

## PENGGUNAAN MEMBRAN MIKROFILTRASI UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT

Tjahjono Herawan, Farida Hanum<sup>1)</sup>, dan Vita Dhian Lelyana

**Abstrak** Proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak sawit mentah (*crude palm oil*, CPO) di pabrik kelapa sawit (PKS), menghasilkan limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) dalam jumlah yang besar. Limbah ini berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak diolah sesuai dengan baku mutu yang disyaratkan oleh pemerintah. Pengolahan LCPKS dengan menggunakan membran memiliki potensi tinggi dalam mengurangi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh LCPKS, oleh karena itu dilakukan penelitian skala laboratorium mengenai aplikasi membran mikrofiltrasi jenis keramik untuk mengolah LCPKS. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja membran mikrofiltrasi dalam mengolah LCPKS dari *deooling ponds* dan mengetahui model karakteristik dari proses mikrofiltrasi. Penelitian dilakukan dalam tiga tahapan, yaitu (a) penentuan *trans membrane pressure* (TMP) optimum, (b) operasi membran dengan TMP optimum untuk mendapatkan kualitas permeate yang terbaik, dan (c) proses pengentalan retentate untuk mendapatkan total padatan. Membran dioperasikan selama 240 menit dengan variasi TMP 0,2 ; 0,4; 0,6 ; dan 0,8 Bar, serta parameter yang dianalisa adalah pH, COD, TS dan TSS. Hasilnya adalah TMP optimum dicapai pada pengoperasian membran 0,6 Bar dengan peningkatan pH dari 4,6 ke 5,9, penurunan COD 67,94%, penurunan TS 46,26% dan penurunan TSS 96%.

**Kata kunci :** Limbah cair kelapa sawit (LCPKS), membran mikrofiltrasi, trans membrane pressure (TMP)

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Tjahjono Herawan (✉)  
Pusat Penelitian Kelapa Sawit  
Jl. Brigjen Katamso No 51 Medan, Indonesia  
Email: tjherawan@yahoo.com

<sup>1)</sup> Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara  
Jl. Almamater, Kampus USU, Medan

**Abstract** The processing of crude palm oil mill effluent (POME). This waste is potentially polluting the environment if not treated in accordance with the quality standards required by the government. Application of ceramic microfiltration membrane is one of POME processing methods which have a high potential in reducing the environmental impact caused by POME. In order to determine the performance of microfiltration membranes in processing POME from *deooling ponds* and to identify model characteristics of the microfiltration process, a laboratory scale research has been conducted. The research was conducted in three phases namely (a) determination of optimum *trans-membrane pressure* (TMP), (b) the use of optimum TMP for membrane operation to get the best quality of permeate, and (c) condensation process of retentate to obtain a total solid (TS). Membranes were operated for 240 minutes with a variation of TMP 0.2; 0.4; 0.6, and 0.8 bar; while the analyzed parameters were pH, COD (Chemical Oxygen Demand), TS, and TSS (Total Suspended Solid). The research showed that TMP optimum was achieved in the operation of the membrane of 0.6 bar with an increase in pH from 4.6 to 5.9, 67.94% COD reduction, 46.26% TS reduction, and 98% TSS reduction.

**Keywords:** palm oil mill effluent (POME), microfiltration membrane, trans membrane pressure (TMP)

### PENDAHULUAN

Proses untuk menghasilkan *crude palm oil* (CPO) di pabrik kelapa sawit (PKS) membutuhkan air dalam jumlah yang besar, terutama dalam proses sterilisasi dan ekstraksi minyak. Untuk menghasilkan 1 ton CPO diperkirakan membutuhkan air sebesar 5-7 ton dan lebih dari 50% air tersebut akan menjadi limbah cair kelapa sawit (LCPKS) (Ahmad *et al.*, 2003).

LCPKS adalah larutan koloid berwarna coklat yang mengandung padatan melayang dan terlarut maupun emulsi minyak dalam air. Limbah cair PKS mempunyai nilai BOD (*biochemical oxygen demand*) 20.000-40.000 mg/l, COD (*chemical oxygen demand*) 40.000- 80.000 mg/l, kadar air 95%, padatan terlarut/ tersuspensi 30.000 - 70.000 mg/l, sisa minyak dan lemak emulsi 6.000 - 15.000 mg/l dan pH 4,0 - 4,6 (Lubis, 2008). Limbah cair terutama dihasilkan dari tahap perebusan, pengendapan, dekantasi, dan sentrifugasi yang dilakukan selama proses klarifikasi CPO. Berdasarkan komponennya, LCPKS mengandung bahan organik yang dapat terdegradasi. Limbah ini berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak diolah hingga memenuhi baku mutu yang disyaratkan oleh pemerintah.

