

PENERAPAN MEMBRAN FILTRASI DARI SELULOSA ASETAT DAN CHITOSAN UNTUK PRODUKSI BERSIH PADA INDUSTRI PULP DAN KERTAS

Suprihatin, Muhammad Romli, dan Andes Ismayana

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

ABSTRACT

Cleaner production is currently considered as a strategic element in manufacturing technology. The application of cleaner production is focused on the reduction or elimination of environmental pollution in their sources, and in the same time in increasing the effectiveness and efficiency of the resource utilization in industrial processes. The objectives of this research were to produce and characterize membranes from natural polymers (cellulose acetate and chitosan), (ii) to test the performance of the produced membrane for cleaner production (wastewater reuse/recycling) in pulp and paper industry as a case study, and (iii) to evaluate the technical and economical feasibility of the membrane application in the field. Results have shown that a relative high flux of 100 L/m²hr was achieved with the chitosan membrane, which is comparable with the flux of commercial available membranes. The flux of the produced cellulose acetate membrane was relative lower, namely app. 33 L/m²hr. Turbidity, color and COD (chemical oxygen demand) of the wastewater could be reduced up to 80 - 96 percent, 77 - 99 percent, and 35 - 52 percent respectively, depending on wastewater characteristics, type of the membrane material, and the operating conditions. Based on the measured parameters it is possible to reuse or recycle the treated effluent of the pulp and paper industry by using the membrane filtration. Costs for the membrane material (polymer) were Rp 5.525,-/m² for the cellulose acetate membrane and Rp 15.000,-/m² for the chitosan membrane. The material cost for production of microbial cellulose acetate membrane seems to be too expensive, because one kg of dried microbial cellulose self cost Rp 250.000,-, while commercial cellulose acetate cost only Rp 85.000,-/kg.

Key words: cleaner production, membrane filtration, wastewater, pulp and paper industry

PENDAHULUAN

Produksi bersih (*cleaner production*) merupakan elemen strategis dalam teknologi produksi saat ini dan dimasa mendatang. Penerapan produksi bersih menekankan pada pengurangan (*reduction*) atau penghilangan (*avoiding*) pencemaran lingkungan pada sumbernya setiap tahapan proses, sehingga diperoleh keuntungan berupa pengurangan produksi hasil samping (*non-product output*)/limbah, optimasi penggunaan sumberdaya, dan peningkatan efisiensi produksi.

Dalam mencapai tujuan penerapan produksi bersih tersebut di atas, proses pemisahan dengan membran filtrasi memainkan peranan penting (Paul dan Ohirogge, 1998). Beberapa keunggulan proses membran dibandingkan dengan proses pemisahan lainnya (sedimentasi, destilasi, ekstraksi, dll) adalah: (i) tidak memerlukan pengubahan fase medium baik secara fisik, kimia maupun biologis, (ii) proses berlangsung dengan cepat, (iii) cara pengoperasian sederhana, (iv) mudah dalam penggantian skala (*scale up*), (v) tidak memerlukan banyak tempat (*compact*), dan (vi) memberikan hasil (*permeate*) dengan kualitas sangat baik (Scott dan Hughes, 1996). Penggabungan membran filtrasi dengan koagulasi atau flokulasi selain memberikan efek

penghilangan kekeruhan dan disinfeksi, juga meningkatkan efisiensi pemisahan bahan-bahan terlarut seperti fosfat, dan warna (Rautenbach dan Vassenkeul, 1998).

Hambatan utama penerapan proses membran untuk produksi bersih adalah keterbatasan membran, karena membran masih harus diimpor dengan harga yang sangat mahal (saat ini sekitar Rp 350.000,- - Rp 500.000,-/m², belum termasuk ongkos pengiriman dan harga modulnya). Selain itu, aplikasi proses membran sering bermasalah karena rendahnya tingkat fluks yang dicapai akibat terbentuknya polarisasi konsentrasi (*concentration polarization*) atau lapisan penutup (*layer*) pada permukaan membran. Pada kondisi ekstrem, pori-pori membran dapat tersumbat, sehingga fluks menurun secara drastis dan kebutuhan luasan membran dan dengan demikian kebutuhan biaya investasi menjadi sangat tinggi.

Intensitas pembentukan polarisasi konsentrasi pada permukaan membran sangat ditentukan karakteristik membran, karakteristik medium, kondisi operasi, serta interaksi antara membran dengan bahan yang dipisahkan (Weiss et al, 1993). Oleh karena itu, untuk meningkatkan kinerja membran diperlukan pengkajian secara khusus untuk pemilihan jenis membran dan kondisi operasi yang disesuaikan dengan bidang aplikasi.

- Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:
- (i) Memproduksi dan menentukan karakteristik membran dari polimer alami (selulosa asetat dan chitosan).
 - (ii) Pengujian kinerja membran yang dihasilkan untuk aplikasi produksi bersih, dengan studi kasus pada industri pulp dan kertas
 - (iii) Evaluasi kelayakan teknis / finansial penerapan membran untuk produksi bersih, meliputi kebutuhan biaya dan hasil yang dapat dicapai.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat

Untuk penelitian ini digunakan efluen instalasi pengolahan air limbah (IPAL) sekunder: (a) Efluen dari Pabrik A yaitu pabrik kertas dengan menggunakan pulp yang diperoleh dari luar pabrik. Efluen ini telah mengalami proses pengolahan secara kimia (koagulasi/flokulasi) dan pengendapan, yang dilanjutkan dengan pengolahan secara biologis (activated sludge); (b) Efluen dari pabrik B yaitu pabrik kertas dengan bahan baku kertas bekas. Seperti pada efluen pabrik A, efluen ini juga telah mengalami proses pengolahan secara kimia (koagulasi / flokulasi) dan sedimentasi, serta proses biologis (activated sludge).

Percobaan dilakukan dengan menggunakan membran dari selulosa dan membran dari chitosan. Komposisi bahan membran dari selulosa asetat adalah sebagai berikut: selulosa asetat 13 %, aseton 70 %, air 16 %, dan $Mg(Cl_4)_2$ 1 %. Chitosan untuk penelitian ini dibuat dari limbah perikanan (kulit udang). Chitosan dibuat dari limbah udang sesuai dengan prosedur Suptijah *et.al.* (1992).

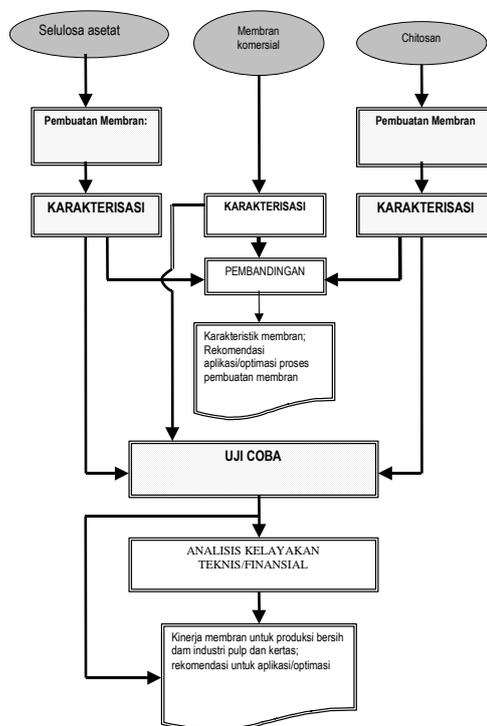
Metode Penelitian

Skema tahapan penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 2. Secara umum, tahapan penelitian terdiri atas; (i) produksi dan karakterisasi membran, (ii) uji-coba membran, dan (iii) evaluasi kelayakan teknis dan finansial.

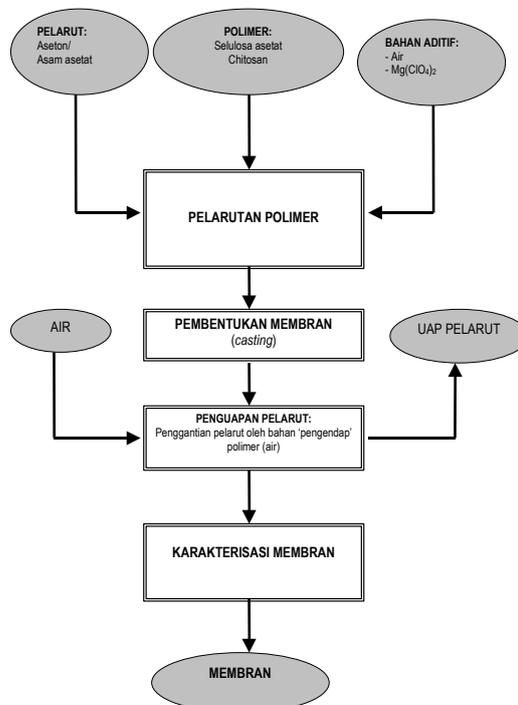
Pembuatan membran dilakukan sesuai dengan prinsip proses inversi fase. Bahan utama untuk produksi membran adalah polimer alami berupa selulosa asetat dengan pelarut aseton, dan bahan 'pengendap' polimer (*swelling agent*) berupa air dan $Mg(OCl_4)_2$. Proses produksi membran dari selulosa asetat sesuai dengan rekomendasi Rosa dan Pinho (1995) disajikan pada Gambar 3.

