

## PEMEKATAN LARUTAN TEMBAGA SULFAT DENGAN TEKNIK MEMBRAN OSMOSIS BALIK

Yohan, Rifaid M. Nur

Pusat Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif

### ABSTRAK

**PEMEKATAN LARUTAN TEMBAGA SULFAT DENGAN TEKNIK MEMBRAN OSMOSIS BALIK.** Telah dipelajari fenomena perpindahan massa pada teknik membran osmosis balik menggunakan membran komposit modul spiral wound dan larutan tembaga sulfat dalam aquadest sebagai larutan umpan. Penelitian ini dilakukan sebagai langkah awal untuk mempelajari kemungkinan penggunaan teknik ini untuk pemekatan limbah radioaktif cair aktivitas rendah. Percobaan dilakukan pada konsentrasi larutan umpan tembaga sulfat dari 5 - 20 g/l, tekanan operasi dari 40 - 120 psi dan waktu operasi dari 5 - 70 menit. Hasilnya menunjukkan bahwa faktor rejeksi, fluks permeat dan konsentrasi tembaga sulfat dalam permeat dipengaruhi oleh konsentrasi tembaga sulfat dalam larutan umpan dan tekanan operasi. Faktor rejeksi dan fluks permeat yang tinggi serta konsentrasi tembaga sulfat dalam permeat yang rendah diperoleh pada konsentrasi tembaga sulfat dalam larutan umpan di bawah 20 g/l dan tekanan operasi di atas 100 psi. Sementara itu, untuk tujuan pemekatan hingga 25 g/l, 10 liter larutan tembaga sulfat dengan konsentrasi 10 g/l dan tekanan operasi 100 psi diperlukan waktu pemekatan 50 menit jika menggunakan modul membran berukuran panjang 24,5 cm dan diameter 4,8 cm.

### ABSTRACT

**USE OF REVERSE OSMOSIS MEMBRANE TECHNIQUE FOR CONCENTRATING COPPER SULFATE IN AQUEOUS SOLUTION.** Mass transfer phenomena in reverse osmosis membrane were studied using spiral wound module of composite membrane, and copper sulfate aqueous solution as feed solution. The aim of this research was to study the possibility of reverse osmosis membrane technique to be used for concentrating low level liquid radioactive waste. Experiments were done at various concentrations of copper sulfate (5-20 g/l), operation pressure (40-120 psi) and operation time (5-70 minutes). The results showed that the rejection factor, permeate flux and copper sulfate concentration in permeate were influenced by concentration of copper sulfate in feed solution and operation pressure. High permeate flux and rejection factor; and low concentration of copper sulfate in permeate were obtained when concentration of copper sulfate in feed solution less than 20 g/l and operation pressure more than 100 psi. Operation time 50 minutes was required using membrane module 24.5 cm in length and 4.8 cm in diameter for concentrating copper sulfate concentration in feed up to 25 g/l, 10 liters of 10 g/l feed solution.

### PENDAHULUAN

Membran osmosis balik (*reverse osmosis* atau *hyperfiltration*) merupakan salah satu pemisahan padat-cairan untuk ukuran molekul zat terlarut yang sangat kecil (di bawah 10 Å), menggunakan membran selulosa asetat, komposit, poliamida, dan lain-lain, dengan modul *tubular*, *spiral wound*, *flat sheet* atau *hollow fiber*. Teknik ini mulai dikenal sejak tahun 1960-an dan banyak dikembangkan oleh *Office of Saline Water, U.S. Department of the Interior* untuk maksud desalinasi air laut dan air payau [1]. Sampai saat ini pengembangan teknik ini untuk desalinasi air laut telah banyak dilakukan oleh perusahaan-perusahaan besar di Amerika, Jepang, Inggris, Italia, dan lain-lain. Di Amerika misalnya terdapat *Desalination System Inc.*, *Film Tech. Corp.*, *Hydronautics*, *Millipore Corp.*, *Osmonic Inc.*, dan lain-lain. Di Jepang terdapat *Daicel Chemical Industries Ltd.*, *Nitto Electric Industries Co., Ltd.*, *Sumitomo Chemical Co., Ltd.*, *Teijin Engineering Ltd.*, *Toray Industries Co.*, dan lain-lain [2].

Sementara itu, pengolahan limbah radioaktif cair aktivitas rendah umumnya dilakukan secara evaporasi. Dalam proses ini diperlukan media pemanas yang biasanya berupa uap. Untuk memproduksi uap diperlukan energi yang besar. Selain itu dalam proses ini adalah timbulnya kerak dan buih. Kerak terjadi pada dinding pipa alat penukar panas yang akan mengurangi harga koefisien perpindahan panas, sehingga kebutuhan uap meningkat.

