

HOLLOW FIBER MEMBRANE CHARACTERISTICS AS FILTRATION MEDIA IN LIQUID WASTE PROCESSING WITH ACTIVATED MUD

KARAKTERISTIK MEMBRAN HOLLOW FIBER SEBAGAI MEDIA FILTRASI DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DENGAN LUMPUR AKTIF

Aisyah Endah Palupi

Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Teknik
Universitas Negeri Surabaya (UNESA) Telp. (031)8299487; Fax.(031)8292957;
email: aisyahp2000@yahoo.com

ABSTRACT

Application of submerged membrane bioreactor (BRMt) has advantages over external BRM in the treatment of domestic wastewater, namely in terms of operating energy and membrane fouling. BRMt proper tank design can minimize fouling and extend the operating time of the membrane. Installation bafel can create a circulation flow of water between the wall and membrane bioreactor (water lift-type reactor). It is intended to create the shear velocity (shear rate) is high on the membrane surface so that the pile of material on the membrane apart and lowering the hydraulic resistance of fouling layer. Flux on the external BRM BRMt and reached steady state, takes less than 60 minutes. This was achieved at 0.1333 bar TMP which is also the best operating pressure on BRMt, while the optimum TMP on external BRM obtained at 1.45 bar. To obtain a high flux and stable in the long term, the operation of the membrane at BRMt using aeration rate 12 l / minute with a close distance baffle membranes or 7.5 cm from the wall of the tank to increase the shear rate can reduce the occurrence of fouling.

Key words: BRMt, bafel, shear rate, MLSS, filtration

PENDAHULUAN

Parameter yang dapat dijadikan sebagai ukuran kinerja BRM adalah selektivitas pemisahan (rejeksi) dan permeabilitas (laju filtrasi). Dengan menggunakan modul membran yang sama, baik konfigurasi, bahan, dimensi, dan ukuran pori-porinya, maka akan dapat dilihat apakah mekanisme aliran filtrasi pada membran hollow fiber yang berbeda memberikan hasil pengolahan yang berbeda pula. Pada BRM eksternal, influen dipompakan ke bagian dalam membran (*tube side*) menuju sisi luar membran (*shell side*), dikenal sebagai aliran "*inside-out*". Sedangkan aliran influen pada BRMt adalah kebalikannya, aliran "*outside-in*" yaitu dengan menyedot aliran dari dalam membran (*tube side*) dengan menggunakan pompa vakum, sehingga feed masuk dari arah *shell side* menuju ke *tube side*. Aplikasi BRM eksternal untuk pengolahan

limbah cair domestik masih terdapat beberapa permasalahan yaitu energi pengoperasian yang tinggi dan *fouling* pada membran (Chriemchaisri, 1994; Trouve, 1994; Cicek, 1998) dibandingkan dengan BRMt. *Fouling* adalah perubahan morfologi membran secara *irreversible* yang disebabkan oleh interaksi fisik dan/atau kimia spesifik antara membran dan berbagai komponen yang ada dalam aliran proses (Zeman dan Sydney, 1996). Peristiwa *fouling* membran dicirikan oleh penurunan fluks secara *irreversible* selama operasi jika semua parameter operasi, seperti beda tekan antara dua sisi membran (*transmembrane pressure*, TMP), laju alir, temperatur, dan konsentrasi dijaga konstan (Singh dan Cheryan, 1997). Efek-efek penyebab *fouling* pada membran sedapat mungkin diperkecil baik dari sisi parameter operasinya maupun geometri tangkinya, dengan mendesain tangki BRMt yang tepat, diharapkan dapat diperkecil

fouling dan memperpanjang waktu operasi membran. Pada BRMt, dipasang bafel untuk menciptakan sirkulasi aliran air antara dinding bioreaktor dan membran (*air lift-type reactor*). Hal ini dimaksudkan untuk menciptakan kecepatan geser (*shear rate*) yang tinggi pada permukaan membran dengan tujuan agar dapat melepaskan tumpukan material dan menurunkan tahanan hidrolis dari lapisan *fouling*.

Pembahasan ini difokuskan pada pengaruh tekanan operasi, konsentrasi biomassa (MLSS), jarak bafel, dan kecepatan laju udara yang diberikan melalui difuser yang juga berfungsi sebagai aerasi untuk proses aerobik pada lumpur aktif yang digunakan. Hasil-hasil yang diperoleh dalam studi ini akan menjadi basis untuk kondisi operasi dan perancangan BRMt. Sistem BRMt, mempunyai kecenderungan besar digunakan dalam mendesain BRM karena dianggap potensial untuk fabrikasi dan biaya perawatan rendah. Hal penting dalam sistem BRMt adalah kemampuan penyerapan permeat yang dibantu oleh tekanan dari gelembung udara yang digunakan sebagai kontrol deposisi pada metode mekanika fluida dan pencemaran (Fane dan Chang, 2002). Proses pengolahan limbah cair dengan BRMt, mempunyai banyak keuntungan dilihat dari sisi efektifitas dan efisiensi dari proses itu sendiri yang lebih sederhana dan otomatis biaya operasinya juga jauh lebih kecil dengan hasil yang lebih baik.