Produksi membran dari chitosan dilakukan sesuai dengan prosedur sebagaimana diuraikan oleh Urugami (1992). Sebanyak 3 gram chitosan dilarutkan ke dalam 97 gram CH_3COOH . Preparasi membran dari chitosan dilakukan sesuai dengan prosedur seperti ditunjukkan pada Gambar 4). Sebagai

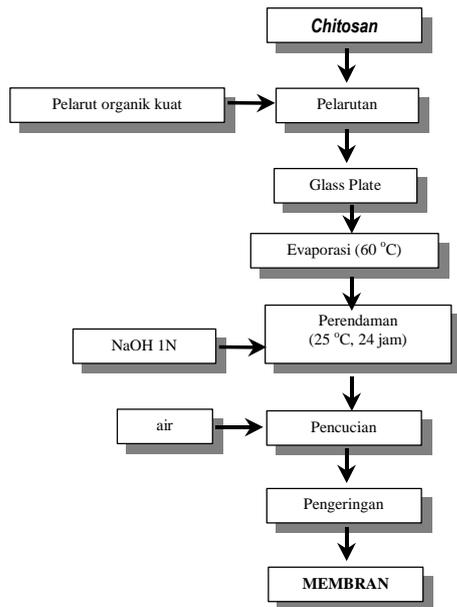
pembanding digunakan membran ultrafiltrasi dari bahan surface modified PVDF (Polivinilidin fluorid) dengan MWCO 10.000 Da.



Gambar 2. Skema tahapan penelitian



Gambar 3. Prosedur preparasi membran



Gambar 4. Diagram proses pembuatan membran dari chitosan (Brine *et. al.*, 1992)

Membran yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi yaitu dengan menentukan fluks/permabilitas membran dan resistensi membran. Permeabilitas atau fluks adalah laju aliran permeat (Q) per satuan luasan membran (A) dan dinyatakan dalam L/m² jam:

$$J = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

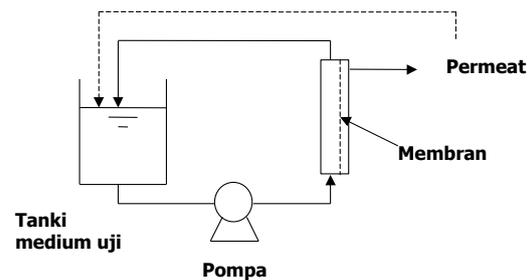
Fluks J diukur pada berbagai tekanan transmembran dan suhu ruang (25 °C), dengan menggunakan medium air distilata. Selektivitas membran menyatakan persentase komponen tertentu yang dapat ditahan oleh membran, dan dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$f = 1 - \frac{C_P}{C_R} \quad (2)$$

dengan f = selektivitas membran (-), c_R dan c_P masing-masing adalah konsentrasi komponen referensi di dalam retentat dan di dalam permeat (mg/L). Resistensi membran terhadap aliran permeat ditentukan dari nilai fluks J (m³/m² s), tekanan trans membran Δp (Pa), dan viskositas dinamis permeat μ (Pa.s) sesuai dengan persamaan berikut:

$$J = \frac{\Delta P_{TM}}{\mu \cdot R_M} \quad (3)$$

Uji coba membran dilakukan untuk menentukan kinerja membran untuk menyaring air limbah industri pulp dan paper pada berbagai kondisi operasi. Percobaan dilaksanakan dengan menggunakan prinsip operasi aliran silang (*cross flow filtration*). Gambar 5 menunjukkan skema peralatan untuk pengujian kinerja membran. Parameter kinerja membran dievaluasi melalui pengukuran fluks yang dapat dicapai dan kualitas permeat yang dihasilkan (kekeruhan, warna, konsentrasi padatan dan bahan organik). Luasan membran yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebesar 10,8 cm².



Gambar 5. Skema susunan peralatan untuk penentuan kinerja membran

Uji coba aplikasi membran untuk produksi bersih di bidang agroindustri dilakukan pada kasus daur-ulang air limbah industri pulp dan kertas. Tujuan dari daur-ulang air limbah adalah untuk mereduksi penggunaan air sekaligus mengurangi volume air limbah yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Efluen

Pada penelitian ini digunakan dua jenis air limbah, yaitu limbah cair industri kertas dengan bahan baku pulp jadi (Pabrik A) dan air limbah industri kertas dengan bahan baku kertas bekas (Pabrik B). Karakteristik air limbah tersebut sebelum dan setelah diolah dengan IPAL konvensional disajikan pada Tabel 3. Effluen IPAL tersebut sampai saat ini dibuang ke badan air (sungai) dan secara umum telah memenuhi baku mutu yang berlaku di lokasi pabrik (Surat Keputusan Gubernur Jawa Barat No. 6 Tahun 1999). Air sungai tempat pembuangan hasil pengolahan tersebut digunakan sebagai air baku oleh banyak industri yang berlokasi di sebelah hilir.

Selama dekade terakhir, industri pulp dan kertas menfokuskan pada perhatian untuk mereduksi penggunaan air bersih dalam pabrik, karena industri ini merupakan salah satu industri yang banyak membutuhkan air dan banyak membuang air limbah (Tabel 1). Penggunaan ulang air merupakan suatu

keharusan, tetapi penggunaan ulang secara keseluruhan tidak mungkin dilakukan tanpa pengolahan. Pembersihan air secara parsial juga tidak layak, karena akan terjadi akumulasi bahan terlarut dalam air. Oleh karena itu, untuk daur-ulang air dalam industri tersebut masih memerlukan metode pengolahan air yang lebih efisien.

