

DESALINATION OF TOFU WASTEWATER USING SILICA MEMBRANE WITH TEOS (*Tetraethyl orthosilicate*) PRECURSOR

Muthia Elma*, Nur Riskawati, Marhamah

Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km. 36, Banjarbaru, Kalimantan Selatan 70714 Indonesia

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

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 07-09-2018 Received in revised form: 19-09-2018 Accepted: 20-10-2018 Published: 29-10-2018</p> <p><i>Keywords:</i> Tofu waste Water flux Rejection Silica membrane Pervaporation</p>	<p><i>If the wastewater of tofu factory disposed directly into the environment, it causes environmental pollution that will damage the quality of water, especially when it is channeled into the river. Therefore, an efficient technology for wastewater treatment is urgently needed. The purpose of this study was to determine the effect of silica membrane performance on the desalination process via pervaporation. This research was undertaken by preparing silica sol prepared from sol-gel process using TEOS as precursor in ethanol solution. It is then employing the "2 step acid and base catalysts" method using HNO₃ and NH₃ as the catalyst. Silica thin film produced called sol was dipcoated onto membrane support and then calcined at 600 °C for 1 hour using the method RTP (Rapid Thermal Process). The number of layers of the silica membrane is based on the repetition of dipcoating and calcination processes which was 3 layers. This membrane performance was performed by desalination process via pervaporation using tofu waste water to obtain potable water. The water flux membrane value is between 1.74 - 1.48 kg m⁻² h⁻¹ with rejection ranging from 93,63 – 89,27 %. These results show that the silica membrane can treat the tofu waste water to produce potable water, although the water flux value needs to be improved. In addition to the analysis, membrane characteristic tests such as FTIR test were performed to determine functional groups of silica membrane and morphology test using SEM to determine the membrane layer thicknesses produced.</i></p>

DESALINASI AIR LIMBAH PABRIK TAHU MENGGUNAKAN MEMBRAN SILIKA DENGAN PREKURSOR TEOS (*Tetraethyl orthosilicate*)

Abstrak: Air limbah pabrik tahu jika dibuang langsung ke lingkungan menyebabkan pencemaran lingkungan yang akan merusak kualitas air, terutama air limbah tersebut dialirkan ke badan sungai. Oleh sebab itu, sangatlah diperlukan suatu teknologi yang efisien untuk pengolahan air limbah tahu ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh performansi membran silika pada proses desalinasi via penguapan. Penelitian ini dilakukan dengan menyiapkan silika sol yang dipersiapkan dari proses sol-gel menggunakan prekursor TEOS dalam larutan etanol. Selanjutnya adalah dengan menggunakan metode "2 step acid and base catalysts" dengan menggunakan HNO₃ dan NH₃ sebagai katalis. Silica thin film yang dihasilkan berupa sol di-dipcoating dan kemudian dilakukan proses kalsinasi pada suhu 600°C selama 1 jam menggunakan metode RTP (Rapid Thermal Process). Jumlah lapisan/layer dari membran silika tersebut adalah berdasarkan pengulangan proses dipcoating dan kalsinasi yang mana pada penelitian ini menggunakan variasi 3 layer. Performansi membran ini dilakukan dengan proses desalinasi via penguapan dengan menggunakan air limbah tahu yang bertujuan untuk memperoleh air bersih. Adapun nilai water flux membrane ini berkisar antara 1,74 – 1,48 kg m⁻² h⁻¹ dengan rejection berkisar antara 93,63 – 89,27 %. Hasil ini membuktikan bahwa membran silika bisa mengolah air limbah tahu menjadi potable water walaupun nilai water flux perlu ditingkatkan. Sebagai tambahan analisis, uji karakteristik membran seperti uji FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dari membran silika dan uji morfologi menggunakan SEM untuk mengetahui ketebalan lapisan membran yang dihasilkan.

Kata kunci: Limbah tahu, fluks air, rejeksi, membran silika dan penguapan.

PENDAHULUAN

Tahu merupakan makanan yang digemari oleh masyarakat Indonesia. Selain pembuatannya yang mudah dan murah, tahu juga memiliki rasa yang enak dan memiliki gizi yang tinggi. Kebanyakan industri tahu di Indonesia masih menggunakan teknologi sederhana, sehingga efisiensi penggunaan air masih cukup rendah dan menghasilkan limbah cair yang berlimpah. Limbah cair ini sangat berpotensi untuk menyebabkan pencemaran lingkungan. Umumnya, industri tahu ini didominasi oleh usaha pada skala kecil dengan sumber daya manusia yang rendah yang terlibat didalamnya. Sehingga limbah cair yang dihasilkan langsung dibuang ke sungai tanpa pengolahan terlebih dahulu. Senyawa organik yang terkandung pada limbah tahu ini akan menyebabkan meningkatnya kadar BOD, COD, TSS dan pH sehingga akan sangat berbahaya bagi makhluk hidup. Oleh karena itu diperlukan teknologi yang cocok untuk pengolahan limbah tahu ini.

