

PENGARUH SALT REJECTION, ELECTRIC CONDUCTIVITY TERHADAP KINERJA MEMBRANE REVERSE OSMOSIS

Elli Prastyo, Farlina Hapsari

Program Studi Teknik Kimia Intitus Teknologi Petroleum Balongan

E-mail: elli.prastyo@gmail.com

Abstract

Process water has an important role in the petrochemical industry as a steam generation and cooling process. Process water is produced from the utility unit, namely in the seawater reverse osmosis unit at the water treatment plant unit. The process water used must have a low TDS value. High TDS content can cause fouling in steam plants and cooling processes. Sea water reverse osmosis seawater is processed through a Reverse osmosis Membrane which functions to reduce the Total Dissolved Solid value contained in seawater. The performance of Sea Water Reverse Osmosis can be seen from the Flux value, Permeability Coefficient to the TDS value, and Salt Rejection. The methodology used is quantitative and qualitative descriptive analysis. TDS and Salt Rejection flux values can be calculated using SWRO Logsheets data. The results of the analysis show that the Membrane flux value affects SWRO performance. The Flux value is directly proportional to TDS and inversely proportional to Salt Rejection. The permeability coefficient is directly proportional to TDS and inversely proportional to Salt Rejection. The largest Flux result is a 12.623 L/m²H permeability coefficient of 4508 L/m². H.atm with a TDS value of 420.88 mg/L and salt rejection of 97.844%. Flux is directly proportional to the permeability coefficient.

Keywords: fluks, membrane, permeability, reserve osmosis, SWRO

Abstrak

Air proses memiliki peran penting dalam dunia industri petrokimia sebagai pembangkit steam dan proses pendinginan. Air proses dihasilkan dari unit utilitas sea water reverse osmosis pada unit water treatment plant. Air proses yang digunakan harus memiliki nilai TDS yang rendah. Kandungan TDS yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya Fouling dalam pembangkit steam dan proses pendinginan. Sea water reverse osmosis air laut di proses melalui Membrane Reverse osmosis berfungsi mengurangi nilai Total Dissolved Solid yang terkandung dalam air laut. Kinerja Sea Water Reverse Osmosis dapat dilihat dari nilai Fluks, Koefisien Permeabilitas terhadap nilai TDS dan Salt Rejection. Metodologi yang digunakan yaitu analisa deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Nilai fluks TDS dan Salt Rejection dapat dihitung menggunakan data Logsheets SWRO. Nilai fluks suatu Membrane mempengaruhi kinerja SWRO. Fluks berbanding lurus terhadap TDS dan Berbanding terbalik dengan Salt Rejection. Koefisien permeabilitas berbanding lurus dengan TDS dan berbanding Terbalik dengan Salt Rejection. Hasil Fluks terbesar yaitu 12,623 L/m²H koefisien Permeabilitas Sebesar 4508 L/m².H.atm dengan nilai TDS 420,88 mg/L dan salt rejection sebesar 97,844 %. Fluks berbanding lurus dengan koefisien permeabilitas.

Kata Kunci: fluks, membrane, permeabilitas, reverse osmosi, SWRO

1. Pendahuluan

Industri petrokimia merupakan sektor yang sedang dikembangkan dengan produk yang dihasilkan seperti *Paraxylene*, *Orthoxylene*, dan *Metaxylene* dengan bahan baku dari *condensate* dan *Light Naphta* yang merupakan produk olahan dari minyak bumi. Saat ini, kapasitas nasional untuk produk petrokimia mencapai 7,1 juta ton, namun import produk petrokimia masih signifikan yaitu mencapai 4,6 juta ton [1]. Hal tersebut terjadi karena kebutuhan *Paraxylene* meningkat dan untuk mengurangi ekspor dari luar. *Paraxylene*, *Orthoxylene* dan *Metaxylene* akan diolah menjadi bahan baku industri kimia seperti PTA, Resin ester, pelapis cat, elmusifier, bahan penggosok, pewarna, dan perekat yang banyak dibutuhkan dalam kehidupan manusia [2].