Tabel 3. Karakteristik air limbah industri pulp dan kertas sebelum dan setelah diolah dengan IPAL konvensional

Parameter	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	pH (-)
Pabrik A:				
Influen	270	741	233	6,54
Efluen	55	112	31	8,26
Pabrik B:				
Influen	865	2.299	470	7,61
Efluen	76	208	26	7,35
Baku mutu (*)	100	200	100	6 – 9

Keterangan: *)Sesuai Surat Kep. Gub. Jabar No. 6 Tahun 1999

Masalah yang ada pada efluen hasil olahan IPAL konvensional antara lain adalah tingginya kandungan padatan tersuspensi (sekitar 30 mg/L) dan mikroorganisme (karena tanpa proses disinfeksi), kekeruhan, warna dan bahan terlarut yang sulit didegradasi/dieliminasi dalam IPAL konvensional. Bahan-bahan dalam air tersebut dapat berpengaruh negatif terhadap proses/produk, jika air digunakan untuk proses produksi. Oleh karena itu, untuk penggunaan ulang efluen tersebut diperlukan penghilangan bahan pengotor tersebut.

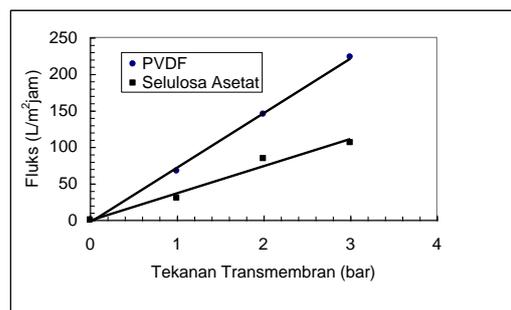
Karakteristik Membran

Membran dari Selulosa Asetat

Dalam penelitian ini dilakukan preparasi membran dari selulosa asetat dengan berbagai konsentrasi. Karakteristik membran yang dihasilkan dievaluasi dari parameter fluks ($L/m^2 \text{ jam}$) atau permeabilitas ($L/m^2 \text{ jam bar}$) dan resistensi membran terhadap aliran permeat. Fluks merupakan volume permeat yang diperoleh setiap satuan luasan membran dan satuan waktu pada temperatur dan tekanan tertentu, sedangkan permeabilitas didefinisikan sebagai peningkatan fluks jika tekanan transmembran ditingkatkan 1 bar. Resistensi membran terhadap aliran permeat ditentukan berdasarkan persamaan (3). Untuk penentuan kedua parameter tersebut digunakan air bersih bebas padatan pada temperatur ruang.

Gambar 6 menunjukkan fluks membran selulosa asetat dibandingkan dengan membran PVDF. Dari gambar tersebut terlihat bahwa fluks membran berbanding lurus dengan tekanan trans membran. Kemiringan garis hubungan antara fluks dan tekanan transmembran adalah permeabilitas membran yang bersangkutan. Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa nilai permeabilitas sebesar $41 L/m^2 \text{ jam bar}$ untuk membran selulosa asetat, lebih kecil dibandingkan dengan permeabilitas membran PVDF yaitu sebesar $75 L/m^2 \text{ jam bar}$. Nilai permeabilitas tersebut ditentukan oleh tingkat resistensi membran terhadap aliran permeat. Nilai resistensi membran selulosa asetat adalah sebesar $1,23 \times 10^{13} m^{-1}$, lebih besar dibanding dengan nilai resistensi membran PVDF ($6,08 \times 10^{12} m^{-1}$).

Fluks dan permeabilitas membran ditentukan selain oleh viskositas permeat (dalam hal ini air), sedangkan resistensi membran pada selang temperatur wajar tidak terpengaruh oleh temperatur. Oleh karena viskositas air dipengaruhi oleh temperatur, maka permeabilitas juga dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur, semakin rendah viskositas permeat dan semakin tinggi permeabilitas membran.



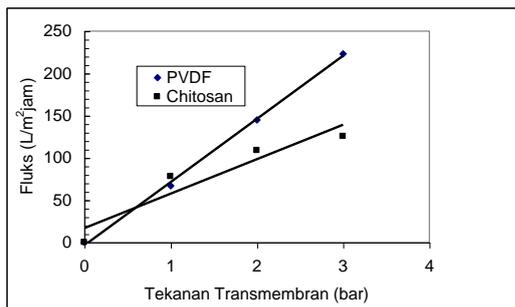
Gambar 6. Fluks membran dari selulosa asetat dibandingkan dengan membran PVDF (komersial) pada berbagai tekanan transmembran

Membran dari Chitosan

Membran dari chitosan dibuat dengan cara melarutkan chitosan ke dalam asam asetat sesuai dengan prosedur pada Gambar 4. Dalam penelitian ini juga telah dilakukan preparasi membran dari chitosan dengan berbagai konsentrasi. Sebagaimana pada membran dari selulosa asetat, karakteristik membran yang dihasilkan dievaluasi dari parameter fluks ($L/m^2 \text{ jam}$) atau permeabilitas ($L/m^2 \text{ jam bar}$) dan resistensi membran terhadap aliran permeat. Untuk penentuan kedua parameter tersebut digunakan air bersih bebas padatan pada temperatur ruang.