Yamamoto, dkk (1989), meneliti tentang pemisahan langsung padat cair dengan menggunakan membran hollow fiber pada perlakuan air limbah sintesis yang menggunakan lumpur aktif. Modul membran yang digunakan mempunyai ukuran pori 0,1 mikron yang dicelupkan langsung ke dalam bak aerasi (sebagai BRMt). Perlakuan yang stabil pada HRT 4 jam dapat dijaga selama 120 hari. Operasi dilakukan pada pembebanan organik volumetris 1,5 kgCOD/(m³.hari) dan menggunakan penyedotan umpan membran secara intermitten pada tekanan rendah (13 kPa). Penyisihan COD lebih dari 95%. Pembebanan organik kritis antara 3-4 kgCOD/(m³.hari) untuk menjaga fluks dan kondisi aerobik yang stabil. Penyedotan umpan membran secara intermitten dan tekanan operasi yang rendah tanpa pencucian dapat mengurangi *fouling*. Pierre Côté, dkk. (1997), menggunakan BRMt untuk mengolah limbah domestik, dan membandingkan-kannya dengan BRM eksternal dan konvensional. Hasilnya menunjukkan bahwa tanpa pembersihan secara kimia, membran yang digunakan dapat beroperasi lebih lama dan memberikan keuntungan dalam

hal kualitas, keamanan, dan kekompakan. Keunggulan lainnya adalah dapat menghilangkan senyawa nitrogen, meminimalkan *fouling*, dan mereduksi produksi *sludge* hingga 50% dibandingkan dengan cara konvensional.

Penelitian yang bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja BRMt dan lumpur aktif juga dilakukan oleh Michal Bodzek (1996), yang menggunakan membran tubular ultrafiltrasi polyacrylonitril sebagai pemisah padatan pada proses lumpur aktif. Sistem dioperasikan pada tekanan 0,2 Mpa, dengan laju alir limbah ke modul 2,83 m³/jam. Karakteristik limbah, COD 800 mg/l dan total solid 1,4 g/dm³.

METODOLOGI

Bahan dan alat

1. Air limbah domestik (sintesis)

Komposisi limbah sintesis dapat dilihat pada Tabel 1. Komposisi air limbah sintesis ini dibuat untuk mendapatkan kadar COD ±500 mg/l. Sistem BRMt, mempunyai kecenderungan besar digunakan dalam mendesain BRM karena dianggap potensial untuk fabrikasi dan biaya perawatan rendah. Hal penting dalam sistem BRMt adalah kemampuan penyerapan permeat yang dibantu oleh tekanan dari gelembung udara yang digunakan sebagai kontrol deposisi pada metode mekanika fluida dan pencemaran (Fane dan Chang, 2002).

Tabel 1. Komposisi limbah domestik (sintesis)

Komponen	Konsentrasi (mg/l)
Glukosa *	294
Asam glutamate*	132
CH ₃ COONH ₄ *	107
NaHCO ₃	344
NH ₄ Cl*	44
KH ₂ PO ₄	53
K ₂ HPO ₄	38
MgSO ₄ .7H ₂ O	20
MnSO ₄ .H ₂ O	14
FeCl ₃ .6H ₂ O	7
CaCl ₂ .2H ₂ O	38
NaCl	48

*dapat disesuaikan dengan merubah konsentrasi untuk menaikkan/menurunkan BOD-COD (Shim, Ik-Keun Yoo, Young Moo Lee, 2002)

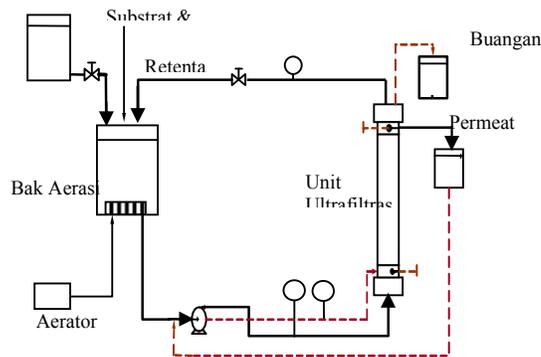
2. Bioreaktor untuk pembibitan dan aklimatisasi

Bak aerasi untuk pembibitan dan aklimatisasi terdiri dari 3 (tiga) buah bak kaca dengan ukuran panjang, lebar, dan tinggi: 35, 28, dan 38 cm, dengan dimensi 37 liter, volume kerja efektif bioreaktor adalah 11 liter yang difasilitasi dengan kompresor untuk

mengalirkan udara melalui difuser yang dipasang di dasar bak.

3. Bioreaktor membran eksternal

Pada tahap pendahuluan, penelitian diawali dengan BRM eksternal hollow fiber untuk melihat unjuk kerja membran bila dioperasikan dengan aliran silang (*crossflow*). Modul membran sama dengan yang dipakai di BRMt, luas = 0.075m^2 ; OD = 1,0 mm; ID = 0,5 mm; dimensi modul: D = 5 cm, L = 35 cm. Rangkaian alat penelitian pada BRM eksternal adalah seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram skematik BRM eksternal

Konfigurasi membran yang umum dipakai di industri antara lain berbentuk lembaran datar (*plate and frame*), gulungan (*spiral wound*), pipa (*tubular*), dan serat berongga (*hollow fiber*). Dibandingkan dengan bentuk modul lain, membran serat berongga merupakan rancangan modul ultrafiltrasi yang relatif lebih baru. Membran tersebut berbentuk pipa *self supporting* dengan lapisan yang tebal pada bagian dalam pipa. Membran serat berongga ini mempunyai kisaran diameter mulai 0,19-1,25 mm dan ketebalan ± 200 mikron. Setiap modul bisa berisi 50-3000 buah *hollow fiber*, tergantung pada diameter serat berongga dan cangkang.

Membran bentuk serat berongga mempunyai beberapa karakteristik yaitu:

- kecepatan aliran antara 0,5-2,5 m/det atau dengan bilangan Reynold antara 500-3000, sehingga hollow fiber beroperasi dengan aliran laminar.
- kecepatan geser (*shear rate*) sangat tinggi, yaitu antara $4.000-14.000\text{ det}^{-1}$
- mempunyai rasio luas permukaan terhadap volume paling tinggi dibandingkan modul lain.
- pressure drop* yang rendah yaitu sekitar 0,33-1,25 atm tergantung pada kecepatan aliran, sehingga modul hollow fiber

memerlukan konsumsi energi yang relatif rendah.