PT Trans Pasific Petrochemical Indotama (TPPI) merupakan perusahaan Petrochemical yang menghasilkan produk Aromatik dan produk petroleum. Produk utama yang dihasilkan oleh PT Trans Pacific Petrochemical Indotama berupa *Paraxylene*, *Ortoxylyene*, dan *Methaxylene* dan beberapa produk petroleum. PT TPPI memproduksi *Paraxylene* 584 KTA, *Orthoxylene* 128 KTA dan *Methaxylene* sebesar 38.8 kBD. Produk petroleum yang dihasilkan oleh PT TPPI yaitu Solar sebesar 29 kBD, Fuel Oil sebesar 4,6 kBD, Premium 60 kBD dan LPG sebesar 80 KTA [3].

Pembuatan aromatic dan produk petroleum memerlukan unit purifikasi bertingkat untuk mendapatkan kemurnian produk yang diinginkan. Unit purifikasi dan penyedia steam membutuhkan membutuhkan air baku dalam prosesnya [4]. Air baku yang digunakan harus memenuhi standar yang ditetapkan agar tidak menghasilkan fouling serta menimbulkan korosi pada unit yang terlibat. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk memenuhi kebutuhan air baku menggunakan berbagai macam metode dan media pengolahan air, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh [5] dalam pengolahan air menggunakan filter mangan zeolit, filter karbon aktif, filter cartridge 5 micron, dan penggunaan uv sebagai sterilisator menghasilkan air baku yang secara umum belum memenuhi standar baku mutu air karena masih terdapat sedikit bakteri didalamnya.

Perkembangan teknologi dalam pengolahan air telah berkembang demikian pesatnya, yang mana menjadi jawaban untuk sebagian permasalahan yang ada dalam pengolahan air bersih menjadi air minum salah satunya teknologi penyaringan atau filtrasi dengan menggunakan membran yaitu Reverse Osmosis [6]. Reverse Osmosis (RO) adalah media filter yang memiliki membran semi-permeable dengan pori-pori 0,0001 mikron yang dapat memisahkan air dari komponen-komponen yang tidak diinginkan dengan demikian akan didapatkan air dengan tingkat kemurnian yang tinggi [7]. RO menggunakan proses pemompaan bertekanan tinggi untuk mengalirkan air laut melewati membran, yang berfungsi memisahkan atau menghilangkan zat terlarut dalam air [8]. RO merupakan proses difusi terkendali yang mengendalikan transfer massa zat terlarut sehingga dapat melewati struktur polimer membrane [9]. Difusi air tawar menuju air laut melewati membrane semipermeable dipengaruhi oleh daya atau tekanan osmosis. Adanya pengaruh tekanan yang lebih besar dari tekanan osmosis menyebabkan aliran air tawar berbalik arah, yaitu dari air asin ke air tawar. Tekanan

