

Pengolahan Limbah Cair Industri Pewarnaan Jeans Menggunakan Membran Silika Nanofiltrasi Aliran *Cross Flow* untuk Menurunkan Warna dan Kekeruhan

Veny Rachmawati dan Alia Damayanti

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: damayantialia@gmail.com

Abstrak—Limbah cair industri tekstil disamping mengandung bahan pencemar organik yang tinggi, juga mengandung bahan pewarna organik rantai panjang yang relatif sukar diolah dengan proses biologis. Sedangkan proses pengolahan secara kimia seringkali kurang efektif dikarenakan biaya untuk pembelian bahan kimianya cukup tinggi dan pada umumnya pengolahan air limbah secara kimia akan menghasilkan *sludge*. Sehingga dipilih teknologi membran sebagai media filtrasi baik yang digunakan pada skala laboratorium maupun industri, proses berlangsung cepat, cara pengoperasian sederhana, mudah dalam penggandaan skala, tidak memerlukan ruang yang besar, dan dapat mendapatkan permeat dengan kualitas sangat baik. Pasir silika merupakan bahan yang dapat digunakan sebagai sumber silika untuk pembuatan membran. Metode yang digunakan untuk sintesis silika yaitu metode *alkalifussion* dikarenakan metode ini menghasilkan silika dengan kemurnian 99%. Membran silika merupakan membran yang terbuat dari silika dengan perekat poly vinyl alcohol (PVA), pengemulsi poly ethylen glykol (PEG), dan semen putih. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh massa silika dan konsentrasi limbah terhadap koefisien rejeksi, fluks, struktur dan morfologi membran. Uji struktur dan morfologi membran dilakukan dengan FTIR serta SEM. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah warna dan kekeruhan. Nilai koefisien rejeksi tertinggi sebesar 96,86% untuk warna dan 99,31% untuk kekeruhan yang diperoleh dari massa campuran silika 5 gram (28,65 %wt), volume limbah 100% dengan kandungan warna 1,123 Co dan kekeruhan 180,5 NTU. Nilai fluks tertinggi sebesar 3,432 liter.m⁻².jam⁻¹ yang diperoleh dari massa campuran silika 8 gram (39,12 %wt) dengan penggunaan volume limbah 25% yang mengandung warna 0,525 Co dan kekeruhan 40,9 NTU. Membran silika yang optimum untuk menurunkan warna dan kekeruhan diperoleh dari massa campuran silika 5 gram (28,65 %wt) dengan % volume limbah 100%.

Kata Kunci—nanofiltrasi, pewarnaan jeans, *cross flow*.

I. PENDAHULUAN

BEBERAPA metode yang sering digunakan dalam pengolahan limbah memiliki beberapa kelemahan, oleh karena itu pada penelitian ini dipilih teknologi membran

untuk pengolahan limbah cair industri jeans. Hal tersebut dikarenakan penggunaan membran paling banyak adalah sebagai media filtrasi baik yang digunakan pada skala laboratorium maupun industri. Selain itu keunggulan proses membran dibandingkan proses pemisahan lainnya adalah tidak memerlukan perubahan fase medium, proses berlangsung cepat, cara pengoperasian sederhana, mudah dalam penggandaan skala, tidak memerlukan ruang yang besar, dan dapat mendapatkan permeat dengan kualitas sangat baik [1].

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan [2] dan [3] dilakukan pengaplikasian teknologi membran untuk proses desalinasi air laut dengan reaktor *dead end*. Pada reaktor aliran *dead-end* ini partikel tertahan oleh membran sehingga menyebabkan terjadinya fouling. Sedangkan pada sistem aliran *cross flow*, aliran umpan mengalir melalui suatu membran, dengan hanya sebagian saja yang melewati pori membran untuk memproduksi permeat, sedangkan aliran pelarut atau cairan pembawa akan melewati permukaan membran. Larutan, koloid dan padatan tersuspensi yang tertahan oleh membran akan terus terbawa oleh aliran pelarut menjadi aliran balik sehingga memperlambat terjadinya fouling [4]. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan reaktor dengan aliran *cross flow*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan massa silika optimum yang digunakan untuk pembuatan membran pada proses pengolahan limbah cair pewarnaan jeans. selain itu untuk mendapatkan nilai koefisien rejeksi warna dan kekeruhan membran silika nano filtrasi pada variasi massa silika serta variasi % volume limbah cair pewarnaan jeans dan mendapatkan nilai fluks membran silika nano filtrasi pada variasi massa silika dan variasi % volume limbah cair pewarnaan jeans.

