

KAJIAN PEMURNIAN NIRA TEBU MENGGUNAKAN MEMBRAN ULTRAFILTRASI DENGAN SISTEM ALIRAN SILANG (CROSSFLOW)

Suprihatin

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB

ABSTRAK

Membran filtrasi merupakan salah satu alternatif untuk menghasilkan gula berkualitas tinggi dengan biaya relatif rendah, karena penerapan membran filtrasi dalam industri gula mampu menurunkan warna produk (ICUMSA), kandungan bahan pengotor, dan menghasilkan produk bebas dari unsur sulfur. Teknologi ini juga diyakini dapat memperpendek tahapan proses, mereduksi kebutuhan bahan kimia dan energi, sehingga biaya produksi berpotensi dapat direduksi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji kinerja berbagai jenis membran dalam aplikasinya untuk pemurnian nira tebu, mencakup fluks yang dapat dicapai, nilai rejeksi membran terhadap bahan pengotor nira, dan kualitas nira yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan sesuai dengan prinsip aliran silang (*cross flow*), menggunakan 3 tingkat tekanan yaitu 0,7, 1,4 dan 2,1 bar dan laju alir 0,42 m/s. Karakteristik nira tebu sebelum dan sesudah filtrasi ditentukan melalui pengukuran total padatan terlarut (briks), kadar sukrosa (polarisasi), warna larutan (ICUMSA), kejernihan, dan pH. Membran polisulfon yang dibuat sendiri di laboratorium mampu menghasilkan fluks berkisar antara 25 – 30 L/m².jam pada tekanan 0,7-2,1 bar. Membran tersebut mampu meningkatkan nilai kejernihan dari 10 menjadi 60% transmisi dan menurunkan warna hingga 80-90%, setara dengan kemampuan membran ultrafiltrasi komersial.

Kata kunci: Pemurnian nira tebu, membran filtrasi

ABSTRACT

Membrane filtration is one of the alternative technologies to produce a high quality cane sugar with reasonable cost, because the application of its technology able to produce a lower color and impurities as well as sulphur free of product. This technology can reduce process steps, chemical and energy demand, so that the production cost is potentially reduced significantly. This research work was aimed to study the performance of various membrane filtrations in the application for clarifying sugar cane juice, covering the achievable flux, membrane rejection against impurities, and quality of the filtered juice. The experiments were conducted according to the principle of cross flow using three different transmembrane pressures of 0.7, 1.4 and 2.1 bar and cross flow rate of 0.42 m/s. Various membranes were studied in this experiments both commercial ultrafiltration membrane and in our laboratory prepared ultrafiltration membrane. Sugar cane juice before and after clarification were characterized by measuring the parameters of brix, sucrose concentration, solution color (ICUMSA), clarity, and pH. The polisulfone membrane, which was prepared in our laboratory, produced fluxes in the range of 25-30 L/m².h at the transmembrane pressures of 0.7 – 2.1 bar. The membranes increased clarity of the juice from app. 10 to 60% of transmission and reduced color up to 80-90%, comparable with the results of the commercial UF membrane.

Keywords: Cane sugar juice, membrane filtration

PENDAHULUAN

Gula merupakan salah satu komoditas perkebunan yang mempunyai peran strategis, karena gula adalah salah satu kebutuhan pokok masyarakat umum dan industri, seperti industri makanan, minuman dan farmasi. Kebutuhan gula nasional mencapai 3,3 juta ton per tahun (2004), hanya setengah dari kebutuhan tersebut dipenuhi dari gula

produksi dalam negeri, selebihnya dipenuhi dari gula impor. Kondisi ini diperparah oleh kondisi industri gula Indonesia saat menghadapi berbagai masalah besar, diantaranya adalah rendahnya kualitas produk dan produktivitas, serta tingginya biaya produksi. Hal ini menyebabkan kinerja dan daya saing industri gula dalam negeri sangat rendah.