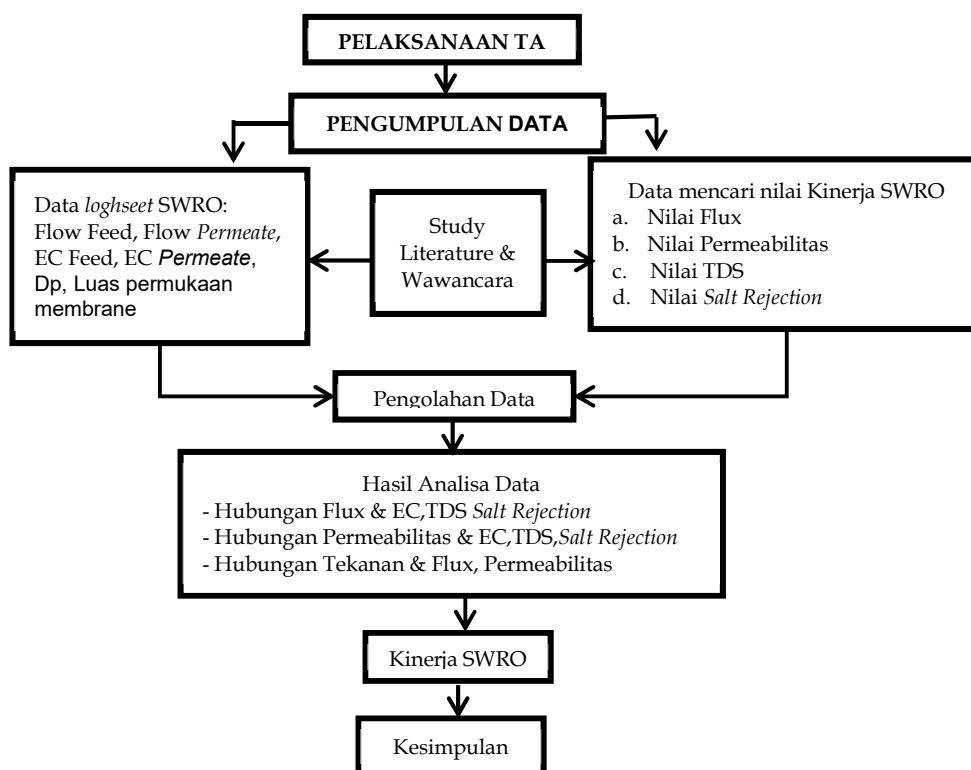
osmosis dipengaruhi oleh karakteristik jenis membran, temperatur, konsentrasi garam (Salinitas), dan senyawa yang terlarut dalam air (TDS) [10].

Water treatment plant merupakan unit utilitas yang berfungsi menyuplai air baku yang digunakan untuk pembangkit steam dan proses pendinginan. *Water Treatment Plant* memiliki beberapa unit bagian untuk mengolah air yang bersumber dari air laut menjadi sebuah air industri. *Sea Water Reverse Osmosis* merupakan salah satu unit bagian *Water Treatment Plant* yang memiliki fungsi sebagai pengubah air laut menjadi air industri sebagai penunjang berjalan proses pembuatan produk *Petrochemical* yang sesuai dengan standar mutu air industri. Kinerja *Sea Water Reverse Osmosis* dapat dilihat dari beberapa factor seperti hubungan antara nilai fluks dan koefisien *Permeabilitas* dengan hasil nilai TDS, Nilai EC, dan *Salt Rejection* [11].

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka diperlukan kajian mengenai kinerja membrane ditinjau dari nilai electric conductivity dan salt rejection pada desalinasi air laut menghasilkan air tawar menggunakan sistem RO, terutama untuk kebutuhan air baku industry.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu pengumpulan data, pengolahan data, dan Analisa data. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pengambilan data lapangan. Data yang diperoleh kemudian dilakukan pengolahan data dan kajian berdasarkan penelitian yang relevan untuk memperkuat penelitian [12].



Gambar 1. Alur Kerja Penelitian

Analisa yang dilakukan meliputi: nilai TDS, nilai laju alir, nilai fluks, nilai permeabilitas, nilai *salt rejection*.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui performansi dari membrane reverse osmosis dalam mengolah umpan masuk berupa air laut dengan tingkat salinitas. Membrane memiliki luas area 3954,82 m² dengan tekanan operasi 45 - 46 kg/cm². Air laut sebagai umpan dan permeat yang masuk dilakukan analisis nilai electrical conductivity (EC) untuk mengetahui nilai TDS pada umpan. Laju alir berkisar antara 45 - 50 m³/jam dengan luas permukaan membrane yang sama dan pH antara 7,8 - 8,1. Berikut disajikan hasil pengambilan data.

