

PENGARUH KOMPOSISI LARUTAN CETAK (PVDF/KITOSAN/NMP/NH₄Cl) DAN NON PELARUT (H₂O/CH₃OH) TERHADAP KINERJA MEMBRAN POLYVINYLIDENE FLOURIDE (PVDF)-KITOSAN DALAM PEMISAHAN PEWARNA RHODAMIN-B
EFFECT OF CASTING SOLUTION (PVDF/KITOSAN/NMP/NH₄Cl) COMPOSITION AND NON SOLVENT (H₂O/CH₃OH) TO PVDF-CHITOSAN MEMBRANE PERFORMANCE IN THE SEPARATION OF RHODAMIN-B DYE

Yogi Kusuma Wardani* dan Nita Kusumawati

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences

State University of Surabaya

Jl. Ketintang Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

*Corresponding author, email: yogiikusuma@ymail.com

Abstrak. Penelitian ini dilakukan sebagai metode pengolahan limbah menggunakan membran Polyvinylidene fluoride (PVDF)-Kitosan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi blending dari larutan cetak membran PVDF-Kitosan yang memiliki sifat karakteristik, mekanik dan kinerja membran. Untuk memastikan bahwa membrane PVDF-Kitosan terbentuk, membran diuji FT-IR sehingga muncul gugus apa saja yang ada dalam spektra. Sifat mekanik membrane PVDF-Kitosan diketahui dari uji autograph, untuk mengetahui sifat karekteristik dilakukan analisa menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) sehingga dapat diketahui morfologi permukaan Sementara, untuk mengetahui kinerja membran menggunakan "dead-end" dengan tekanan 1 atm, data yang dihasilkan adalah nilai fluks serta Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi Rhodamin-B yang melewati membran, data yang diperoleh adalah nilai rejeksi. Membran PVDF-Kitosan terbaik didapat pada komposisi 14/1/84/1 (PVDF/KITOSAN/NMP/NH₄Cl) pada non pelarut H₂O/CH₃OH 50%:50%, dengan nilai modulus young 1662.3 N/m², fluks sebesar 662 L/m² dan rejeksi sebesar 93.35%. Membran terbaik diuji dengan SEM dan SAA, tampak bahwa membrane yang dihasilkan merupakan membrane yang berpori dengan ukuran pori lebih rapat.

Kata kunci: membran, PVDF, NMP, Kitosan, pengolahan limbah.

Abstract. This research was conducted as a method of waste treatment using membrane polyvinylidene fluoride (PVDF)-Chitosan. This study aims to determine the composition of the casting solution and non-solvent on a PVDF-Chitosan membrane. Preparation of PVDF-Chitosan membrane used the method of inverse phase with immersion-precipitation technique. PVDF membrane has characteristic properties, mechanical and membrane performance. The mechanical properties of the PVDF-Chitosan membrane is known from autograph test, determine the nature of the membrane characteristics analyzed using Scanning Electron Microscope (SEM) so that it can be seen Meanwhile surface morphology, determine the performance of the membrane using a "dead-end" with a pressure of 1 atm, the resulting data is flux and UV-Vis spectrophotometer determine the concentration of Rhodamine-B that pass through the membrane. The data obtained is the value of rejection. The best PVDF-Chitosan membrane was obtained on 14/1/84/1 composition (PVDF/CHITOSAN/NMP/NH₄Cl) in non- solvent 50 % H₂O:50% CH₃OH, with the value of Young's modulus 1662.3 N/m², the flux of 662 L/m² and a rejection of 93.35% . The best choosen membrane was tested with SEM and SAA, it appears that the resulting membrane is a porous membrane with a pore size of more closely.

Keywords: membrane, PVDF, NMP, Chitosan, waste treatment.

PENDAHULUAN

Industri tekstil adalah salah satu industri yang berkembang dengan pesat dan merupakan salah satu industri terpenting dalam suatu negara. Industri Tekstil dan Produk Tekstil (TPT) memberikan kontribusi nilai ekspor, selain itu juga menyerap banyak tenaga kerja. Dengan demikian, Industri TPT dapat dikatakan berperan sebagai sektor penopang pertumbuhan sektor pengolahan non migas atau manufaktur dalam negeri [1]. Namun demikian, di sisi lain, industri TPT juga mempunyai sisi negatif yaitu kontribusi limbah cair terbesar. Kompleksitas proses produksi dalam industri tekstil menyebabkan limbah cair yang dikeluarkannya mengandung banyak senyawa organik, terutama limbah zat warna sintesis. Salah satu zat warna sintesis yang banyak digunakan dalam produksi tekstil adalah Rhodamin-B. Dengan demikian perlu adanya upaya dalam pengolahan limbah.