Sedangkan buih menyebabkan terbawanya partikel yang tidak diinginkan dan unsur-unsur yang mudah menguap ke distilat, sehingga menurunkan kualitas distilat yang dihasilkan. Pada pengolahan limbah cair dengan pengendapan kimia dan resin penukar ion, memerlukan bahan kimia yang banyak disamping adanya kesulitan pemisahan partikel-partikel koloid.

Untuk menghindari masalah tersebut di atas, sebagai alternatif perlu dikembangkan teknik pengolahan limbah radioaktif cair aktivitas rendah dengan menggunakan membran, khususnya membran osmosis balik. Teknik ini tidak memerlukan energi panas, tidak banyak menggunakan bahan kimia, sangat baik untuk memisahkan partikel koloid serta tidak dijumpai masalah kerak dan buih; hanya terjadi peningkatan konsentrasi partikel padat pada dinding membran. Namun hal ini relatif mudah diatasi, misalnya dengan menaikkan tekanan operasi [4], begitu pula dengan limbah yang mudah menguap.

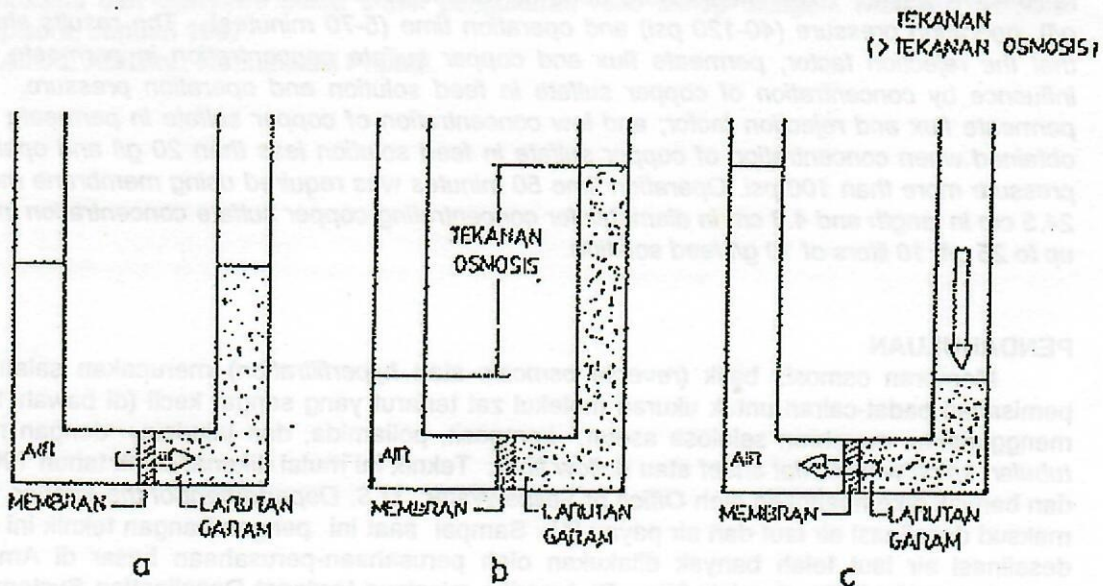
Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari fenomena perpindahan massa pada membran osmosis balik dengan menggunakan membran komposit modul *spiral wound* dan larutan tembaga sulfat dalam air sebagai larutan umpan, sebagai langkah awal dalam rangka mempelajari kemungkinan penggunaan teknik ini untuk pemekatan limbah radioaktif cair aktivitas rendah.

### TEORI

Prinsip osmosis balik diperlihatkan pada Gambar 1. Jika larutan garam dan air dipisahkan dengan membran semipermeabel, maka air akan menembus membran hingga menaikkan tinggi permukaan larutan garam. Peristiwa ini disebut peristiwa osmosis. Perbedaan tinggi permukaan larutan garam dengan air merupakan tekanan osmosis sistem ini, yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan Van't Hoff untuk larutan ideal sebagai berikut

$$\pi = v . R . T . C_s \quad (1)$$

di mana  $\pi$  adalah tekanan osmosis,  $v$  adalah jumlah kation atau anion yang dihasilkan oleh disosiasi sempurna satu molekul elektrolit (misalnya untuk  $\text{CuSO}_4$  adalah 2),  $R$  adalah tetapan gas ideal,  $T$  adalah suhu dan  $C_s$  adalah konsentrasi zat terlarut.



Gambar 1. (a) Peristiwa Osmosis (b) Keseimbangan Osmosis (c) Osmosis Balik .

Sebaliknya, jika pada larutan garam diberikan tekanan, maka air dalam larutan garam akan berpindah ke sisi air. Peristiwa ini disebut osmosis balik dan tekanan yang diberikan adalah tekanan osmosis balik [3, 4].