Beberapa inovasi teknologi yang digunakan untuk pengolahan LCPKS telah dikembangkan dan diaplikasikan oleh PKS diantaranya adalah pengolahan konvensional secara biologis dengan kolam anaerobik dan fakultatif (Wulfert *et al.*, 2000), kombinasi kolam dan aplikasi lahan (Sutarta *et al.*, 2000), penggunaan limbah cair PKS dalam pengolahan kompos tandan kosong sawit (Schuchard *et al.*, 2000), dan pengolahan LCPKS dalam tangki reaktor tertutup (Wulfert *et al.*, 2000). Salah satu alternatif lain yang dapat digunakan dalam pengolahan LCPKS adalah dengan menggunakan teknologi membran yang akan menghasilkan air dengan kualitas yang tinggi sehingga dapat dipakai sebagai air proses di pabrik (Metcalf and Eddy, 2003).

Secara umum, membran mikrofiltrasi diaplikasikan dalam proses pemisahan unsur-unsur partikulat dari larutannya. Dengan ukuran pori antara 0,02 sampai 10  $\mu\text{m}$  dan tebal antara 10 sampai 150  $\mu\text{m}$ , membran mikrofiltrasi dapat menahan koloid, mikroorganisme, dan padatan tersuspensi. Membran mikrofiltrasi yang digunakan berbahan keramik dengan ukuran pori 0,2  $\mu\text{m}$  sehingga mudah diaplikasikan untuk limbah dengan kandungan kontaminan yang tinggi seperti limbah cair PKS. Sedangkan dasar pemilihan material keramik adalah agar mudah dalam pengoperasian dan pencucian (*backwash*) karena material ini bertekstur licin sehingga partikel yang menempel padanya mudah dibersihkan sehingga tidak merusak tekstur dari membran.

Pengolahan limbah cair dengan teknologi membran mempunyai kelebihan tidak menggunakan energi yang besar dan tidak membutuhkan lahan yang luas seperti pengolahan limbah cair PKS secara konvensional yang menggunakan kolam. Selain itu hasil pengolahannya dapat digunakan kembali yaitu produk utama (permeat) dapat diolah lebih lanjut menjadi air proses serta hasil samping (retentat) digunakan untuk pakan ternak. Jadi tidak hanya mengolah limbah cair untuk dibuang ke badan air saja seperti pengolahan limbah cair secara konvensional, tapi hasil pengolahan tersebut dapat digunakan kembali sehingga mempunyai nilai ekonomis. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja membran mikrofiltrasi dalam mengolah LCPKS dari *deoiling ponds* dan mengetahui model karakteristik dari proses mikrofiltrasi.

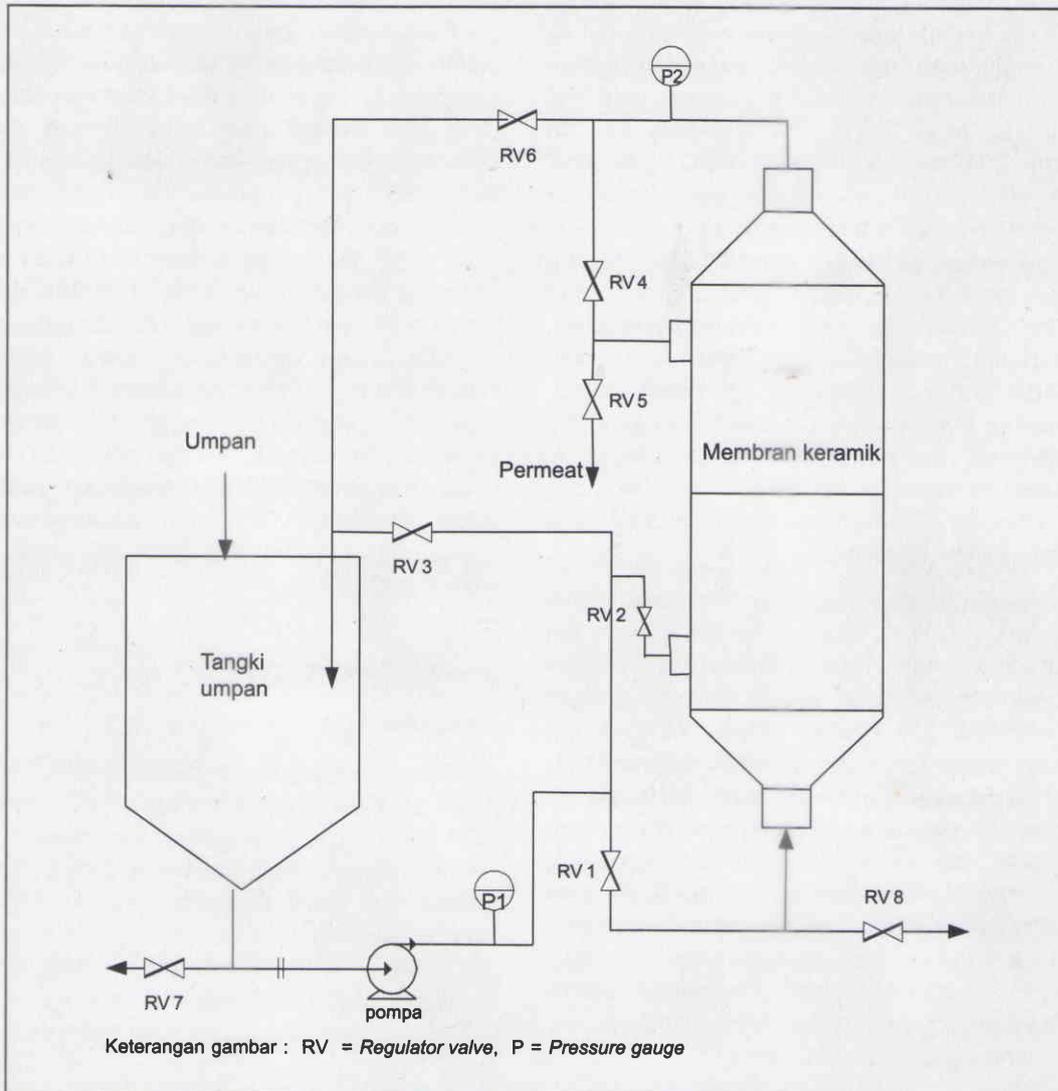
## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 set peralatan membran mikrofiltrasi keramik dari GDP Filter yang mempunyai karakteristik tertentu (Tabel 1) dengan rangkaian sesuai dengan Gambar 1. Limbah cair yang digunakan berupa limbah cair keluaran *deoiling pond* dengan kadar minyak kurang dari 0,65%. Membran mikrofiltrasi yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk modul-modul yang ditempatkan dalam suatu *housing*. Satu buah *housing* dapat menampung sampai dengan 19 buah modul membran keramik dengan dimensi diameter 30 mm dan panjang 1 meter yang setara dengan luasan membran sekitar 4,5 m<sup>2</sup>.