Salah satu teknologi yang sesuai untuk permasalahan ini yaitu dengan menggunakan teknologi membran (Duke et al., 2007). Teknologi membran merupakan teknologi yang memiliki efisiensi yang sangat tinggi, kemudahan dalam operasinya (Liu et al., 2017), hemat energi dan tidak menggunakan bahan kimia (Wang et al., 2012). Pada penelitian ini menggunakan membran silika, yang mana membran silika ini dapat memisahkan molekul dengan baik dan proses pengolahannya secara sederhana melalui pengolahan *sol-gel* (Elma et al., 2013). Membran silika memiliki ukuran pori yang kecil yang memungkinkan air dapat berdifusi pada membran dan menghambat berjalannya zat yang tidak diinginkan (Lin et al., 2012). Penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui performansi (*water flux* dan *rejection*) membran silika pada limbah tahu, agar dapat dipergunakan selanjutnya untuk pengolahan air bersih di industri tahu.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan antara lain gelas beker, gelas ukur, pipet tetes, labu ukur, *micro pipet*, *hot plate*, *magnetic stirrer*, labu leher tiga, kondensor lurus, oven, *furnace*, neraca analitik, *petridish*, botol *centrifuge*, botol kaca, *conductivity meter*, pH meter, termometer, alat *dipcoater*, dan alat pervinginasi. Bahan-bahan yang digunakan adalah TEOS, EtOH, HNO₃, NH₃, limbah tahu, akuades, *membrane support*, *plastic wrap* dan *aluminium foil*.

Pembuatan Silica Sol

Pertama yaitu menimbang TEOS sebanyak 18,66 gram dan HNO₃ sebanyak 8,0699 gram.

Selanjutnya memasukkan 20 mL EtOH ke botol *Schott*. Kemudian *me-reflux* EtOH selama 5 menit pada suhu 0°C. Setelah 5 menit, meneteskan sedikit demi sedikit larutan TEOS, dan *me-reflux* larutan selama 5 menit pada suhu 0°C. Langkah selanjutnya, meneteskan sedikit demi sedikit larutan HNO₃ 0,00078N. Setelah itu, memanaskan larutan pada suhu 50°C, kemudian *me-reflux* kembali selama 1 jam. Meneteskan sedikit demi sedikit larutan NH₃ 0,0003N. *Me-reflux sol-gel* silika selama 2 jam, kemudian mendinginkannya pada suhu ruangan. Setelah dingin, mengukur pH *sol-gel* silika yang terbentuk (Elma et al., 2013). Menuangkan 25 mL *silica sol* ke dalam *petridish*, kemudian di oven selama 24 jam pada suhu 60°C. Kemudian *xerogel* yang dihasilkan di *furnace* selama 1 jam pada suhu 600°C. *Xerogel* yang dihasilkan akan diuji untuk mengetahui kandungan yang ada pada *silica sol* dengan menggunakan metode FTIR.

Membrane Support Dipcoating

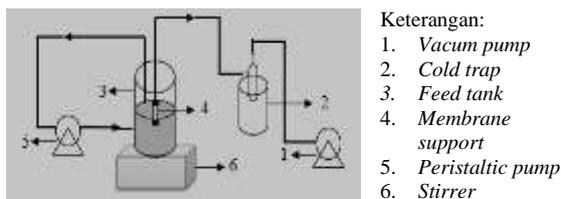
Menuangkan 25 mL *silica sol-gel* ke dalam tabung *centrifuge*, kemudian meletakkannya di atas erlenmeyer. Menjepit *membrane support* pada alat *dipcoater*. Mengatur *dipcoater* pada kecepatan *up-down* 5 cm/s dengan waktu rendam selama 2 menit. Menyalakan *dipcoater* kemudian memulai *dipcoating* pada *membrane support* ke dalam *silica sol-gel*. Mengkalsinasi *membrane support* yang telah di-*dipcoating* dengan *silica sol-gel* pada suhu 600°C selama 1 jam. Mendinginkan *membrane support* yang telah terlapsi pada suhu ruangan. Mengulangi langkah-langkah tersebut sebanyak 2 kali.

Karakterisasi Membran Silika

Karakterisasi membran silika dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan kimia. Karakterisasi yang dilakukan yaitu SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yaitu untuk mengetahui ketebalan membran silika dan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) digunakan untuk mengetahui gugus fungsi pada *silica sol*.

