

Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menggunakan Membran Nanofiltrasi Silika Aliran *Cross Flow* untuk Menurunkan Fosfat dan Amonium

Resty Mustika Maharani 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— Pencemaran oleh Limbah domestik tidak hanya dihasilkan oleh pemukiman, namun juga dihasilkan oleh usaha rumah makan, yang limbah cairnya tidak diolah dengan benar. Penyebab pencemaran dari sumber komersial antara lain berasal dari limbah rumah makan dan hotel (17,8%), industri manufaktur (20%), dan kegiatan lainnya. Sebagian besar pengolahan limbah cair hanya difokuskan pada limbah yang berasal dari kegiatan industri, padahal limbah rumah makan yang semakin menjamur turut memberikan dampak pencemaran. Penggunaan pasir silika sebagai bahan utama pembuatan membran nanofiltrasi menjadi alternatif dalam mengatasi hal tersebut. Sintesis silika diperlukan untuk memperoleh kemurnian silika, sehingga dalam penelitian ini sintesis silika dilakukan dengan metode alkali fusion dengan variasi pembuatan membran menggunakan variasi massa silika 5, 8 dan 10 gram serta variasi perbandingan konsentrasi air limbah 100%, 50% dan 75%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui massa silika optimum, nilai koefisien rejeksi dan nilai fluks sehingga limbah cair rumah makan yang dihasilkan industri rumah makan dapat terolah dengan baik dengan aliran pada reaktor secara *cross flow* untuk mencegah teradanya *fouling* lebih cepat. Dalam penelitian ini hal hal yang dikaji antara lain pengaruh massa silika dan perbandingan volume limbah dengan koefisien rejeksi, pengaruh massa silika dan perbandingan volume limbah dengan fluks, anaisa morfologi membran dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan analisa gugus fungsi dengan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*).

Kata Kunci—*Cross flow*, membran, nanofiltrasi, silika.

I. PENDAHULUAN

KEBERADAAN limbah domestik berkontribusi terhadap pencemaran, terutama pencemaran sungai dan air tanah. Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Perum Jasa Tirta awal tahun 2000 di Kali Mas di Surabaya, menyebutkan bahwa sumber pencemaran terbesar berasal dari limbah cair domestik yang memberikan kontribusi pencemaran sebesar 87% baru sisanya sebesar 13% berasal dari limbah cair industri [1].

Pencemaran oleh Limbah domestik tidak hanya dihasilkan oleh pemukiman, namun juga dihasilkan oleh usaha rumah makan, yang limbah cairnya tidak diolah dengan benar. Penyebab pencemaran dari sumber komersial antara lain

berasal dari limbah rumah makan dan hotel (17,8%), industri manufaktur (20%), dan kegiatan lainnya. [2].

Metode yang sering diterapkan untuk pengolahan limbah cair rumah makan biasanya memerlukan lahan yang luas dan pengoperasian yang sulit. Untuk itu diperlukan suatu teknologi yang lebih mudah untuk diaplikasikan untuk mengelola limbah cair rumah makan. Salah satunya adalah penggunaan teknologi membran untuk diaplikasikan sebagai pengolahan air limbah. Salah satu jenis membran yang sering digunakan untuk pengolahan limbah adalah membran nanofiltrasi karena membran nanofiltrasi memiliki batasan permeabilitas 1,4-12 L/m².bar dan beroperasi pada tekanan 5-20 bar[3].

Ukuran pori yang ditawarkan adalah ukuran nanofiltrasi yang memiliki ukuran pori 0,001 mikron sehingga dapat menyaring limbah organik dengan kadar organik sangat tinggi [4].

Pada penelitian ini reaktor dijalankan dengan aliran *cross flow*, maka dari itu penggunaan membran ini dapat diaplikasikan untuk penanganan limbah cair industri rumah makan karena reaktor tipe *cross flow* mampu mencegah terjadinya *fouling* dini. Parameter yang diuji dalam penelitian ini adalah amonium, dan fosfat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Membran

Membran merupakan suatu lapisan tipis yang bersifat permeable atau semipermeable yang menghalangi unsur unsur dengan ukuran tertentu untuk melewatinya. Membran menjadi penghalang yang mengontrol transportasi molekul molekul sehingga terbentuklah permeal yang terbebas dari molekul molekul pengotor. Performa suatu membran ditentukan oleh dua faktor sederhana yaitu fluks (kecepatan aliran permeal) dan selektivitas membrane [5].