Metode pengolahan limbah yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair, salah satunya proses yang telah diuji untuk pengolahan limbah tekstil cair adalah teknologi membran. Penelitian yang pernah dilakukan untuk pembuatan membran yang berbahan alami yaitu kitosan, namun membran Kitosan memiliki kelemahan yaitu memiliki sifat mudah retak, sifat mekaniknya tidak terlalu baik meliputi ketahanan yang lemah terhadap Regangan dan tarikan serta pori yang berbentuk spons[2]. Sebagai pilihan lainnya, *Polyvinylidene fluoride* (PVDF) menjadi pilihan untuk material membran. PVDF merupakan material membrane yang sedang berkembang beberapa tahun terakhir. PVDF salah satu material membrane ultrafiltrasi. bersifat semi kristalin dengan temperatur gelas sangat rendah (-40°C), yang menjadikan PVDF bersifat fleksibel dan sesuai untuk aplikasi membrane karena mempunyai temepatur operasional yaitu pada rentan ($-50-140^{\circ}\text{C}$) [3].

Beberapa penelitian tentang pemanfaatan membran PVDF salah satunya meneliti tentang pengaruh komposisi larutan cetak dan non pelarut metanol terhadap kinerja membran PVDF dalam pemisahan pewarna Indigo. Komposisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 14/84/2; 14.5/84/1.5; 15/84/1; 15.5/84/0.5; 16/84/0.

Berdasarkan penelitian tersebut komposisi yang terbaik yaitu (PVDF/NMP/ NH_4Cl)15.5/84/0.5 pada non pelarut 50% air:50% methanol, dengan nilai rejeksi 94.67%[4]. Namun demikian, membran tersebut memiliki kelemahan yaitu permukaan membran PVDF cenderung bersifat hidrofobik sehingga kinerjanya dalam proses pemisahan yang melibatkan cairan hidrofilik menjadi lebih rendah dari yang seharusnya. Oleh karena itu, untuk dapat menghasilkan membran yang memiliki kinerja terbaik dalam proses pengolahan limbah yang komponen terbesarnya adalah air, juga akan dilakukan upaya modifikasi permukaan dan pori internal membran menggunakan teknik *blending* kitosan, diharapkan akan menghasilkan membran dengan kinerja terbaik. Keuntungan dari *blending* membran PVDF-Kitosan adalah untuk mengurangi penggunaan bahan sintesis dengan menambahkan bahan sintesis dari bahan alami, sehingga lebih ramah lingkungan dan mudah untuk di regenerasi.

Membran PVDF-Kitosan yang dihasilkan melalui teknik perendaman-pengendapan dalam metode inverse fasa dengan non pelarut ($\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_3\text{OH}$). Membran PVDF-Kitosan yang sudah jadi, selanjutnya diuji FT-IR untuk mengetahui membran PVDF-Kitosan benar-benar sudah terbentuk, kemudian diuji kekuatan mekaniknya dengan menggunakan *autograph*, dan kinerja membran dengan menggunakan “*dead-end*” untuk pemisahan pewarna Rhodamin-B. Membran terbaik akan dilihat morfologi permukaan membrane dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

METODE PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain, alat gelas, pipet tetes, pipet volum, neraca analitik, cawan petri, dan *hotplate stirrer*. Instrumen yang digunakan untuk analisis meliputi, *Transform Infra Red* (FTIR), *Scanning Electron Microscope* (SEM), *autograph*, reaktor membran “*dead-end*” dan spektrofotometri UV-Vis.