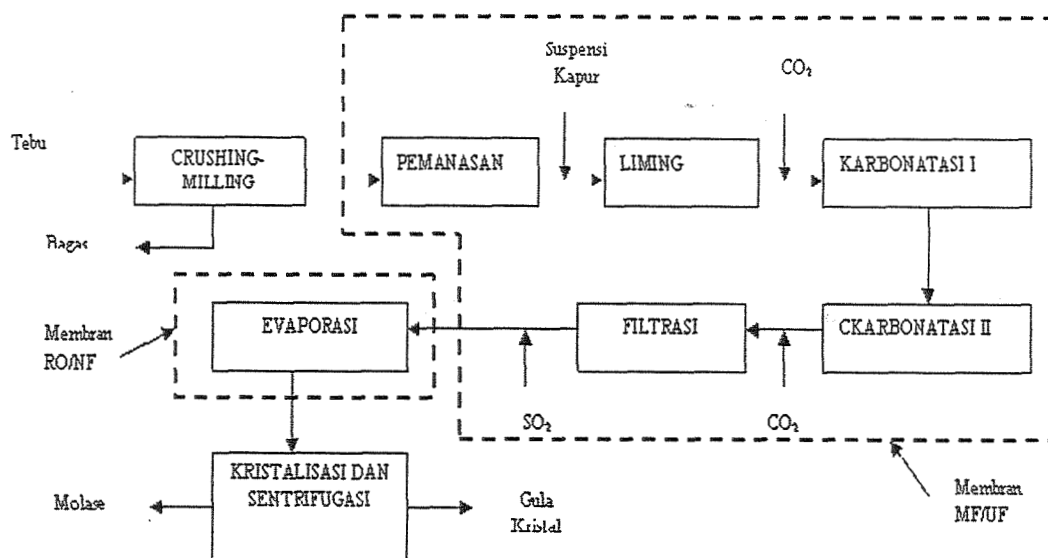
Salah satu alternatif teknologi yang dewasa ini dapat menghasilkan gula dengan kualitas tinggi dengan biaya relatif rendah adalah membran filtrasi. Penerapan membran filtrasi dalam industri gula dapat meningkatkan kualitas hasil (ICUMSA dan kandungan bahan pengotor rendah, dan bebas dari unsur sulfur). Teknologi ini juga dapat memperpendek tahapan proses, mereduksi kebutuhan bahan kimia dan energi, sehingga biaya produksi biaya produksi berpotensi dapat direduksi. Dalam proses produksi gula tebu, proses membran dapat diterapkan untuk klarifikasi nira tebu (jika digunakan membran ultrafiltrasi/UF), sebagai pengganti tahapan proses liming, karbonatasi, dan sulfitasi, sehingga kebutuhan bahan kimia kapur, CO₂, dan SO₂ dapat dihindari. Membran filtrasi juga dapat digunakan pemekatan nira tebu sebagai pengganti evaporasi, jika yang digunakan membran reverse osmosis/RO). Dengan penggantian proses evaporasi dengan proses membran filtrasi, kebutuhan energi dapat direduksi dan kerusakan produk akibat pemasaran dapat diminimumkan. Skema proses produksi gula, serta unit operasi yang dapat digantikan oleh proses membrane disajikan pada Gambar 1.

Menurut Sourirajan dan Matsura (1985), membran ultrafiltrasi dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi proses pemurnian nira tebu. Proses membran berpotensi mengurangi biaya operasional hingga 80%.

Menurut Chou (2002), membran ultrafiltrasi dapat diterapkan dalam industri gula. Chou mengembangkan proses SAT (*SAT process*), yakni proses pemurnian nira tebu menggunakan membran ultrafiltrasi dengan keunggulan (i) menghasilkan gula rafinasi dengan warna 80 – 200 IU, (ii) mengurangi kehilangan sukrosa hingga lebih dari 2%, dan (iii) mengurangi kadar sulfat/sulfit dalam gula.