- tekanan operasi maksimum 1,8 atm
- diameter yang kecil dari pipa terkadang menyebabkan penyumbatan pada pemasukan membran, sehingga untuk mencegahnya perlu dilakukan filtrasi pendahuluan sampai kandungan partikelnya berukuran lebih kecil dari 100μ .
- keuntungan dari hollow fiber adalah kemampuan dalam hal *backflushing*. Hal ini karena fiber bersifat *self supporting* dan sangat memudahkan dalam pencucian.
- biaya penggantian membran cukup tinggi, misalnya jika sebuah hollow fiber lepas dari modul maka membran keseluruhan mungkin harus dikeluarkan.

Berkaitan dengan modul membran, keunggulan yang ditawarkan dalam teknologi ini adalah karena modulnya kompak sehingga dapat menghemat pemakaian lahan. Modul membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat berongga (*hollow fiber*) yang digabung dengan cara mengikat ujungnya menjadi satu menggunakan agensia seperti resin epoksi, poliuretan atau karet silikon, kemudian dimasukkan ke dalam suatu tempat (*housing*). Densitas *packing* modul serat berongga umumnya $>30000\text{ m}^3/\text{m}^3$ (Gambar2).



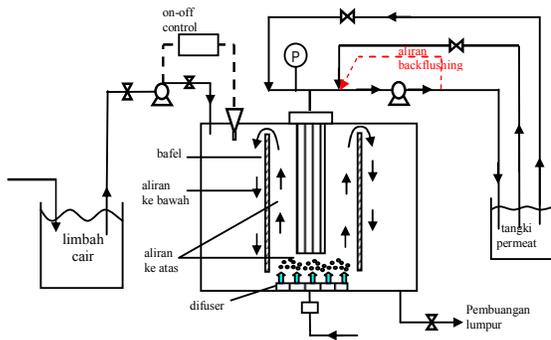
Gambar 2. Modul membran hollow fiber

Proses pencucian modul hollow fiber menggunakan metode pencucian hidraulik dengan cara *backflushing* (pembilasan balik) permeat melalui membran. Pencucian ini digunakan pada proses-proses bergaya pendorong tekanan, dimana arah aliran melalui membran dibalikkan dari sisi permeat ke sisi umpan. Periode waktu untuk *backflushing* lebih lama dibandingkan dengan *back shock*. Prosedur ini biasanya digunakan untuk menghilangkan *fouling*. Pada bioreaktor hollow fiber, teknik ini digunakan untuk menempatkan biokatalis pada bagian pori membran.

4. Bioreaktor membran terendam (BRMt)

Unit BRMt terdiri dari bak aerasi, modul membran hollow fiber, dan unit pendukung (pompa, valve, dan sebagainya). Skematik rancangan unit BRMt dapat dilihat pada Gambar 3 yang dirancang untuk volume operasi 50 L. Panjang, lebar, dan tinggi bioreaktor adalah 37cm. Bagian bawah dipasang difuser untuk aerasi dengan bantuan aerator, dimana kecepatan aliran udara masuk dikontrol dengan flow-meter. Bagian dalam tangki dipasang bafel untuk men-ciptakan sirkulasi aliran air antara dinding bioreaktor dan membran (*airlift-type reactor*). Hal ini dimaksudkan untuk menciptakan kecepatan geser (*shear rate*) yang tinggi pada permukaan membran untuk melepaskan tumpukan material dan menurunkan tahanan hidrolis dari lapisan *fouling*.

Membran dengan konfigurasi *capillary type* DUC 108 dengan bahan polyacrylonitrile (PAN) yang mempunyai pH operasi optimum 7-7,5; temperatur operasi maximum 50°C, ϕ pori 0,01-0,1 μ ; luas 0,80 m²; dimensi: ID= 1,0 mm; OD = 0,5 mm; dimensi modul: ϕ = 1" dan panjang = 8".



Gambar 3. Diagram skematik unit BRMt

Perlakuan yang dijalankan

Penelitian eksperimental dioperasikan pada konsentrasi biomassa (MLSS) 2500 dan 10000 (mg/l); kecepatan aliran udara 8 dan 12 (l/mnt), jarak bafel dari dinding reaktor adalah 7,5; 10,5; dan 13,5 cm. Beda tekanan lintas membran (*trans membrane pressure*, TMP) adalah 0,093 dan 0,133 bar.

Prosedur Penelitian

Untuk dapat memahami proses separasi membran ultrafiltrasi dengan modul hollow fiber, diperlukan eksperimen dengan mengintegrasikan membran dengan lumpur aktif pada BRM eksternal dan BRMt dengan limbah sintesis sebagai umpan. Eksperimental

BRM eksternal juga dilakukan dalam penelitian ini untuk membandingkan dengan hasil pengolahan limbah cair pada BRMt dari sisi persen penyisihan (*%removal*) COD dan MLSS, fluks, serta *fouling* pada membran selama waktu operasi, sehingga akan lebih memperkuat pendapat bahwa proses pengolahan limbah cair dengan proses membran-lumpur aktif dengan menggunakan BRMt lebih efektif daripada BRM eksternal. Eksperimen dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap pendahuluan dan tahap percobaan utama. Tahap pendahuluan terdiri dari analisis COD-BOD limbah cair domestik sintesis, pembibitan, dan aklimatisasi, serta karakterisasi membran. Tahap percobaan utama adalah tahap operasi pengolahan limbah dengan variabel-variabel yang ditentukan pada BRMt.