Proses pemisahan dengan membran yang memakai gaya dorong berupa beda tekan umumnya dikelompokkan menjadi empat jenis diantaranya *mikromembran*, *ultramembran*, *nanomembran* dan *reverse osmosis* [6].

Berdasarkan struktur penghalang, pemisahan melalui transpot pasif dibagi menjadi :

- *Non-porous* untuk pemisahan gas dan *reverse osmosis*
- *Microporous* dengan diameter pori pori kurang dari 2 nm untuk nanofiltrasi
- *Mesoporous* dengan diameter pori pori antara 2 nm sampai 50 nm untuk ultrafiltrasi
- *Macroporous* dengan diameter pori pori antara 50 nm sampai 500 nm untuk mikrofiltrasi [7].

Performa suatu membran ditentukan oleh koefisien rejeksi dan nilai fluks suatu membran. Koefisien rejeksi adalah rasio antara beda konsentrasi melalui membran dengan konsentrasi melalui membran dengan konsentrasi *feed* (fraksi konsentrasi zat terlarut yang tertahan oleh membran) [8]. Nilai koefisien rejeksi dihitung berdasarkan:

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

Sementara itu nilai fluks adalah jumlah volume permeat yang melewati satu satuan permukaan luas membran dengan waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan [3]. Nilai fluks dihitung melalui persamaan :

$$J = \frac{V}{A \cdot t}$$

B. Sintesis Silika

Dalam pembuatan membran nanofiltrasi ini sili (2) ai bahan baku utama yang memiliki kestabilan cu akan disintesis dan dimurnikan dari pasir kuarsa dengan metode *alkali fusion*. Prinsip metode ini yaitu memisahkan ikatan kimia dalam struktur pasir dengan menggunakan senyawa alkali seperti KOH, NaOH, dan Na₂CO₃ kemudian unsur silika berikatan dengan oksigen membentuk SiO₂. [9].

C. Membran Nanofiltrasi Aliran Cross Flow

Pada sistem aliran *cross-flow* arah aliran larutan umpan sejajar dengan permukaan membran. Pada sistem ini *fouling* masih dapat terjadi, namun dapat dikurangi dengan gaya dorong aliran umpan akibat kecepatan alir larutan umpan memegang peranan penting untuk meningkatkan efisiensi pemisahan, untuk itulah dalam penelitian ini menggunakan aliran *cross flow* [10].

III. METODOLOGI

A. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh teori penunjang penelitian yang dilakukan. Studi literatur dilakukan sepanjang penelitian hingga didapatkan tujuan penelitian. Studi literatur meliputi metode sintesis silika dengan *alkali fusion*, teknik pembuatan membran nanofiltrasi, pengujian membran dengan aliran *cross flow*, dan analisa membran untuk menurunkan kadar fosfat dan amonium.

B. Sintesis Silika dengan Alkali Fusion

Untuk proses sintesis silika dengan teknik *alkali fussion*, rasio yang digunakan antara pasir silika dan KOH adalah 88 : 12 karena potassium silikat terbentuk % berat silika kurang dari 15 wt % [11]. Langkah pertama adalah menyiapkan pasir silika dengan berat sekitar 2 kg kemudian direndam dengan HCl 15% selama 12 jam, setelah 12 jam proses perendaman pasir tersebut dikeringkan dengan cara diangin-anginkan.

Langkah kedua, pasir silika yang sudah kering, dihaluskan agar ukuran partikelnya kecil dengan alat *ball milling*, yaitu suatu alat penghancur yang terdiri dari bola bola baja yang saling bertumbukan untuk membuat ukuran pasir mrnjadi lebih kecil. Prosedur penghalusan pasir silika ini dilakukan di Laboratorium Beton Teknik Sipil ITS.

Pasir yang sudah halus selanjutnya ditimbang sebanyak 40 gram dan KOH sebanyak 293, 3 gram. Pasir dan KOH ini diletakkan pada empat cawan porselain terpisah kemudian di bakar dengan furnace pada temperatur 360° C selama 4 jam.