Tabel 1. Data SWRO

Tanggal	Flow m ³ /H	EC Perm. μS/cm	EC Feed μS/cm
17/07/2022	49,91	938	43500
18/07/2022	48,69	893	44300
19/07/2022	47,38	864	43000
20/07/2022	46,79	831	43100
21/07/2022	46,72	857	43800
22/07/2022	47,43	870	40100
23/07/2022	44,38	747	42500
24/07/2022	47,35	859	44800
25/07/2022	48,50	922	43500
26/07/2022	46,93	821	44300
27/07/2022	47,54	860	44600
28/07/2022	45,90	846	43300
29/07/2022	48,88	847	42700
30/07/2022	45,34	867	43100
31/07/2022	47,50	790	42700
Luas Area	3953,82 m ²		
Factor Korelasi	0,7		
Waktu	1 H		

Tabel 2. Data Perhitungan Nilai Fluks

Tanggal	Fluks L/m ² .H	Salt Rejection %	TDS Mg/L
17/07/2022	12,623	97,844	420,8806
18/07/2022	12,315	97,984	400,6891
19/07/2022	11,983	97,991	387,6768

20/07/2022	11,833	98,072	372,8697
21/07/2022	11,817	98,043	384,5359
22/07/2022	11,996	97,830	390,369
23/07/2022	11,225	98,242	335,1789
24/07/2022	11,976	98,083	385,4333
25/07/2022	12,267	97,880	413,7014
26/07/2022	11,869	98,147	368,3827
27/07/2022	12,024	98,072	385,882
28/07/2022	11,609	98,046	379,6002
29/07/2022	12,362	98,016	380,0489
30/07/2022	11,468	97,988	389,0229
31/07/2022	12,014	98,150	354,473

Koefisien *Permeabilitas* salah satu parameter penting dalam menentukan suatu kinerja *Membrane SWRO*. Koefisien *Permeabilitas Membrane* merupakan suatu parameter *Membrane* bisa untuk dilewati suatu spesi dengan persatuan tekanan [13].

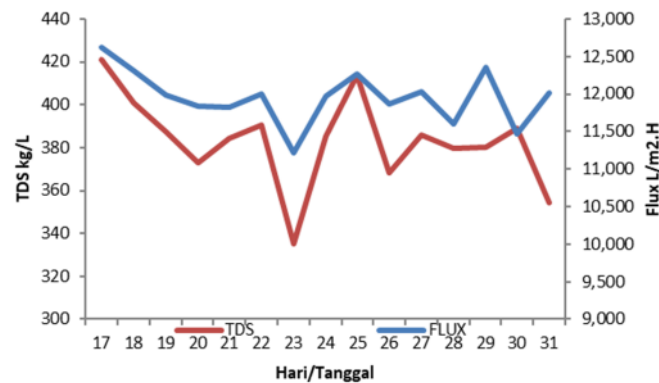
Tabel 3. Data Perhitungan Nilai Koefisien Permeabilitas

Tanggal	Koef Permeab L/m ² .H.atm	TDS Mg/L	Salt Rejection %
17/07/2022	4,508	420,8806	97,844
18/07/2022	4,105	400,6891	97,984
19/07/2022	3,994	387,6768	97,991
20/07/2022	3,944	372,8697	98,072
21/07/2022	3,939	384,5359	98,043
22/07/2022	3,999	390,369	97,830
23/07/2022	3,742	335,1789	98,242
24/07/2022	3,992	385,4333	98,083
25/07/2022	4,089	413,7014	97,880
26/07/2022	3,956	368,3827	98,147
27/07/2022	4,008	385,882	98,072
28/07/2022	3,870	379,6002	98,046
29/07/2022	4,121	380,0489	98,016
30/07/2022	3,823	389,0229	97,988
31/07/2022	4,005	354,473	98,150

3.1 Pengaruh Nilai TDS terhadap Fluks Membrane

Fluks merupakan salah satu parameter kinerja *Membrane* pada proses *Sea Water Reverse Osmosis*, dimana nilai fluks merupakan parameter untuk menentukan jumlah *permeat* yang dapat dilewatkan oleh *Membrane* tiap satuan luas per satuan waktu, sedangkan TDS merupakan jumlah senyawa organik dan anorganik dalam suatu larutan berbentuk ion, molekul, atau mikro granular (koloid) [14]. Perhitungan nilai TDS pada penelitian

ini diperoleh dari perhitungan persamaan 1, sedangkan nilai fluks di dapat dari perhitungan persamaan 3.



Gambar 2. Hubungan Nilai Fluks Terhadap TDS

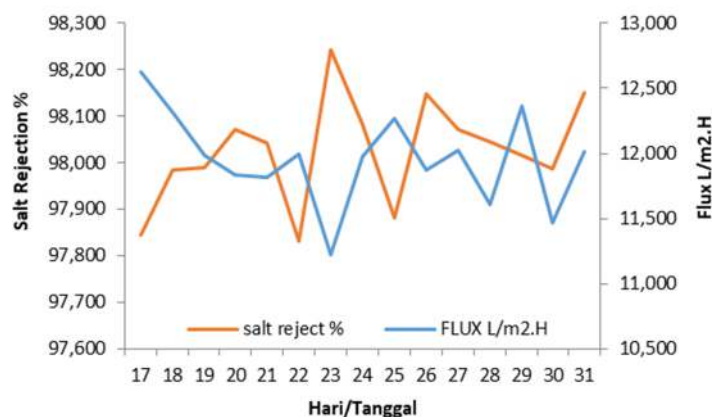
Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai fluks *Membrane* berbanding lurus dengan nilai TDS, dimana semakin besar nilai fluks maka semakin besar nilai TDS. Fluks merupakan jumlah volume permeat yang melewati satu satuan permukaan luas membrane pada waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan [15]. Trend nilai fluks dan TDS menunjukkan terjadi fluktuasi terutama pada tanggal 23 dimana nilai fluks dan TDS mengalami penurunan. Penurunan nilai tersebut berkorelasi dengan nilai laju alir yang mengalami penurunan yang dapat dilihat pada tabel 1 pada tanggal 23. Fluks permeat di sepanjang membrane memiliki hubungan langsung dengan tekanan dan laju alir umpam di mana semakin besar laju alir yang digunakan, maka volume fluida yang melewati membran akan meningkat sehingga terjadi peningkatan fluks. Hal ini sesuai dengan pernyataan [16] bahwa fluks berbanding lurus dengan laju alir dan tekanan operasi dengan konsentrasi yang sama, yang berarti tekanan osmotik juga tidak berubah. Laju alir dan tekanan operasi yang diberikan terhadap air umpam semakin meningkat, menyebabkan perbedaan tekanan operasi yang diberikan dengan tekanan osmotik menjadi semakin besar. Hal ini yang menyebabkan gaya dorong yang terjadi pada air yang melalui membran semakin besar, yang berdampak pada semakin besarnya fluks permeat yang dihasilkan.

Pada tanggal 31 nilai fluks berbanding terbalik terhadap TDS dimana ketika nilai fluks naik, nilai TDS mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena polarisasi konsentrasi terjadi semakin cepat pada tekanan tinggi dibandingkan dengan membran yang dioperasikan pada tekanan rendah dengan waktu operasi yang sama [17]. Gambar 1 menunjukkan penurunan kinerja *Membrane*. Dimana hasil TDS *Membrane* swro mengalami kenaikan. *KPI Water Treatment* nilai TDS suatu *Membrane* swro yaitu sebesar <350Mg/L sedangkan data yang di hasilkan memiliki rata rata sebesar 383,249 mg/L. Penurunan kinerja *Membrane* swro dengan kenaikan nilai TDS di sebabkan karena terjadinya *fouling* atau pengendapan partikel, makromolekul, garam dan lain lain sehingga dapat menyebabkan nilai TDS naik dan penurunan nilai flux secara terus menerus.

3.2 Hubungan Nilai Fluks Terhadap Salt Rejection

Salt Rejection merupakan salah satu parameter *performance* suatu *Membrane* SWRO dimana semakin tinggi nilai salt rejection, maka bisa dikatakan kinerja membrane

SWRO semakin baik. Nilai *Salt Rejection* pada penelitian ini ditentukan menggunakan persamaan 5.



Gambar 3. Hubungan nilai Fluks terhadap Salt Rejection

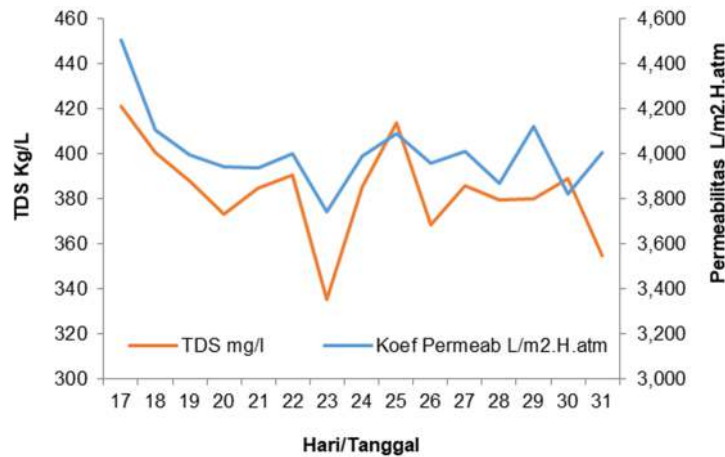
Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai fluks berbanding terbalik terhadap nilai *Salt Rejection*. Nilai *Salt Rejection* terbesar dihasilkan dari grafik diatas yaitu sebesar 98,24% dengan nilai Fluks sebesar $11,225 \frac{L}{m^2.H}$. *Reverse Osmosis* merupakan kebalikan dari osmosis, dimana *reverse osmosis* merupakan proses pengubahan air dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah dengan membutuhkan laju alir dan tekanan yang besar, dapat dikatakan bahwa semakin besar laju alir maka semakin besar *Salt Rejection* yang terjadi didalam *Membrane*. Hal ini mengindikasikan bahwa seharusnya nilai fluks berbanding lurus terhadap salt rejection, dimana semakin tinggi garam yang tersisihkan, maka laju permeat pada membrane semakin tinggi, juga menjelaskan bahwa hubungan nilai fluks dengan *Salt Rejection* berbanding lurus.

Nilai fluks terhadap salt rejection pada penelitian ini berbanding terbalik disebabkan adanya penumpukan konsentrasi garam pada permukaan membrane dan menyebabkan fouling. Hal ini disebabkan adanya polarisasi konsentrasi, yakni lebih tingginya konsentrasi natrium klorida pada dinding membran dibandingkan pada larutan umpan. Semakin tinggi konsentrasi natrium klorida dalam larutan umpan, makin besar pula kenaikan konsentrasi natrium klorida pada dinding membran, sehingga semakin menghambat laju alir air melewati membran.

Pada membran ultrafiltrasi, penurunan fluks yang signifikan terjadi berdasarkan peningkatan konsentrasi garam dan berkorelasi terhadap nilai salt rejection. Potensi fouling lebih dominan terjadi pada laju alir yang tinggi dengan asumsi konsentrasi garam tidak mengalami perubahan. Hal tersebut sesuai dengan yang pada penelitiannya menggunakan koloid silika, menjelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi garam pada larutan umpan menghasilkan nilai fluks yang semakin rendah dan semakin tinggi potensi fouling nya. Fenomena tersebut dapat dijelaskan berdasarkan kestabilan koloid.

3.3 Hubungan Nilai Permeabilitas Terhadap TDS

TDS merupakan hasil kali nilai EC dengan factor korelasi, sehingga TDS berbanding lurus dengan EC. Koefisien permeabilitas merupakan hasil bagi antara laju alir dengan waktu, luas permukaan dan perubahan tekanan.