Bahan

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah PVDF, NMP, larutan kitosan 2%, Rhodamin-B, non pelarutnya yang digunakan air:methanol (H₂O:CH₃OH)

PROSEDUR PENELITIAN

Pembuatan Larutan Cetak

Larutan cetak terdiri dari NMP, PVDF, larutan kitosan 2% sebagai agen blending, NH₄Cl, semua campuran di aduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur 35-40°C selama 15 menit. Larutan cetak direndam dalam bak koagulasi yang berisi non pelarut air:metanol, dengan perbandingan 75/25; 50/50 dan 25/75 %(v/v). Membran padat yang terbentuk dicuci dengan aquades untuk membersihkan sisa pelarut, setelah itu dikeringkan. Komposisi larutan cetak yang digunakan adalah PVDF : KITOSAN : NMP : NH₄Cl adalah (12/2/84/2; 13/1.5/84/1.5; 14/1/84/1; 15/0.5/84/0.5; 16/0.5/84/0.5).

Uji FT-IR

Membran PVDF-Kitosan diuji FT-IR untuk mengetahui membrane PVDF-Kitosan sudah terbentuk

Uji kekuatan mekanik membran PVDF

Membran PVDF-Kitosan dipotong dengan ukuran 6x1cm dan diuji pada alat autograph. Nilai yang diperoleh dimasukkan kedalam rumus 1[5]:

$$Y = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (1)$$

dengan: Y = Modulus Young (N/m²)

σ = tegangan (N/m²)

ϵ = regangan

Uji permeabilitas membran PVDF

Membran PVDF-Kitosan yang sudah kering, dipotong sesuai ukuran yang dibutuhkan dari reaktor "Dead-end" dengan tekanan 1 atm menggunakan larutan umpan pewarna Rhodamin-B 50 ppm. Dicatat waktu yang dibutuhkan larutan untuk melewati membrane sampai larutan habis.

Uji selektivitas membran PVDF

Larutan Rhodamin-B setelah melewati membrane diukur konsentrasinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Konsentrasi yang dihasilkan dihitung untuk mendapatkan nilai Rejeksi dengan menggunakan rumus 2 [6]:

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_r} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

dengan :R= Koefisien Rejeksi (%)

C_p = konsentrasi zat terlarut dalam permeat

C_r= konsentrasi zat terlarut dalam umpan

Uji morfologi membran PVDF

Membran PVDF-Kitosan terbaik dilihat morfologi permukaan dengan menggunakan instrument Scanning Electron Microscopy (SEM).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Membran PVDF-Kitosan

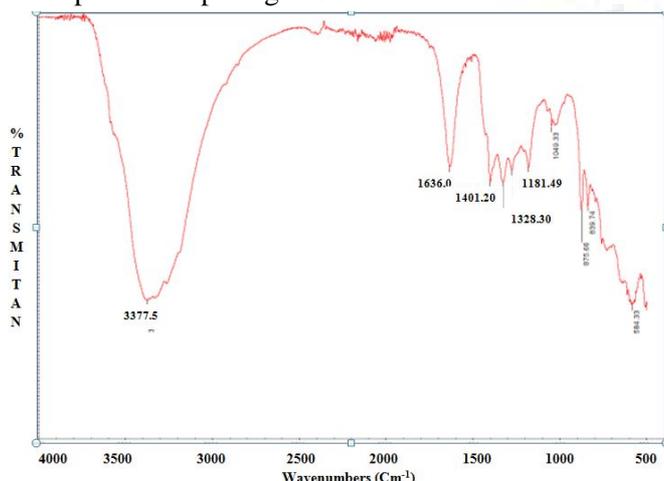
Preparasi membran PVDF-Kitosan, pada penelitian ini menggunakan metode inverse fasa dengan teknik perendaman-pengendapan. Pemilihan metode tersebut karena preparasinya sederhana dan skala produksinya lebih fleksibel[7].

Pada proses pembuatan membran PVDF-Kitosan, yang pertama dilakukan adalah membuat larutan cetak. Bahan awal adalah material PVDF ditambah NH₄Cl sebagai porogen dan kitosan sebagai bahan *blending* pada membran PVDF, dilarutkan dalam pelarut *-Methyl Pyrrolidinone* (NMP). NMP merupakan salah satu pelarut yang terbaik dari polimer PVDF.