Tahap selanjutnya adalah preparasi pembentukan *silic acid* Si(OH)₄. Pada tahapan ini Potasium silikat dititrasi dengan asam kuat (HCl) 37% sambil dipanaskan dengan suhu sekitar 50°C sambil diaduk hingga mencapai pH antara 1-2. Dari hasil titrasi diperoleh larutan yang memiliki endapan putih dan warna larutan menjadi kekuningan. Selanjutnya dilakukan pencucian dengan aquades dan disaring. Untuk pembentukan serbuk silika, endapan yang sudah disaring dioven selama 24 jam dengan suhu 120°C.

C. Pembuatan Membran

Dalam pembuatan membran silika, terlebih dahulu menimbang silika sesuai dengan variasi yang telah ditentukan sebelumnya. Massa silika yang dibutuhkan antara lain 5 gram (28,7wt%), 8 gram (39wt%), dan 10 gram (44,5wt%). Silika yang sudah ditimbang dalam beaker glass 50 ml kemudian ditambahkan dengan 35 ml 2-propanol. Campuran tersebut kemudian dimasukkan dalam botol centrifuge ukuran 100 ml untuk dicentrifuge dengan kecepatan 600 rpm selama 10 menit. Langkah selanjutnya adalah menambahkan NH₄Cl sebanyak 3,5 gram dan aquades 300 ml. Campuran tersebut kemudian diaduk menggunakan magnetic stirer selama 1 jam.

Untuk pencetakan membran terlebih dahulu ditimbang PVA (*Poly Vinil Alcohol*) dan semen sebanyak 3,4 gram yang berfungsi sebagai perekat. Berikutnya ditambahkan 5 ml PEG (*Poly Ehtylen Glicol*). Campuran tersebut dipanaskan secara *water batch*, setelah agak melarut, serbuk silika yang sudah distirer kemudian ditambahkan dengan perlahan kedalam PVA, PEG, dan semen tersebut hingga terlarut sempurna. Selagi masih berbentuk cairan, campuran bahan tersebut dituangkan ke dalam cawan petri dan didiamkan selama 30 jam kemudian dioven selama 1 jam dengan suhu 70°C.



Gambar. 2. Membran silika yang sudah dioven

D. Pengujian Membran dalam Reaktor Cross Flow

Sebelum dilakukan pengujian dengan reaktor terlebih dahulu dilakukan uji karakteristik limbah. Limbah yang digunakan adalah limbah rumah makan XYZ yang berada di Kota Surabaya. Parameter yang akan diuji dalam membran silika adalah parameter fosfat dan amonium. Untuk mengetahui koefisien rejeksi dari masing-masing parameter, maka perlu dilakukan pengujian sampel terlebih dahulu. Analisa karakteristik limbah rumah makan dilakukan setiap kali hendak dilakukan pengujian dengan reaktor.

Pengujian sampel ini dilakukan dengan metode yang berbeda-beda. Pengujian kadar fosfat dilakukan dengan metode klorid timah, kadar amonium diuji dengan metode nessler. Berikut ini merupakan hasil analisa kadar fosfat sebelum dilakukan pengujian reaktor yang ditunjukkan oleh Tabel 1 sampai Tabel 3. Hasil analisa kadar amonium ditunjukkan pada Tabel 4 sampai Tabel 6.

Waktu pengujian membran dalam reaktor untuk variabel massa silika dan perbandingan volume air limbah dilakukan selama kurang lebih 80 menit dengan waktu pengambilan permeat dilakukan selama 20 menit sekali. penentuan waktu pengambilan permeat dan lamanya operasi didasarkan pada penelitian yang dilakukan pada rujukan [12]. Dalam penelitian tersebut nilai fluks pada membran nanofiltrasi menjadi relatif konstan pada menit ke-80, hal tersebut diperkirakan telah terjadi polarisasi konsentrasi pada permukaan membran.

Reaktor *cross flow* seperti pada Gambar 3 terdiri dari dua reaktor yang disusun secara paralel dengan satu pompa agar dapat digunakan secara bersamaan. Reaktor ini bekerja dengan mengalirkan air limbah secara sejajar dengan membran, konsentrat yang telah melauai reaktor akan ditampung kembali pada wadah yang sama untuk kemudian dialirkan lagi melalui reaktor. Pada setiap *running* limbah 100%, 50%, dan 25% dianalisa awal terlebih dahulu untuk mengetahui perubahan setelah filtrasi.