Tabel 1. Karakteristik membran mikrofiltrasi GDP filter.

Material Membran	Keramik
Bahan modul	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konfigurasi	Tubular ceramic, multi channel
Diameter pori	250 A
Ukuran pori	0,2 $\mu\text{m}$
Ketebalan	10 $\mu\text{m}$
Luas permukaan	0,24 m <sup>2</sup>



Gambar 1. Rangkaian proses pengolahan limbah cair dengan membran mikrofiltrasi.

### Metode

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bioproses Kelti. Enjinerig dan Lingkungan. Tahapan penelitian dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

1. Penentuan *Trans Membrane Pressure* (TMP) yang memberikan fluks maksimum.
2. Selanjutnya nilai TMP tersebut digunakan dalam mengoperasikan membran untuk memperoleh permeat (produk) dengan kualitas terbaik.
3. Penelitian diakhiri dengan pemekatkan retentat (hasil samping) dengan berbagai perbandingan volume (*Volume Concentration Ratio*, VCR). Pemekatan ini bertujuan mengutip seluruh padatan terlarut untuk dapat dimanfaatkan kembali, contohnya adalah sebagai pakan ternak.

Pola aliran dalam membran biasanya dibedakan atas 2 pola yaitu *dead-end filtration* dan *cross flow filtration*. Namun pola aliran *cross-flow* lebih banyak dan lebih baik diaplikasikan pada membran mikrofiltrasi skala industri karena pada pola aliran

*cross-flow* umpan dialirkan dengan arah sejajar dengan permukaan membran (Geankoplis, 1993). Konsentrat disirkulasikan pada kecepatan yang lebih tinggi dengan tujuan menciptakan turbulensi di permukaan membran. Dengan perlakuan seperti ini, pembentukan lapisan endapan padatan terlarut terjadi sangat lambat karena tersapu oleh gaya geser yang diakibatkan oleh aliran *cross-flow* umpan (Baker, 2004). Pada setiap operasi *cross-flow* kecepatan aliran umpan sangat menentukan besarnya perpindahan massa dalam modul. Kelebihan sistem ini adalah membran tidak cepat kotor, karena laju *cross-flow* yang tinggi sehingga akan meminimalisasi ketebalan lapisan endapan yang terbentuk. Fluks permeat akan menurun di awal proses dan akan menuju pada kondisi stabil dalam kurun waktu tertentu ketika ketebalan lapisan pengotor dipermukaan membran tidak meningkat lagi.

Dalam penelitian ini proses filtrasi dengan menggunakan membran keramik jenis mikrofiltrasi dengan pola aliran yang digunakan adalah *cross-flow*, berlangsung sesuai dengan tahap-tahap sebagai berikut : bahan baku yaitu LCPKS dari *deoiling pond* yang telah dilakukan penyaringan awal umpan masuk membran dengan menggunakan penyaring berukuran mesh 200 atau 75-100  $\mu\text{m}$ . Umpan dipompakan menggunakan pompa sentrifugal ke dalam modul membran keramik. Umpan masuk dari sisi lumen membran yang dipasang paralel. Dengan variasi TMP yaitu 0,2; 0,4; 0,6 dan 0,8 Bar dengan lama waktu pengoperasian selama 2 jam, permeat akan keluar dari permukaan luar membran (sisi *shell*) sedangkan konsentrat (*retentat*) yang direjeksi oleh membran dikeluarkan melalui sisi lumen bagian akhir (atas). TMP merupakan gaya yang bekerja agar permeat mengalir melalui membran dengan melakukan pengaturan tekanan (Geankoplis, 1993). Konsentrat dalam bentuk yang lebih pekat selanjutnya dikembalikan ke dalam tangki umpan untuk diproses lebih lanjut. Tiap 20 menit dilakukan pengambilan sampel untuk mengetahui kinerja membran dengan parameter yang digunakan adalah COD, pH, TSS (*total suspended solid*), dan TS (*total solid*).