Proses pemisahan fasa dari ketiga komposisi perendaman non pelarut pada penelitian ini membutuhkan waktu yang bervariasi, dimana semakin besar komposisi CH₃OH dalam kombinasi non pelarut (H₂O/CH₃OH), akan semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya inversi fasa hingga diperoleh membran PVDF-Kitosan padat. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa untuk komposisi non pelarut 75% H₂O-25% CH₃OH; 50% H₂O-50% CH₃OH; dan 25% H₂O-75% CH₃OH, terjadinya proses pemisahan fasa hingga diperoleh membran PVDF padat masing-masing adalah selama 1 menit; 5 menit ; dan 15 menit untuk komposisi non pelarut 25% H₂O-75% CH₃OH, dimana pada komposisi tersebut, proses pemisahan fasa membutuhkan waktu yang jauh lebih lama untuk dapat menghasilkan proses pemisahan fasa.

Uji FT-IR

Karakterisasi spektrum FT-IR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsi dari membran yang telah dibuat. Analisis ini juga digunakan untuk melihat kemungkinan terjadinya reaksi pada tahap pengolahan yang ditandai dengan munculnya gugus-gugus fungsi baru yang sebelumnya tidak terdeteksi atau sebaliknya. Berdasarkan hasil pengukuran dengan menggunakan FT-IR diperoleh spektra membran *polyvinylidene fluoride* (PVDF)-Kitosan yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Spektra FT-IR Membran PVDF-Kitosan

Berdasarkan pita serapan yang terdapat pada spektrum FT-IR, gugus fungsi yang terdapat dalam sampel membran dapat dirangkum seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisa FT-IR Membran PVDF-Kitosan

Jenis Membran	Membran	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
12/2/84/2 Non pelarut: 50% H ₂ O : 50% CH ₃ OH	KOMPOSIT PVDF- KITOSAN	3.377,63	-OH
		1.636,06	C=C alkana
		1.401,20	C-H alkana
		1.277,65 cm ⁻¹	C-N amina
		1.328,30	atau - CO
		1.181,49	C-F

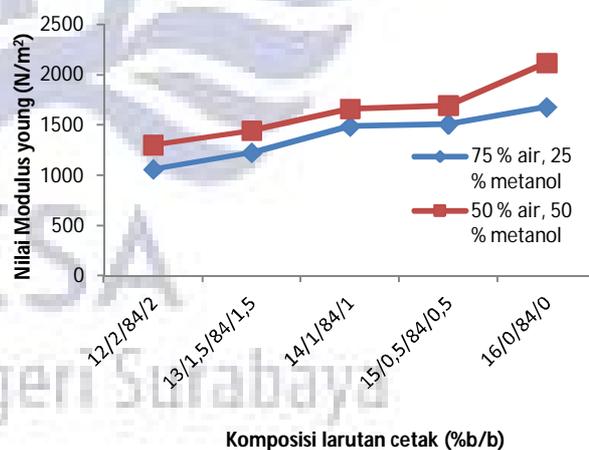
Berdasarkan tabel 1, dapat disimpulkan bahwa membran komposit PVDF-Kitosan telah terbentuk.

Hasil Kekuatan Mekanik Membran PVDF-Kitosan

Pengukuran kekuatan mekanik dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan membrane untuk bias rusak dengan gaya yang diberikan. Sifat mekanik dapat diketahui dengan uji tarik. Uji tarik bertujuan untuk mengetahui gaya yang dibutuhkan untuk membuat membran PVDF-Kitosan terputus. Data hasil pengujian dengan alat *autograph* dijasikan dalam tabel 2 dan gambar 4.4.

Tabel 2. Nilai Modulus Young Membran PVDF-Kitosan

No	Larutan Cetak (PVDF/Kitosan/NMP/NH ₄ Cl) (%b/b)	Larutan Non Pelarut (H ₂ O/CH ₃ OH) (%v/v)	Modulus Young (N/m ²)
1	12/2/84/2		1060.38
2	13/1.5/84/1.5		1226.26
3	14/1/84/1	75/25	1486.92
4	15/0.5/84/0.5		1508.64
5	16/0/84/0		1679.11
6	12/2/84/2		1302.46
7	13/1.5/84/1.5		1445.08
8	14/1/84/1	50/50	1662.3
9	15/0.5/84/0.5		1695.87
10	16/0/84/0		2117.64