Tabel 1.
Hasil Analisa Kadar Fosfat Limbah 100%

No	Nama Sampel	Konsentrasi (mg/l)
1	Sampel A1	3,38
2	Sampel B1	3,65
Rata-Rata		3,52

Tabel 2.
Hasil Analisa Kadar Fosfat Limbah 50%

No	Nama Sampel	Konsentrasi (mg/l)
1	Sampel A2	3,12
2	Sampel B2	3,19
Rata-Rata		3,15

Tabel 3.
Hasil Analisa Kadar Fosfat Limbah 25%

No	Nama Sampel	Konsentrasi (mg/l)
1	Sampel A3	2,96
2	Sampel B3	2,62
Rata-Rata		2,79

Tabel 4.
Hasil Analisa Kadar Amonium Limbah 100%

No	Nama Sampel	Konsentrasi (mg/l)
1	Sampel A1	159,43
2	Sampel B1	120,73
Rata Rata		140,08

Tabel 5.
Hasil Analisa Kadar Amonium Limbah 50%

No	Nama Sampel	Konsentrasi (mg/l)
1	Sampel A2	43,87
2	Sampel B2	47,56
Rata Rata		45,71

Tabel 6.
Hasil Analisa Kadar Amonium Limbah 25%

No	Nama Sampel	Konsentrasi (mg/l)
1	Sampel A3	37,99
2	Sampel B3	36,35
Rata Rata		37,17

Gambar. 3. Pengujian membran dalam reaktor *cross flow*

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Nilai Koefisien Rejeksi

Nilai rejeksi membran berkaitan dengan porositas membran. Semakin kecil ukuran membran, maka porositas yang dihasilkan semakin tinggi dan sebaliknya. Jika rejeksi membran menunjukkan 100% berarti membran mengalami rejeksi sempurna. Nilai koefisien rejeksi amonium ditunjukkan berdasarkan Tabel 10-12

Tabel 7.
Koefisien Rejeksi Fosfat Limbah 100%

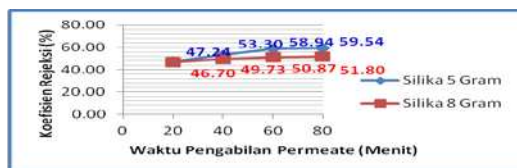
Menit ke	Koefisien Rejeksi (R) Limbah 100 % Pada Variasi Massa Silika (%)	
	5 gram	8 gram
20	47,24	46,70
40	53,30	49,73
60	58,94	50,87
80	59,54	51,80

Tabel 8.
Koefisien Rejeksi Fosfat Limbah 50%

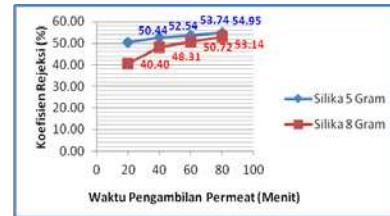
Menit ke	Koefisien Rejeksi (R) Limbah 50% Pada Variasi Massa Silika (%)	
	5 gram	8 gram
20	50,44	40,40
40	52,54	48,31
60	53,74	50,72
80	54,95	53,14

Tabel 9.
Koefisien Rejeksi Fosfat Limbah 25%

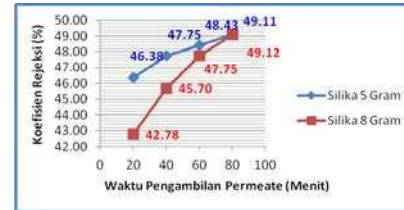
Menit ke	Koefisien Rejeksi (R) Limbah 25% Pada Variasi Massa Silika (%)	
	5 gram	8 gram
20	46,38	42,78
40	47,75	45,70
60	48,43	47,75
80	49,11	49,12



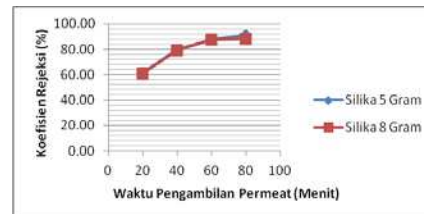
Gambar. 4. Koefisien Rejeksi Fosfat Limbah 100%



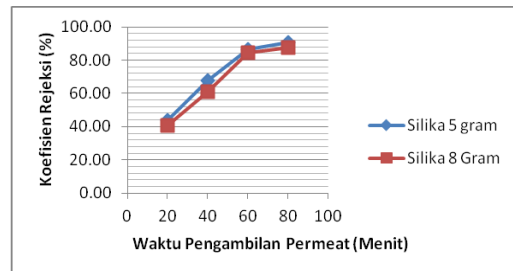
Gambar. 5. Koefisien Rejeksi Fosfat Limbah 50%



