

Pemanfaatan Proses Ultrafiltrasi dalam Peningkatan Efisiensi Proses di Pabrik Gula

Oleh :

A. Romli, I. Putu. Arcana E.S, Ade Budianto
Jurusan Teknik Kimia Universitas Jenderal Achmad Yani
Jl. Terusan Jend. Sudirman Po. Box 148 Cimahi Telp (022) 6642064
Fax (022) 6643006, e-mail: tk unjani@bdg .centrin.net.id

Abstrak

Pemurnian nira mentah di pabrik pada saat ini kebanyakan masih menggunakan proses klarifikasi konvensional. Proses ini kurang efisien karena membutuhkan energi yang cukup besar dan banyak menggunakan penambahan zat-zat kimia dalam proses klarifikasi yang mengakibatkan timbulnya limbah yang cukup besar. Energi yang besar ini digunakan untuk memanaskan nira, untuk menyediakan kebutuhan panas reaksi-reaksi kimia. Dengan hal tersebut perlu dicarikan proses alternatif yang bisa mengefisienkan proses pengolahan gula. Proses alternatif yang digunakan diantaranya yaitu dengan memanfaatkan proses ultrafiltrasi.

Proses ultrafiltrasi ialah proses pemisahan dengan menggunakan membran. Cara kerja proses ini menggunakan prinsip pemisahan berdasarkan beda berat molekul, operasi dapat dilakukan pada suhu ruang dan Tekanan merupakan faktor yang akan menggerakkan pelarut dan spesi tertentu lewat pori-pori membran.

Pemurnian nira mentah dengan proses ultrafiltrasi dapat menghasilkan transmisi sebesar 98 % dengan transmisi non sukrosa 28 % sedangkan proses pemurnian secara konvensional hanya menghasilkan transmisi sebesar 60 % dan transmisi non sukrosa 40 %. Hal ini menunjukkan bahwa proses ultrafiltrasi cukup prospektif untuk dipertimbangkan penggunaannya dalam industri pengolahan gula.

Kata kunci : nira, klarifikasi , konvensional, ultrafiltrasi, transmisi.

I. Pendahuluan

Unit klarifikasi atau pemurnian sangat penting dalam meningkatkan mutu produk gula yang bersih dan murni. Proses kimia dan fisika yang biasa dipakai dalam industri gula memiliki kekurangan-kekurangan. Limbah kimia yang dihasilkan sebagai produk samping akan mencemari lingkungan. Energi yang dibutuhkan di unit klarifikasi pun tinggi sehingga perlu biaya yang besar. Masalah tersebut perlu mendapatkan perhatian terutama dalam era industri yang menuntut penghematan energi dan industri berwawasan lingkungan. Penambahan senyawa-senyawa kimia pada proses klarifikasi yang mengakibatkan timbulnya limbah industri yang cukup besar. Proses pemurnian nira pada suhu tinggi berarti

membutuhkan biaya yang besar untuk konsumsi energinya. Suatu teknik pemurnian yang dapat menjadi alternatif pengganti unit klarifikasi konvensional adalah ultrafiltrasi. Penggantian unit klarifikasi dengan ultrafiltrasi pada pembuatan gula tebu memiliki beberapa keuntungan. Ultrafiltrasi dioperasikan tanpa menggunakan zat kimia pemisah. Pengoperasiannya juga lebih mudah karena menggunakan alat yang sederhana. Proses ini tidak memerlukan energi yang besar sehingga lebih ekonomis. Selain itu hasil produksi memiliki kualitas yang lebih daripada klarifikasi biasa seperti : kemurnian yang lebih tinggi, tingkat kekeruhan dan warna yang lebih rendah serta kesterilan produk yang lebih baik sebagai akibat pori membran yang kecil.

Kelebihan-kelebihan ini memungkinkan penggunaan teknik ultrafiltrasi sebagai alternatif pengganti unit klarifikasi dalam pemurnian gula tebu.

Proses ultrafiltrasi memiliki beberapa keunggulan, ternyata belum dapat diaplikasikan dalam skala besar. Hal ini disebabkan oleh kelemahan yang ada yaitu gejala konsentrasi *polarisasi* dan *fouling*. Konsentrasi polarisasi terjadi karena pendeposisian zat-zat tersaring di permukaan membran akibat adanya fluks cairan, gejala ini merupakan gejala yang dapat balik, sedangkan *fouling* terjadi karena terdeposisinya zat-zat tersaring secara permanen.

Tujuan penelitian ini adalah: untuk mengetahui kinerja (performance) membran pada proses klarifikasi

nira mentah dengan menggunakan proses Ultrafiltrasi. Ruang lingkup penelitian ini adalah mempelajari

kemampuan membran dalam melakukan proses pemurnian nira mentah serta mengkaji konsentrasi polarisasi dan fouling dengan memvariasikan beberapa parameter operasi yaitu : tekanan antar membran dan pH umpan. Dalam percobaan ini akan digunakan membran dengan konfigurasi modul "*Spiral Wound*".

2. Tinjauan Pustaka

Proses Klarifikasi nira mentah di pabrik gula, yang memegang peranan penting untuk menjaga kualitas

gula, mengkonsumsi energi yang besar karena sebagian prosesnya beroperasi pada suhu tinggi. Selain itu penambahan zat-zat kimia pada proses ini menghasilkan limbah yang cukup besar sebagai produk samping.

Adanya suatu teknik alternatif dalam pemurnian nira mentah yang mampu memaksimalkan pemakaian energi, mengefisiensikan proses, dan mampu memaksimalkan limbah yang dihasilkan akan sangat berguna bagi perkembangan

industri gula di Indonesia. Oleh sebab itu penelitian ini berusaha mempelajari suatu alternatif teknik pemurnian nira mentah yang dapat memenuhi ketiga kegunaan diatas. Alternatif teknik tersebut adalah ultrafiltrasi.

Tebu merupakan salah satu bahan baku pembuatan gula. Zat-zat yang terkandung dalam tebu antara lain: air (69%-75%), sukrosa (8%-15%), gula reduksi (0,5%-2%), zat organik bukan gula (0,5%-1%), senyawa nitrogen (0,5%-1%), abu (0,3%-1,8%), dan serat (10%-16%).

Nira yang diperoleh dari tebu mengandung zat-zat dapat larut seperti sukrosa, partikel halus, zat antara,

dan albumin. Nira mentah mempunyai pH antara 4,9-5,6 dan bersifat kental dan keruh karena adanya partikel partikel koloid.

Nira mentah yang didapat dari proses penggilingan masih mengandung zat-zat pengotor yang tidak

dikehendaki. Zat-zat pengotor ini harus dipisahkan dari gula. Proses pemisahan nira dari zat pengotor dilakukan dalam unit klarifikasi. Proses pelaksanaan pemurnian ini dilakukan dengan cara kimia dan fisika.

Tahap pemurnian nira mentah mencakup pemurnian secara kimia dan fisika. Pemurnian secara kimia adalah pemurnian dengan menambahkan zat-zat kimia tertentu. Beberapa cara yang digunakan dalam industri adalah cara defekasi, sulfitasi, posfatasi, dan karbonatasi.

Defekasi merupakan usaha menambahkan kapur ke dalam nira mentah. Kualitas kapur yang

ditambahkan sangat penting. Sedangkan sulfitasi merupakan proses pemurnian dengan menambahkan gas SO₂ dan Ca(OH)₂ ke dalam nira mentah. SO₂ dipakai untuk menetralkan sisa kapur pada proses defekasi.

Penambahan Ca(OH)₂ bertujuan menetralkan asam dalam nira dan membantu pengendapan. Reaksi yang terjadi pada proses ini $T = 245^{\circ}\text{F}$, dan $P = 1 \text{ atm}$.

Endapan CaSO_3 yang dihasilkan akan menghasilkan kotoran pada nira yang akan diendapkan.

Posfatasi dilakukan dengan menambahkan asam posforit ke dalam nira mentah agar dihasilkan endapan

$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ yang akan mengikat partikel koloid dan zat warna. Penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan CO_2 yang akan menghasilkan CaCO_3 dan gum dilaksanakan pada proses karbonatasi.

Proses pemurnian secara fisika dilakukan setelah pemurnian secara kimia. Proses ini akan memisahkan pengotor dari nira bersih dengan dekantasi dan filtrasi. Dekantasi dimaksudkan untuk mengendapkan kotoran kotoran yang terdapat dalam nira. Pengendapan terjadi karena adanya pengaruh gaya berat partikel. Larutan yang telah dipisahkan disaring lagi melalui proses filtrasi untuk menghilangkan sisa kotoran yang masih ada. Larutan nira bersih dengan komponen utamanya selanjutnya dialirkan ke unit penguapan untuk tujuan penguapan.

Ultrafiltrasi biasanya digunakan untuk pemurnian secara simultan, pengkonsentrasian dan pemisahan suspensi makromolekul-makromolekul atau suspensi koloid. Prosesnya tidak melibatkan perubahan fasa atau perpindahan massa antarfasa.

Menurut Hwang dan Kammermeyer (1975) membran didefinisikan sebagai "Suatu lapisan pemisah yang terletak diantara dua fasa". Lakshminarayanaiah (1984) mendefinisikan membran dengan "Suatu fasa yang berlaku sebagai dinding untuk mencegah pergerakan aliran komponen tertentu namun membiarkan dan atau mengatur lewatnya sebagian atau lebih spesi tertentu," dengan

demikian suatu membran dapat berupa gas, cair, padatan atau kombinasi ketiganya. Susunan filter terbagi menjadi dua berdasarkan cara terjadinya penyaringan: "depth filter" dan "screen

filter". Pada depth filter terjadi pergerakan partikel dalam materi penyaring. Filter ini terdiri dari kumpulan serat matrik yang acak dan tak tentu arah.

Bahan membran dapat berasal dari alam maupun buatan. Membran buatan dapat dipersiapkan dari polimer, misalnya : selulosa, polikarbonat, polisulfon, atau modifikasi dari polimer-polimer yang sudah ada seperti sulfonat polisulfone. Keuntungannya adalah rendahnya tekanan operasi yang akan mengurangi harga peralatan operasi pompa. Tidak adanya perubahan fasa menyebabkan penghematan energi yang lebih besar dibandingkan proses evaporasi. Belum lagi biaya untuk instalasi mekanik dan sistem instalasi uap. Tidak ada aliran kukus dan kondensor yang diperlukan dalam ultrafiltrasi memberikan keuntungan dihindarinya polusi termal dan sistem pengolahan limbah dalam skala yang besar. Suhu operasi yang sedang tidak menyebabkan perubahan lingkungan sehingga tidak mengubah kondisi aliran selama operasi.

Beberapa keterbatasan dalam proses ultrafiltrasi adalah tidak dapat dilakukan dalam suasana berkonsentrasi tinggi. Daya tahan membran terhadap retentat terbatas sampai jumlah tertentu. Rendahnya fluks yang diperoleh karena terkonsentrasinya makromolekul dan tingginya viskositas retentat menyulitkan pemompaan. Masalah lain yang terjadi adalah peristiwa fouling dan proses pembersihan modul serta terbatasnya kondisi operasi.

Persamaan dasar yang digunakan untuk menghitung fluks adalah :

$$J = \frac{\epsilon \Delta p^T \Delta P_T}{32 \Delta x \mu}$$

(2.1)

Dimana J adalah fluks aliran, ϵ adalah jumlah pori per satuan luas membran, dp adalah diameter pori, ΔP

merupakan tekanan operasi, Δx tebal membran dan μ viskositas pelarut.

Persamaan tersebut berlaku dalam kondisi ideal dengan asumsi pori berbentuk lingkaran, diameter pori berukuran sama, letak pori seragam. Pada kenyataannya kondisi tersebut jarang terjadi. Lagi pula ada pengaruh konsentrasi pada retentat dan pengaruh kimia yang terlibat dalam proses. Untuk itu ada suatu persamaan yang lebih umum dan sederhana untuk penentuan besar fluks aliran, yaitu :

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_m} \quad (2.2)$$

dimana R_m adalah tahanan intrinsik membran

Tahanan fluks dalam prakteknya tidak hanya disebabkan tahanan intrinsik membran. Dalam

perhitungannya tahanan fluks merupakan akumulasi tahanan-tahanan yang dapat timbul selama operasi. Tahanan ini bisa disebabkan karena terjadinya gejala konsentrasi polarisasi dan fouling.

Ada beberapa jenis alat yang dirancang dalam industri proses yang menggunakan membran. Pada dasarnya ada empat tipe yang umum dari peralatan yang dirancang untuk proses pemisahan menggunakan membran yaitu : "tubular", "hollow fiber", "plate dan frame", dan "spiral wound". Pemilihan terhadap konfigurasi modul yang akan digunakan dalam operasi disesuaikan dengan faktor ekonomis dengan

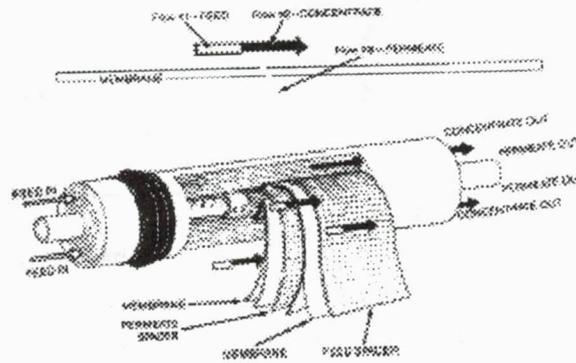
menggunakan suatu teknik yang tepat dalam pengoperasiannya.

Konfigurasi membran hollow fiber merupakan konfigurasi baru yang digunakan dalam perancangan proses ultrafiltrasi. Diameter hollow fiber berkisar antara 0,19-1,25 mm. Ketebalan fiber umumnya 200 μm .

Pada proses ultrafiltrasi dengan hollow fiber umpan dipompa melalui bagian dalam tabung. Membran terpasang di bagian luar pipa dan sekaligus berfungsi sebagai tabung. Aliran umpan yang melewati bagian tengah tabung akan dipisahkan permeatnya di seluruh permukaan tabung membran. Pemisahan dengan modul ini dapat berjalan secara efektif karena pemisahannya terdistribusi merata.

Plate membran berbentuk datar dihubungkan dengan lempengan logam terletak di antara plate dan ditempel untuk membentuk suatu tumpukan. Aliran dipompa sejajar melewati tumpukan plate membran. Pada jenis plate dan frame ini di antara kedua membran diletakan pembatas membran.

Modul spiral wound merupakan modul dengan membran berbentuk segiempat yang digulung mengelilingi suatu pipa secara berlapis-lapis. Di antara membran-membran itu ada suatu ruangan permeat. Satu gulungan diletakan seri dengan gulungan lain dan ditutupi dengan suatu pembatas berbentuk silindris. Aliran umpan masuk dari bagian ujung pipa silindris memanjang searah dengan aliran retentat. Sedangkan permeat masuk melewati membran secara radial dan dikumpulkan di bagian tengah pipa pengumpul permeat (lihat gambar 2).



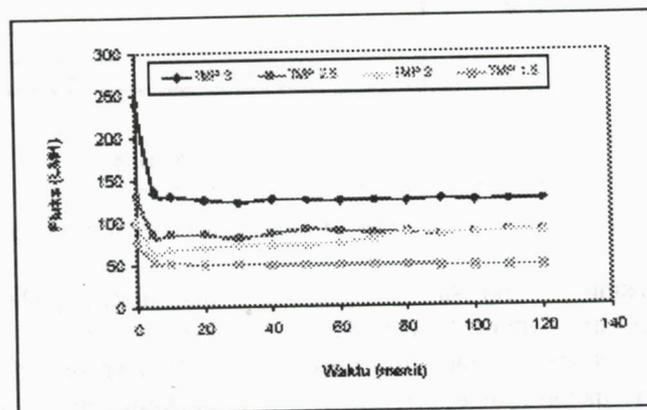
Gambar 2. Skema dan Prinsip Modul Spiral Wound

Masalah yang paling banyak membatasi pengaruh tekanan penggerak dalam proses membran khususnya aliran umpan multikomponen adalah fouling pada membran. Terjadinya gejala ini dapat terlihat pada penurunan laju alir, jika seluruh parameter operasi seperti tekanan, laju alir umpan, temperatur, konsentrasi umpan tetap. Masalah fouling yang menyebabkan lambatnya penerimaan proses ultrafiltrasi dalam bidang

industri.

3. Hasil dan Pembahasan

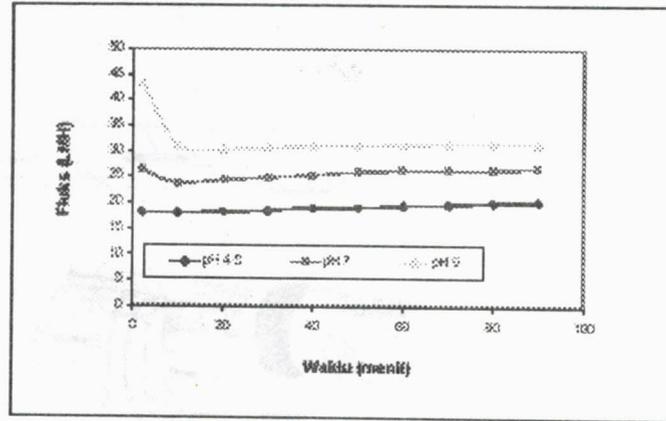
Hasil percobaan dengan memvariasikan tekanan dan pH operasi untuk setiap tempuhan percobaan pada kondisi laju alir yang ditetapkan.



Gambar 3.1. kurva fluks vs waktu pada berbagai tekanan dengan menggunakan larutan gula dengan konsentrasi 10%.

Percobaan dengan variasi tekanan : 1,5 bar; 2 bar ; 2,5 bar; dan 3 bar, terlihat bahwa fluks akan meningkat dengan meningkatnya harga tekanan . Fenomena lain yang dapat dilihat dalam gambar tersebut bahwa dengan semakin tingginya tekanan proses

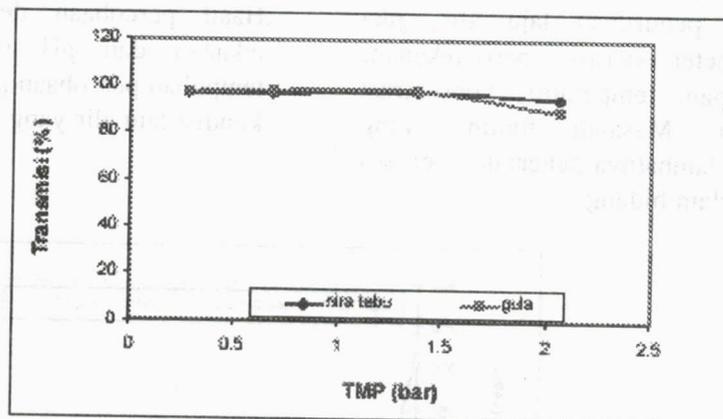
akan memberikan penurunan nilai fluks pada lima menit awal cukup landai dibandingkan dengan penurunan nilai fluks pada tekanan 3 bar yang memperlihatkan penurunan nilai fluks permeat yang sangat tajam.



Gambar 3.2. kurva fluks nira tebu vs waktu pada berbagai pH dengan tekanan 1.37 bar.

Pengaruh pH terhadap interaksi umpan dengan membran. Seperti terlihat fluks menurun dengan menurunnya harga pH. Hal ini terjadi karena adanya ion pada pH ini, ikatan-ikatan ion akan mendorong meningkatnya ukuran protein. Seperti

dikemukakan oleh Matthiasoon pada study static proses adsorpsi dengan menggunakan membran polysulfon dan selulosa asetat menemukan bahwa adsorpsi meningkat dengan menurunnya pH.



Gambar 3.3. kurva transmisi vs tekanan pada pH 9

Hubungan transmisi sukrosa dengan tekanan, dari sini kurva antara larutan gula dengan nira hasil ultrafiltrasi memiliki tren yang sama dan menghasilkan transmisi sukrosa yang cukup tinggi yaitu 98 % .

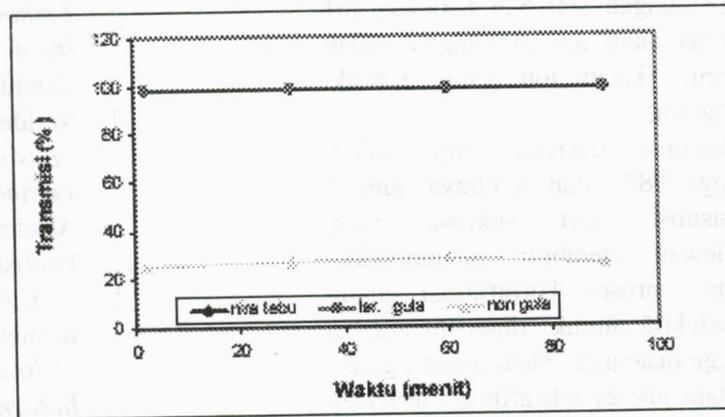
Besarnya harga transmisi sukrosa terutama tekanan di bawah 1,37 bar yang memiliki harga cukup stabil

dibandingkan dengan tekanan di atas 1,37 bar sampai dengan 2,07 bar. Keadaan ini

disebabkan pada tekanan yang kecil (di bawah 1,37) sangat memungkinkan terjadinya penurunan polarisasi konsentrasi maupun fouling dari permukaan membran. Lemahnya tekanan / gaya dorong yang diberikan akan menyebabkan komponen pengotor yang menempel pada permukaan membran akan dengan mudah dibersihkan / disapu oleh laju alir umpan. Sedangkan pada tekanan diatas 1,37 bar sampai 2,07

bar menyebabkan interaksi antara larutan umpan dengan membran semakin kuat.. Kondisi ini jelas memberikan peluang

terbentuknya fouling dan polarisasi konsentrasi yang tinggi.