Membran ultrafiltrasi dengan ukuran pori 0.01 – 0.1 µm dapat digunakan untuk menggantikan proses pemurnian nira secara konvensional. Hal ini disebabkan karena jenis membran ini mampu menahan pengotor makromolekul non gula (protein, polisakarida, dekstran, lilin, getah) serta dapat menghasilkan nira dengan kejernihan tinggi dan warna rendah (<http://www.teriin.org/case/sugar.htm>)

Godshall *et al* (2002) menggunakan membran spiral KOCH di dalam proses gula. Hasil yang diperoleh adalah (i) penurunan warna dari 4 – 48%, (ii) penurunan kekeruhan sebesar 93%, (iii) pengurangan pati sebesar 73%, (iv) pengurangan dekstran sebesar 63%, dan (v) pengurangan total polisakarida sebesar 73%.



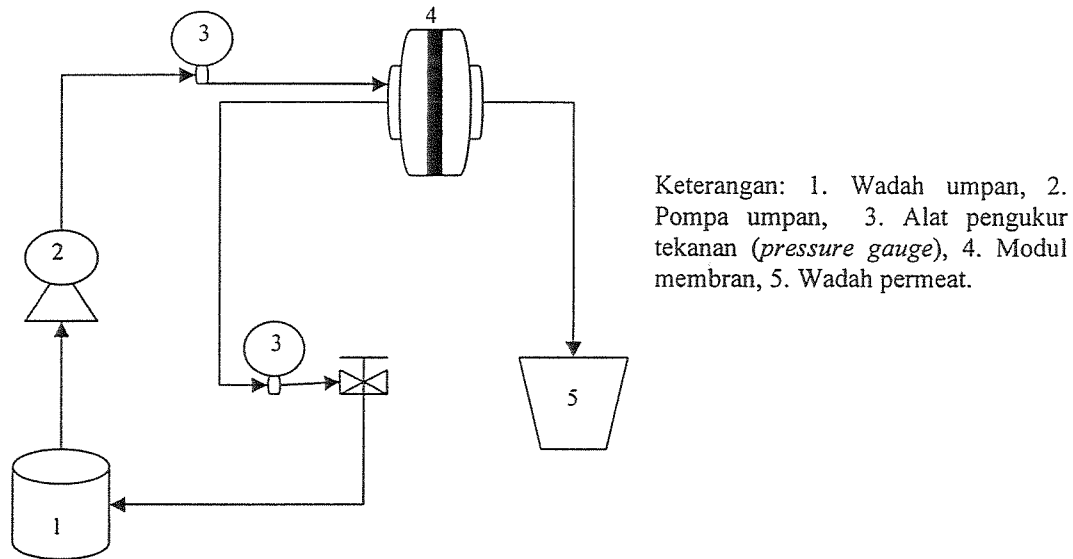
Gambar 1. Skema proses produksi gula konvensional, dan unit operasi yang dapat digantikan oleh membran filtrasi ditunjukkan dalam kotak dalam garis putus-putus (Cheryan, 1986)

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji kinerja berbagai jenis membran filtrasi yang disiapkan sendiri di laboratorium untuk klarifikasi nira tebu. Kinerja proses membran dinilai dari tingkat fluks membran, reduksi bahan pengotor nira, dan kualitas nira hasil filtrasi. Kinerja membran tersebut kemudian dibandingkan dengan kinerja membran komersial

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini meliputi nira tebu dan bahan untuk analisis karakteristik nira meliputi NaOH, aquades, Pb asetat, dan bahan-bahan kimia lainnya. Peralatan yang digunakan adalah seperangkat peralatan pengujian kinerja membran (Gambar 2), serta peralatan untuk analisis karakteristik nira meliputi spektrofotometer, *Saccharomat* refraktometer, dan pH meter.

Membran yang dikaji dalam penelitian ini mencakup membran yang dibuat sendiri di laboratorium, dengan bahan dasar kitosan, selulosa asetat dan polisulfon. Membran ini berbentuk plate dengan luas permukaan membran 0,0025 m². Selain itu, dikaji juga membran ultrafiltrasi komersial berbahan poliakril nitrit berbentuk hollow fibre dengan diameter luar 1,2 mm, diameter dalam 0,5 mm, dan ukuran pori 0,01 µm. Panjang hollow fibre berjumlah 100 dengan panjang masing-masing 40 cm, sehingga diperoleh total luasan luar fibre 0,1 m² atau setara dengan 0,0628 m² permukaan dalam. Data teknis membran yang digunakan untuk penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.



Keterangan: 1. Wadah umpan, 2. Pompa umpan, 3. Alat pengukur tekanan (*pressure gauge*), 4. Modul membran, 5. Wadah permeat.

Gambar 1. Peralatan uji kinerja membrane filtrasi untuk penjernihan nira

Sebelum digunakan, modul membran dibersihkan dengan cara pembilasan menggunakan air destilasi dengan suhu 50°C selama 5 menit untuk menghilangkan residu pada alat. Kemudian dilanjutkan dengan pembilasan menggunakan NaOH 0.8 % pada suhu 50°C secara sirkulasi selama 2 menit dan dibilas lagi oleh air destilata.

Percobaan klarifikasi nira dilakukan dengan cara mensirkulasikan nira tebu selama 180 menit dengan laju alir (v) = 0,42 m/s menggunakan 3 tingkat tekanan (p) yaitu 0,7, 1,4 dan 2,1 bar sesuai dengan prinsip aliran silang (*cross flow*). Penentuan fluks nira berbagai jenis membran dilakukan untuk mengetahui kemampuan membran dalam melewatkan sejumlah volume nira tebu dan membandingkan kemampuan berbagai jenis membran tersebut.

Pengukuran dilakukan terhadap karakteristik umpan (nira tebu) dan karakteristik hasil filtrasi, serta kinerja membran filtrasi (fluks dan tingkat rejeksi membrane terhadap pengotor nira). Parameter karakteristik umpan dan hasil filtrasi meliputi total padatan terlarut (briks), kadar sukrosa (polarisasi), warna larutan (ICUMSA), kejernihan, dan pH. Briks merupakan jumlah bahan kering terlarut dalam suatu larutan, atau sering disebut sebagai kekentalan. Briks diukur dengan menggunakan alat yang disebut dengan refraktometer. Polaritas menunjukkan jumlah kadar sukrosa dalam larutan.

Tabel 1. Spesifikasi teknis Membran

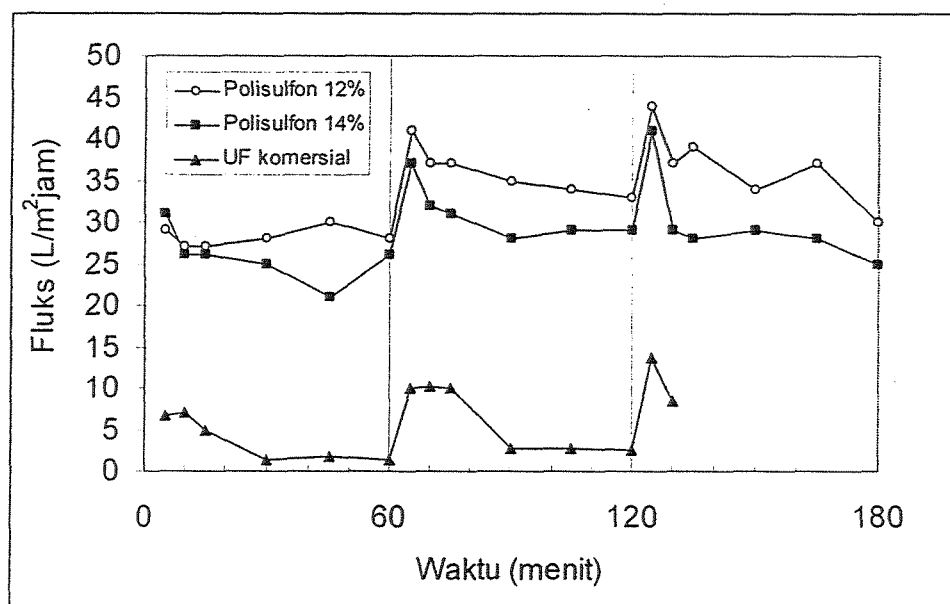
	Jenis Membran			
	Polisulfon 12% (PS 12)	Polisulfon 14% (PS 14)	Kitosan 10%	CA 18%
Tipe membran	plate	Plate	plate	Plate
Luas permukaan membrane (m^2)	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
Bahan	Polisulfon	Polisulfon	Polisulfon	Celulosa asetat
Fluks Air ($\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$)	387	340	45	171
Fluks larutan albumin 500 ppm ($\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$)	90	90	10	32
Rejeksi Albumin (%)	94	94	20	57