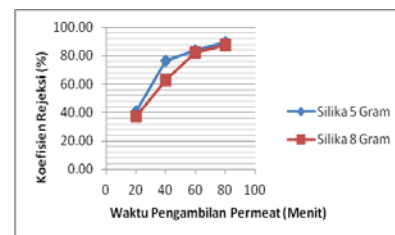
Gambar. 6. Koefisien Rejeksi Fosfat Limbah 25 %



Gambar.7. Koefisien Rejeksi Amonium Limbah 100%



Gambar.8. Koefisien Rejeksi Amonium Limbah 50%



Gambar.9. Koefisien Rejeksi Amonium Limbah 25%

Tabel 10.
Koefisien Rejeksi Amonium Limbah 100%

Menit ke	Koefisien Rejeksi (R) Pada Variasi Volume Limbah 100% Massa Silika (5)	
	5 Gram	8 Gram
20	61,36	60,77
40	79,62	79,03
60	87,82	87,33
80	91,04	88,11

Tabel 11.
Koefisien Rejeksi Amonium Limbah 50%

Menit ke	Koefisien Rejeksi (R) Pada Variasi Volume Limbah 50% Massa Silika	
	5 Gram	8 Gram
20	43,89	40,83
40	67,89	61,17
60	86,30	84,47
80	90,49	87,80

Tabel 12.
Koefisien Rejeksi Amonium Limbah 25%

Menit ke	Koefisien Rejeksi (R) Pada Variasi Volume Limbah 25% Massa Silika	
	5 Gram	8 Gram
20	40,84	37,14
40	76,53	62,91
60	83,89	82,41
80	89,40	87,56

Pada penelitian sebelumnya [13] menyatakan bahwa nilai koefisien rejeksi (R) cenderung meningkat seiring dengan waktu pengoperasian reaktor, hal ini disebabkan semakin banyak penyebab *fouling* yang tertahan di permukaan membran, yang lama kelamaan membentuk *filter cake* dan membuat pori membran semakin kecil. Pori membran yang semakin kecil menyebabkan kemampuan rejeksi membran terhadap fosfat meningkat. Nilai koefisien rejeksi (R) terbesar terdapat pada membran dengan massa silika 5 gram (28,7wt%) volume limbah 100% atau air limbah dengan konsentrasi 140,08 mg/l amonium, pada menit ke-80 yaitu sebesar 91,04%. Hal ini disebabkan karena faktor perbandingan massa silika 5 gram dengan PVA 3,4 gram merupakan komposisi yang paling optimal dibandingkan massa silika 8 gram(39wt%) dan PVA 3,4 gram. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyebutkan bahwa berdasarkan uji selektivitas diketahui bahwa apabila massa campuran PVA kurang atau melebihi massa silika maksimal, akan berpengaruh terhadap kemampuan rejeksi suatu membran [14].

B. Nilai Fluks

Fluks didefinisikan sebagai volume permeate yang melewati satuan luas permukaan membran. Sementara fluks menurut rujukan [3] merupakan jumlah volume permeate yang melewati satu satuan permukaan luas membran dengan waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan. Pada Tabel 13 sampai Tabel 15 berikut merupakan nilai fluks yang dihasilkan dari pengujian membran:

Tabel 13.
Nilai Fluks Volume Limbah 100%

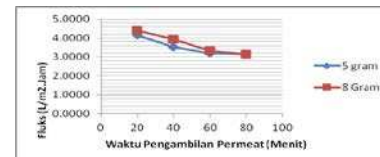
Menit ke-	Volume permeate (L)		Nilai Fluks (L. m ⁻² . Jam ⁻¹) 5 Gram	Nilai Fluks (L. m ⁻² . Jam ⁻¹) 8 Gram
	5 Gram	8 Gram		
20	0,00246	0,00246	3,83	4,22
40	0,00226	0,00226	3,52	3,67
60	0,00205	0,00205	3,19	3,27
80	0,00201	0,00201	3,13	3,21
Rata Rata			3,42	3,59