Gambar 7 menunjukkan fluks membran dari chitosan dibandingkan dengan membran PVDF. Dari gambar tersebut terlihat bahwa fluks membran

berbanding lurus dengan tekanan transmembran. Kemiringan garis hubungan antara fluks dan tekanan transmembran adalah permeabilitas membran yang bersangkutan. Dari hasil pengukuran tersebut diperoleh nilai permabilitas sebesar $37 \text{ L/m}^2 \text{ jam bar}$ untuk membran dari chitosan, lebih kecil dibandingkan dengan permeabilitas membran PVDF yaitu sebesar $75 \text{ L/m}^2 \text{ jam bar}$. Nilai permabilitas tersebut ditentukan oleh tingkat resistensi membran terhadap aliran permeat. Nilai resistensi membran selulosa asetat adalah sebesar $1,11 \times 10^{13} \text{ m}^{-1}$, lebih besar dibanding dengan nilai resistensi membran PVDF ($6,08 \times 10^{12} \text{ m}^{-1}$).



Gambar 7. Fluks membran dari chitosan dibandingkan dengan membran PVDF (komersial) pada berbagai tekanan transmembran

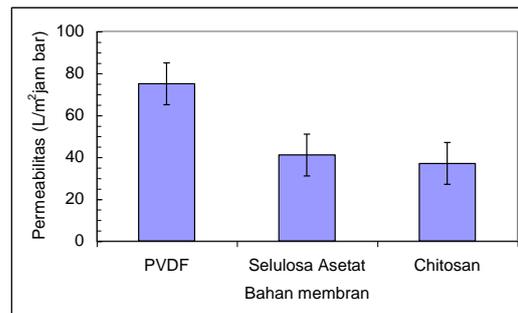
Perbandingan Antara Membran Selulosa Asetat, Membran Chitosan, dan Membran PVDF

Perbandingan karakteristik membran selulosa asetat, membran chitosan, dan membran PVDF ditinjau dari permeabilitas dan resistensi membran masing-masing dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9. Dari gambar tersebut terlihat bahwa permeabilitas membran dari selulosa asetat dan membran dari chitosan relatif rendah, meskipun masih lebih tinggi dibanding dengan permabilitas membran PVDF.

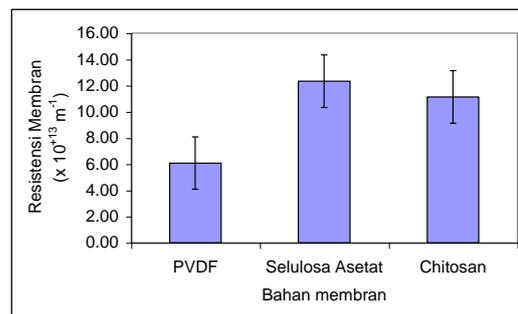
Gambar 10 menunjukkan perubahan fluks membran PVDF selama operasi pada berbagai kondisi operasi. Pada semua kasus teramai adanya penurunan fluks pada awal waktu operasi dan setelah sekitar 30 menit fluks mencapai kondisi tunak (fluks tidak menurun lebih lanjut). Nilai fluks pada kondisi tersebut sekitar $100 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$.

Peningkatan tekanan transmembran dari 1 menjadi 2 bar tidak menyebabkan perubahan fluks secara berarti. Kejadian yang sama juga diamati pada peningkatan tekanan transmembran dari 2 bar menjadi 3 bar. Peningkatan tekanan transmembran menyebabkan peningkatan daya tekan permeat melalui membran, sehingga menyebkan jumlah laju alir cairan menuju ke membran meningkat. Dengan meningkatnya laju alir ini maka jumlah partikel yang terbawa ke arah membran meningkat. Karena laju alir ke arah membran tidak diimbangi dengan laju

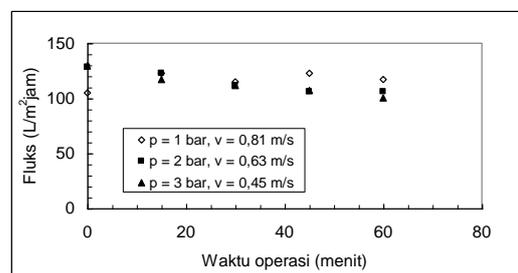
balik dari membran, maka akan terjadi akumulasi partikel pada permukaan membran yang menyebabkan peningkatan resistensi terhadap aliran permeat. Dengan demikian, peningkatan tekanan transmembran tidak menyebabkan peningkatan fluks. Pada penelitian ini tidak dimungkinkan pengaturan tekanan transmembran tanpa mengubah laju pengaliran aliran, sehingga peningkatan tekanan transmembran tersebut menyebabkan penurunan kecepatan laju pengaliran.