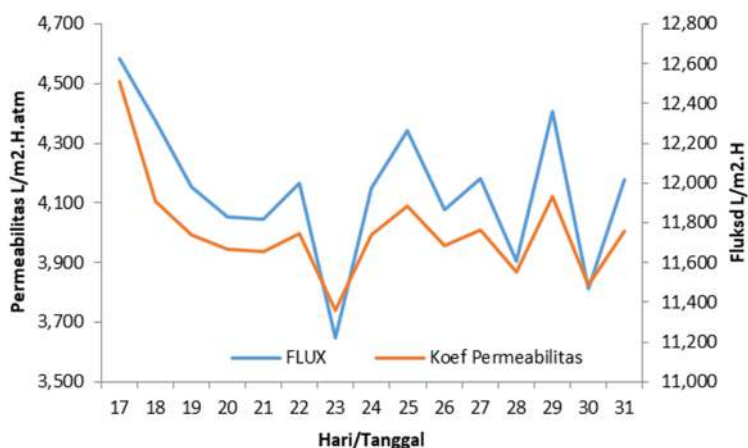
Gambar 4. Hubungan Nilai Permeabilitas Terhadap TDS

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa koefisien *Permeabilitas* berbanding lurus dengan nilai TDS. Nilai TDS dalam penelitian ini merupakan hasil kali antara factor korelasi dengan konduktivitas sampel. Nilai konduktivitas sampel yang semakin tinggi berdampak terhadap nilai TDS yang tinggi pula, begitu juga sebaliknya. Konduktivitas (Daya Hantar Listrik/ DHL) adalah kemampuan air untuk meneruskan aliran listrik. Oleh karena itu, semakin banyak garam-garam terlarut yang dapat terionisasi, semakin tinggi pula nilai DHL. Dalam hal ini ketika semakin banyak senyawa NaCl dalam larutan yang mampu terionisasi oleh membran, maka nilai permeabilitas yang dihasilkan semakin tinggi pula. Sifat dari membran elektrolit yang bersifat hidrofilik yaitu jika konduktivitas ionik besar (derajat sulfonasi besar) maka nilai permeabilitas juga besar (sifat kepolarannya).

3.4 Hubungan Nilai Fluks Terhadap Koefisien Permeabilitas

Flux merupakan salah satu parameter penentu suatu kinerja SWRO, dimana flux merupakan kemampuan *Membrane* menghasilkan air proses dalam satuan waktu. Koefisien *Permeabilitas* merupakan kemampuan *Membrane* menghasilkan air proses dengan berbanding beda tekanan. Hubungan nilai flux dan permeabilitas dari SWRO ditampilkan pada gambar 5

Pada Gambar 5 merupakan hubungan antara nilai fluks dan koefisien *Permeabilitas Membrane* SWRO. Dimana hubungan antara nilai fluks dan *Permeabilitas* berbanding lurus dengan koefisien *Permeabilitas*. Koefisien *Permeabilitas* merupakan perbandingan antara nilai fluks dan perubahan tekanan [13] sehingga semakin besar fluks maka semakin besar nilai koefisien *Permeabilitas*. Gambar 5 menunjukkan nilai fluks terbesar yaitu 12,623 L/m².H dengan nilai koefisien *Permeabilitas* 4,508 L/m².H.atm pada tanggal 17 juli 2022. Nilai fluks terendah yaitu 11,225 L/m².H dengan nilai koefisien *Permeabilitas* 3,742 L/m².H.atm.



Gambar 5. Hubungan Nilai Fluks terhadap Koefisien Permeabilitas

Penurunan nilai fluks dipengaruhi adanya penurunan laju alir yang dihasilkan oleh *Permeate Membrane*, sehingga akan berpengaruh terhadap nilai koefisien *Permeabilitas*. Berdasarkan SWRO data *sheet* yang di berikan di lapangan bahwa nilai flux yang dihasilkan oleh *Membrane swro* yaitu 12,6 L/m².H, sedangkan data yang didapat memiliki rata - rata fluks sebesar 12 L/m².H. hal tersebut menunjukkan adanya penurunan kemampuan *Membrane* dalam menghasilkan air proses.