Gambar. 10 Nilai Fluks Limbah 100%

Tabel 14.
Nilai Fluks Volume Limbah 50%

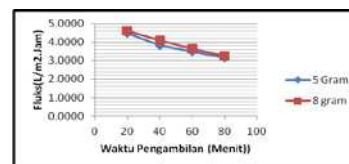
Menit ke-	Volume permeate (L)		Nilai Fluks (L. m ⁻² . Jam ⁻¹) 5 Gram	Nilai Fluks (L. m ⁻² . Jam ⁻¹) 8 Gram
	5 Gram	8 Gram		
20	0,00267	0,00283	4,16	4,41
40	0,00249	0,00252	3,52	3,92
60	0,00208	0,00214	3,19	3,33
80	0,00202	0,00202	3,13	3,15
Rata Rata			3,50	3,70



Gambar. 11 Nilai Fluks Limbah 50%

Tabel 15.
Nilai Fluks Volume Limbah 25%

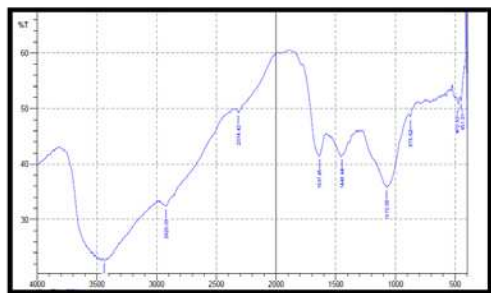
Menit ke-	Volume permeate (L)		Nilai Fluks (L. m ⁻² . Jam ⁻¹) 5 Gram	Nilai Fluks (L. m ⁻² . Jam ⁻¹) 8 Gram
	5 Gram	8 Gram		
20	0,00288	0,00296	4,49	4,61
40	0,00245	0,00263	3,82	4,10
60	0,00223	0,00234	3,47	3,65
80	0,00203	0,00209	3,16	3,25
Rata Rata			3,73	3,91



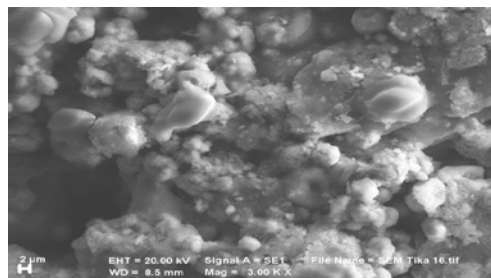
Gambar. 12 Nilai Fluks Limbah 25%

Tabel 16.
Kisaran Nilai Fluks [3].

Proses Membran	Kisaran Nilai Fluks(L/m ² .jam)
Mikrofiltrasi	>50
Ultrafiltrasi	10—50
Nanofiltrasi	1,40—12
Osmosis Balik	0,05—1,40



Gambar. 14. karakterisasi dari membran 5 gram (28,7wt%) setelah dipakai untuk filtrasi.



Gambar 15. Analisa SEM membran setelah filtrasi.

Nilai fluks terendah dihasilkan oleh membran dengan massa silika 5 gram (28,7wt%) limbah 100% dengan nilai fluks 3,1353 L/m².Jam pada menit ke 80. Berdasarkan data fluks yang diperoleh, maka dapat diketahui bahwa membran yang sudah dibuat merupakan membran nanofiltrasi, hal ini ditunjukkan pada pada Tabel 16. Nilai fluks rata-rata yang dihasilkan oleh membran antara lain dengan massa silika 8 gram (39wt%) adalah 3,5978; 3,7084 dan 3,9097 L/m².Jam. Nilai fluks rata rata untuk membran dengan massa silika 5 gram (28,7wt%) adalah 3,4239; 3,5058 dan 3,7391. Berdasarkan Tabel 4.15 nilai fluks untuk tekanan 5-20 Bar adalah 1,4-12 L/m².Jam, sedangkan untuk tekanan 2 atm range fluksnya adalah 0,56-4,8 L/m².jam. Dalam penelitian ini nilai fluks yang paling kecil adalah 3.13 L/m².jam dan yang paling besar adalah 4,61 L/m².jam. Nilai fluks tersebut masuk dalam range 0,56-4,8 L/m².jam.

C. Karakterisasi Membran

Berikut ini merupakan karakterisasi dari membran 5 gram (28,7wt%) setelah dipakai untuk filtrasi : Pada Gambar 14 terlihat spektra yang membentuk puncak puncak penyerapan gelombang elektromagnetik oleh suatu gugus fungsi tertentu. Puncak utama pada gelombang 3438,84 cm⁻¹ karena

merupakan gugus fungsi Si-OH. Untuk itu dalam membran silika terdapat gugus hidroksil yang menunjukkan ikatan Si-OH. Puncak lainnya merupakan puncak Si-O-Si pada gelombang 1072,35 cm⁻¹ [15]. Untuk analisa morfologi, membran yang sudah digunakan dianalisa dengan SEM.