Fluks air yang melewati membran,  $J_w$ , dapat dihitung dengan persamaan dasar sebagai berikut :

$$-J_w = K_p (\Delta P - \sigma \cdot \Delta\pi) \quad (2)$$

di mana  $K_p$  adalah koefisien permeabilitas yang diperoleh melalui percobaan,  $\Delta P$  adalah perbedaan tekanan pada dua sisi membran,  $\sigma$  adalah koefisien refleksi (idealitas membran) yang harganya antara 0 sampai 1 ( $\sigma = 1$  berarti membran hanya meloloskan air atau pelarut saja, sedangkan  $\sigma = 0$  artinya membran sama sekali tidak selektif), dan  $\Delta\pi$  adalah perbedaan tekanan osmosis larutan garam dan air.

Sedangkan fluks zat terlarut yang terikut bersama air,  $J_s$ , dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$J_s = -w \cdot \Delta\pi + (1 - \sigma) J_w \cdot C_s \approx -v \cdot w \cdot R \cdot T \cdot C_s + (1 - \sigma) J_w \cdot C_s \approx \quad (3)$$

di mana  $w$  adalah mobilitas zat terlarut yang besarnya pada saat  $J_w = 0$  adalah  $-J_s/\Delta p$ .  $C_s \approx$  adalah konsentrasi rata-rata logaritma, yang didefinisikan dengan  $\Delta C_s / \Delta(\ln C_s)$ .

Kemampuan hiperfiltrasi membran terhadap zat terlarut dinyatakan dengan faktor rejeksi,  $R$ , yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$R = 1 - C_p/C_f \quad (4)$$

di mana  $C_p$  adalah konsentrasi zat terlarut di dalam permeat,  $C_f$  adalah konsentrasi zat terlarut di dalam umpan.

Sedangkan faktor pemekatan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$F = \frac{C_f^0}{C_f^1} \quad (5)$$

di mana  $F$  adalah faktor pemekatan,  $C_f^0$  dan  $C_f^1$  berturut-turut adalah konsentrasi tembaga sulfat dalam larutan umpan pada saat awal dan pada waktu operasi.

## TATA KERJA

### Larutan Umpan

Sebagai larutan umpan digunakan serbuk tembaga sulfat ( $\text{CuSO}_4$ ) teknis produksi E. Merck yang dilarutkan ke dalam air bebas mineral. Larutan tembaga sulfat dibuat pada konsentrasi 5, 10, 15, 20, dan 25 g/l.

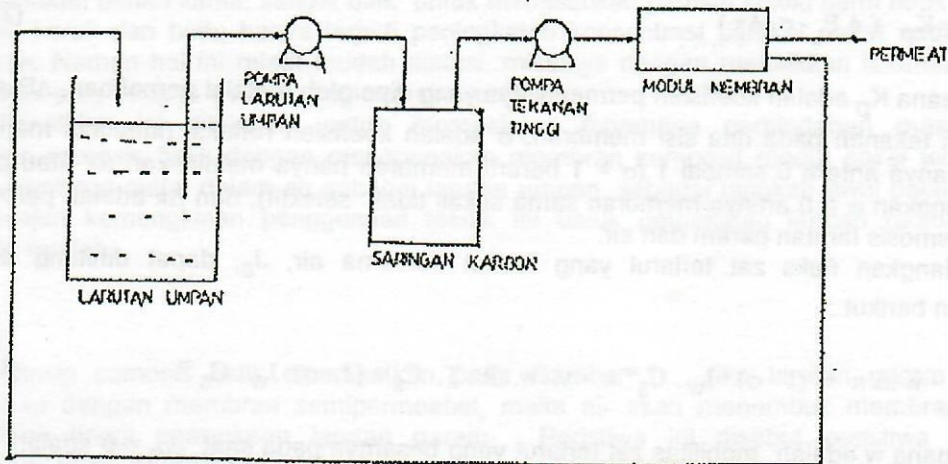
### Membran

Membran yang digunakan adalah membran komposit modul *spiral wound* buatan Water System, Inc. Amerika Serikat dengan panjang modul 24,5 cm dan diameter 4,8 cm.

### Prosedur

Alat membran osmosis balik dirangkai seperti pada Gambar 2. Larutan umpan pada konsentrasi tembaga sulfat tertentu dilewatkan pada modul membran dengan tekanan operasi

tertentu. Permeat yang dihasilkan ditampung dalam gelas kimia, kemudian ditimbang dengan neraca pada waktu tertentu untuk menghitung fluks permeat. Konsentrasi tembaga dalam permeat diukur menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (buatan GBC Model 902) pada panjang gelombang 324,7 nm. Faktor rejeksi dihitung dengan persamaan 4. Pada konsentrasi tembaga sulfat dalam larutan umpan 10 g/l sebanyak 10 liter dan tekanan operasi 100 psi dilewatkan pada modul membran selama waktu tertentu. Faktor pemekatan dihitung dengan persamaan (5).