Permasalahan utama yang terjadi pada proses membran adalah adanya penurunan fluks karena polarisasi konsentrasi dan adanya pengotor (*fouling*). Polarisasi konsentrasi disebabkan karena zat terlarut tertahan oleh membran yang akan terakumulasi dan

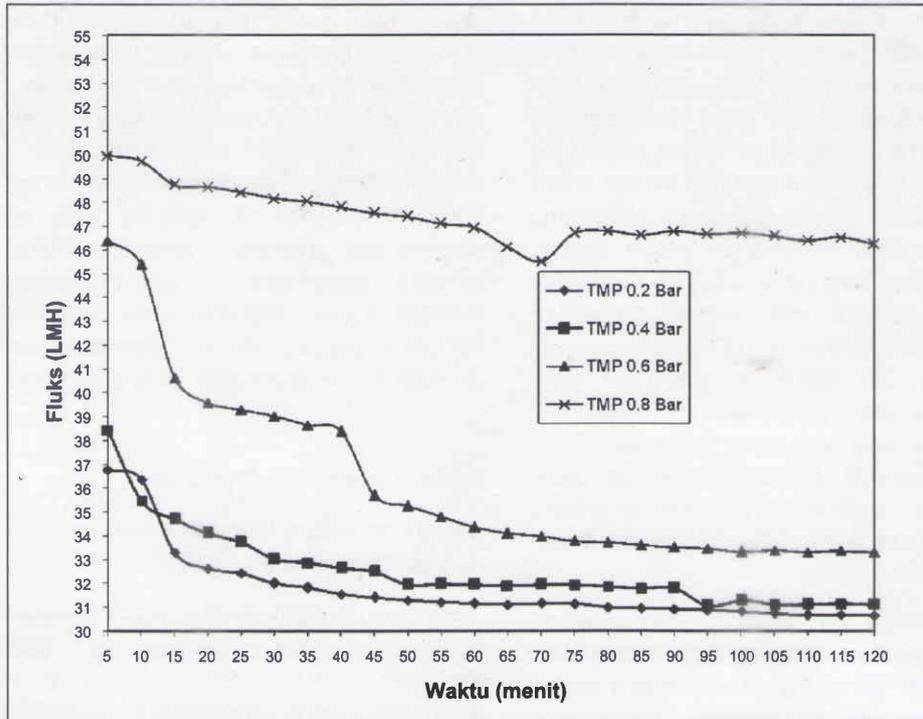
membentuk suatu lapisan di dekat permukaan membran. Membran *fouling* diidentikkan dengan penurunan fluks permeat dan perubahan selektifitas membran. Untuk menghilangkan kotoran pada membran dilakukan *backwash*, yaitu pencucian membran dengan metoda aliran balik menggunakan air untuk mengangkat zat pengotor yang terakumulasi dipermukaan membran (Wenten, 2001). Dengan perlakuan seperti disebut di atas diharapkan membran mikrofiltrasi yang digunakan untuk pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit dapat dipertahankan kinerjanya untuk proses pengoperasian yang relatif lama.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hubungan antara Fluks Permeat dengan Beda Tekanan (TMP)

Fluks permeat adalah laju alir bagian umpan yang menembus membran per satuan luas membran. Fluks permeat merupakan salah satu parameter yang menentukan kehandalan atau efisiensi membran. Fluks akan meningkat seiring dengan naiknya TMP. Adapun variasi beda tekanan atau TMP yang dilakukan adalah 0,2 ; 0,4; 0,6 ; dan 0,8 Bar. Membran yang baik adalah apabila mempunyai waktu yang relatif lama mencapai nilai fluks yang konstan. Artinya membutuhkan waktu yang relatif lama untuk terjadinya *fouling*. *Fouling* biasanya disebabkan oleh polarisasi konsentrasi yang merupakan permasalahan utama pada membran mikrofiltrasi. Hal ini dapat menghambat unjuk kerja membran. *Fouling* dapat diperlambat dengan melakukan *pretreatment* atau prefilter pada umpan masuk membran dan dengan pemilihan pola aliran *cross-flow* pada umpan membran (Notodarmojo, 2004).