Analisis pendahuluan mengetahui BOD-COD limbah sintesis, temperatur, pH, dan padatan total. Data ini untuk menghitung jenis dan jumlah nutrisi yang perlu ditambahkan dan pengkondisian tahap aklimatisasi mikroba.

Lumpur aktif diambil dari IPLT Sukolilo. Untuk meningkatkan MLSS, lumpur aktif diaerasi dan ditambahkan substrat glukosa serta nutrien-nutrien. Glukosa yang ditambahkan diperkirakan cukup untuk kebutuhan energi mikroba untuk pertumbuhan dan pemeliharaan. Setelah itu dilakukan tahap aklimatisasi yaitu tahap penyesuaian mikroorganisme agar mampu mendegradasi air limbah domestik.

Karakterisasi membran dilakukan untuk mengetahui permeabilitas membran dan karakteristik fluks terhadap variasi tekanan, jarak bafel, dan kecepatan aliran udara, juga diperoleh informasi fluks kritis membran. Untuk memperoleh fluks kritis dilakukan kombinasi dengan menggunakan teknik *backflushing*.

Tahap penelitian utama adalah memasukkan air limbah sintesis dengan laju alir ke dalam BRMt *hollow fiber* menggunakan pompa sentrifugal. Permeal ditampung dan tidak dilakukan pembuangan lumpur selama waktu operasi. Data yang diperoleh adalah laju alir volumetrik umpan, COD-BOD umpan, di dalam tangki, dan permeal. Fluks permeal, oksigen terlarut, MLSS di dalam bak aerasi, dan tekanan aliran masuk dan keluar membran. Oksigen terlarut di bak aerasi dipertahankan minimal 2 mg/l. Tekanan operasi diharapkan cukup rendah untuk memperkecil *fouling* dan untuk memperoleh fluks yang stabil. Untuk memperoleh fluks yang stabil selama tahap percobaan utama, operasional membran

dikombinasikan dengan teknik intensive *back-flushing* yang dilakukan dengan cara mengambil aliran permeat menggunakan udara tekan dengan interval dan tekanan tertentu.

Setelah membran beroperasi selama 20-30 jam dan fluks permeat tidak efisien lagi, maka dilakukan pencucian menggunakan asam dan basa. Asam dan basa yang digunakan untuk pencucian adalah HCl dan NaOH 2%. Tiap pencucian dengan asam atau basa tersebut dilakukan selama 30 menit.

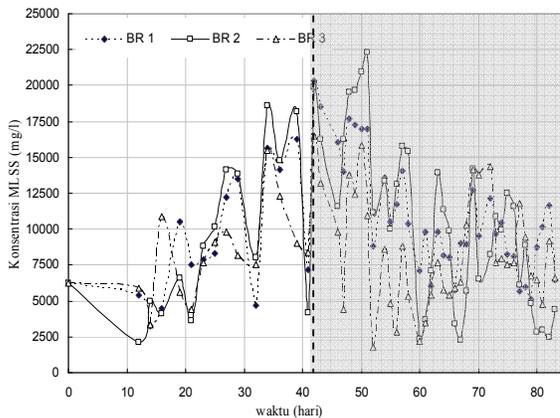
Metoda Analisis

Metoda analisis COD-BOD dan MLSS menggunakan *standart method*, APHA (1992).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Tahap pembibitan dan aklimatisasi

Pertumbuhan mikroorganisme sampai hari ke 83 pada ketiga bioreaktor ditunjukkan oleh kurva pada Gambar 4. Terjadinya penurunan dan kenaikan MLSS setelah memasuki tahap aklimatisasi pada hari ke 41 (daerah setelah garis putus-putus), disebabkan karena pemberian aerasi yang tidak stabil. Untuk mengatasi hal tersebut, aerator yang dipasang sebelumnya diganti dengan kompresor yang bekerja secara kontinyu.



Gambar 4. MLSS pembibitan dan aklimatisasi.

2. Karakterisasi membran

Karakterisasi membran dilakukan untuk mengetahui permeabilitas membran ultrafiltrasi dan karakteristik fouling pada berbagai konsentrasi biomassa dan TMP eksperimen untuk BRMt dan BRM eksternal.

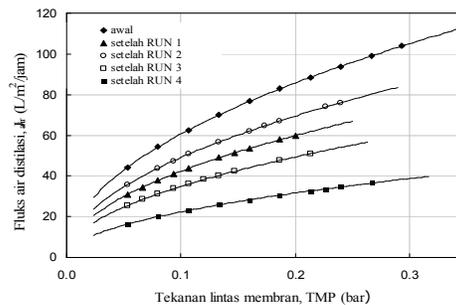
Pengukuran permeabilitas membran dilakukan dengan 2 (dua) tipe aliran, yakni aliran silang-*crossflow* (BRM eksternal) dan aliran *dead-end* (BRMt). Semakin tinggi

permeabilitas berarti tahanan hidraulik membran tersebut semakin kecil. Besarnya permeabilitas membran sangat bergantung pada karakteristik membran, seperti hidrofilisitas, ukuran pori, distribusi ukuran pori, porositas, ketebalan dan tortuositas pori.

Pada BRM eksternal, TMP merupakan tekanan rata-rata dari tekanan masuk ($P_{F,in}$) dan keluar ($P_{F,out}$) modul membran dikurangi dengan tekanan permeat (P_p):

$$TMP = \frac{P_{F,in} + P_{F,out}}{2} - P_p \dots\dots\dots 1$$

Hasil pengukuran fluks air murni pada berbagai TMP untuk kondisi awal membran (*fresh membrane*) hingga setelah pemakaian untuk beberapa variabel operasi ditampilkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Fluks air murni versus TMP (ΔP) untuk beberapa kondisi setelah operasi pada BRMt

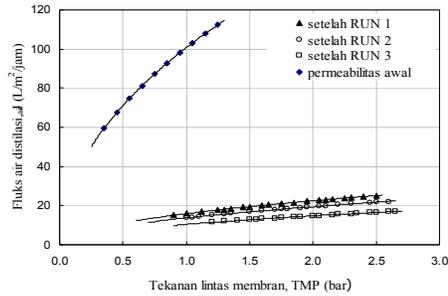
Permeabilitas membran adalah *slope* dari kurva fluks air murni terhadap TMP seperti ditunjukkan pada Tabel 2 untuk membran pada BRMt dan Tabel 3 untuk BRM eksternal.

