELMA, M., RAMPUN, E. L. A., SUMARDI, A., PARAMITHA, A., LESTARI, A. E., RABIAH, S., ASSYAIFI, Z. L. & SATRIAJI, G. Functionalization of Si-C Using TEOS (Tetra Ethyl Ortho Silica) as Precursor and Organic Catalyst. *E3S Web of Conferences*, 2020c. EDP Sciences, 07008.
- MAIMUNAWARO, RAHMAN, S. K., RAMPUN, E. L. A., RAHMA, A. & ELMA, M. 2020. Deconvolution of carbon silica templated thin film using ES40 and P123 via rapid thermal processing method. *Materials Today: Proceedings*.
- PARK, J. H. 2013. Effect of silicate structure on thermodynamic properties of calcium silicate melts: quantitative analysis of Raman spectra. *Metals and Materials International*, 19, 577-584.
- PRATIWI, A. E., ELMA, M., PUTRA, M. D., MIRWAN, A., RAHMA, A. & RAMPUN, E. L. A. 2019. Inovasi Penyisihan Karbon dari Pektin pada Pembuatan Membran Interlayer-free Silika-pektin. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 3.
- RAHMA, A., ELMA, M., PRATIWI, A. E. & RAMPUN, E. L. 2020a. Performance of interlayer-free pectin template silica membranes for brackish water desalination. *Membrane Technology*, 2020, 7-11.
- RAHMA, A., ELMA, M., RAMPUN, E. L. A., PRATIWI, A. E., RAKHMAN, A. & FITRIANI 2020b. Rapid Thermal Processing and Long Term Stability of Interlayer-free Silica-P123 Membranes for Wetland Saline Water Desalination. *Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 71, 1-9.
- RAHMAN, S. K., MAIMUNAWARO, RAHMA, A., SYAUQIAH, I. & ELMA, M. 2020a. Functionalization of hybrid organosilica based membranes for water desalination – Preparation using Ethyl Silicate 40 and P123. *Materials Today: Proceedings*.
- RAHMAN, S. K., RAMPUN, E. L. A., RAHMA, A. & ELMA, M. 2020b. Deconvolution of carbon silica templated thin film using ES40 and P123 via rapid thermal processing method. *Materials Today: Proceedings*.
- RAMPUN, E. L. A., ELMA, M., RAHMA, A. & PRATIWI, A. E. 2019. Interlayer-free silica-pectin membrane for sea-water desalination. *Membrane Technology*, 2019, 5-9.
- SAPUTRA, R. E., ASTUTI, Y. & DARMAWAN, A. 2018. Hydrophobicity of silica thin films: The deconvolution and interpretation by Fourier-transform infrared spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 199, 12-20.
- TSURU, T., LGI, R., KANEZASHI, M., YOSHIOKA, T., FUJISAKI, S. & IWAMOTO, Y. 2011. Permeation properties of hydrogen and water vapor through porous silica membranes at high temperatures. *AIChE Journal*, 57, 618-629.
- WEI, Q., WANG, Y.-L., NIE, Z.-R., YU, C.-X., LI, Q.-Y., ZOU, J.-X. & LI, C.-J. 2008. *Facile Synthesis of Hydrophobic Microporous Silica Membranes and Their Resistance to Humid Atmosphere. Microporous and Mesoporous Materials*, 111, 97-103.
- WIYONO, E. 2016. *Pengaruh Jenis Prekursor dan Suhu Kalsinasi terhadap Karakteristik Komposit TiO₂-SiO₂ dan Aplikasinya dalam Degradasi Rhodamin B*. Universitas Negeri Semarang.
- YANG, H., ELMA, M., WANG, D. K., MOTUZAS, J. & COSTA, J. C. D. D.

2016. Interlayer-free hybrid carbon-silica membranes for processing brackish to brine salt solutions by pervaporation. *Jurnal of Membrane Science*.