Pemilihan TMP optimum didasarkan dua syarat yaitu pertama penurunan fluks harus stabil (tidak naik turun), kedua fluks konstan dicapai pada waktu yang relatif lebih lama, artinya proses *fouling* yang lebih lama (Mulder, 1996). Gambar 2 menunjukkan bahwa pada TMP 0,2 bar dan 0,6 bar diperoleh penurunan fluks yang lebih stabil dari TMP lainnya. Pada TMP 0,6 bar fluks konstan dicapai pada menit ke-60, sedangkan pada TMP 0,2 bar fluks konstan dicapai pada menit ke-40, sehingga karena TMP 0,6 lebih lama mencapai titik konstan maka TMP optimum adalah 0,6 Bar. Penurunan fluks merupakan fungsi waktu, yang disebabkan oleh



Gambar 2. Hubungan antara fluks permeat dengan beda tekanan.

adanya *fouling* pada membran sehingga membran sudah jenuh dan prosesnya harus dihentikan. Membran dapat kembali pada kondisi semula apabila sudah dilakukan pencucian. Oleh karena TMP optimum operasi sudah diketahui, langkah selanjutnya adalah mengetahui kinerja proses membran dalam mengolah LCPKS dengan beberapa parameter uji, yaitu COD, TS dan TSS.

**Penurunan COD terhadap Waktu Operasi pada TMP 0,6 Bar**

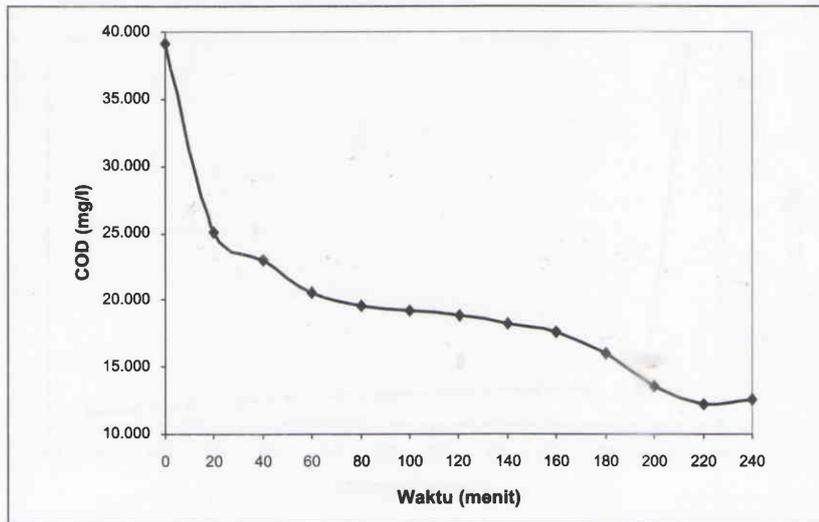
Penurunan nilai COD terhadap waktu terlihat menurun secara signifikan. Hal ini terjadi karena pada umpan tersebut kandungan padatan tersuspensi dan padatan terlarut masih tinggi sehingga terjadi penahanan makromolekul pada membran yang menyebabkan deposisi partikel pada membran lebih mudah terbentuk. Deposisi partikel pada permukaan membran akan membentuk lapisan gel dan terbentuknya lapisan endapan padatan terlarut yang secara tidak langsung memberikan efek penyaringan bagi umpan yang akan melewati membran, sehingga sejalan bertambahnya waktu maka kualitas permeat yang dihasilkan semakin baik. Namun pada jangka waktu tertentu penurunannya mencapai titik konstan pada kisaran waktu 220 menit.

Grafik penurunan COD terhadap waktu pada TMP optimum ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada awal proses, COD terukur sebesar 39.117 mg/l dan pada akhir proses (menit ke 240) kandungan COD sebesar 12.540 mg/l, dengan persentase penurunan COD adalah 67,94%. Menurut Wenten (2001) persentase penyisihan COD berkisar 60-70% karena membran mikrofiltrasi kurang efektif untuk menahan *soluble* COD selain itu ukuran pori membran mikrofiltrasi masih relatif lebih besar jika dibandingkan membran lainnya, seperti membran *hollow fiber* yang dapat mencapai 99% (Shah and Kaur, 2004).

**Penurunan Total Solid terhadap Waktu Operasi pada TMP 0,6 Bar**

*Total solid* (TS) adalah jumlah total padatan yang terkandung dalam suatu sampel, baik berupa padatan tersuspensi, padatan koloidal, maupun padatan terlarut. Padatan tersuspensi (TSS) merupakan padatan dengan ukuran lebih besar dari 1 µm yang mampu mengendap sendiri tanpa bantuan zat tambahan (koagulan), meskipun dalam jangka waktu yang agak lama. Padatan koloidal merupakan padatan dengan ukuran 1 milimikron sampai 1 µm yang tidak dapat mengendap sendiri tanpa



Gambar 3. Penurunan COD terhadap waktu operasi pada TMP 0,6 bar.