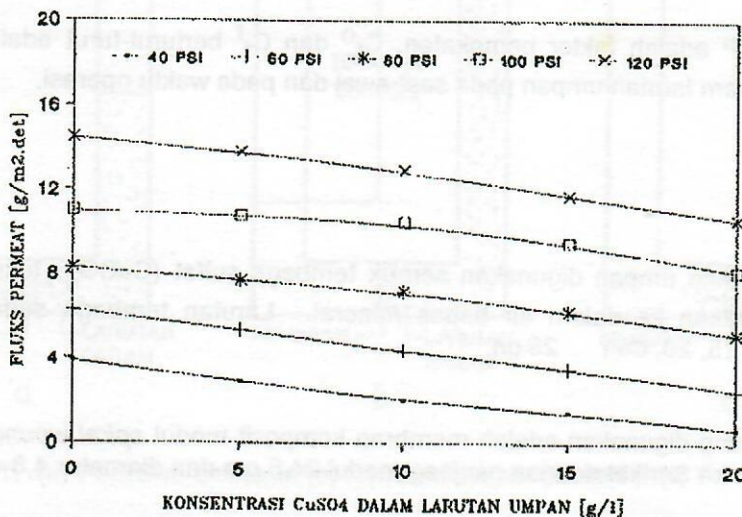


Gambar 2. Diagram Alir Peralatan Percobaan yang Digunakan

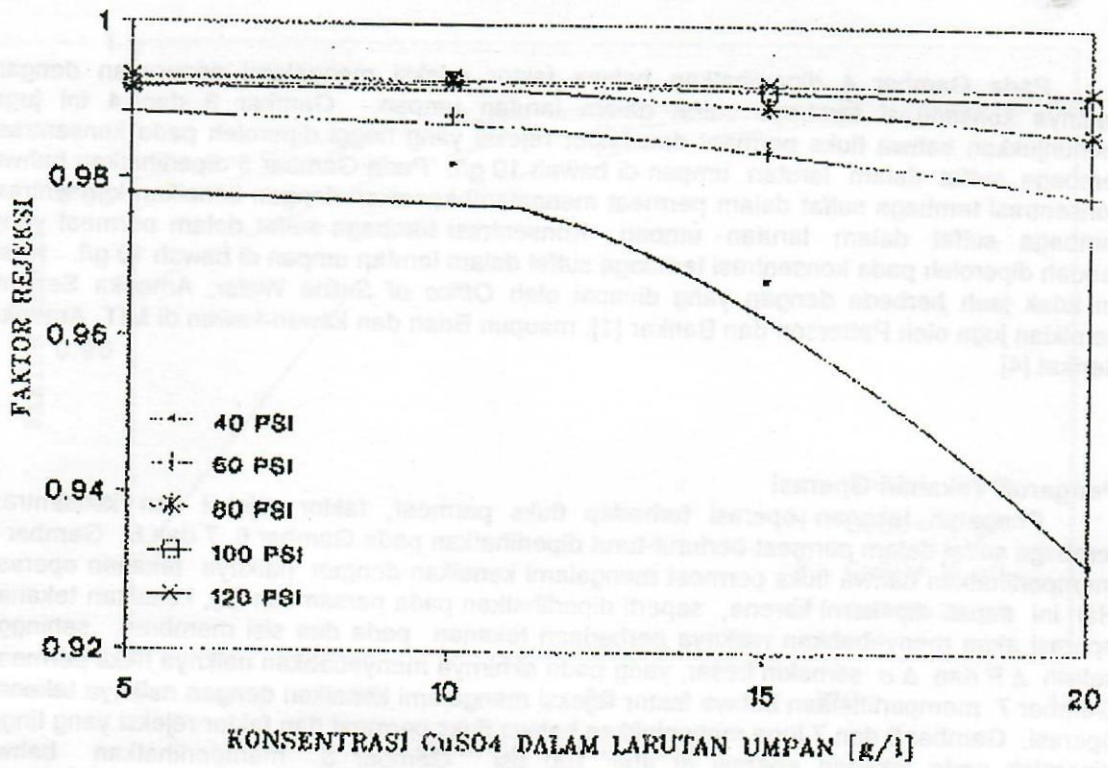
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Konsentrasi Tembaga Sulfat