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fluks

Salah satu parameter penting kinerja proses membran filtrasi adalah fluks, karena nilai fluks menentukan luasan membran yang diperlukan. Gambar 2 menunjukkan perubahan fluks berbagai jenis membran selama operasi. Dari gambar tersebut terlihat bahwa seiring dengan perubahan waktu operasi, nilai fluks nira semakin menurun. Hal ini terjadi karena kotoran – kotoran yang terdapat dalam nira terdorong ke permukaan membran akibat aliran permeat, sehingga kotoran dalam nira menutupi sebagian permukaan membran dan fluks mengalami penurunan.

Pada semua kasus teramai adanya penurunan fluks secara cepat pada awal waktu operasi dan setelah sekitar 30 menit fluks mencapai kondisi mendekati tunak (fluks tidak menurun lebih lanjut). Nilai fluks yang dicapai dipengaruhi oleh jenis membran dan tekanan transmembran. Pada tekanan transmembran 0,7 bar diperoleh fluks sekitar 25 L/m²jam untuk membran PS 14 dan 30 L/m²jam untuk membran PS 12. Peningkatan tekanan transmembran menjadi 1,4 bar dan 2,1 bar menyebabkan peningkatan nilai fluks menjadi sekitar 33 L/m²jam untuk PS 12 dan 30 L/m²jam untuk PS 14. Nilai ini jauh lebih tinggi dibanding dengan nilai fluks UF komersial, yang hanya sekitar 3 L/m²jam pada kondisi yang sama. Rendahnya nilai fluks UF membran hollow fibre ini disebabkan oleh kecilnya diameter dalam fibre (hanya 0,5 mm), sehingga pori membran mudah tersumbat. Pengubahan sistem pengaliran feed, yaitu dari sisi luar fibre dan aliran permeat menuju ke dalam fibre, merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi adanya penyumbatan fibre membran.



Gambar 2. Fluks berbagai jenis membran ($v = 0,42$ m/s, $p = 0,7$ bar untuk waktu operasi 0 - 60 menit, $p = 1,4$ bar untuk waktu operasi 60-120 menit, dan $p = 2,1$ bar untuk waktu operasi 120 – 180 menit)

Sebagai pembandingan pada Tabel 2 disajikan nilai fluks yang dapat dicapai berbagai jenis membran dalam aplikasinya untuk klarifikasi nira hasil penelitian dari Thailand. Membran UF dengan MWCO (*Molecular weight cut-off*) lebih dari 10 kDa menghasilkan fluks berkisar antara 14 sampai 16 L/m² jam. Membran dengan MWCO lebih kecil menghasilkan fluks permeat rendah. Membran selulosa asetat dengan MWCO

5 kDa menghasilkan fluks hanya sekitar 1 L/m²jam, dan membran polisulfon dengan MWCO 10 kDa menghasilkan fluks sekitar 2 L/m²jam.

Tabel 2. Fluks berbagai jenis membran dalam aplikasinya untuk pemurnian nira (Promraksa *et al.*, 2004).

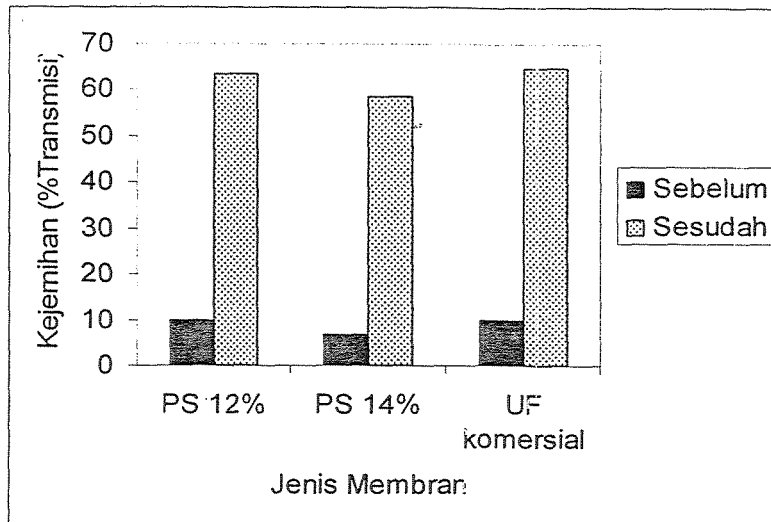
UF polisulfon:							
MWCO	300 kDa	100 kDa	30 kDa	10 kDa			
Fluks: (L/m ² jam)		16,49	15,88	14,04	1,98		
UF Triacetat:							
MWCO	20 kDa	10 kDa	5 kDa				
Fluks: (L/m ² jam)		21,13	32,83	62,39			
MF selulose acetat (CA) dan Cellulose nitrate (CN):							
Ukuran Pori, Bahan	0,2 µm, CN	0,2 µm, CA	0,8µm, CA				
Fluks: (L/m ² jam)		21,13	32,83	62,39			

Penelitian lain menggunakan membran kitosan 10% dan membran selulosa asetat 18% menunjukkan bahwa fluks nira kedua jenis membran tersebut nilainya sangat kecil, yaitu masing-masing 0.41 L/m².jam dan 0.81 L/m².jam. Hal ini disebabkan oleh adanya fouling, yaitu fenomenan penyumbatan pori membran oleh bahan pengotor nira atau adanya interaksi antara bahan pengotor tersebut dengan membran. Akibat tingginya kecenderungan terjadinya fouling, jenis membran ini tampaknya tidak sesuai untuk filtrasi nira tebu.

Efektivitas filtrasi

Nira mentah hasil dari penggilingan tebu berwarna coklat agak kehitam-hitaman karena masih mengandung zat – zat bukan gula seperti kotoran kasar (tanah, ampas halus), kotoran tersuspensi (getah, lilin, bahan organik non – sukrosa). Selama filtrasi terjadi pemisahan bahan-bahan yang lebih besar dari ukuran pori membran dengan bahan dengan ukuran lebih kecil dari ukuran pori membran. Akibat dari proses pemisahan tersebut, maka terjadi perubahan karakteristik nira yang ditandai adanya peningkatan kejernihan dan penurunan warna nira.