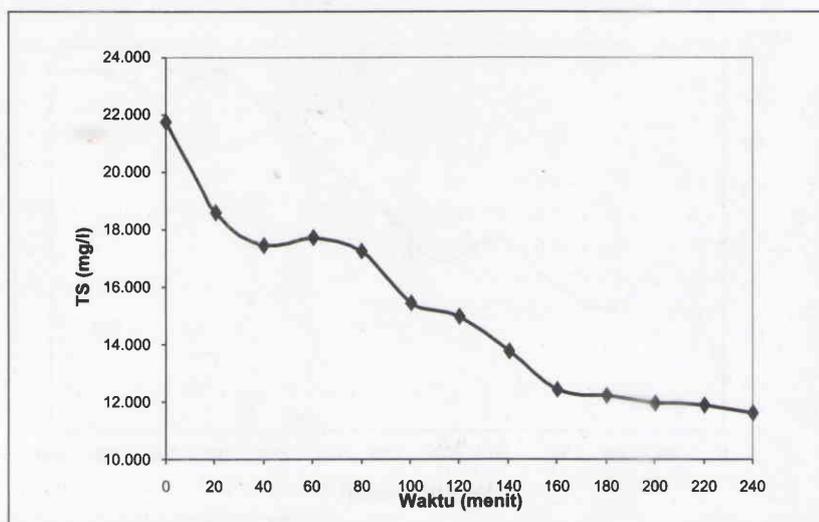
bantuan zat tambahan (koagulan). Sedangkan padatan terlarut merupakan padatan dengan ukuran yang lebih kecil dari 1 milimikron yang terjadi dari senyawa organik atau anorganik, dalam larutan berupa ion-ion. TS juga mengalami penurunan seiring dengan pertambahan waktu.

Gambar 4 menunjukkan bahwa pada tahap awal proses *total solid* terukur sebesar 21.960 mg/l dan pada akhir proses yaitu pada menit ke 240 sebesar 11.800 mg/l. Persentase penurunannya dari menit pertama sampai akhir proses berkisar 46,26%. Pada menit ke 200 penurunan TS sudah mencapai titik konstan, hal ini disebabkan karena permukaan membran seluruhnya

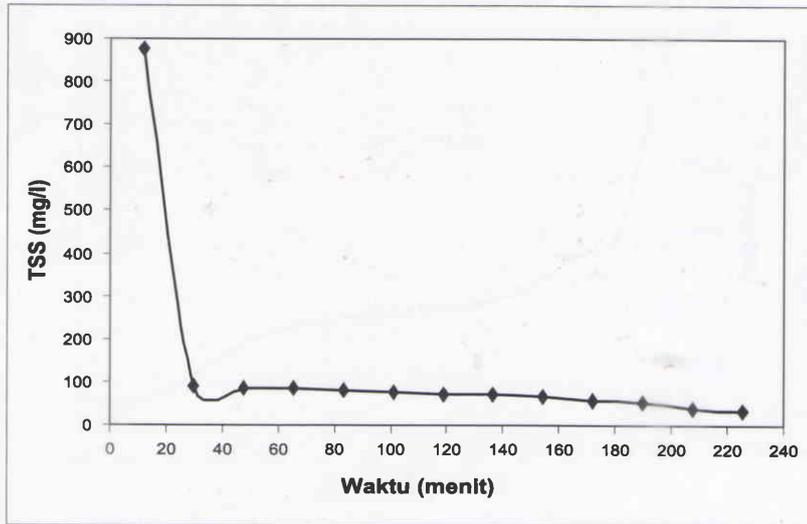
sudah hampir tertutupi oleh padatan terlarut yang terdapat dalam umpan. Membran umumnya lebih mampu menahan padatan tersuspensi (TSS) yang terdapat dalam limbah daripada padatan koloidal dan padatan terlarut. Hal ini disebabkan karena ukuran TSS yang jauh lebih besar daripada ukuran pori membran mikrofiltrasi yang digunakan.

#### Rejeksi *Total Suspended Solid* terhadap Waktu Operasi pada TMP 0,6 Bar

*Total suspended solid* (TSS) mengalami penurunan yang sangat signifikan terhadap waktu. Gambar 5 menunjukkan bahwa penurunan TSS sangat tajam dari



Gambar 4. Rejeksi *total solid* (TS) terhadap waktu operasi pada TMP 0,6 bar.



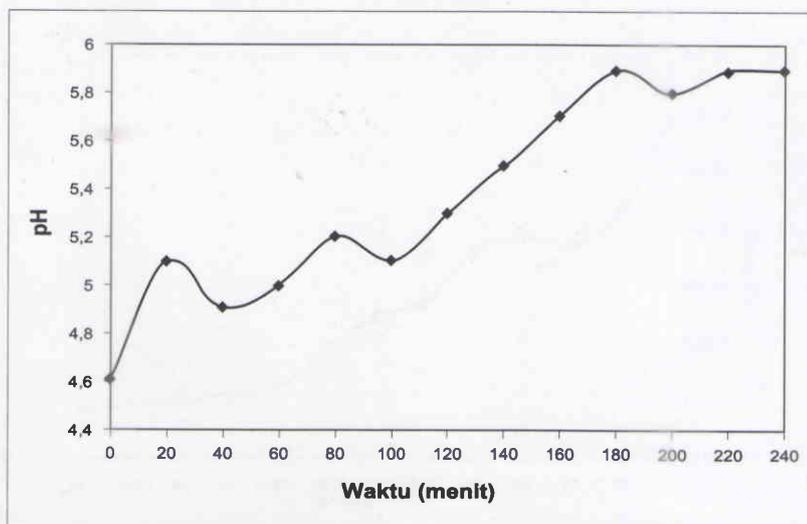
Gambar 5. Rejeksi total suspended solid (TSS) terhadap waktu operasi pada TMP 0,6 bar.