4. Kesimpulan

Fluks berbanding lurus terhadap TDS dan berbanding terbalik dengan *Salt Rejection*. Hasil fluks terbesar $12,623 \frac{L}{m^2.H}$ dengan Nilai TDS $420,88 \frac{Mg}{L}$ dan *Salt Rejection* 97,844 %. Koefisien *Permeabilitas* berbanding lurus terhadap TDS dan berbanding terbalik dengan *Salt Rejection*. Hasil koefisien *Permeabilitas* terbesar $4,508 \frac{L}{m^2.H}$. Dengan nilai TDS $420,88 \frac{Mg}{L}$ dan sal Rejection 97,844 %.

Referensi

- [1]. [Kemenperin RI] Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. 2020. Pertumbuhan Produksi Petrokimia. www.kemenperin.go.id, (12 Januari 2023).
- [2]. Ariyanti, D., dan Widiyasa, I. N. 2011. *Apilkasi Teknologi Reverse Osmosis untuk Pemurnian Air Skala Rumah Tangga*. Semarang: Fakultas Teknik.
- [3]. HC, TPPI. 2021. *"Gambaran Umum TPPI"*. PT. Trans-Pacific Petrochemical Indotama: Tuban.
- [4]. Sugianto. 2021. *"Materi Umum PKL Utility"*.PT.Trans-Pacific Petrochemical Indotama : Tuban.
- [5]. Zulfi,Dkk. 2014. Karakteristik Fluks Membran Dalam Proses Filtrasi Limbah Cair Industri Pelapisan Logam. *Jurnal Biofisika*. 10 (1):19-29.

- [6]. Said, N, I. 2009. Uji kinerja pengolahan air siap minum dengan proses biofiltrasi, ultrafiltrasi dan Reverse osmosis (RO) dengan air baku air sungai. *Jurnal Air Indonesia*. Vol 5. No.2: 144 – 161.
- [7]. William, M.E. 2003. *A Brief Review of Reverse osmosis Membrane Technology*. EET Corporation and Williams Engineering Services Company.
- [8]. Husnah. 2018. Aplikasi Membran Keramik Buatan dengan Pretreatment pada Penjernihan Air Sungai Musi. *Jurnal Redoks*. Vol. 3(1).
- [9]. Wenten, I. G. (1999). *Teknologi Membran Industrial*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- [10].Widiasa, I.N., Wenten, I.G., 2008, Pengaruh Perlakuan pH Umpan dan Recovery Factor Terhadap Fluks dan Karakteristik Permeat Reverse osmosis Air Tawar.
- [11].Ardiansyah dan Kusomo, A.B. 2013. Karakteristik penurunan fluks pada filtrasi larutan humic acid dengan membran mikrofiltrasi. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol. 2(2): 267-274.
- [12].Yoshi L.A, Widiasa I.N. (2016). Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan : Sistem Desalinasi Membran Reverse Osmosis (RO) untuk Penyediaan Air Bersih. Universitas Pembangunan Nasional Yogyakarta
- [13].Rara, D, A. 2017. Pengaruh Variasi Waktu Penguapan Terhadap Kinerja Membran Selulosa Asetat pada Proses Ultrafiltrasi. *Berkala Sainstek*. Vol. 5(1): 7 – 10.
- [14].Alnouri SY, Linke P. (2013). Optimal SWRO desalination network synthesis using multiple water quality parameters. *Journal of Membrane Science*, 444, 493-512.
- [15].Fritzmam, C., J., Löwenberg, T., Wintgens, and T., Melin. (2007) State-of-the-art of reverse osmosis desalination, *Desalination*, 216: 1-76.
- [16].Ghobeity, A. and Mitsos, A. (2014). Optimal design and operation of desalination systems new challenges and recent advances. *Chemical Engineering*, 6, 61-68.
- [17].Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membrane Technology*, 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.