II. URAIAN PENELITIAN

Sintesis silika pada penelitian ini menggunakan metode *alkalifussion*. Prinsip yang digunakan pada metode ini adalah

membongkar ikatan kimia dalam pasir silika dengan menggunakan senyawa alkali seperti KOH, NaOH, Na_2CO_3 dan kemudian mengikat silika dioksida (SiO_2). Pada penelitian ini senyawa alkali yang digunakan yaitu KOH.

Terdapat 2 tahapan pada pembuatan membran yaitu tahapan preparasi, dan pencetakan membran. Pada tahap preparasi digunakan silika sebanyak 5, 8 dan 10 gram dicampurkan dengan 35ml 2-propanol dan campuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam botol 100 ml. Berikutnya dilakukan proses *sentrifuge*, menurut referensi [2] kecepatan *sentrifuge* yang paling optimum yaitu 600 rpm dilakukan selama 10 menit. Kemudian ditambahkan 3,5 gram NH_4Cl sebagai surfaktan kationik yang telah dilarutkan dalam 300 ml aquadenim. Langkah selanjutnya, campuran tersebut diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam agar terbentuk pori membran yang berukuran nano[5].

Pada tahap pencetakan membran dilakukan dengan menambahkan 3,4 gram Semen, 3,4 gram PVA, dan 5 ml PEG ke dalam campuran yang telah dibuat pada tahap preparasi membran. Berikutnya membran dicetak dengan menggunakan cawan petri dan dijemur dibawah sinar matahari sampai kering. Setelah kering membran dioven pada suhu 70°C selama 60 menit.

Pada penelitian ini pengujian kinerja membran dilakukan menggunakan reaktor dengan aliran cross-flow untuk mengetahui kandungan warna dan kekeruhan dalam permeat yang lolos dari membran. Membran yang akan digunakan untuk pengujian dipotong dengan bentuk lingkaran dengan diameter 4,5 cm dan diletakkan di dalam reaktor cross-flow. Pada metode *cross flow* ini, umpan mengalir melalui suatu membran, dimana hanya sebagian umpan yang melewati membran untuk menghasilkan permeat, sedangkan aliran pelarut atau cairan pembawa akan melewati permukaan membran, sehingga larutan, koloid, dan padatan tersuspensi yang tertahan oleh membran akan terus terbawa menjadi aliran balik.

Pengujian membran dalam reaktor dilakukan selama 1,2 jam untuk setiap variasi massa dan volume limbah. Hal tersebut dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [6] menggunakan membran nanofiltrasi untuk pengolahan limbah laundry yang waktu pengoperasiannya selama 120 menit. Hasil penelitian tersebut menunjukkan fluks yang dihasilkan menurun drastis selama 20 menit dan setelah 80 menit menunjukkan nilai fluks yang stabil. Membran yang diuji pada reaktor masing-masing diujikan dengan variasi seperti pada Tabel 1.

Membran yang memiliki kinerja terbaik dilakukan pengujian struktur membran dengan spektrofotometri *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan analisa morfologi membran dengan menggunakan *Scanning Elektron Microscopy* (SEM). Pada pengujian struktur sampel yang akan dianalisis dijadikan serbuk kemudian dihomogenkan dalam KBr sehingga terbentuk pellet KBr. Untuk uji morfologi sampel

Tabel 1.

| Berat Silika (gram) | Variasi Membran dan % Volume Limbah | |
|---------------------|--------------------------------------|----------|
| | % Volume Limbah Cair Pewarnaan Jeans | |
| | Limbah Cair Pewarnaan Jeans | Air PDAM |
| 5 | 100% | - |
| | 50% | 50% |
| | 25% | 75% |
| 8 | 100% | - |
| | 50% | 50% |
| | 25% | 75% |
| 10 | 100% | - |
| | 50% | 50% |
| | 25% | 75% |

dibekukan dengan nitrogen cair sehingga membran menjadi beku. Selanjutnya membran yang membeku dipatahkan dan tempelkan pada holder. Membran dilapisi oleh emas dan dimasukkan ke dalam chamber.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Tahap Persiapan