Gambar 2. Grafik Modulus Young Membran PVDF-Kitosan

Berdasarkan data tabel 2 dan gambar 2 dapat disimpulkan bahwa semakin banyak komposisi PVDF dalam larutan cetak, maka semakin banyak partikel PVDF yang terdistribusi secara rapat dan merata, sehingga membran PVDF-Kitosan memiliki pori yang rapat. Struktur

dan jarak molekul yang rapat dalam membran mempunyai kekuatan tarik yang besar. Hal yang sebaliknya, menyebabkan susunan partikel dalam larutan cetak tersebar tidak merata, sehingga membrane mudah rapuh saat diuji tarik dan memiliki nilai modulus young yang kecil. Hal tersebut terlihat pada membran dengan komposisi 12/2/84/2 (PVDF/Kitosan/NMP/NH₄Cl) pada non pelarut 25% CH₃OH mempunyai nilai modulus young kecil yaitu 1060.38 N/m², sedangkan pada komposisi 16/0/84/0 nilai modulus young 2117.64N/m² dengan non pelarut 50%CH₃OH

Kinerja Membran PVDF-Kitosan

Kinerja membran meliputi:

1. Permeabilitas (Fluks)

Kinerja membran PVDF-Kitosan dalam pemisahan pewarna Rhodamin-B dapat dilihat salah satunya dari nilai fluks yang dihasilkan melalui proses uji alir menggunakan reaktor membran “dead end”. Fluks adalah kecepatan partikel menembus membran

Pengukuran nilai fluks bertujuan untuk melihat ukuran pori dan ukuran partikel yang akan dipisahkan. Nilai fluks dan laju alir akan bernilai semakin besar seiring dengan semakin besarnya porositas membran.

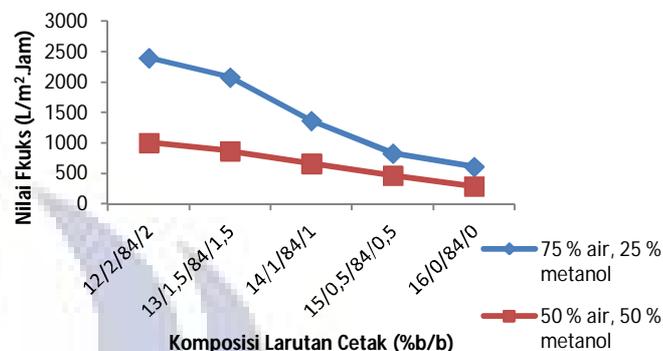
Data hasil uji alir larutan pewarna Rhodamin-B oleh membran PVDF-kitosan yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 3 dan gambar 3.

Tabel 3. Nilai Fluks Membran PVDF-Kitosan

No	Larutan Cetak (PVDF/Kitosan/NMP/NH ₄ Cl) (%b/b)	Larutan Non Pelarut (H ₂ O/CH ₃ OH) (%v/v)	Fluks (L/m ² .Jam)
1	12/2/84/2		2395
2	13/1.5/84/1.5		2080
3	14/1/84/1	75/25	1366
4	15/0.5/84/0.5		831
5	16/0/84/0		613
6	12/2/84/2		1006
7	13/1.5/84/1.5		869
8	14/1/84/1	50/50	662
9	15/0.5/84/0.5		466
10	16/0/84/0		293

Pada tabel 3, dapat diketahui bahwa pada komposisi 12/2/84/2

(PVDF/KITOSAN/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 25%H₂O nilai rejeksi yang dimiliki adalah 2395 L/m².jam, sedangkan membran pada komposisi (PVDF/KITOSAN/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 50%CH₃OH memiliki nilai rejeksi sebesar 1006 L/m².jam.



Gambar 3. Grafik Nilai Fluks Membran PVDF-Kitosan

Semakin banyak komposisi PVDF dalam larutan cetak, akan mengakibatkan menurunnya nilai fluks. Hal ini disebabkan semakin meningkatkan jumlah partikel kitosan dan NH₄Cl akan mengakibatkan terbentuknya konfigurasi polimer yang terdistribusi lebih renggang dibandingkan dengan partikel PVDF. Hal ini akan membuat gaya dorong yang diperlukan lebih kecil untuk melewati partikel tertentu dalam membran sehingga kecepatan larutan umpan melewati membran semakin tinggi.

2. Selektivitas (Rejeksi)

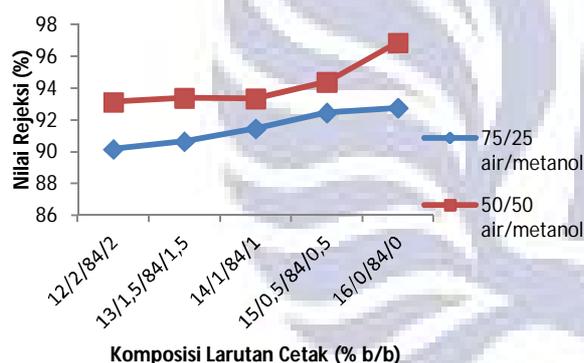
Rejeksi merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan kemampuan membrane melewati spesi tertentu dan menahan spesi yang lain. Koefisien rejeksi mempunyai nilai sempurna yaitu 100%, apabila zat terlarut dapat tertahan sempurna oleh membran. Berdasarkan hasil perhitungan nilai koefisien rejeksi dapat dilihat pada tabel 4 dan gambar 4.

Data nilai rejeksi membran PVDF-kitosan yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4 dan gambar 4. Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa membran pada komposisi 12/2/84/2 (PVDF/KITOSAN/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 25% H₂O memiliki nilai rejeksi, yaitu

90.17% sedangkan membran pada komposisi 16/0/84/0 (PVDF/KITOSAN/NMP/NH₄Cl) dengan non pelarut 50% CH₃OH memiliki nilai rejeksi sebesar 96.87 %.

Tabel 4. Nilai Rejeksi Membran PVDF-Kitosan

No	Larutan Cetak (PVDF/Kitosan/NMP/NH ₄ Cl) (%b/b)	Larutan Non Pelarut (H ₂ O/CH ₃ OH) (%v/v)	Rejeksi (%)
1	12/2/84/2		90.17
2	13/1.5/84/1.5		90.65
3	14/1/84/1	75/25	91.46
4	15/0.5/84/0.5		92.46
5	16/0/84/0		92.77
6	12/2/84/2		93.14
7	13/1.5/84/1.5		93.39
8	14/1/84/1	50/50	93.35
9	15/0.5/84/0.5		94.39
10	16/0/84/0		96.87

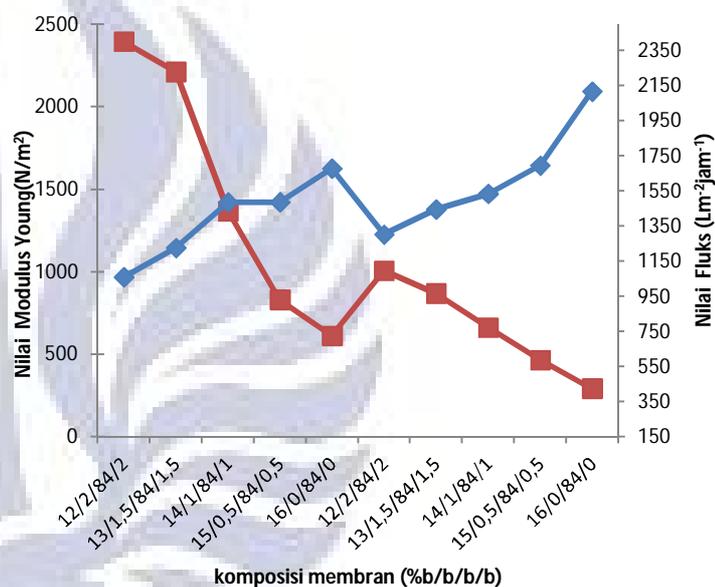


Gambar 4. Grafik Nilai Rejeksi Membran PVDF-Kitosan

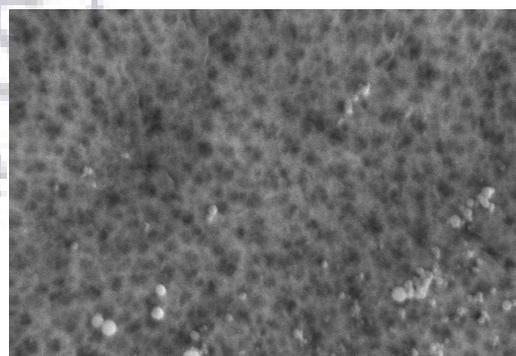
Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak komposisi PVDF dalam larutan cetak, maka semakin rendah pula nilai rejeksi membrane PVDF-Kitosan. Hal ini disebabkan komposisi PVDF yang rendah dalam larutan cetak mengakibatkan kerapatan antar partikel yang tinggi, sehingga ukuran pori membrane PVDF-Kitosan yang terbentuk memiliki ukuran pori yang lebih besar dibandingkan dengan membran PVDF-kitosan yang memiliki kadar PVDF yang lebih banyak. Membran yang mempunyai ukuran pori kecil menyebabkan nilai rejeksi yang tinggi karena pori-pori yang kecil, mengakibatkan membran memiliki tingkat selektivitas yang baik.