Pengolahan Limbah Tahu Menggunakan Proses Pervinginasi

Langkah pertama yaitu menyiapkan sampel air limbah tahu dengan perbandingan limbah tahu dan air PDAM yaitu (1:1, 1:2, dan 1:3). Memasukkan sampel (1:3) ke dalam tangki umpan. Kemudian menimbang *coldtrap* awal dan merangkai alat pervinginasi seperti pada Gambar 1. Memulai pervinginasi pada membran 3 *layer* selama 20 menit. Langkah selanjutnya yaitu menghitung massa *coldtrap* akhir dan mengukur konduktivitas menggunakan *conductivity meter*. Kemudian ulangi langkah di atas dengan perbandingan 1:1 dan 1:2.

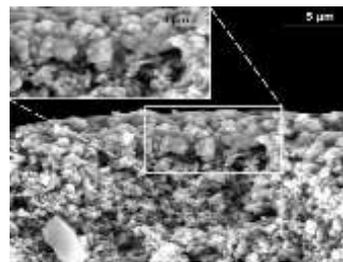


Gambar 1. Rangkaian Alat Pervaporasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

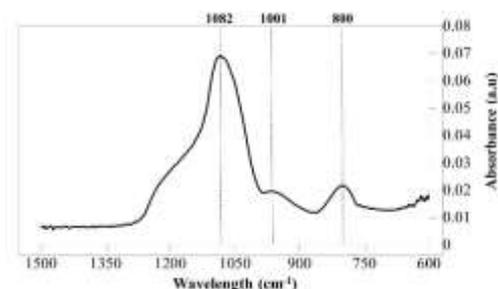
Silika sol dibuat dengan metode *sol-gel* dengan mereaksikan *precursor* TEOS dalam etanol dan dengan bantuan katalis asam dan basa yaitu asam nitrat dan amonia yang mana pada proses ini terjadi beberapa tahapan proses yaitu hidrolisis, kondensasi alkohol dan kondensasi air (Elma et al., 2018). Hasil dari proses *sol-gel* ini akan menghasilkan silika sol yang memiliki nilai pH 6. pH 6 merupakan pH yang optimum karena pada pH ini akan menghasilkan pori-pori membran yang *mesoporous* (Elma et al., 2018), yang mana ukuran porinya lebih besar dibandingkan dengan ukuran molekul air namun lebih kecil bila dibandingkan dengan ukuran molekul yang ingin dipisahkan. Menurut penelitian (Elma et al., 2012), pada pH yang lebih tinggi akan mengandung banyak *siloxane* sehingga pori-pori membran akan lebih besar dan sol yang dihasilkan lebih *viscous* yang akan menyebabkan proses pembentukan *gel* yang cepat. Pada pH rendah, kandungan silanol lebih banyak dibandingkan *siloxane*, sehingga mengakibatkan pori-pori membran yang lebih kecil. Oleh karena itu, pH 6 dipilih pada penelitian ini. Pada penelitian ini, dihasilkan *silica sol* yang bening dan tidak terlalu *viscous*, sehingga dapat digunakan untuk melapisi membran *support*.

Pada saat *dipcoating* pertama, silika sol akan melapisi pori-pori membran *support* yang lebih besar, sehingga akan membuat membran *support* lebih kuat. *Dipcoating* kedua akan membentuk lapisan pertama pada membran *support*, begitu pula seterusnya. Semakin banyak jumlah *layer*, maka membran yang dihasilkan akan lebih kuat. Pada Gambar 2., ketebalan membran silika 3 *layer* diperkirakan 1,3 μm . Hasil yang didapat pada penelitian ini lebih tebal jika dibandingkan pada penelitian (Elma et al., 2018) meskipun menggunakan metode yang sama yaitu RTP (*Rapid Thermal Process*) dengan ketebalan membran ~ 1 nm. Hal ini dikarenakan jumlah *layer* yang digunakan lebih banyak yaitu 3 *layer* jika dibandingkan dengan yang dilakukan oleh (Elma et al., 2018) yaitu 2 *layers*.