Tahapan persiapan yang pertama dilakukan adalah perendaman pasir silika dengan HCL 15% dilakukan selama 12 jam. Pasir yang akan digunakan sebanyak kurang lebih 2 kg, sehingga pencucian dilakukan secara bertahap. Setelah direndam dengan HCL 15% berikutnya dilakukan pencucian pasir silika dengan menggunakan aquades sebanyak 3 sampai dengan 4 kali. Perendaman ini dilakukan untuk melarutkan senyawa-senyawa pengotor selain SiO_2 dikarenakan karakteristik HCL sebagai asam kuat mampu melarutkan beberapa kandungan senyawa metal yang terdapat pada pasir silika [7].

Setelah proses pencucian, dilakukan proses pengeringan pasir silika dengan cara diangin-anginkan sampai seluruh bagian pasir silika menjadi kering. Tahapan selanjutnya yaitu proses penggerusan pasir silika yang berukuran 2 mm sampai menjadi halus dengan menggunakan alat ball milling pada Laboratorium Beton Teknik Sipil ITS. Penggerusan dilakukan dengan tujuan untuk memperluas permukaan dari pasir silika.

B. Sintesis Silika

Tahapan pertama pada sintesis silika yaitu pembentukan kalium silikat (K_2SiO_3). Pada tahapan ini pasir silika yang telah halus dan KOH dengan perbandingan 12:88 wt%. Berikutnya dilakukan pemanasan dengan menggunakan furnace dengan suhu 360°C selama 4 jam, proses ini merupakan proses *alkalifussion*. Kemudian sampel didinginkan sehingga terbentuk larutan kalium silikat.

Tahap kedua yaitu pembentukan Silicic acid ($\text{Si}(\text{OH})_4$) yang diawali dengan pembentukan larutan potassium silikat. Pembentukan larutan potassium silikat dilakukan dengan cara melarutkan larutan kalium silikat dengan 1 liter aquades. Hal ini dikarenakan kalium silikat mudah larut dalam aquades (H_2O) sehingga terbentuk larutan potassium

Tabel 2.
Koefisien Rejeksi Warna Variasi Volume Limbah 100%

| Massa Silika | Menit ke | % Warna Awal | % Warna permeat | Koefisien Rejeksi |
|--------------|----------|--------------|-----------------|-------------------|
| 5 gram | 20 | 1,123 | 0,086 | 92,38 |
| | 40 | 1,123 | 0,065 | 94,17 |
| | 60 | 1,123 | 0,045 | 95,96 |
| | 80 | 1,123 | 0,035 | 96,86 |
| 8 gram | 20 | 1,123 | 0,237 | 78,92 |
| | 40 | 1,123 | 0,206 | 81,61 |
| | 60 | 1,123 | 0,195 | 82,66 |
| | 80 | 1,123 | 0,186 | 83,41 |



Gambar. 1. Reaktor Cross Flow

silikat. Pada saat pembentukan potassium silikat dibutuhkan waktu kurang lebih 24 jam agar unsur metal yang terkandung dalam larutan dapat mengendap sehingga didapatkan larutan potassium silikat murni. Endapan tersebut terbentuk dikarenakan kalium silikat yang dihasilkan merupakan basa kuat, sedangkan unsur-unsur metal yang terdapat pada larutan tidak dapat larut dalam basa kuat [8].

Endapan metal pada larutan potassium silikat dibuang kemudian dilakukan titrasi dengan menggunakan larutan HCl pekat hingga pH larutan 1-2. Titrasi dilakukan sambil dilakukan pemanasan pada larutan hingga suhunya mencapai 50°C. Titrasi dengan larutan asam kuat akan melarutkan unsur-unsur selain Si seperti Na, Al, Ca, Ti, dan Cu [8]. Silica acid merupakan gel putih yang dapat dipisahkan dari H₂O dan kuantitas terbentuknya akan mempengaruhi massa akhir dari silika dioksida yang diperoleh

Tahap ketiga yaitu tahapan pemurnian silika (SiO₂) dikarenakan pada proses pembentukan silicic acid terdapat kristal KCl, pencucian dilakukan dengan menggunakan aquades. Selanjutnya silika yang telah disaring dikeringkan pada oven dengan suhu 105°C sampai kering. Silika yang sudah kering dihaluskan kembali dengan menggunakan mortar untuk memperhalus dan memperluas permukaan silika. Pada penelitian ini didapatkan silika sebanyak 30,76 gr dengan metode *alkalifussion* menggunakan pasir silika 40 gr pada setiap satu kali proses sintesis. Silika yang

didapatkan sebanyak 76,9% massa total pasir silika yang digunakan.