Gambar 8. Permeabilitas membran selulosa asetat, membran dari chitosan dan membran PVDF



Gambar 9. Resistensi membran selulosa, membran dari chitosan dan membran PVDF

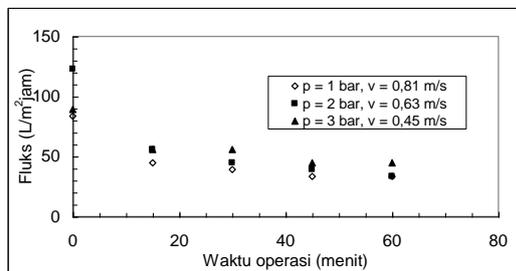


Gambar 10. Perubahan fluks membran PVDF selama waktu operasi pada berbagai kondisi operasi

Membran PVDF mampu mereduksi kekeruhan air limbah (Pabrik A) sebesar 96 persen dan warna sebesar 99 persen, sehingga diperoleh

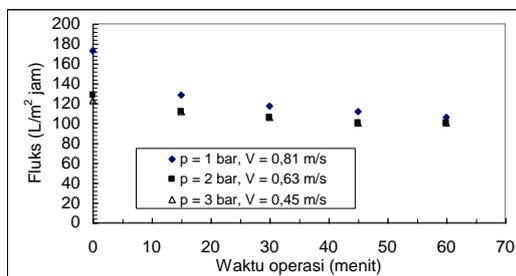
permeat dengan kekeruhan rata-rata 2 NTU dan warna 0,7 PtCo. Semua padatan tersuspensi dapat dipisahkan dengan menggunakan membran ini.

Gambar 11 menunjukkan perubahan fluks membran dari selulosa asetat selama operasi pada berbagai kondisi. Fenomena terjadinya penurunan fluks pada awal operasi jika diamati pada kasus ini. Sebagaimana pada kasus membran PVDF, setelah waktu operasi 30 menit dicapai kondisi tunak, dimana fluks tidak mengalami penurunan lebih lanjut. Pada kondisi tunak diperoleh fluks sebesar 35 L/m² jam, lebih rendah dibanding membran komersial (PVDF). Dengan membran selulosa asetat ini juga diperoleh nilai reduksi kekeruhan sebesar 62 persen. Hal akibat tingginya nilai kekeruhan air limbah (Pabrik B) yang disebabkan oleh bahan terlarut yang tidak dapat dipisahkan oleh membran tersebut.



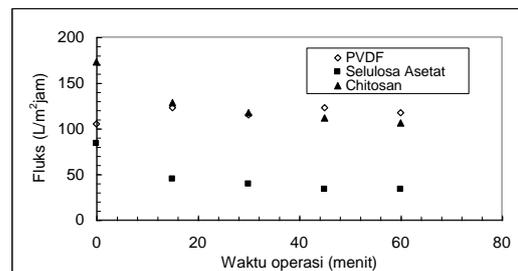
Gambar 11. Perubahan fluks membran selulosa asetat selama waktu operasi pada berbagai kondisi

Dengan menggunakan membran dari chitosan diperoleh fluks pada kondisi tunak sebesar sekitar 100 L/m² jam, mendekati nilai fluks yang diperoleh dengan menggunakan membran PVDF (Gambar 12). Dengan menggunakan membran ini diperoleh tingkat reduksi kekeruhan dan warna air limbah (Pabrik B) masing-masing sebesar 79 persen dan 77 persen.

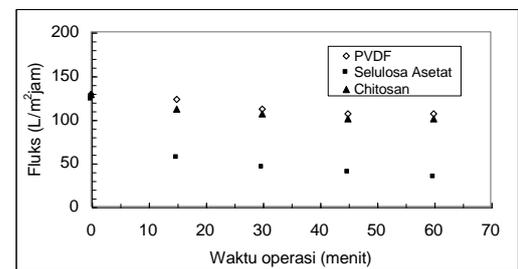


Gambar 12. Perubahan fluks membran dari chitosan selama waktu operasi pada berbagai kondisi

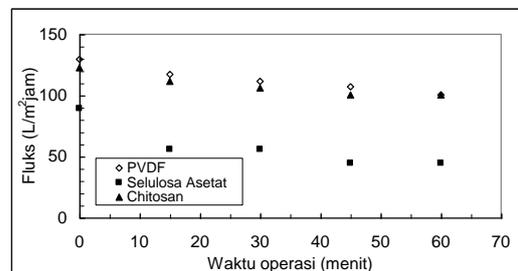
Perbandingan kinerja membran dari berbagai bahan pada berbagai kondisi operasi disajikan pada Gambar 13, 14 dan 15. Perbandingan tersebut memperjelas bahwa pada kondisi operasi tersebut fluks membran chitosan mendekati fluks membran PVDF, yaitu sebesar sekitar 100 L/m² jam. Nilai fluks membran dari selulosa asetat pada kondisi tunak relatif rendah (33 L/m² jam). Hal ini berkaitan dengan tingginya resistensi membran terhadap aliran permeat seperti telah ditunjukkan pada hasil karakterisasi membran pada pembahasan karakteristik membran.