menit pertama ke menit ke 20 yaitu dari 875 mg/l menjadi 35 mg/l. Pada waktu berikutnya penurunannya sangat kecil hingga pada menit ke-240 sebesar 10 mg/l. Persentasi penurunan TSS mencapai 96%. Penurunan ini terjadi sangat cepat karena pada menit pertama sampai menit ke-20 hampir seluruh padatan melayang dalam umpan tertahan oleh membran. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Wenten (2001), yang menyebutkan bahwa membran dengan modul *tubular* dapat bekerja sangat efisien dalam menyisihkan padatan dibandingkan dengan membran modul lainnya. Penyebabnya adalah ukuran TSS yang lebih besar dari ukuran pori membran, sehingga hampir keseluruhan

partikelnya tertahan pada permukaan membran bahkan pada menit ke-0 nilai peyisihan padatan tersuspensi (TSS) sudah mencapai 89,71%. Namun pada jangka waktu tertentu nilai ini akan mencapai titik konstan yang dalam penelitian ini terjadi pada menit ke-200. Titik konstan terjadi disebabkan banyaknya padatan yang sudah menutupi hampir seluruh permukaan membran sehingga membran tidak mampu lagi memisahkan permeat dan retentatnya.

#### Kenaikan pH

Hasil pengukuran pH yang dilakukan terhadap sampel awal dan permeat ditampilkan pada Gambar 6.



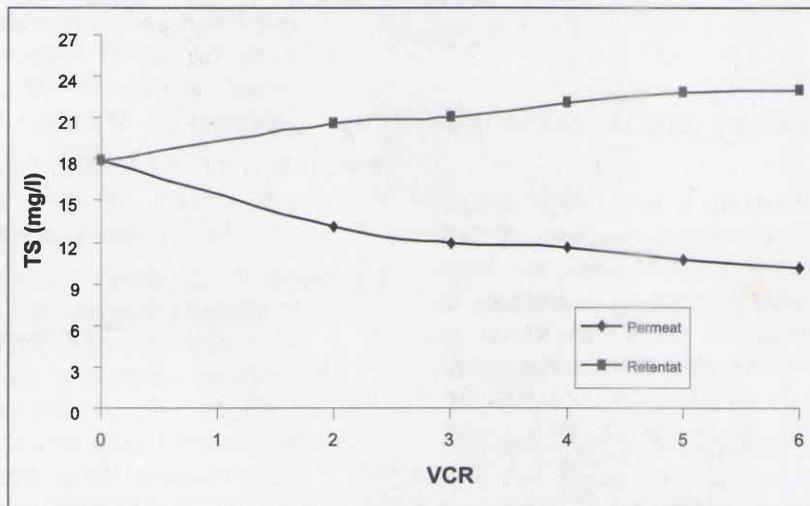
Gambar 6. Kenaikan pH permeat pada berbagai waktu.

Gambar 6 menunjukkan bahwa ada perubahan nilai pH pada saat proses membran berlangsung dengan nilai pH berkisar antara 4,6-5,9. Adanya perubahan pH ini disebabkan pori-pori membran mikrofiltrasi yang berukuran 0,2  $\mu\text{m}$  tidak begitu baik dalam menyaring ion-ion yang terdapat dalam limbah. Ukuran molekul dari ion-ion yang terdapat dalam limbah umumnya lebih kecil dari ukuran pori membran sehingga molekul tersebut akan terbawa bersama aliran permeat.

**Profil Penentuan VCR**

Volume Concentration Ratio (VCR) atau rasio perbandingan volume ini merupakan nilai perbandingan

volume tangki umpan dengan retentat yang dihasilkan dari proses membran. Percobaan penentuan VCR ini bertujuan untuk memekatkan retentat dari membran mikrofiltrasi untuk dapat dimanfaatkan kembali salah satunya adalah sebagai pakan ternak. VCR yang dapat dilakukan pada penelitian ini hanya VCR 2-6. Hal ini disebabkan karena membran mikrofiltrasi sudah mencapai *fouling* sehingga jika VCR dilanjutkan tidak akan memberikan hasil yang lebih baik karena fluks permeat semakin kecil dan akan membutuhkan waktu operasi yang sangat lama untuk memekatkan limbah sehingga tidak efisien bila ditinjau dari waktu dan energi yang dibutuhkan.



Gambar 7. Hubungan VCR dengan TS.

Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai TS pada permeat semakin menurun terhadap waktu, sedangkan pada retentat nilai TS akan semakin meningkat dan pada VCR 6 nilai TS pada retentat mencapai 22,92 mg/l. Tujuan penentuan VCR adalah untuk pemekatan limbah sehingga dengan pertambahan VCR maka akan dihasilkan retentat yang lebih pekat dan kandungan TS

yang semakin besar, sebaliknya pada permeat kandungan TS akan semakin rendah. Perolehan akhir pada VCR 6 mempunyai volume retentat 33,3 liter dari volume tangki umpan awal 200 liter. Apabila retentat hasil proses membran ini akan digunakan sebagai pakan ternak, maka harus dikeringkan dengan *rotary dryer* terlebih dahulu.

Tabel 2. Hasil penelitian dibandingkan dengan baku mutu limbah cair PKS.

Parameter	Limbah Awal	Permeat	% Penurunan	Baku Mutu
COD(mg/l)	39.117	12.541	67,94	350
TS (mg/l)	21.960	11.800	46,26	100
TSS (mg/l)	875	35	96	300
pH	4,6	5,9	22,03	6-9

Dari seluruh data yang diperoleh dapat ditabulasi dengan baku mutu limbah cair PKS yang berlaku di Indonesia (Kep-51/MENLH/10/2005) sebagai berikut :

Tabel 2 menunjukkan bahwa pengolahan LCPKS dengan menggunakan membran mikrofiltrasi dapat menurunkan beberapa parameter limbah cair walaupun nilai yang dihasilkan masih tinggi dibandingkan dengan baku mutu limbah cair yang berlaku. Hal ini menunjukkan bahwa pengolahan LCPKS dengan menggunakan proses membran mikrofiltrasi membutuhkan pengolahan pendahuluan sebelum diolah dengan proses membran, sehingga diharapkan hasil yang diperoleh dapat lebih baik lagi dan sesuai dengan baku mutu yang berlaku.

## KESIMPULAN

Ada beberapa hal yang dapat disimpulkan pada penelitian ini yaitu:

1. Penurunan kandungan COD LCPKS dengan proses membran mikrofiltrasi mencapai 67,94% dengan nilai COD yang masih diatas baku mutu sehingga tidak dapat langsung dilanjutkan ke proses *water treatment* untuk pengolahan air proses, karena kandungan COD limbah masih sangat tinggi.
2. Penurunan TS mencapai 46,26%, sedangkan penurunan TSS pada permeat sangat baik yaitu 98,66%. Kandungan TSS pada permeat sudah memenuhi baku mutu limbah cair PKS.
3. Nilai pH pada permeat hanya mengalami penurunan sedikit dari limbah awal, karena membran mikrofiltrasi tidak dapat menahan ion-ion pada limbah tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A.L., S. Ismail, dan S. Bhatia. 2003. Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology. Elsevier Science.
- Anonim. 2005. Manual book : Ceramic membrane pilot plant. GDP Filter.
- Baker, R.W. 2004. Membrane technology and application. John Wiley & Sons, Ltd.

Geankoplis, C.J. 1993. Transport process and unit operation. 3<sup>rd</sup> edition. Prentice Hall.

Lubis, A.U. 2008. Kelapa sawit (*Elaeis quineensis* Jacq.) di Indonesia. Edisi 2. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. 362 pp.

Metcalf and Eddy. 2003. Wastewater treatment engineering, treatment and reuse. 4<sup>th</sup> edition. McGraw-Hill.

Mulder, M. 1996. Basic principles of membrane technology. Netherland. Kluwer Aca Publisher

Notodarmojo, S., T. Zulkarnain., D. Mayasanthi, dan M. Irsyad. 2004. Efek pretreatment terhadap pembentukan lapisan cake dan struktur membrane pada membran ultrafiltrasi aliran cross-flow dalam pengolahan limbah cair emulsi minyak. Prosiding ITB Sains & Teknologi Vol. 36 A. No. 1, hal 45-62.

Shah, R.S. and P. Kaur. 2004. Treatment of palm oil mill effluent (POME) using membrane technology. University of Malaya.

Schuchard, F., S. Balcke, F. Becker, P. Guritno, T. Herawan, Darnoko, dan Erwinsyah. 2000. Produksi kompos dari tandan kosong sawit. Prosiding pertemuan teknis kelapa sawit 2000: Penanganan terpadu limbah industri kelapa sawit yang berwawasan lingkungan. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.

Sutarta, E.S., Winarna, P.L. Tobing, dan Sufianto. 2000. Aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit. Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit 2000: Penanganan terpadu limbah industri kelapa sawit yang berwawasan lingkungan. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.

Wenten, I.G. 2001. Teknologi membran industrial. Institut Teknologi Bandung.

Wulfert, K., W. Gindulis, M. Kohler, D. Darnoko, P.L. Tobing, dan R. Yuliasari. 2000. Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit secara anaerobik. Prosiding pertemuan teknis kelapa sawit 2000: Penanganan terpadu limbah industri kelapa sawit yang berwawasan lingkungan. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.