Tabel 2. Data permeabilitas membran pada BRMt

Membran	Kondisi operasi membran	Permeabilitas, l/m ² /jam/bar
Baru	Awal pemakaian	191.69
RUN 1	MLSS = 2500 mg/l; kecepatan udara 12 l/mnt; TMP = 0,1333 bar	133.83
RUN 2	MLSS = 10000 mg/l; kecepatan udara 8 l/mnt; TMP = 0,1333 bar	155.24
RUN 3	MLSS = 10000 mg/l; kecepatan udara 12 l/mnt; TMP = 0,1333 bar	110.31
RUN 4	MLSS = 10000 mg/l; kecepatan udara 8 l/mnt; TMP = 0,0933 bar	70.686

Data permeabilitas yang diperoleh pada tangki BRMt menunjukkan adanya *fouling* permanen yang tidak mampu dihilangkan

dengan cara *backflushing* dan pencucian yang di terapkan untuk setiap kali setelah pengambilan data.



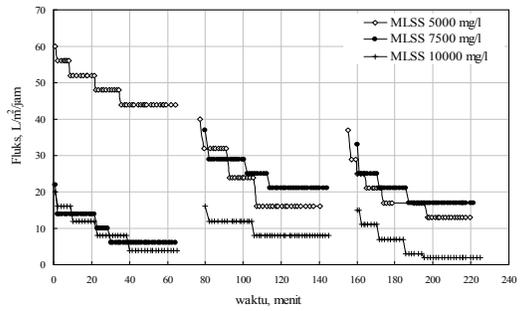
Gambar 6. Fluks air murni versus TMP (ΔP) untuk beberapa kondisi setelah operasi pada BRM eksternal

Bila dibandingkan dengan permeabilitas BRM eksternal, pada BRMt menunjukkan penurunan permeabilitas yang tidak begitu tajam. Hal ini disebabkan sistem filtrasi antara aliran *crossflow* dan *dead-end* yang berbeda, BRMt mempunyai banyak sekali keunggulan. BRMt didesain dengan menambahkan bafel di antara membran dan difuser di bawahnya untuk menciptakan sirkulasi yang mampu mengurangi penyumbatan pori membran (*clogging*) sehingga waktu operasi bisa lebih lama.

Tabel 3. Data permeabilitas membran pada BRM eksternal

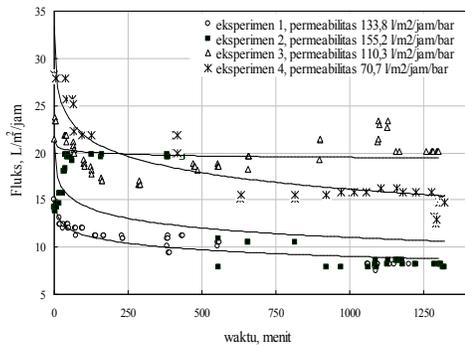
Membran	Kondisi operasi membran	Permeabilitas, $l/m^2/jam/bar$
Baru	Awal pemakaian	100.66
RUN 1	MLSS = 5000 mg/l; 1,45 bar	15.897
RUN 2	MLSS = 7500 mg/l; 1,45 bar	13.74
RUN 3	MLSS = 10000 mg/l; 1,45 bar	10.464

Pada BRM eksternal, dilakukan selama 3 (tiga) jam operasi, TMP 1,45 bar untuk setiap ukuran MLSS. Fluks turun terus sejalan dengan bertambahnya waktu operasi, tingginya konsentrasi MLSS (Stephenson, 2001; Mulder, 1996). Padatan tersuspensi merupakan faktor yang mempengaruhi permeabilitas. Partikel kecil seperti organik terlarut, dapat menurunkan permeabilitas melalui adsorpsi langsung ke dalam pori membran (Lee, 2002). Adanya penyumbatan pori (*clogging*) menyebabkan penurunan fluks menjadi lebih tajam hingga mencapai harga tertentu. Pada keadaan ini, fluks tidak dapat ditingkatkan lagi dengan mengubah kondisi operasi, namun diperlukan pencucian membran.



Gambar 7. Pengaruh *backflushing* terhadap fluks pada BRM eksternal untuk eksperimen I, II, dan III

Membran pada BRMt, secara fisik sangat mudah dicuci karena membran tidak terlapisi dan langsung bersentuhan dengan larutan yang akan difiltrasi. Eksperimen proses filtrasi oleh membran dalam BRMt dilakukan selama ± 21 jam untuk setiap kali eksperimen. *Backflushing* maupun pencucian membran dilakukan setiap kali eksperimen selesai. *Backflushing* dilakukan dengan tekanan 3 bar menggunakan air distilasi selama 1 jam. Sedangkan proses pencucian dilakukan pertama kali dengan menggunakan air hangat ($\pm 40^\circ C$), dari temperatur tertinggi yang diijinkan untuk membran polimer yaitu $60^\circ C$. Kemudian menggunakan larutan NaOH dan HCl, 5%. Setelah pembilasan, dilakukan pengukuran permeabilitas menggunakan air distilasi. Perlu dijelaskan disini bahwa meskipun pencucian dan *backflushing* telah dilakukan, namun permeabilitas membran tidak akan bisa kembali 100%. Secara umum, permeabilitas setelah pencucian berkisar antara 50-65% bergantung pada teknik dan lama waktu pencucian. Meskipun pencucian membran dapat mengembalikan permeabilitas secara signifikan, namun fluks akan kembali turun secara drastis dalam waktu singkat ketika digunakan kembali untuk filtrasi. Pada Gambar 8 menunjukkan penurunan fluks yang cukup tajam pada 2 jam pertama untuk semua eksperimen yang dilakukan.