Gambar 13. Fluks membran dari berbagai jenis bahan selama waktu operasi pada tekanan trans-membran 1 bar dan kecepatan aliran umpan 0,81 m/s



Gambar 14. Fluks membran dari berbagai jenis bahan selama waktu operasi pada tekanan transmembran 2 bar dan kecepatan aliran umpan 0,63 m/s



Gambar 15. Fluks membran dari berbagai jenis bahan selama waktu operasi pada tekanan transmembran 3 bar dan kecepatan aliran umpan 0,45 m/s

Analisa Biaya

Biaya pengolahan air limbah dengan proses membran terdiri dari dua komponen yaitu biaya investasi dan biaya operasi. Biaya investasi terutama untuk pengadaan membran, pompa dan peralatan pendukung lainnya. Biaya operasi proses membran pada prinsipnya terdiri dari biaya penyusutan, penggantian membran, bahan kimia, pemeliharaan, dan energi.

Tingkat kelayakan teknis/ekonomis penerapan proses membran sangat ditentukan oleh harga membran dan tingkat fluks yang dapat dicapai dan kualitas permeat yang dihasilkan. Berdasarkan dari hasil penelitian ini, fluks yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sekitar 100 L/m² jam untuk membran dari chitosan dan sekitar 33 L/m² jam untuk membran dari selulosa asetat. Dengan menggunakan membran komersial (PVDF) diperoleh fluks sebesar sekitar 100 L/m² jam.

Selain nilai fluks, biaya investasi proses membran ditentukan juga oleh biaya untuk pengadaan membran. Untuk penelitian ini digunakan membran dari selulosa asetat dan chitosan, dibandingkan dengan membran komersial dari bahan PVDF. Dengan harga selulosa asetat sebesar Rp 85.000,- per kg dan harga chitosan sebesar Rp 1.000.000,-, maka biaya bahan baku untuk pembuatan membran adalah Rp 5.525,-/m² untuk membran dari selulosa asetat dan Rp 15.000,-/m² untuk membran dari chitosan. Tentu saja untuk pembuatan membran tidak hanya dibutuhkan biaya bahan baku, tetapi juga dibutuhkan biaya produksi dan biaya investasi yang pada penelitian ini belum dapat ditentukan. Namun untuk gambaran dapat digunakan harga membran dari polimer organik sebesar Rp 350.000,- - Rp 500.000,-/m² yang selama ini harus diimport.

Hasil percobaan pembuatan membran dari selulosa asetat yang diturunkan dari selulosa mikrobial (*nata de coco*) belum memberikan hasil ditinjau dari aspek ekonomis. Dengan harga nata de coco (basah) sebesar Rp 1.500,-/kg, biaya produksi satu kg selulosa mikrobial kering adalah sebesar Rp 250.000,-, karena kadar air nata de coco sangat tinggi. Apabila ditambah dengan biaya asetilasi untuk memperoleh selulosa asetat, maka penggunaan selulosa asetat mikrobial sebagai bahan baku untuk pembuatan membran menjadi sangat tinggi dibanding dengan harga selulosa asetat komersial yang hanya sebesar Rp 85.000,-/kg.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Fluks merupakan parameter terpenting kelayakan penerapan proses membran, karena fluks menentukan kebutuhan luas membran. Fluks umumnya tinggi pada awal operasi dan menurun dengan meningkatnya waktu operasi. Setelah waktu tertentu fluks mencapai kondisi tunak, dimana fluks tidak mengalami perubahan secara berarti dengan meningkatnya waktu operasi. Nilai fluks pada kondisi ini selain dipengaruhi oleh jenis membran, juga dipengaruhi oleh kondisi operasi seperti kecepatan aliran umpan, tekanan transmembran, konsentrasi padatan, dan temperatur. Pada penelitian ini diperoleh fluks relatif tinggi yaitu 100 L/m² jam untuk membran dari chitosan, dibanding dengan fluks yang diperoleh dengan menggunakan membran komersial (membran PVDF). Namun dengan menggunakan membran dari selulosa asetat diperoleh fluks relatif kecil yaitu 33 L/m² jam dan masih memerlukan optimasi lebih lanjut.

Dengan penerapan membran ultrafiltrasi, kualitas efluen industri pulp dan kertas dapat ditingkatkan secara signifikan. Selain penghilangan semua padatan tersuspensi, termasuk didalamnya mikroorganisme, parameter kekeruhan, warna, dan kadar COD dapat reduksi secara nyata. Penurunan kekeruhan, warna dan kadar COD ditentukan oleh jenis membran dan kondisi operasi. Pada penelitian ini diperoleh penurunan kekeruhan, warna dan kadar COD masing-masing sebesar 80 – 96 persen, 77 - 99 persen, dan 35 - 52 persen, tergantung pada karakteristik air limbah, jenis membran dan kondisi operasi. Tingkat rejeksi menurun dengan meningkatnya tekanan transmembran. Penurunan kadar pencemar ini ditentukan oleh tingkat rejeksi membran, dengan demikian kualitas permeat dapat ditingkatkan dengan meningkatkan tingkat rejeksi membran, misalnya dengan meningkatkan konsentrasi polimer pada pembuatan membran.