C. Pembuatan Membran

Tahap pertama dalam pembuatan membran yaitu dengan menimbang silika dengan massa 5 gram, 8 gram, dan 10 gram. Selanjutnya ditambahkan larutan 2-propanol sebanyak 35 ml pada masing-masing variasi massa silika. Penambahan 2-propanol berfungsi untuk melarutkan silika. Berikutnya dilakukan proses centrifuge selama selama 10 menit dengan kecepatan 600 rpm hal ini dilakukan dengan tujuan untuk meratakan distribusi partikel silika membran.

Tahap berikutnya yaitu dilakukan penambahan NH₄Cl sebanyak 3,5 gram yang telah dilarutkan dengan 300 ml aquades. NH₄Cl ditambahkan untuk mencegah tumbuhnya mikroba pada membran yang akan dibuat. Silika beserta NH₄Cl yang telah dilarutkan dengan aquades kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam untuk membentuk pori membran yang berukuran nano.

Selanjutnya proses pencetakan dengan menambahkan semen putih 3,4 gram, PVA 3,4 gram PEG sebanyak 5 ml dan aquades 30 ml pada endapan yang dihasilkan dari pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*. Semen ditambahkan karena berfungsi sebagai bahan pengikat (binder) serbuk silika. Penambahan PVA berfungsi sebagai zat perekat serbuk silika. PEG berfungsi untuk pembentukan dan penyeragaman pori-pori membran [9]. Aquades berfungsi membentuk permukaan membran yang halus dan rapat

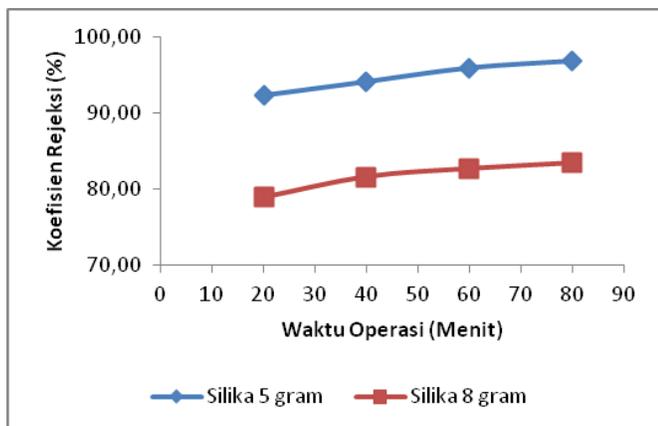
Tahap berikutnya dari pencetakan membran yaitu proses pencetakan dengan menggunakan cawan petri kemudian dikeringkan dengan cara diangin-anginkan 30 jam. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air yang ada pada membran. Setelah 30 jam membran yang agak kering di oven pada suhu 70°C selama 1 jam.

D. Pengujian Membran dengan Reaktor Cross Flow

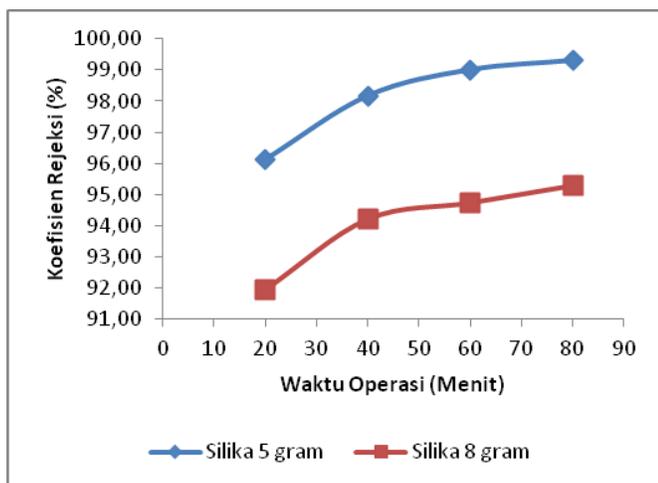
Pengujian membran dilakukan selama 1,2 jam dan pengambilan reaktor dilakukan setiap 20 menit selama 20 menit. Reaktor yang digunakan adalah reaktor cross flow seperti pada Gambar 1. Pengambilan permeat dilakukan sebanyak 4 kali pada setiap variasi massa dan % volume. Sedangkan pengambilan sampel untuk analisa awal limbah dilakukan pada saat awal pengoperasian reaktor. Membran yang telah diuji dengan reaktor memperlihatkan adanya *filter cake* keabu-abuan yang terbentuk pada permukaan membran. Hal tersebut menunjukkan bahwa membran setelah pengujian dalam reaktor telah mengalami *fouling*.