V. KESIMPULAN

Massa silika optimum untuk pembuatan membran dalam penelitian ini adalah 5 gram (28,7wt%) dengan variasi volume limbah 100% dengan konsentrasi 3,52 mg/l fosfat atau 140,084 mg/l amonium. Massa optimum ini berdasarkan dari nilai koefisien rejeksi pada membran 5 gram (28,7wt%) yang berpengaruh terhadap kualitas permeal yang dihasilkan, sementara itu, nilai fluks yang dihasilkan tidak terlalu besar perbedaannya dengan membran massa silika 8 gram (39wt%). Koefisien Rejeksi amonium paling tinggi sebesar 91,04% dan koefisien rejeksi fosfat paling tinggi sebesar 59,54% nilai tersebut dihasilkan oleh membran 28,7% wt dengan variasi volume 100% dengan konsentrasi 3,52 mg/l fosfat atau 140,084 mg/l amonium. Nilai Fluks rata-rata tertinggi dihasilkan oleh membran 8 gram (39wt%) dengan variasi volume 25% dengan konsentrasi limbah 2,79 mg/l fosfat atau 37,17 mg/l amonium yaitu 3,91 L/m².Jam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fakhrizal. 2004. *Mewaspadaai Bahaya Limbah cair rumah makan di Kali Mas*. Lembaga Kajian Ekologi dan Konservasi Lahan Basah.
- [2] Thornton, 2001. *Pollutant in Urban Waste Water and Sewage Sludge*. European Communities. Luxembourg.
- [3] Mulder, M. 1996. *Basic Principle of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publisher. Netherland.
- [4] Damayanti, A., Ujang, Z., Salim, M.R., Ollson, G. 2011. The Influenced of PAC, Zeolite, and *Moringa oleifera* as Biofouling Reducer (BFR) on Hybrid Membrane Bioreactor of Palm Oil Mill Effluent (POME). *Bioresource Technology*, 102:4341-4346.
- [5] Scott, K and Hughes, R. 1992. *Industrial Membrane Separation Technology*. Blackie Academic and Professional. Glasgow.
- [6] Agustina, S. 2005. *Penggunaan Teknologi Membran pada Pengolahan Air Limbah Industri Kelapa Sawit*. Workshop Teknologi Industri Kimia dan Kemasan.
- [7] Ulbricht, M. 2006. *Advanced Functional Polymer Membrane*. Journal of Environmental Engineering. Elsevier vol 47:2217-2262.
- [8] Hapsari, N. 2000. *Uji Selektivitas Membran Ultrafiltrasi Pada Proses Pemisahan TDS*. Jurnal Kimia dan Teknologi. ISSN 0216-163X.
- [9] Widodo. 2011. *Sintesis dan Karakterisasi Nanosilika Berbasis Pasir Bancar Dengan Metode Alkali Fusion Menggunakan Kalium Hidroksida (KOH)*. Tugas Akhir. Jurusan Fisika ITS.
- [10] Jacangelo, J.G and Buckley, C.A. 1996. *Water Treatment Membrane Processes Ultrafiltration*. McGraw Hill. New York.
- [11] Mori, H. 2003. "Extraction of silicon dioxide from waste colored glasses by Alkalifusion using potassium hydroxide". Kluwer Academic Publishers.
- [12] Guilbaud, J. 2010. *Laundry water recycling in ship by direct nanofiltration with tubular membranes*. Journal Resource, Conservation and Recycling. Vol. 55 :148-154. France.
- [13] Karamah, E.F. dan Lubis, A.O. 2000. *Pralakuan Koagulasi dalam Proses Pengolahan Air dengan Membran: Pengaruh Waktu Pengadukan Pelan Koagulan Aluminium Sulfat Terhadap Kinerja Membran*. Prodi Teknik Kimia, Universitas Indonesia. Depok.
- [14] Aprilia, N.A. 2012. *Sintesis Membran Padat Silika Abu Sekam Padi Dan Aplikasinya Untuk Dekolorisasi Rhodamin B Pada Limbah Cair*. Indonesia Journal of Chemical Science. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang.