

## OPTIMASI SUHU DAN TEKANAN TERHADAP KADAR ETANOL PADA SISI PERMEAT

Bambang Dwi Argo<sup>(1)</sup>, Ubaidillah<sup>(1)</sup>, Kusuma Faisal Muhammad<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Jurusan Keteknikan Pertanian, Universitas Brawijaya

Jl. Veteran, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia

<sup>\*)</sup> Email: [dwiargo@ub.ac.id](mailto:dwiargo@ub.ac.id)

Pervaporasi (PV) adalah proses pemisahan untuk campuran cairan dengan bantuan membran tak berpori. Perpindahan massa pada proses pemisahan ini berdasarkan interaksi campuran senyawa umpan dengan membran. Pada proses ini, aliran umpan berupa fasa cair yang akan diubah menjadi permeat berfasa gas. Untuk menaikkan *driving force* umpan pada membran, dilakukan pemanasan pada umpan dan penambahan tekanan dari pompa vakum pada sisi permeat sehingga akan menaikkan tekanan parsial. Penelitian ini untuk mengetahui nilai optimal pada tekanan sisi permeat dan suhu umpan untuk mendapatkan kadar etanol yang terbaik dengan menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM). Penelitian dilakukan berdasarkan rancangan *Central Composite Design* (CCD) pada perangkat lunak Design Expert 10. Di dalam rancangan CCD, dimasukkan faktor tekanan dengan level rendah (46 kPa) dan level tinggi (56 kPa), serta faktor suhu rendah (67,83°C) dan suhu tinggi (76,20°C). CCD akan mengatur penelitian menjadi 13 kali percobaan dan selanjutnya dimasukkan 13 hasil percobaan kadar etanol sebagai respon. Hasil analisis menunjukkan model yang disarankan berupa model kuadratik. Solusi optimal berdasarkan hasil RSM pada model yang disarankan yaitu pada tekanan 50.29 kPa dan suhu 71°C, yang menghasilkan kadar etanol 82.83% dengan nilai *desirability* sebesar 0.681. Hasil uji validasi berdasarkan solusi optimal yang telah dihasilkan didapatkan rata-rata kadar etanol sebesar 82.55%, dengan deviasi <2%.

**Kata kunci :** Etanol, Optimasi, Pervaporasi, Response Surface Methodology.1.

### PENDAHULUAN

Pervaporasi adalah kombinasi energi yang efisien antara proses permeasi membran dan penguapan, dan memiliki keunggulan dalam proses separasi karena memiliki batasan suhu dan tekanan yang relatif rendah (Wei et al. 2005). Metode ini juga telah muncul sebagai pilihan metode yang baik untuk separasi dan pemurnian pada proses produksi bahan bakar terbarukan (Vane, 2005). Dalam proses produksi bahan bakar terbarukan, hal utama yang dibutuhkan adalah rantai proses yang dapat mengkonversi bahan biomassa lignoselulosa menjadi bahan bakar nabati secara efisien, berbiaya efektif dalam skala kecil, dengan komposisi bahan utama yang bervariasi. Menurut analisis oleh Lynd (1996) tentang proses produksi etanol dari biomassa, disimpulkan bahwa penggunaan energi dan biaya pada teknologi pemisahan tradisional (distilasi) pada proses

pemurnian bahan bakar nabati bukanlah permasalahan utama untuk daya saing proses tersebut. Namun demikian, jika dibandingkan dengan proses lainnya, proses distilasi dianggap kurang unggul dalam skala operasi yang sama. Oleh karena itu, teknologi alternatif seperti pervaporasi belakangan menarik perhatian para peneliti.

Pervaporasi adalah suatu proses dimana aliran cairan yang mengandung dua atau lebih komponen yang dapat larut ditempatkan atau dikontakkan dengan satu sisi membran polimer tak berpori atau membran anorganik berpori dan tekanan vakum diaplikasikan di sisi membrane lainnya (Vane, 2005). Dalam beberapa tahun terakhir, material membran yang berbeda telah dieksplorasi dengan hasil yang bervariasi dimana tidak semua material yang dieksplorasi memberikan kinerja separasi yang baik. Berbagai material membran yang telah

dieksplorasi misalnya selulosa asetat (CA) (Choi et al. 2007; Fu et al. 2008), polisulfon (PS) (Chakrabarty et al. 2008), polyethersulfone (PES) (Wu et al. 2008), polyacrylonitrile (PAN) (Lahokare et al. 2008), polyvinylidene fluoride (PVDF) (Yuliawati dan Ismail, 2011), dan polimida (PI) (Amanda et al. 2000). Polyethersulfone (PES) dianggap sebagai salah satu bahan polimer yang paling penting untuk digunakan dalam aplikasi membran. Dengan sifat transparan dan berbentuk tidak beraturan, bahan polimer ini memiliki ketahanan mekanis, termal dan kimia yang tinggi (Rahimpour et al. 2012) sehingga sesuai untuk digunakan dalam pembuatan membran untuk produksi bahan bakar nabati.

Kebanyakan penelitian pervaporasi bahan bakar nabati seperti etanol melibatkan satu parameter tetap dan parameter peubah. Namun demikian, kebanyakan dari penelitian tersebut mengabaikan pengaruh interaksi antar parameter yang dapat mempengaruhi proses pervaporasi. Salah satu solusi yang bisa dilakukan adalah dengan menggunakan metode dan

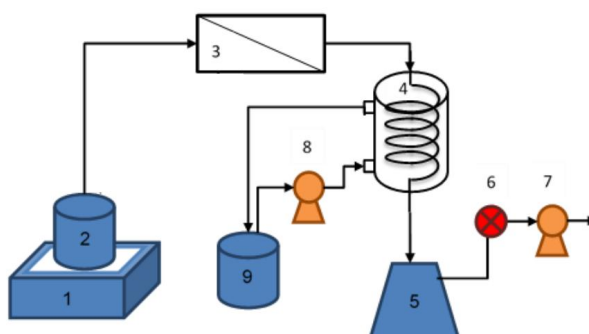
alat statistik seperti *design of experiment* (DOE) dan *response surface methodology* (RSM). Metode RSM telah terbukti efektif dalam pemodelan dan optimasi proses separasi dengan membran (Ling et al. 2010).

Dalam penelitian ini, membran komposit berbahan material PES-alginat-kitosan digunakan untuk proses separasi larutan etanol-air. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi suhu umpan (*feed*) dan tekanan pada sisi permeat yang optimal untuk menghasilkan kadar etanol tertinggi menggunakan metode RSM. Uji validitas hasil optimasi suhu umpan (*feed*) dan tekanan pada sisi permeat juga divalidasi.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Bahan dan Alat Penelitian

Membran komposit PES-alginat-kitosan dengan dimensi panjang 17 cm dan lebar 9 cm. Dimensi tersebut menyesuaikan dengan dimensi modul membran. Larutan etanol-air dengan konsentrasi 70% sebagai umpan, dan air sebagai pendingin kondensor.



Gambar 1. Skematik seperangkat alat pervaporasi 1) Penangas air, 2) Tangki umpan, 3) Modul membran, 4) Kondensor, 5) Tangki permeat, 6) *Pressure gauge*, 7) Pompa vakum, 8) Pompa sirkulasi, dan 9) Penampung air kondensat..

Seperangkat alat pervaporasi skala laboratorium yang dibuat secara mandiri sebagaimana tampak pada Gambar 1 digunakan sebagai alat utama. Seperangkat alat pervaporasi ini terdiri atas penangas air, tangki umpan, modul membran, kondensor, tangki permeat, *pressure gauge*, pompa vakum, pompa sirkulasi dan penampung air kondensat.

### 2.2 Proses Pervaporasi

Larutan etanol-air ditempatkan pada tangki umpan dan dipanaskan pada suhu yang diujicobakan (77, 82,

dan 87°C) dan disirkulasikan. Air secara kontinu dipisahkan dengan etanol melalui membran di dalam modul membran. Di sisi permeat, pompa vakum yang bekerja menghasilkan tekanan vakum yang diujicobakan (50, 55, dan 60 kPa). Permeat yang melewati membran kemudian di kondensasi di dalam kondensat untuk kemudian di tampung dalam tangki permeat.