E. Pengaruh Massa Silika dan % Volume Limbah Terhadap Rejeksi Warna dan Kekeruhan

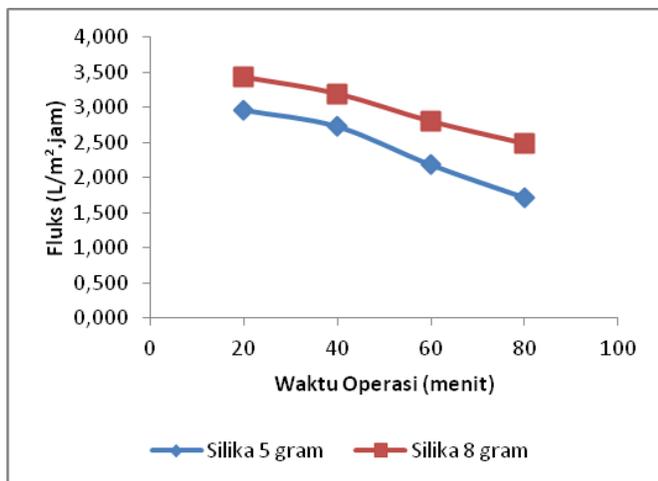
Koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran, dan rumus yang digunakan sesuai dengai Rumus 1. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan koefisien rejeksi terhadap parameter warna dan kekeruhan



Gambar 2. Nilai Koefisien Rejeksi Warna Pada Variasi Volume Limbah 100%



Gambar 3. Nilai Koefisien Rejeksi Kekeruhan Pada Variasi Volume Limbah 100%.



Gambar 4. Grafik Nilai Fluks Pada Variasi Volume Limbah 25%

agar dapat diketahui membran yang memiliki kinerja terbaik.

$$R\% = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100 \tag{1}$$

Tabel 3. Koefisien Rejeksi Kekeruhan Variasi Volume Limbah 100%

| Massa Silika | Menit ke | Kekeruhan Awal (NTU) | Kekeruhan permeat (NTU) | Koefisien Rejeksi |
|--------------|----------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| 5 gram | 20 | 180,500 | 7,000 | 96,12 |
| | 40 | 180,500 | 3,295 | 98,17 |
| | 60 | 180,500 | 1,785 | 99,01 |
| | 80 | 180,500 | 1,250 | 99,31 |
| 8 gram | 20 | 180,500 | 14,550 | 91,94 |
| | 40 | 180,500 | 10,450 | 94,21 |
| | 60 | 180,500 | 9,500 | 94,74 |
| | 80 | 180,500 | 8,500 | 95,29 |

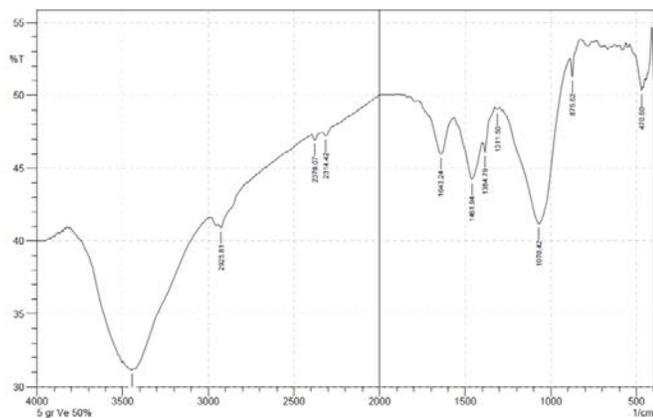
Efisiensi penyisihan warna dilihat dari besarnya kemampuan membran dalam merejeksi konsentrasi warna yang terkandung dalam sampel air limbah yang dinyatakan dalam koefisien rejeksi. Semakin besarnya nilai koefisien rejeksi maka semakin besar pula kemampuan membran untuk melakukan penyisihan warna. Hasil perhitungan koefisien rejeksi ditunjukkan pada Tabel 2. Pada Gambar 2 menunjukkan grafik peningkatan koefisien rejeksi tertinggi yang diperoleh dari membran variasi massa silika 5 gram (28,65 %wt). Koefisien rejeksi tertinggi terjadi pada menit ke 80 dengan nilai koefisien rejeksi sebesar 96,86%. Terjadi peningkatan koefisien rejeksi dari menit ke 20 sampai dengan menit ke 80.