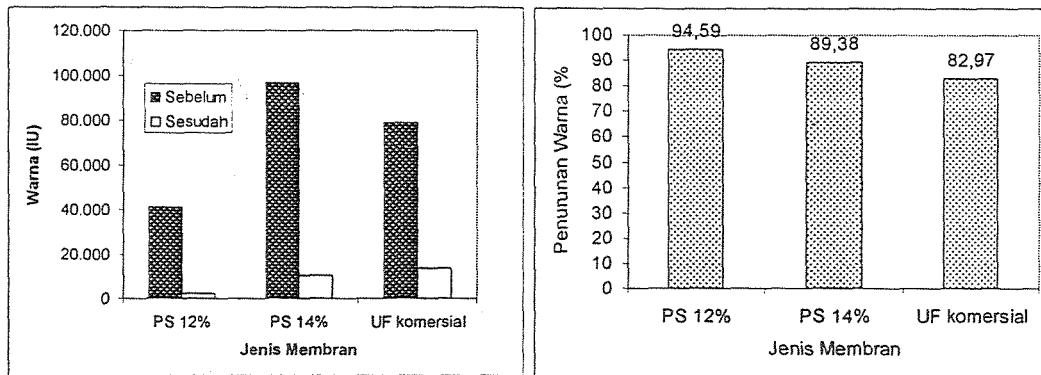
Tingkat kejernihan nira diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 373 nm. Satuan yang digunakan adalah persen transmisi dengan aquades sebagai pembanding (100%). Hasil menunjukkan bahwa setelah melewati membran filter kejernihan nira mengalami peningkatan yang sangat berarti. Sebagai contoh, dengan polisulfon 12% kejernihan nira meningkat dari 9,9 menjadi 63,4 %transmisi, sedangkan dengan membran UF komersial kejernihan meningkat dari 9,85 menjadi 64,8 %transmisi. Perbandingan kejernihan nira sebelum dan sesudah filtrasi disajikan pada Gambar 3. Dari hasil tersebut tampak bahwa hasil penjernihan dengan menggunakan membran yang disiapkan sendiri di laboratorium sebanding dengan hasil penjernihan dengan menggunakan membran filtrasi komersial.



Gambar 3. Perbandingan kejernihan nira sebelum dan sesudah filtrasi dengan menggunakan berbagai jenis membran

Warna pada nira tebu berasal dari kotoran – kotoran (tanah, lilin, lemak) yang terbawa pada proses penggilingan. Sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 4, warna nira dapat direduksi secara signifikan dengan menggunakan membran filtrasi. Penurunan warna nira berkisar antara 80 sampai 90 persen. Dengan menggunakan membran filtrasi, prekursor warna dapat dipisahkan dari nira sebelum nira diumpan ke unit evaporasi dan kristalisasi. Penghilangan prekursor warna akan meningkatkan kualitas gula yang dihasilkan. Sebagaimana hasilnya dengan parameter kejernihan, hasil penjernihan dengan menggunakan membran yang disiapkan sendiri di laboratorium sebanding dengan hasil penjernihan dengan menggunakan membran filtrasi komersial, ditinjau dari parameter warna.

Warna kristal gula sangat dipengaruhi oleh warna dan kemurnian umpan. Semakin rendah warna cairan umpan, semakin baik warna gula yang dapat dihasilkan. Penghilangan warna dapat dilakukan dengan affinas (pemisahan warna secara mekanik), karbonasi, fosfatasi, karbon dan resin ion exchange. Penghilangan warna tersebut dilakukan sebelum tahapan proses kristalisasi. Kristalisasi dapat menghilangkan sekitar 90 – 96%



Gambar 4. Perubahan warna nira akibat filtrasi, a) warna nira sebelum dan sesudah filtrasi, dan b) persentase penurunan warna akibat dari filtrasi dengan menggunakan berbagai jenis membran

Karakteristik Nira Hasil Filtrasi

Sebagaimana didiskusikan di atas, berbagai bahan pengotor dengan ukuran lebih besar dari ukuran pori membran akan ditahan oleh membran. Hal ini ditunjukkan oleh adanya peningkatan kejernihan nira atau penurunan warna nira. Tabel 3 menunjukkan karakteristik nira hasil filtrasi membran. Sebagai contoh, warna nira yang dihasilkan oleh membran polisulfon 12% adalah 11.439 IU sedangkan warna hasil membran ultrafiltrasi komersial adalah 13.614 IU. Hasil ini masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian Nutabonis (2004) yakni 8.726 IU. Hal ini diperkirakan karena pada penelitian Nutabonis (2004) sebelum disaring dengan membran, nira tebu didefekasi terlebih dahulu sehingga telah mengurangi sebagian besar kotoran yang terkandung dalam nira.