### 2.3 Rancangan Percobaan

Rancangan standar dalam metode RSM yang disebut dengan *central composite design* (CCD) digunakan dalam penelitian ini. Karena hubungan antara variabel independen dan variabel respon tidak diketahui, sehingga langkah pertama dalam metode RSM adalah menentukan persamaan aproksimasi yang sesuai dengan fungsi hubungan yang sesungguhnya antara respon dan variabel independen. Umumnya, model kuadratik yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n_d} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{n_d} \sum_{j \geq i}^{n_d} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

Dimana  $y$  adalah respon terukur,  $\beta_0$  adalah intersep,  $\beta_i$  dan  $\beta_{ij}$  berturut-turut adalah ukuran efek dari

variabel  $x_i$  dan  $x_i x_j$ . Variabel  $x_i x_j$  adalah orde pertama dari interaksi antara  $x_i$  dan  $x_j$  ( $i < j$ ) dan  $\varepsilon$  adalah nilai kesalahan (*error*).

Analisis statistik ANOVA untuk model kuadratik dilakukan dengan selang kepercayaan 5% untuk menentukan signifikansi dari model yang terbentuk. CCD menggunakan rancangan factorial  $2^n$ , dengan  $n$  adalah faktor yang diujicobakan, yaitu suhu umpan dan tekanan vakum di sisi permeat. Titik berlokasi di  $(\pm\alpha, 0, 0)$ ,  $(0, \pm\alpha, 0)$  dan  $(0, 0, \pm\alpha)$ , dimana  $\alpha$  adalah jarak aksial dari titik tengah. Dalam penelitian ini nilai  $\alpha$  pada masing-masing variabel tampak pada Tabel 1. Kedua variabel faktor pada Tabel 1 dimasukkan pada perangkat lunak Design Expert 10 dengan respon konsentrasi etanol (%).

Tabel 1. Variabel faktorial independen

Variabel Faktorial	Tekanan (A)	Suhu (B)
Satuan	kPa	°C
Low	46	67.83
High	56	76.20
$-\alpha$	43.93	58.07
$+\alpha$	66.10	77.94

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Variabel Respon Konsentrasi Etano

Tabel 2 menunjukkan hasil 13 eksperimen yang dihasilkan dengan perangkat lunak Design Expert 10

sekaligus respon kadar etanol yang dihasilkan dari pengamatan. Hasil respon bervariasi dari 79.29-84.49% eta

Tabel 2. Kombinasi variabel faktorial independen dan responnya

Percobaan	Faktor 1: Tekanan (kPa)	Faktor 2: Suhu (°C)	Respon: Konsentrasi Etanol (%)
1	46	67.83	81.71
2	56	67.83	79.61
3	46	76.20	80.82
4	56	76.20	79.37
5	43.93	72.02	79.29
6	58.07	72.02	79.53
7	51	66.10	81.39
8	51	77.94	79.45
9	51	72.02	81.79
10	51	72.02	81.87
11	51	72.02	83.38
12	51	72.02	84.49
13	51	72.02	82.19

Tabel 3. Analisis varian (ANOVA) untuk faktorial 2<sup>2</sup> CCD pada respon konsentrasi etanol

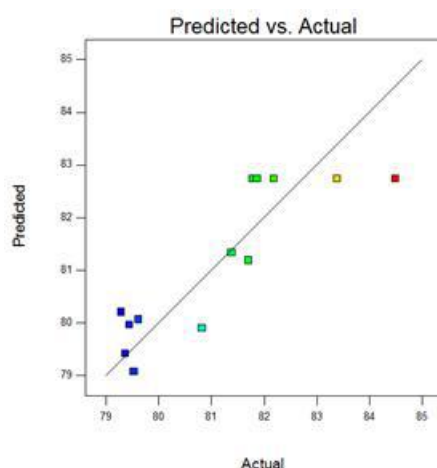
<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>d.f.</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>Prob.&gt;F</i>	<i>Signifikansi</i>
<b>Model</b>	<b>25.08</b>	<b>5</b>	<b>5.02</b>	<b>4.32</b>	<b>0.0410</b>	<b>Signifikan</b>
<i>A-Tekanan</i>	1.29	1	1.29	1.11	0.3271	
<i>B-Suhu</i>	1.87	1	1.87	1.61	0.2448	
<i>AB</i>	0.10	1	0.10	0.089	0.7746	
<i>A<sup>2</sup></i>	16.76	1	16.76	14.44	0.0067	
<i>B<sup>2</sup></i>	7.63	1	7.63	6.58	0.0373	
Residual	8.12	7	1.16			
<i>Lack of Fit</i>	<u>2.66</u>	<u>3</u>	<u>0.89</u>	<u>0.65</u>	<u>0.6243</u>	<i>Tidak Signifikan</i>
<i>Pure Error</i>	5.47	4	1.37			
Cor. Total	33.20	12				
Std. Dev.	1.08				R-Squared	0.7553
Mean	81.14				Adj. R-Squared	0.5806
C.V. %	1.33				Pred. R-Squared	0.1739
PRESS	27.43				Adeq. Precision	5.018

### 3.2 Pengaruh Variabel Independen terhadap Konsentrasi Etanol

Tabel 3 menunjukkan analisis varian (ANOVA) untuk faktorial  $2^2$  CCD pada respon konsentrasi etanol. Model kuadratik untuk konsentrasi etanol dalam *coded factors* ditunjukkan pada Persamaan 2, dimana  $y$  adalah konsentrasi etanol yang dihasilkan,  $A$  dan  $B$  berturut-turut adalah suhu umpan dan tekanan vakum. Tanda positif menandakan pengaruh saling sinergis, dan tanda negatif menandakan pengaruh saling bertentangan.

$$y = 82.74 - 0.4A - 0.48B + 0.16AB - 1.55A^2 - 1.05B^2 \quad (2)$$

Dengan model kuadratik yang terbentuk, dapat dibuat perbandingan antara respon hasil pengamatan aktual dan respon hasil prediksi dengan model kuadratik. Perbandingan antara keduanya digambarkan pada Gambar 2. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara hasil pengamatan aktual dan prediksi sebesar 0.76.



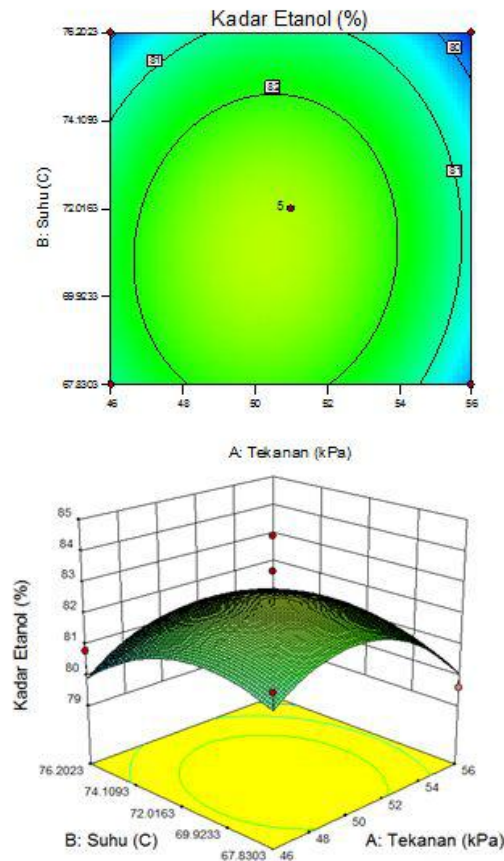
Gambar 2. Grafik perbandingan nilai aktual dan nilai prediksi respon kadar etanol

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai  $F$ -value dari model sebesar 4.32 menandakan bahwa model signifikan pada selang kepercayaan 95%. Nilai dari  $Prob.>F$  yang kurang dari 0.05 mengindikasikan signifikansi dari model. Faktor  $A$ ,  $B$ , dan  $AB$  tidak signifikan, sedangkan faktor  $A^2$  dan  $B^2$  signifikan. Adanya faktor-faktor yang tidak berpengaruh signifikan dapat diakibatkan oleh pengukuran antar variabel dan respon yang kurang presisi, serta masalah pada membran dan modul membran sehingga tidak menghasilkan performa yang baik. Nilai  $F$ -value pada parameter  $Lack\ of\ Fit$  sebesar 0.65 menyatakan bahwa ketidaktepatan tidak signifikan terhadap parameter  $Pure\ Error$ .

Nilai  $P$ -value dari  $Lack\ of\ Fit$  sebesar 0.6243 menunjukkan model ini tidak signifikan. Ketidaktepatan yang tidak signifikan menyatakan model tersebut cocok untuk digunakan. Untuk mengetahui seperti apa pengaruh yang diberikan tiap faktor.

### 3.3 Respon Konsentrasi Etanol

Gambar 3 memperlihatkan grafik kontur dan 3 dimensi dari respon konsentrasi etanol dari interaksi tekanan vakum di sisi permeat dan suhu umpan ( $feed$ ). Grafik kontur dan 3 dimensi menunjukkan bahwa konsentrasi etanol tertinggi dihasilkan di tengah grafik atau berada di puncak parabola.



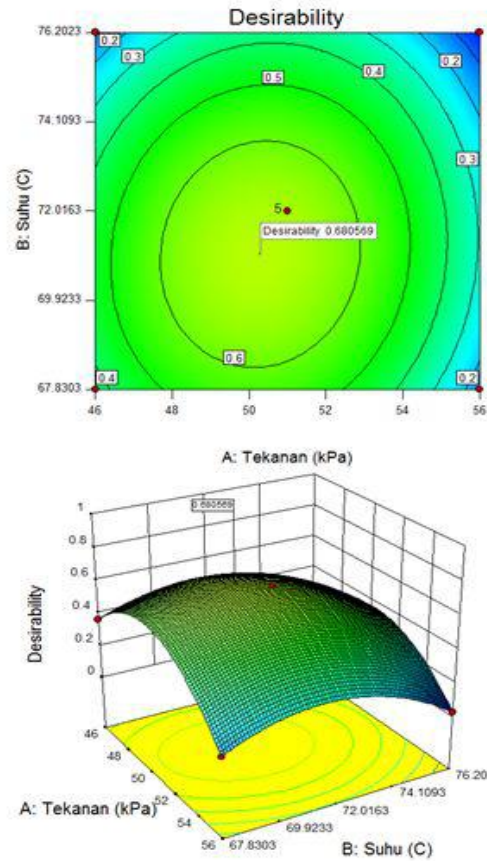
Gambar 3. Interaksi tekanan vakum dan suhu umpan (*feed*) di sisi permeat terhadap konsentrasi etanol

### 3.4 Studi Optimasi

Banyak metode yang bisa dipakai untuk mengoptimasi sebuah proses. Dalam penelitian ini, metode optimasi numerik digunakan karena mampu memberikan deskripsi yang komprehensif dan metode paling efektif untuk mengoptimasi (Ling et al. 2010). Metode optimasi numeric dalam penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan fitur yang ada dalam perangkat lunak Design Expert 10. Fitur tersebut mencari level faktor kombinasi yang secara simultan

memenuhi syarat untuk setiap respon dan faktor. Dalam penelitian ini, fungsi tujuan berupa maksimasi konsentrasi etanol pada rentang tekanan vakum 46-56 kPa dan suhu umpan (*feed*) 67.83-76.20°C.

Hasil optimasi dengan metode optimasi numerik menunjukkan bahwa kombinasi tekanan vakum di sisi permeat dan suhu umpan (*feed*) berturut-turut sebesar 50.29 kPa dan 71°C dapat menghasilkan konsentrasi etanol 82.83% dengan tingkat *desirability* sebesar 0.68 (Gambar 4).



Gambar 4. *Desirability* optimasi maksimasi konsentrasi etanol dari kombinasi tekanan vakum di sisi permeat dan suhu umpan (*feed*)

### 3.5 Uji Validitas Kombinasi Optimasi

Untuk menguji validitas hasil optimasi, dilakukan tiga kali pengamatan dengan kombinasi tekanan vakum di sisi permeat dan suhu umpan (*feed*) berturut-turut sebesar 50.29 kPa dan 71°C. Hasil uji

validitas ditampilkan pada Tabel 4. Tabel 4 menunjukkan bahwa deviasi antara respon prediksi terhadap respon aktual hanya <2%. Hal ini membuktikan kehandalan model dalam memprediksi respon konsentrasi etanol dalam proses pervaporasi.