Morfologi Permukaan Membran PVF-Kitosan

Pada penelitian ini dilakukan analisis morfologi membran PVDF dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada membran PVDF-Kitosan. Membrane terbaik akan dilihat morfologi permukaan pada membran tersebut. Membran terbaik diperoleh dari perpotongan nilai *modulus young* dan fluks, dapat dilihat pada grafik 5, membran terbaik terletak pada komposisi (PVDF/Kitosan/NMP/NH₄Cl) 14/1/84/1 dengan non pelarut 50% H₂O:50% CH₃OH.



Gambar 5. Grafik Perpotongan Nilai Modulus Young dan Fluks

Gambar 6. Morfologi Permukaan Membran PVDF-Kitosan pada komposisi (PVDF/Kitosan/NMP/NH₄Cl) 14/1/84/1 dengan non pelarut 50% H₂O:50% CH₃OH.

PENUTUP

Simpulan

Komposisi larutan blending dan non pelarut berpengaruh pada kekuatan mekanik dan kinerja membran PVDF-Kitosan. Semakin banyak komposisi PVDF seiring dengan menurunnya komposisi Kitosan dalam larutan cetak dan semakin besar persentase CH_3OH dalam non pelarut ($\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_3\text{OH}$), maka semakin kecil nilai fluks, semakin besar nilai rejeksi dan semakin besar nilai *Modulus Young*. Morfologi dan ukuran pori dilihat dari membrane terbaik yang diperoleh dari hasil silang antara nilai fluks dan *modulus young*, masing-masing mempunyai nilai $662(\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{Jam})$ dan $1662.3(\text{N}/\text{m}^2)$ yang memiliki pori dengan ukuran pori lebih rapat.

Saran

Perlu diadakan penelitian penelitian lebih lanjut mengenai :

1. Kemurnian non pelarut terhadap kinerja, morfologi dalam komposit PVDF-Kitosan
2. Melihat pengaruh komposisi larutan cetak terhadap keseragaman ketebalan membrane yang dihasilkan, perlu dilakukan pengukuran ketebalan membrane menggunakan micrometer skrup
3. Melihat penampakan melintang membrane PVDF-Kitosan yang merupakan salah satu parameter morfologi membrane asimetri.

DAFTAR PUSTAKA

1. Pandu,Rangga. 2014. *Kemenperin Dorong Pengembangan SDM Industri TPT*. <http://www.antaraneews.com/berita/414986/ke-menperin-dorong-pengembangan-sdm-industri-tpt>
2. Kavitha dan namasivayam. 2008. *Chitin/Chitosan and Derivatives for Wastewater Treatment*.
3. Nunes,S.P and Peinemann, K.V.2006. *Membran Technology in The Chemical Industry*,2nd edition. Wilay: VCH.
4. Berlian, Binar. 2012. *Pengaruh Komposisi Larutan Cetak Polyvinylidene fluoride dan Non PelarutMetanol terhadap Kinerja Membran Polyvinylidene fluoride dalam Pemisahan Pewarna Indigo*. Skripsi yang

tidak diterbitkan. Universitas Negeri Surabaya.

5. Zemansky, Sears. 1994. *Fisika untuk Universitas I: Mekanika, Panas, dan Bunyi*. Binacipta. Bandung.
6. Scott, Keith., Hughes. R. 1996. *Industrial Membrane Separation Technology*. Great Britain: Hartnoll's Ltd. Bodmin.
7. Fu. Liu., N.A. Hashim., Liu. Yutie., K.Li. 2011. *Progress in The Production and Modification of PVDF Membrane*. Journal of Sciences. Vol. 375, hal. 1-27.