Membran yang selama ini menjadi faktor penghambat penerapan proses membran dapat disiapkan sendiri di laboratorium. Biaya bahan baku (polimer) untuk pembuatan membran adalah Rp 5.525,-/m² untuk membran dari selulosa asetat dan Rp 15.000,-/m² untuk membran dari chitosan. Biaya pembuatan membran dari selulosa asetat mikrobial sangat tinggi dibandingkan dengan penggunaan bahan polimer lainnya, karena untuk memperoleh 1 kg selulosa kering diperlukan biaya sekitar Rp 250.000,- (sekitar tiga kali lebih besar dari harga selulosa asetat komersial).

Saran

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimasi proses preparasi membran, sehingga diperoleh konsistensi karakteristik membran yang dihasilkan, yaitu membran dengan fluks dan/atau tingkat rejeksi tinggi, konsisten dan tahan terhadap pengaruh fisik, kimia, dan biologis. Lebih lanjut perlu dilakukan kajian aspek ekonomis pada aplikasi dengan skala lebih besar memperhatikan kondisi setempat.

DAFTAR PUSTAKA

- ATV, 1991. Abwasser Aus der Zellstoffherstellung, Arbeitbericht der ATV-Arbeitsgruppe 7.2.20-2. Abwasser Korrespondenz 12, p. 1683-1687
- Brine, C. J., Sandford, P. A., dan Zikakis, J. P. 1992. *Advances in Chitin and Chitosan*. Elsevier Applied Science, London and New York. p. 594-603.
- Gupta, P.K. 1994. Environmental Management in The Agro-Based Pulp and Paper Industry in India – a Holistic Approach. *Wat. Sci. Tech.* 30 (3), p. 209-215
- Henning, K. 1999. Bewahrt und Erprobt: Anspruchsvolle Membrantechnologie aus den USA. UTA, p. 6-8
- Paul, D. dan Ohirogbe, K. 1998. Membrane Separation Processes for Clean Production. *Env. Progress*, Vol. 17, No. 3, p. 137-141
- Rautenbach, R. 1994. Membranverfahren. Institut fuer Verfahrenstechnik, RWTH Aachen
- Rautenbach, R. dan Vassenkaul, K. 1998. Einsatz der Dead-end-Ultrafiltration zum Wasserrecycling in der Papierindustrie. *Abwassertechnik* 3, p. 13-17
- Rosa, M.J. and Pinho, M. N. 1995. The Role of Ultrafiltration and Nanofiltration on The Minimization of The Environmental Impact of Bleached Pulp Effluents. *J. Membrane Sci.* 102 (1995), 155-161
- Scott, K. dan Hughes, R. 1996. *Industrial Membrane Separation Technology*. Blackie Academic & Professional, London
- Singh, R. 1998. Industrial Membrane Separation Processes. *Chemtech* April 1998, p. 33-44
- Suprihatin, Schories, G., Geissen, S dan Vogelpohl, A. 1998. Belebtschamm-abtrennung mit Hilfe einer begasten Membran. *DECHEMA Jahrestagungen '98*, 26. – 28.05.1998, Wiesbaden, Kurzfassungen, Band 2, p. 252-153
- Suptijah, P., E. Salamah, H. Sumaryanto, S. Purwaningsih, dan J. Santoso. 1992. Pengaruh Berbagai Metode Isolasi Khitin Kulit Udang Terhadap Mutunya. Laporan Penelitian Jurusan Pengolahan Hasil Perikanan. Fakultas Perikanan. IPB. Bogor.
- Trifonov, S.A., Kolpakov, V. A., Tyrin, N. V., dan Mushtaev, V. I. 1997. The Use of Metal Membranes for Separating Water-Oil Emulsions. *Russian Chem. Ind.*, vol 29, No. 9, p. 25-31
- UNEP. 1996. *Cleaner Production at Pulp and Paper Mills: A guidance Manual*. United Nations Environment Programme Industry and Environment, Bangkok
- Uragami, T. 1992. Separation of Organic Liquid Mixtures Through Chitosan and Chitosan Derivative Membranes by Pervaporation and Evaporation Methods. In Brine, C. H., Sandford, P. A., and Zikakis, J. P. (eds.). *Advances in Chitin and Chitosan*. Elsevier Applied Science, London, p. 595-603
- Weiss, S., Militzer, K.-E. dan Gramlich, K. 1993. *Thermische Verfahrenstechnik*. Deutsche Verlag fuer Grundstoffindustrie, Stuttgart