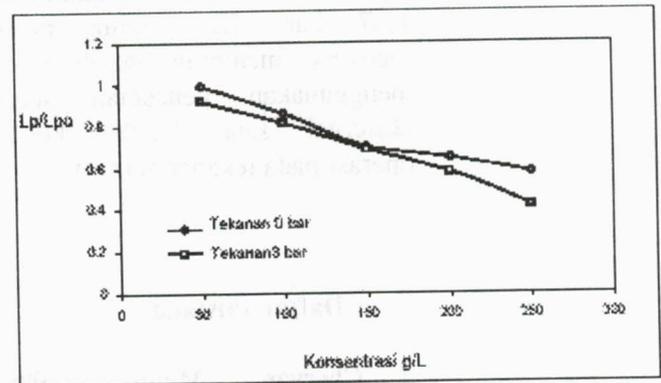


Gambar 3.4 Kurva transmisi vs waktu, pada tekanan 1.37 bar, dan pH 7

Hubungan antara transmisi dengan lamanya waktu operasi dapat dilihat pada gambar 3.4. Secara umum transmisi yang dihasilkan oleh larutan gula sebesar 98,61 % dan nira tebu sebesar 98,18 % dengan transmisi non gula sebesar 28 %. Transmisi yang relative besar dan konstan terhadap waktu operasi dengan transmisi non sukrosa yang cukup rendah mengidentitifikasikan bahwa proses Ultrafiltrasi yang cukup prospektif dimanfaatkan sebagai pengganti proses konvensional yang proses pemurniannya menghasilkan produk dengan kandungan sukrosa dan pengotor masing-masing 63,5 % dan 44,8 %.

Untuk mengetahui besarnya pengaruh tekanan yang diberikan terhadap fenomena fouling yang dihasilkan dalam setiap proses salah satunya dapat dilakukan dengan membandingkan L_{p0} dan L_{pt} (permeabilitas awal dan permeabilitas akhir) proses. Apabila harga L_{pt}/L_{p0} mendekati harga satu berarti penurunan fluks sangat kecil. Sebaliknya jika harga L_{pt} / L_{p0} yang diperoleh memiliki harga mendekati nol artinya penurunan fluksnya semakin besar.

Percobaan dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi larutan gula.



Gambar 3.5. Karakteristik L_{pt}/L_{p0} terhadap perubahan konsentrasi larutan gula

4. Kesimpulan

1. Kenaikan pH umpan akan semakin mempercepat penyumbatan pori membran akibat semakin banyaknya pengotor pada umpan karena jumlah kapur yang ditambahkan semakin banyak begitu juga dengan semakin kecilnya pH karena akan terjadi penggumpalan karena ikatan ion yang dimiliki pengotor.
2. Transmisi sukrosa yang cukup tinggi 98% dan kecilnya jumlah transmisi non sukrosa yang melewati membran menunjukkan bahwa proses Ultrafiltrasi cukup prospektif untuk dipertimbangkan penggunaannya dalam industri gula.
3. Dalam proses Ultrafiltrasi terhadap nira tebu dengan membran polisulfon dengan MWCO 100000 kondisi operasi optimum yang diperoleh adalah pH 7 dengan TMP 1,37 bar. Dan untuk proses recovery membran masih cukup menggunakan pencucian secara eksternal saja dengan kondisi operasi pada tekanan 0 (nol).

Daftar Pustaka

1. Cheryan, Munir, (1986), *"Ultrafiltration Handbook"*, (Technomic Publishing

Company Inc), Pensylvania USA.

2. D.F.Day,(1992),*"Ultrafiltration and The Sugar Industries"*,Journal ASSCT, volume1, hal 74-78.
3. Moedokusumo A, (1993), *"Pengawasan Kualitas dan Teknologi Pembuatan Gula di Indonesia"*, (Penerbit ITB), Bandung.
4. Mulder, Marcel, (1991), *"Basic Principles of Membrane Technology"*,(Kuwert Academic Publisher),Nederlands.
5. S. Kishihara, S. Fujii, and M. Komoto, (1983), *"Ultrafiltration of Cane Juice: Influence of flux and quality of permeate"*,(Departement of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture Kobe University), Japan.
6. S. Kishihara, S. Fujii, and M. Komoto, (1983), *"Improvement of flux in Ultrafiltration of Cane Juice"*, (Departement of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture Kobe University), Japan
7. Wenten I G, (1999), *"Teknologi Membran Industrial : Peristiwa Fouling"*, (Penerbit ITB), Bandung.