Gambar 8. Fluks permeat versus waktu pada filtrasi limbah sintesis dalam lumpur aktif dengan membran *hollow fiber* terendam di dalam bioreaktor.

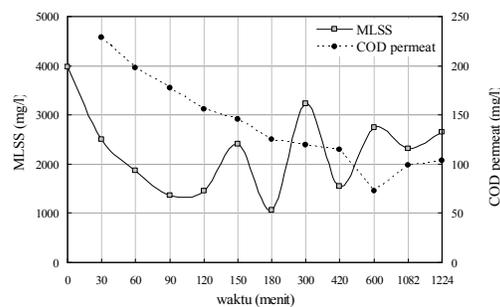
3. Pengaruh konsentrasi biomassa (MLSS)

Pengolah limbah dengan filtrasi membran *hollow fiber* di dalam BRMt menunjukkan hasil yang sangat baik. Walaupun ada sedikit ketidak-konsistenan antara besarnya konsentrasi biomassa (MLSS) lumpur aktif pada awal pemakaian dengan kadar COD-nya. Seperti pada data eksperimen I yang ditunjukkan pada Tabel 4, bahwa pada MLSS 2500 mg/l, COD bisa mencapai 6136 mg/l, sebaliknya bila dibandingkan dengan besarnya MLSS 10.000 mg/l seperti pada eksperimen III kandungan COD hanya sebesar 2863 mg/l. Hal ini sangat tergantung pada mikroorganisme yang terdapat di dalam lumpur aktif, karena mikroorganisme merupakan unsur padatan yang memberikan kontribusi pada besarnya nilai COD. Sehingga MLSS yang rendah, tidak selalu mempunyai kandungan mikroorganisme yang rendah pula. Sebaliknya pada kondisi lumpur aktif yang digunakan pada eksperimen III, dengan nilai MLSS yang empat kali lebih besar dari MLSS lumpur aktif pada eksperimen I, memberikan nilai COD yang hanya sepertiganya saja. Hal ini dimungkinkan bahwa konsentrasi biomassa yang tinggi tidak menjamin adanya mikroorganisme dalam bentuk partikulat yang banyak.

Tabel 4. Hasil analisis eksperimen I, COD umpan \approx 540 mg/l (MLSS 2500 mg/l; laju alir udara 12 l/menit; TMP 10 cmHg)

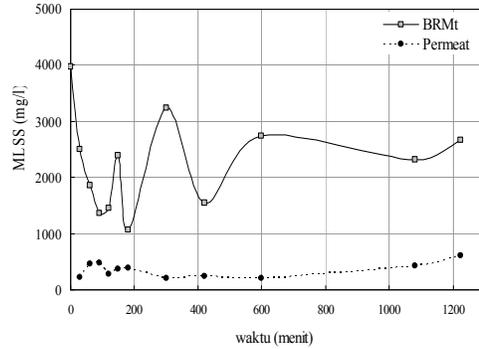
menit ke	BRMt		Permeat		Penyisihan	Penyisihan
	MLSS	COD	MLSS	COD	COD (%)	MLSS (%)
0	3968	6136	-	-	-	-
30	2504	4576	212	228,8	57,63	91,53
60	1858	4472	462	197,6	63,41	75,14
90	1361	4368	481	176,8	67,26	64,66
120	1446	4264	274	156,0	71,11	81,05
150	2398	2912	360	145,6	73,04	84,99
180	1057	1768	395	124,8	76,89	62,64
300	3229	1144	197	119,6	77,85	93,90
420	1550	1549	241	114,4	78,81	84,45
600	2738	2374	211	72,8	86,52	92,29
1082	2316	3648	426	99,1	81,65	81,61
1224	2658	2598	611	104,0	80,74	77,01

Pada Gambar 9 ditunjukkan adanya ketidak-sesuaian antara besarnya konsentrasi biomassa (mikroorganisme) dengan kemampuannya untuk mendegradasi limbah organik yang terdapat di dalam tangki, yaitu terjadi penurunan kandungan COD pada saat mikroorganisme juga mengalami penurunan akibat kematian. Menurut teori pertumbuhan biomassa (mikroorganisme) di dalam air limbah, seharusnya komposisi biomassa akan meningkat seiring dengan turunnya zat organik di dalam limbah (Metcalf & Eddy, 1991). Pada menit ke 150, 300, dan 600 yang sesuai dengan teori, yaitu terjadi peningkatan biomassa yang disertai dengan penurunan COD permeat. Demikian pula dengan kondisi operasi antara menit ke 420 sampai 1082, terjadi fluktuasi antara pertumbuhan dan kematian mikroorganisme yang sesuai dengan penurunan dan kenaikan zat organik (COD) di dalam efluen (permeat).



Gambar 9. Pengaruh konsentrasi MLSS dalam BRMt terhadap COD permeat pada eksperimen I

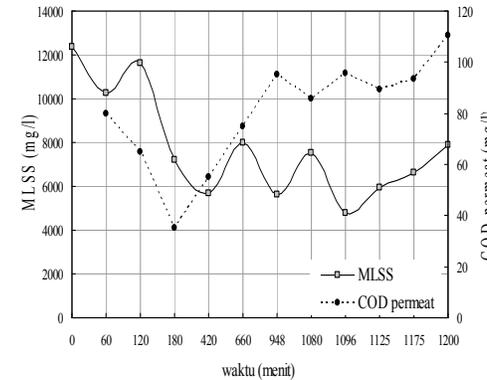
Pada Gambar 10 dan 11, menunjukkan penurunan MLSS dan kandungan COD yang cukup tinggi antara limbah dan lumpur aktif di dalam BRMt dengan efluen (permeat) pada eksperimen I.