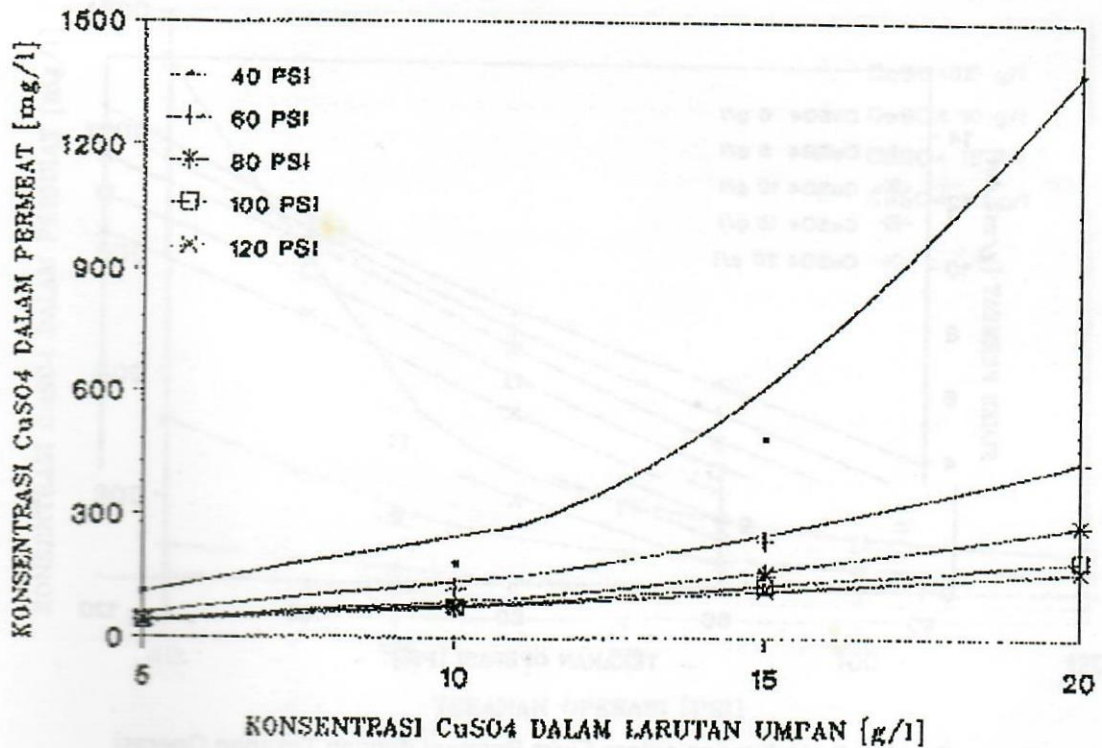
Pengaruh konsentrasi tembaga sulfat dalam larutan umpan terhadap fluks permeat ( $J_w + J_s$ ), faktor rejeksi dan konsentrasi tembaga sulfat dalam permeat berturut-turut diperlihatkan pada Gambar 3, 4 dan 5. Seperti diperlihatkan pada Gambar 3, fluks permeat mengalami penurunan dengan naiknya konsentrasi tembaga sulfat dalam larutan umpan. Hal ini dapat dipahami karena adanya polarisasi konsentrasi, di mana pada dinding membran konsentrasi tembaga sulfat lebih tinggi dari pada larutan umpan. Makin tinggi konsentrasi tembaga sulfat dalam larutan umpan, makin besar pula kenaikan konsentrasi tembaga sulfat pada dinding membran, sehingga semakin menghambat laju alir air melewati membran.



Gambar 3. Hubungan antara Fluks Permeat dengan Konsentrasi Tembaga Sulfat dalam Larutan Umpan



Gambar 4. Hubungan antara Faktor Rejeksi dengan Konsentrasi Tembaga Sulfat dalam Larutan Umpa

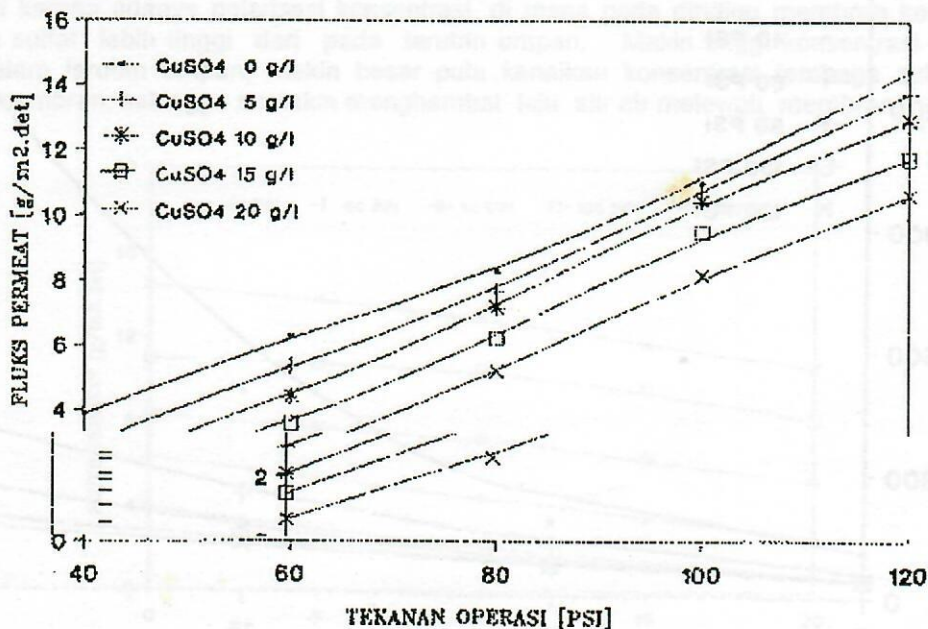


Gambar 5. Hubungan antara Konsentrasi Tembaga Sulfat dalam Permeat dengan Konsentrasi Tembaga Sulfat dalam Larutan Umpa

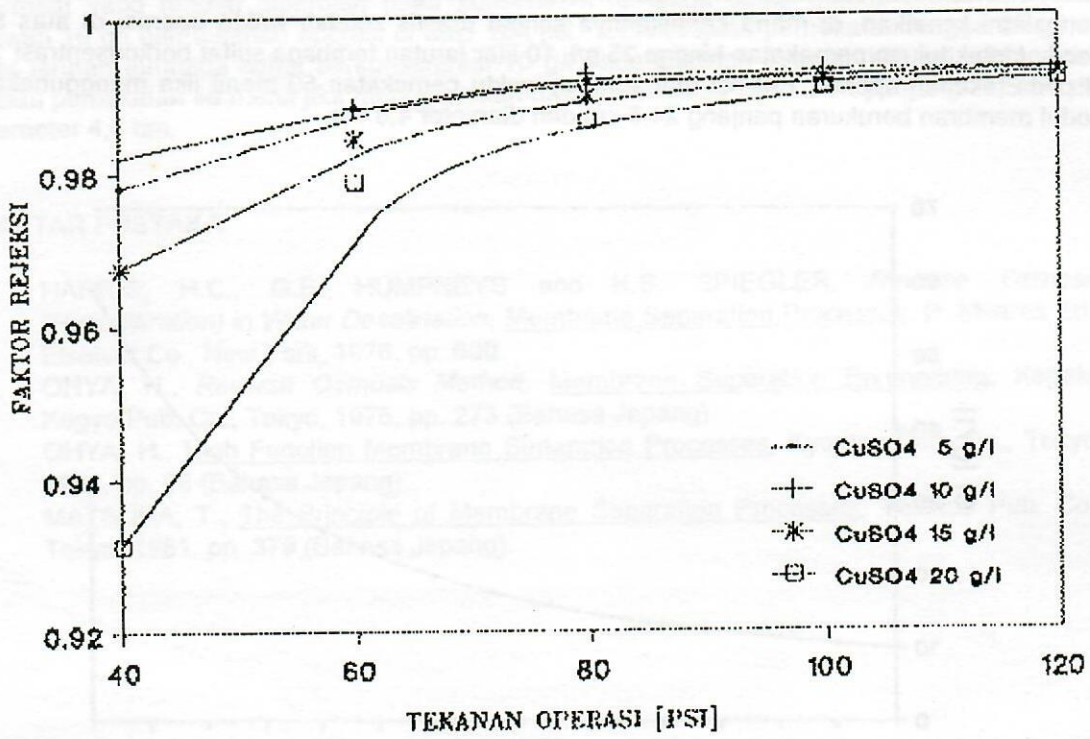
Pada Gambar 4 diperlihatkan bahwa faktor rejeksi mengalami penurunan dengan naiknya konsentrasi tembaga sulfat dalam larutan umpan. Gambar 3 dan 4 ini juga menunjukkan bahwa fluks permeat dan faktor rejeksi yang tinggi diperoleh pada konsentrasi tembaga sulfat dalam larutan umpan di bawah 10 g/l. Pada Gambar 5 diperlihatkan bahwa konsentrasi tembaga sulfat dalam permeat mengalami kenaikan dengan kenaikan konsentrasi tembaga sulfat dalam larutan umpan. Konsentrasi tembaga sulfat dalam permeat yang rendah diperoleh pada konsentrasi tembaga sulfat dalam larutan umpan di bawah 10 g/l. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan yang dicapai oleh *Office of Saline Water*, Amerika Serikat, demikian juga oleh Patterson dan Banker [1], maupun Brian dan kawan-kawan di MIT, Amerika Serikat [4].