Tabel 4. Hasil uji validitas kombinasi optimasi

Kombinasi Optimasi	Respon Konsentrasi Etanol		±Deviasi (%)
	Prediksi (%)	Aktual (%)	
Tekanan vakum 50.29 kPa	82.83	83.86	1.03
	82.83	81.79	1.04
Suhu umpan 71°C	82.83	82.90	0.07

### 3. KESIMPULAN

Penelitian ini berfokus pada proses pemisahan etanol dari larutan etano-air dengan proses pervaporasi. Pengaruh variabel operasi pervaporasi, yakni tekanan vakum di sisi permeat dan suhu umpan (*feed*), terhadap konsentrasi etanol setelah pervaporasi telah diketahui dengan menggunakan metode *response surface methodology* (RSM). Kedua variabel tersebut berpengaruh nyata terhadap konsentrasi etanol setelah pervaporasi. Untuk menghasilkan konsentrasi etanol setelah pervaporasi paling optimum, maka kondisi pervaporasi yang diperlukan adalah kombinasi tekanan vakum di sisi permeat dan suhu umpan (*feed*) berturut-turut sebesar 50.29 kPa dan 71°C.

### DAFTAR PUSTAKA

- A. Amanda, A. Kulprathipanja, M. Toennesen, S.K. Mallapragada. 2000. Semicrystalline poly(vinyl alcohol) ultrafiltration membranes for bioseparations. *Journal of Membrane Science* 176(1): 87-95.
- B. Chakrabarty, A.K. Ghoshal, M.K. Purkait. 2008. Ultrafiltration of stable oil-in-water emulsion by polysulfone membrane. *Journal of Membrane Science* 325(1): 427-437.
- J.-H. Choi, K. Fukushi, K. Yamamoto. 2007. A submerged nanofiltration membrane bioreactor for domestic wastewater treatment: the performance of cellulose acetate nanofiltration membranes for long-term operation. *Separation and Purification Technology* 52(3): 470-477.
- X. Fu, T. Maruyama, T. Sotani, H. Matsuyama. 2008. Effect of surface morphology on membrane fouling by humic acid with the use of cellulose acetate butyrate hollow fiber membranes. *Journal of Membrane Science* 320(1-2): 483-491.
- H.R. Lohokare, M.R. Muthu, G.P. Agarwal, U.K. Kharul. 2008. Effective arsenic removal using polyacrylonitrile-based ultrafiltration (UF) membrane. *Journal of Membrane Science* 320(1-2): 159-166.
- L.R. Lynd. 1996. Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment, and policy. *Annual Review of Environment and Resources* 21: 403-465.
- A. Rahimpour, M. Jahanshahi, S. Khalili, A. Mollahosseini, A. Zirepour, B. Rajaeian. 2012. Novel functionalized carbon nanotubes for improving the surface properties and performance of polyethersulfone (PES) membrane. *Desalination* 286: 99-107.
- L.M. Vane. 2005. A review of pervaporation for product recovery from biomass fermentation processes. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 80: 603-629.
- W.S. Ling, T.C. Thian, S. Bhatia. 2010. Process optimization studies for the dehydration of alcohol-water system by inorganic membrane based pervaporation separation using design of experiments (DOE). *Separation and Purification Technology* 71: 192-199.
- Y.M. Wei, Z.L. Xu, F.A. Qusai, K. Wu. 2005. Polyvinyl alcohol/polysulfone (PVA/PSF) hollow Fiber Composite Membranes for Pervaporation Separation of Ethanol/Water Solution. *Journal Applied Polymer Science* 98: 247-254.
- G. Wu, S. Gan, L. Cui, Y. Xu. 2008. Preparation and characterization of PES/TiO<sub>2</sub> composite membranes. *Applied Surface Science* 254(21): 7080-7086.
- E. Yuliwati, A.F. Ismail. 2011. Effect of additives concentration on the surface properties and performance of PVDF ultrafiltration membranes for refinery produced wastewater treatment. *Desalination* 273(1): 226-234.