Tabel 3. Karakteristik nira hasil filtrasi

Parameter\Jenis membran	PS 12	PS 14	UF komersial
pH	5,39	5,63	6,01
Briks (%)	9,44	10,10	8,64
Polarisasi (%)	9,45	9,90	7,60
Warna (IU)	2.242	10.262	13.614
Kejernihan (%T)	63,40	58,60	64,80

Secara teknis, faktor terpenting dalam pemilihan membran adalah bahan membran dan ukuran pori, yang dinyatakan dalam bobot molekul. Bahan membrane mempengaruhi ketahanan fisik dan kimia membran terhadap pengaruh nira. Keberhasilan proses membran untuk klarifikasi nira ditentukan oleh kemampuannya untuk mengeliminasi partikel-partikel halus, makromolekul seperti polisakarida, dekstran, pati, gum, lilin dan khlorofil.

Proses membran merupakan unit operasi yang dapat menggantikan proses karbonasi dan/atau sulfitasi untuk menghasilkan gula kristal putih. Karbonasi terkait dengan isu lingkungan berkaitan dengan pembuangan endapan karbonat, terutama untuk pertimbangan jangka panjang. Sulfitasi telah lama diketahui terkait dengan masalah serius terkait dengan ketidakstabilan proses, kesulitan operasional, hasil sukrosa rendah akibat tingginya tingkat kehilangan sukrosa dan kualitas produk rendah, termasuk tingginya kadar SO₂ dan masalah penyimpanan produk.

KESIMPULAN

Teknologi membran belakang ini diyakini dapat menurunkan biaya produksi dan meningkatkan kualitas produk gula. Membran filtrasi mampu memisahkan komponen pengotor nira yang ukurannya lebih besar dari pada ukuran pori membran, seperti protein pati, dekstran, lilin dan khlorofil. Hasil kajian menggunakan membran yang disiapkan sendiri di laboratorium mampu menghasilkan fluks antara 25-30 L/m²jam. Membran yang dibuat dari polisulfon ini mampu meningkatkan kejernihan nira dari sekitar hanya 10 menjadi 60% transmisi (air distilata memiliki kejernihan 100% transmisi), dan menurunkan warna sekitar 80-90 persen, setara dengan kemampuan membran ultrafiltrasi komersial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik nira hasil filtrasi adalah sebagai berikut: pH 5,4 - 6,0, briks 8,6 - 10,1 %, polaritas: 7,6 - 9,9 %, warna: 2.242 - 13.614 IU, dan kejernihan 58,6 - 64,8 % transmisi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Sdr. Bunga Ardhika Puri dan M. Doni Darmawan atas bantuannya dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Cheryan, M. 1986. Ultrafiltration Handbook. Technomic publishing Co., Basel
- Chou, C.C. 2002. White and Refined Sugar Production from Cane Sugar Factories. <http://www.esugartech.com> [artikel online], diakses tanggal 21 April 2005
- Godshall, M.A. et al. 2002. Potential New Product Development Using Membrane. Sugar Processing Research Institute, Inc., New Orleans, Louisiana. *di dalam* 2002 SPRI Conference. <http://www.spriinc.org/buton7abs2002.html> [artikel online], diakses tanggal 21 April 2005
- Nutabonis, L M. 2004. Kajian Aplikasi Teknologi Membran Pada Proses Pemurnian Nira Tebu. Tesis. Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Promraksa, A., Srijanboon, K., Flood, A., and Flood, C. A study of the effectiveness of producing raw sugar crystals without the use of purification by lime treatment. School of Chemical Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand. <http://www.ipus.org>
- Sourirajan, S., T. Matsuura. 1985. Reverse Osmosis / Ultrafiltration Process Principles. National Research Council. Canada. Dalam Wenten, I.G. 2002. Future Industrial Prospect of Membrane Technology in Indonesia. <http://www.floindo.com/>. [artikel online], diakses tanggal 11 April 2005