Gambar 10. Perbandingan konsentrasi MLSS di dalam BRMt dan permeat terhadap waktu pada eksperimen I

Dilihat dari fluktuasi grafik MLSS pada Gambar 10, terjadi kenaikan konsentrasi biomassa sebesar 300% antara menit 180 ke menit 300. Hal ini disebabkan adanya pertumbuhan mikroba yang cukup pesat diantara waktu tersebut. Penyisihan MLSS tertinggi pada eksperimen I mencapai 93,9%, sedangkan kadar COD permeat penurunan tertinggi hingga 86,52% dari COD input (limbah sintetis).

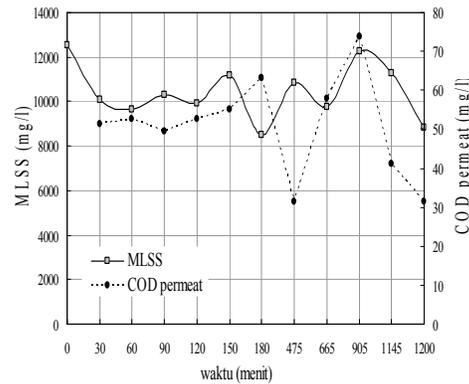
Kandungan COD dari limbah sintetis dalam umpan secara kontinyu diberikan ke dalam tangki. Namun hal itu kurang memenuhi kebutuhan makanan bagi mikroorganisme di dalam BRMt. Meskipun demikian, ditinjau dari % *removal* COD-nya yang rata-rata 80%, menunjukkan hasil yang cukup bagus untuk suatu proses pengolahan limbah.



Gambar 11. Pengaruh konsentrasi MLSS dalam BRMt terhadap COD permeat pada eksperimen II

Hasil analisis eksperimen III, menunjukkan %*removal* COD, dan MLSS yang sangat bagus, yaitu rata-rata di atas 90%. Gambar 12 dan 13, memberikan grafik yang cukup berfluktuasi. Namun demikian, pada eksperimen III dan IV juga terdapat sedikit penyimpangan dengan teori yaitu penurunan COD permeat terjadi pada waktu mikroba mengalami kematian di dalam tangki BRMt.

Ditinjau dari COD permeat, setiap eksperimen yang dilakukan memberikan %*removal* antara 60-98%. Hal ini menunjukkan bahwa dalam BRMt, membran mempunyai peranan yang penting di dalam menyaring suspended solid. Sedangkan kandungan COD yang lolos dari membran sebagai permeat merupakan komponen organik yang terlarut (*soluble*). Hal itu disebabkan karena komponen organik terlarut memberikan kontribusi terhadap nilai COD selain komponen yang berupa partikulat. Komponen terlarut (*soluble*) tersebut mempunyai molekul yang lebih kecil dari pori-pori membran ultrafiltrasi yang digunakan dalam penelitian ini, sehingga membran tidak mampu untuk merejeksi komponen terlarut tersebut. Sedangkan kandungan COD yang sebagian besar berupa partikulat terejeksi oleh membran yang mempunyai ukuran pori-pori 0,01-0,1µm. Turunnya kadar COD dari BRMt ke permeat merupakan hasil kerja membran sebagai filter dalam tangki BRMt tersebut.

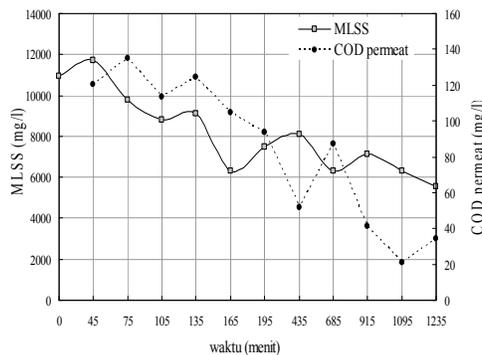


Gambar 12. Pengaruh konsentrasi MLSS dalam BRMt terhadap COD permeat pada eksperimen III

Eksperimen IV, eksperimen terakhir, dimana membran yang dipakai sudah digunakan selama tiga kali operasi pada eksperimen sebelumnya. Pada Gambar 8 memberikan data fluks yang paling rendah. Dilihat dari sisi pemisahan padatan, membran *hollow fiber* yang digunakan menunjukkan kemampuan yang cukup baik. Data analisis

memberikan hasil persen removal MLSS mencapai lebih dari 98% dan 93,7% untuk %removal COD yang dapat dicapai. Masih tingginya kemampuan membran filter disini, di-prediksikan akibat penyempitan pori-pori membran karena adanya flok-flok yang bersifat permanen yang tidak bisa dihilangkan karena efek *backflushing* dan pencucian. Hal ini sangat menguntungkan dari fungsi membran untuk merejeksi padatan yang berupa komponen partikulat tapi tidak dari sisi fluks yang dihasilkan.

Gambar 13 menunjukkan adanya signifikansi antara penurunan MLSS dan COD. Hal ini dikatakan cukup baik ditinjau dari membran, karena dapat menfilter komponen partikulat yang memberikan nilai COD dalam limbah. Namun bila ditinjau dari sisi biologisnya, tugas mikroba untuk mendegradasi kandungan organik pada limbah, tidak cukup berhasil. Turunnya MLSS, berarti bahwa banyak pula mikroba yang mati, sehingga proses pendegradasian kandungan organik tidak sepenuhnya dapat dilakukan oleh jumlah mikroba yang sedikit itu. Dalam hal ini fungsi membran nampak lebih berperan untuk di dalam tangki BRMt.