Efisiensi penyisihan kekeruhan dilihat dari besarnya kemampuan membran dalam melakukan proses filtrasi terhadap berkurangnya kekeruhan yang terkandung dalam sampel air limbah yang dinyatakan dalam koefisien rejeksi. Semakin besarnya nilai koefisien rejeksi maka semakin besar pula kemampuan membran untuk melakukan penyisihan kekeruhan. Hasil perhitungan koefisien rejeksi warna ditunjukkan pada Tabel 3. Pada Gambar 3 menunjukkan grafik peningkatan koefisien rejeksi tertinggi yang diperoleh dari membran variasi massa silika 5 gram (28,65 %wt). Koefisien rejeksi tertinggi terjadi pada menit ke 80 dengan nilai koefisien rejeksi sebesar 96,86%. Terjadi peningkatan koefisien rejeksi dari menit ke 20 sampai dengan menit ke 80.

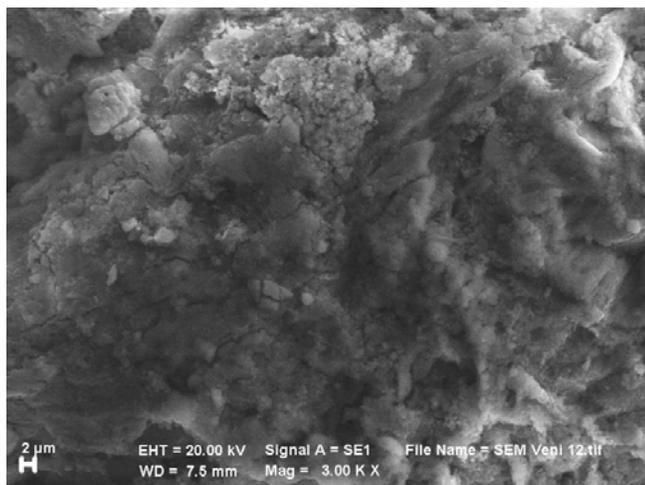
Massa campuran PVA dan massa silika mempengaruhi kerapatan pori-pori membran yang dihasilkan. Semakin rapat dan teratur pori-pori membran maka semakin bagus membran tersebut untuk proses penyisihan warna. Selain itu, apabila penambahan campuran PVA yang ditambahkan kurang ataupun melebihi massa maksimal maka akan menurunkan kualitas membran dan menyebabkan proses penyisihan warna berlangsung kurang maksimal [10].

F. Pengaruh Massa Silika dan %Volume Limbah Terhadap Nilai Fluks

Nilai fluks menggambarkan permeabilitas suatu membran yang merupakan ukuran kecepatan dari suatu spesi atau



Gambar 5. Spektra FTIR Membran Sesudah Proses Filtrasi



Gambar 6. Morfologi Membran Sesudah Proses Filtrasi

dan variasi volume limbah 100%. Hasil dari spektra FTIR membran silika setelah proses filtrasi dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 menunjukkan adanya beberapa gugus fungsi yang terdapat pada sampel membran variasi massa silika 5 gram (28,65 %wt) setelah proses filtrasi. Puncak utama pada bilangan panjang gelombang $3446,56 \text{ cm}^{-1}$ merupakan gugus fungsi yang terkandung dalam silika. Selain itu puncak pada bilangan panjang gelombang $1070,42 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus fungsi siloksan (Si-O-Si). Pada puncak bilangan panjang gelombang $470,6 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus fungsi Si-Cl.