### Pengaruh Tekanan Operasi

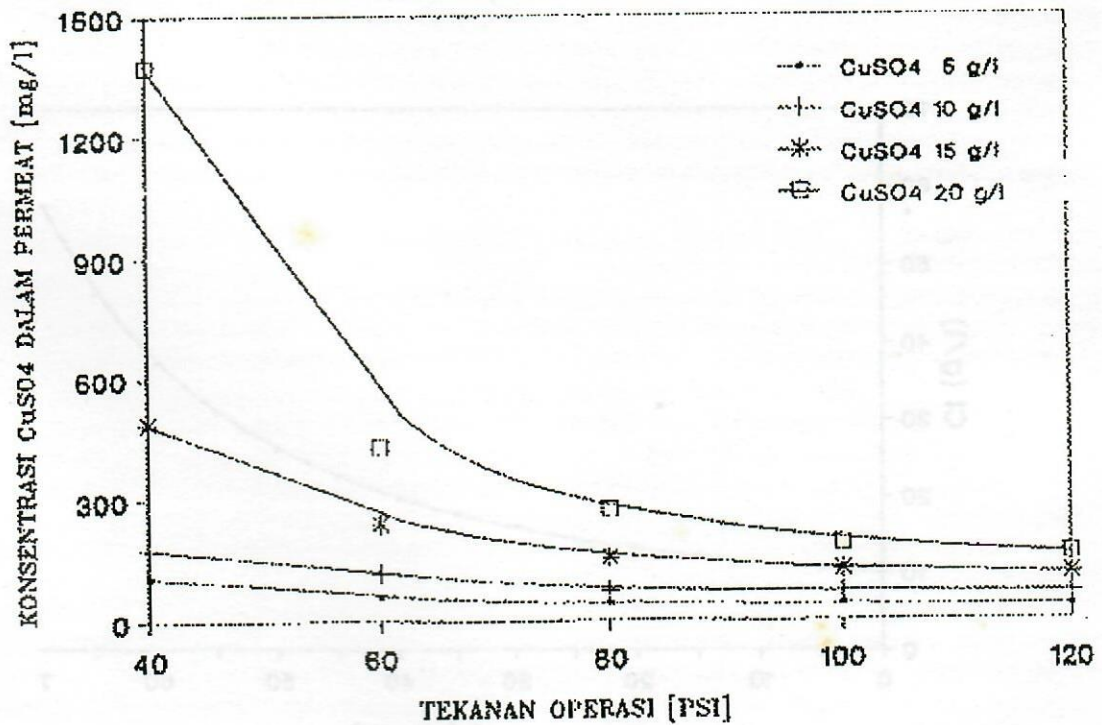
Pengaruh tekanan operasi terhadap fluks permeat, faktor rejeksi dan konsentrasi tembaga sulfat dalam permeat berturut-turut diperlihatkan pada Gambar 6, 7 dan 8. Gambar 6 memperlihatkan bahwa fluks permeat mengalami kenaikan dengan naiknya tekanan operasi. Hal ini dapat dipahami karena, seperti diperlihatkan pada persamaan (2), kenaikan tekanan operasi akan menyebabkan naiknya perbedaan tekanan pada dua sisi membran, sehingga selisih  $\Delta P$  dan  $\Delta \sigma$  semakin besar, yang pada akhirnya menyebabkan naiknya fluks permeat. Gambar 7 memperlihatkan bahwa faktor rejeksi mengalami kenaikan dengan naiknya tekanan operasi. Gambar 6 dan 7 juga menunjukkan bahwa fluks permeat dan faktor rejeksi yang tinggi diperoleh pada tekanan operasi di atas 100 psi. Gambar 8 memperlihatkan bahwa konsentrasi tembaga sulfat dalam permeat mengalami penurunan dengan naiknya tekanan operasi. Konsentrasi tembaga sulfat dalam permeat yang rendah diperoleh pada tekanan operasi di atas 100 psi. Hasil ini sesuai yang dilaporkan oleh Harris dan kawan-kawan [1], maupun yang dilaporkan oleh Kimura dan Sourirajan [4].



Gambar 6. Hubungan antara Fluks Permeat dengan Tekanan Operasi



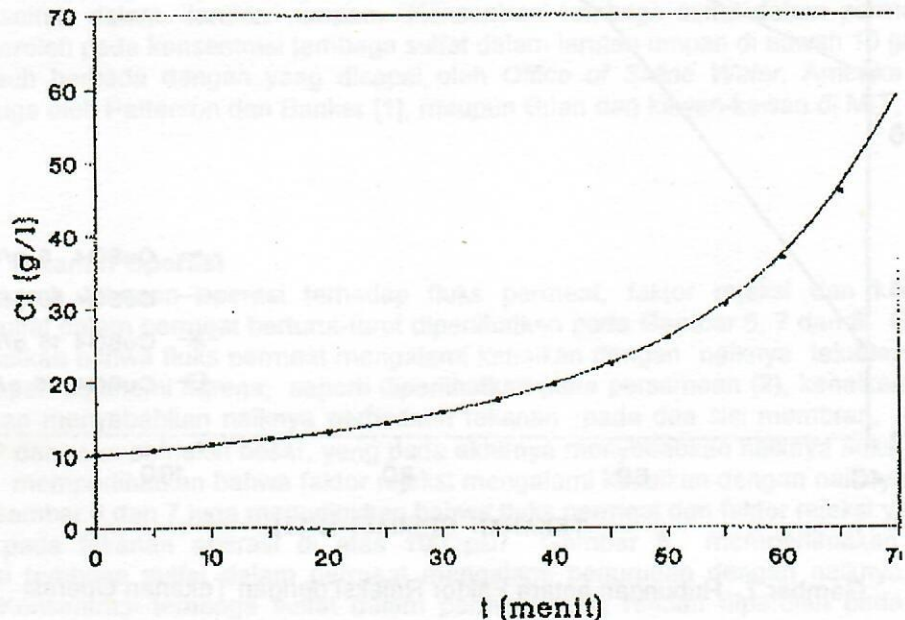
Gambar 7. Hubungan antara Faktor Rejeksi dengan Tekanan Operasi