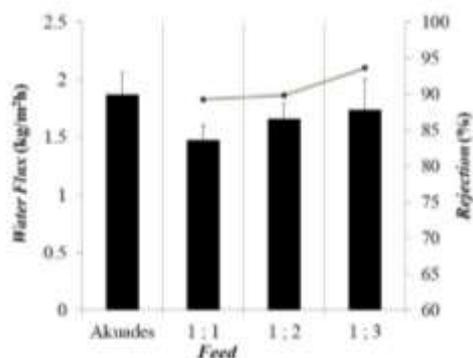
Gambar 2. Analisa SEM pada Membran Silika 3 *layers*

Untuk mengetahui kedua gugus fungsi tersebut, maka dilakukan analisa FTIR (*Fourier Transform Infra Red*). Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat beberapa puncak yang menandakan adanya gugus *siloxane* (Si-O-Si) pada panjang gelombang 1082 cm^{-1} dan 800 cm^{-1} . Kemudian ditemukan puncak yang lain yang merupakan gugus silanol (Si-OH) dengan panjang gelombang 1001 cm^{-1} .



Gambar 3. Analisa FTIR

Proses pervaporasi akan digunakan pada pengolahan limbah tahu, yang mana pada penelitian ini akan diuji performa dari membran silika. Performa membran silika dapat dilihat dari nilai *rejection* yang diperoleh. Semakin tinggi nilai *water flux* dan *rejection* maka kemampuan dalam mendesalinasi juga tinggi. Pada penelitian ini, membran akan diuji pada limbah tahu dengan perbandingan limbah tahu dan air PDAM yaitu (1:3, 1:2, dan 1:1). Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa pada membran silika 3 *layer*, pada perbandingan limbah tahu dan air PDAM (1:1, 1:2, 1:3), nilai *water flux* berkisar antara 1,74 – 1,48 $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ dan *rejection* berkisar antara 93,63 – 89,27 %. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi *feed*, maka *water flux* dan *rejection* yang dihasilkan akan semakin rendah.



Gambar 4. Pervaporasi Membran Silika Pada Limbah Air Tahu

Kinerja membran akan menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi *feed*. Pengurangan *water flux* dan *rejection* ini dikarenakan efek polarisasi. Ketika air dengan konsentrasi limbah tahu yang tinggi melalui membran, maka akan menutupi pori-pori membran sehingga air akan sulit untuk melewati membran. Oleh karena itu, efek polarisasi ini akan mengurangi gaya dorong pada membran. Sehingga menyebabkan nilai *water flux* dan *rejection* akan menurun. Selain itu, penurunan nilai *water flux* dengan meningkatnya konsentrasi *feed* ini dikarenakan pada konsentrasi tinggi, molekul zat pengotor lebih banyak dari pada molekul air sehingga nilai *water flux* dan *rejection* pada konsentrasi *feed* yang tinggi akan menurun.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi *feed* maka akan semakin rendah nilai *water flux* dan *rejection*. Adapun nilai *water flux* berkisar antara 1,74 – 1,48 kg m⁻² h⁻¹ dengan *rejection* berkisar antara 93,63 – 89,27 %. Hasil ini membuktikan bahwa membran silika bisa mengolah air limbah tahu menjadi *potable water*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Muthia Elma mengucapkan terima kasih kepada hibah dari Australia National University – Indonesia Project tahun 2016 -2017. Nur Riskawati mengucapkan terima kasih kepada PT. Indofood Sukses Makmur, Tbk yang telah mendanai

penelitian ini melalui program Indofood Riset Nugraha 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- DUKE, M. C., MEE, S. & DA COSTA, J. C. D. 2007. Performance of porous inorganic membranes in non-osmotic desalination. *Water Research*, 41, 3998-4004.
- ELMA, M., RISKAWATI, N. & MARHAMAH 2018. Silica Membranes for Wetland Saline Water Desalination : Performance and Long Term Stability. *IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science*.
- ELMA, M., YACOU, C., COSTA, J. C. D. D. & WANG, D. K. 2013. Performance and Long Term Stability of Mesoporous Silica Membranes for Desalination. 3, 136-150.
- ELMA, M., YACOU, C., WANG, D. K., SMART, S. & COSTA, J. C. D. D. 2012. *Microporous Silica Based Membranes for Desalination*. *Water*, 629-649.
- LIN, C. X. C., DING, L. P., SMART, S. & DINIZ DA COSTA, J. C. 2012. Cobalt oxide silica membranes for desalination. *Journal of Colloid and Interface Science*, 368, 70-76.
- LIU, G., JIANG, Z., CAO, K., NAIR, S., CHENG, X., ZHAO, J., GOMAA, H., WU, H. & PAN, F. 2017. Pervaporation performance comparison of hybrid membranes filled with two-dimensional ZIF-L nanosheets and zero-dimensional ZIF-8 nanoparticles. *Journal of Membrane Science*, 523, 185-196.
- WANG, K., ABDALLA, A. A., KHALEEL, M. A., HILAL, N. & KHRAISHEH, M. K. 2012. Mechanical properties of water desalination and wastewater treatment membranes. *Desalination*.