H. Analisa Morfologi Membran

Proses analisa morfologi membran dilakukan dengan Scanning Electron Microscopy (SEM). Sampel yang digunakan membran yang memiliki kinerja dengan variasi massa silika 5 gram (28,65 %wt) dan variasi volume limbah 100%. Hasil uji SEM membran setelah proses filtrasi dapat dilihat pada Gambar 6. Dari hasil uji SEM menunjukkan bahwa setelah proses filtrasi limbah pewarnaan jeans oleh membran menunjukkan adanya fouling yang berakibat tersumbatnya pori-pori membran.

IV. KESIMPULAN

Nilai koefisien rejeksi tertinggi sebesar 96,86% untuk warna dan 99,31% untuk kekeruhan yang diperoleh dari massa campuran silika 5 gram (28,65 % wt), volume limbah 100% dengan kandungan warna 1,123 Co dan kekeruhan 180,5 NTU. Nilai fluks tertinggi sebesar $3,432 \text{ liter} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jam}^{-1}$ yang diperoleh dari massa campuran silika 8 gram (39,12 %wt) dengan penggunaan volume limbah 25% yang mengandung warna 0,525 Co dan kekeruhan 40,9 NTU. Membran silika yang optimum untuk menurunkan warna dan kekeruhan diperoleh dari massa campuran silika 5 gram (28,65 %wt) dengan % volume limbah 100%. Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah perlunya dilakukan penggunaan kurva kalibrasi dengan menggunakan satuan Pt-Co agar hasil penelitian dapat dibandingkan dengan baku mutu. Selain itu Perlu penelitian lanjutan menggunakan reaktor cross flow dan dilakukan perlakuan pencucian terhadap membran untuk mengetahui seberapa lama masa penggunaan membran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Scott, K dan Huges, R. 1996. *Industrial Membrane Separation Technology*. Blackie Academic and Professional, London.
- [2] Fatmasari, S.R. 2012. *Pemanfaatan Silika Sekam Padi Sebagai Bahan Baku Pembuatan Membran untuk Desalinasi Air Laut*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [3] Daia, R.P. 2012. *Pemanfaatan Selulosa Asetat Eceng Gondok Sebagai Bahan Baku Pembuatan Membran Untuk Desalinasi*. Tugas Akhir. ITS.
- [4] Mallack, H.M and Anderson, G.K. 1997. *Cross-flow Microfiltration with Dynamic Membranes*. Elsevier Science Ltd. Journal Water Research, Vol. 31.
- [5] Chowdhury, S.R., Alisia, M.P., Dave, H.A.B., Johan, E. 2006. *Influence of porous substrate on mesopore structure and water permeability of surfactant template mesoporous silika membranes*. Journal of Membrane Science 277: 6-10.
- [6] Guilbaud, J., Anthony, M., Yves, A., Francois, C., dan Pascal, J. 2010. Aprilia, N.R., Woro, S., dan Eko, B.S. 2012. *Sintesis Silika Membran Padat Silika Abu Sekam Padi dan Aplikasinya untuk Dekolorisasi Rhodamin B Pada Limbah Cair*. Indo. J. Chem. Sci 1 : (2).
- [7] Widodo. 2011. *Sintesis dan Karakterisasi Nanosilika Berbasis Pasir Bancar dengan Metode Alkalifussion Menggunakan Kalium Hidroksida (KOH)*. Tugas Akhir, ITS, Surabaya.
- [8] Mori, H. 2003. *Extraction of silicon dioxide from waste colored glasses by Alkalifussion using potassium hydroxide*. Kluwer Academic Publishers.
- [9] Yang, L., Hsiao, W.W., Chen, P. 2001. *Chitosan-cellulose composite membrane for affinity purifications of biopolymers and immunoadsorption*. J Membran Sci 5084:1-13.
- [10] Aprilia, N.R., Woro, S., dan Eko, B.S. 2012. *Sintesis Silika Membran Padat Silika Abu Sekam Padi dan Aplikasinya untuk Dekolorisasi Rhodamin B Pada Limbah Cair*. Indo. J. Chem. Sci 1 : (2).
- [11] Mulder M. 1996. *Basic Principles of Membrane Technology*. Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- [12] Notodarmojo, S., Zulkarnain, T., Mayashanthi, D dan Irsyad, M. 2004. *Efek Pretreatment Terhadap Pembentukan Lapisan Cake dan Struktur Membran pada Membran Ultrafiltrasi Aliran Cross-flow dalam Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak*. Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITB. Jurnal PROC ITB Sains & Tek. Vol 36:2.