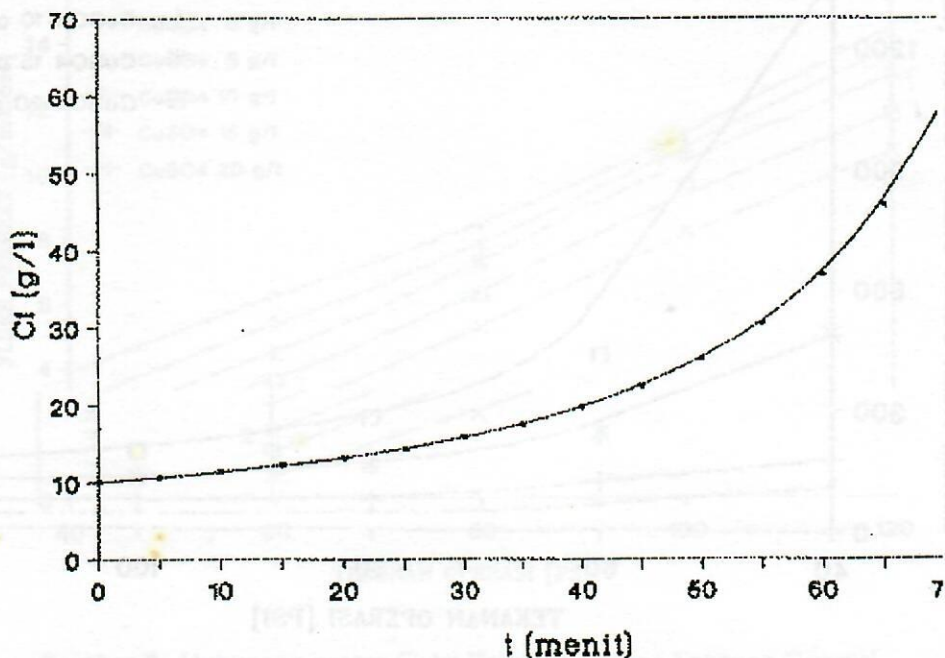
Gambar 8. Hubungan antara Konsentrasi Tembaga Sulfat dalam Permeat dengan Tekanan Operasi

### Pengaruh Waktu Operasi

Seperti diperlihatkan pada Gambar 9 dan 10, kenaikan waktu operasi menyebabkan naiknya konsentrasi tembaga sulfat dalam larutan. Dengan demikian, faktor pemekatan pun mengalami kenaikan, di mana kenaikannya sangat drastis setelah waktu operasi di atas 50 menit. Untuk tujuan pemekatan hingga 25 g/l, 10 liter larutan tembaga sulfat berkonsentrasi 10 g/l pada tekanan operasi 100 psi memerlukan waktu pemekatan 50 menit jika menggunakan modul membran berukuran panjang 24,5 cm dan diameter 4,8 cm.



Gambar 9. Hubungan antara Konsentrasi Tembaga Sulfat dalam Larutan Umpan ( $C_f$ ) dengan Waktu Operasi ( $t$ ).



Gambar 10. Hubungan antara Faktor Pemekatan (FP) dengan Waktu Operasi ( $t$ ).



## KESIMPULAN

Faktor rejeksi dan fluks permeat yang tinggi serta konsentrasi tembaga sulfat dalam permeat yang rendah diperoleh pada konsentrasi tembaga sulfat dalam larutan umpan di bawah 10 g/l dan tekanan operasi di atas 100 psi. Untuk tujuan pemekatan hingga 25 g/l, 10 liter larutan tembaga sulfat berkonsentrasi 10 g/l pada tekanan operasi 100 psi memerlukan waktu pemekatan 50 menit jika menggunakan modul membran berukuran panjang 24,5 cm dan diameter 4,8 cm.

## DAFTAR PUSTAKA

1. HARRIS, H.C., G.B. HUMPREYS and K.S. SPIEGLER, *Reverse Osmosis (Hyperfiltration) in Water Desalination, Membrane Separation Processes*, P. Meares Ed., Elsevier Co., New York, 1976, pp. 600.
2. OHYA, H., *Reverse Osmosis Method, Membrane Separation Engineering*, Kagaku Kogyo Pub. Co., Tokyo, 1976, pp. 273 (Bahasa Jepang).
3. OHYA, H., *High Function Membrane Separation Processes*, Kyoritsu Pub. Co., Tokyo, 1988, pp. 98 (Bahasa Jepang).
4. MATSURA, T., *The Principle of Membrane Separation Processes*, Yoshida Pub. Co., Tokyo, 1981, pp. 379 (Bahasa Jepang).