Gambar 13. Pengaruh konsentrasi MLSS dalam BRMt terhadap COD permeat pada eksperimen IV

Pada Gambar 14 berikut, ditunjukkan hasil foto tentang kekeruhan lumpur aktif yang mengandung limbah sintesis dan permeat. Secara visual dapat dilihat bahwa produk yang dihasilkan bebas dari padatan tersuspensi. Kualitas warna dan kejernihan permeat sangat baik dan konsisten. Penyisihan kandungan COD dari eksperimen I sampai IV berkisar antara 60-95%, sedangkan penyisihan MLSS hampir mendekati 99%. Hal ini sangat menguntungkan karena tahap pengolahan limbah menjadi lebih singkat, dapat memberikan hasil yang maksimal dan tidak membutuhkan lahan yang luas.



Gambar 14. Foto lumpur aktif dibandingkan dengan permeat ultrafiltrasi membran hollow fiber (a) MLSS 2500 mg/l (b) MLSS 10000 mg/l

KESIMPULAN

Fluks pada BRMt maupun BRM eksternal sampai dicapai kondisi tunak, memerlukan waktu yang relatif singkat, yaitu kurang 60 menit. Hal ini dapat dicapai karena sistem pengoperasian yang dilakukan masih berkisar pada TMP yang cukup rendah yaitu 0,1333 bar yang sekaligus merupakan tekanan operasi yang paling baik pada BRMt. Sedangkan TMP optimum pada BRM eksternal diperoleh pada 1,45 bar. Untuk memperoleh fluks yang tinggi dan stabil dalam jangka waktu yang lama, operasi membran pada BRMt lebih tepat menggunakan kecepatan aerasi yang cukup besar yaitu 12 l/menit dan jarak baffle yang mendekati membran atau 7,5 cm dari dinding tangki untuk memperbesar *shear rate* yang dapat mengurangi terjadinya *fouling*.

Permeabilitas yang diperoleh pada BRMt lebih baik dibanding BRM eksternal, karena sistem filtrasi pada BRMt yang cukup mampu untuk mengurangi *fouling* sehingga flok-flok yang tersumbat pada pori-pori membran tidak sebanyak yang terjadi pada BRM eksternal dan tidak banyak yang bersifat permanen.

DAFTAR PUSTAKA

- Bodzek, Michal, Z. Debkowska, E. Lobos, and K. Konieczny, (1996), 'Bio-membrane Wastewater Treatment by Activated Sludge Method', *Desalination Journal*, Elsevier Science, 107, p.83-95.
- Bouhabil, El Hani, Roger Ben Aim, Herve Buisson (2001), Fouling Characterization in Membran Bioreactor, *Separation and Purification Technology*, 22-23; 123-132

- Chriemchaisri, C., and Kazuo Yamamoto (1994), Performance Of Membrane Separation Bioreactor At Various Temperature For Domestic Wastewater Treatment. *Journal of Membrane Science*, 87, 119-129.
- Cicek, N., Winnen, H., Suidan, M.T., Wirenn, B.E., Urbain, V., Manem, J., (1998), Effectiveness of The Membrane Bioreactor in The Biodegradation of High Molecular Weight Compounds. *Water Research* 32, 1553-1563
- Fane, A.G., and Sheng Chang (2002), Membrane Bioreactors: Design & Operational Options. *Filtration and Separation*. 26 June 2002.
- Lee, Yonghun., et al. (2002), Modeling of Submerged Membrane Bioreactor Process for Wastewater Treatment, Elsevier Science. *Desalination journal*. 146, 451-457.
- Lu, S.G., T. Imai, M. Ukita, M. Sekine, T. Higuchi dan M. Fukagawa, (2001), "A Model For Membrane Bioreactor Process based on The Concept of Formation and Degradation of Soluble Microbial Product", *Water Res.*, Elsevier Science, Vol. 35, No. 8, p.2038-2048.
- Mulder, M. (1996), Basic Principles of Membrane Technology. 2nd edition. Netherlands: Kluwer Academic Publishers
- Shim, J.K., Ik-Keun Yoo, Young Moo Lee, (2002), Design and operation consideration for wastewater treatment using a flat submerged membrane bioreactor. *Elsevier Sci., Process Biochemistry Journal*, Vol.38, pp.279-285.
- Singh, N., M. Cheryan, (1997), Fouling of a ceramic microfiltration membrane by corn starch hydrolysate, *J. Membr. Sci.*, 135, 195-2002
- Stephenson, T., S. Judd, B. Jefferson, K. Brindle (2000), Membrane Bioreactor for Wastewater Treatment. IWA Publishing Company. UK.
- Trouve, E., Urbain, V., Manem J. (1994), Treatment of municipal wastewater by a membrane bioreactor: result of a semi-industrial pilot-scale study, *Water Science and Tecnology*, 30, 151-157.
- Visvanathan, C.R., B. Aim, K. Parameshwaran, (2000), "Membrane Separation Bioreactors for Wastewater Treatment", *Critical Review in Environmental Science and Technology*, 30 (1): 1-48.
- Yamamoto, K., M. Hiasa, T. Mahmood, dan T. Matsuo, (1989), "Direct Solid-Liquid Separation Using Hollow Fiber Membrane in an Activated Sludge Aeration Tank" *Water Science Tech.*, 21, p.43-54.
- Zeman, L.J., A.L. Sydney (1996), Microfiltration and Ultrafiltration: Principles and Application, Marcel Dekker Inc., New York, 397-446