

Pengaruh Keterbatasan Panjang Ruang terhadap Sistem Desain Desalinasi Reverse Osmosis pada Air Payau Kapasitas 500 m³/hari

The effect of Space Availability on The Design reverse Osmosis System for Desalinating Brackish Water with Capacity 500 m³/day

Linda Aliffia Yoshi

Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia
Jalan Raya Puspiptek Serpong, Kota Tangerang Selatan 15320

(Diterima: 17 Oktober 2017; Disetujui: 8 Desember 2017)

Abstrak

Aplikasi teknologi membran terutama membrane reverse osmosis lebih banyak digunakan untuk penyediaan air bersih. Aplikasi ini sangat dipengaruhi oleh sistem desain desalinasi yang digunakan. Sumber air yang layak dijadikan bahan baku adalah air payau dengan kandungan salinitas sekitar 1.000-10.000 ppm. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh keterbatasan panjang ruang sistem desain desalinasi Brackish Water Reverse Osmosis (BWRO) terhadap proses dan karakteristik produk yang dihasilkan. Penelitian disimulasikan menggunakan software CSM PRO 5, kapasitas instalasi 500 m³/hari, dan recovery 75%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keterbatasan panjang ruang dapat diselesaikan dengan mengubah sistem reverse osmosis dari single stage menjadi double stage. Hal ini akan berakibat pada meningkatnya tekanan High Pressure Pump (HPP) dan kemurnian air bersih.

Kata Kunci : BWRO, sistem desain, single stage, double stage

Abstract

The technology membrane especially reverse osmosis is often used as the technology for supplying clean water and the effect of space availability is influence. Brackish water has total dissolved solid (TDS) content in the range of 1,000-10,000 ppm so that is feasible to be used as the feed for desalination. The purpose of this research is to investigate the effect of space length limitation in BWRO desalination system design to the process the purity of the product. This study was a simulation based research using CSM PRO 5 to simulate the BWRO system with capacity of 500 m³/day, and recovery 75%. The results showed that the limited length of space, the system design can be changed from single stage to double stage which will affect the pressure of High Pressure Pump (HPP) and the concentration of the resulting product.

Keywords: BWRO, system design, single stage, double stage

*Penulis Korespondensi. Telp: +62 21 7561092; fax: +62 21 7560542
Alamat E-mail: linda.aliffia@iti.ac.id (Linda Aliffia Yoshi)

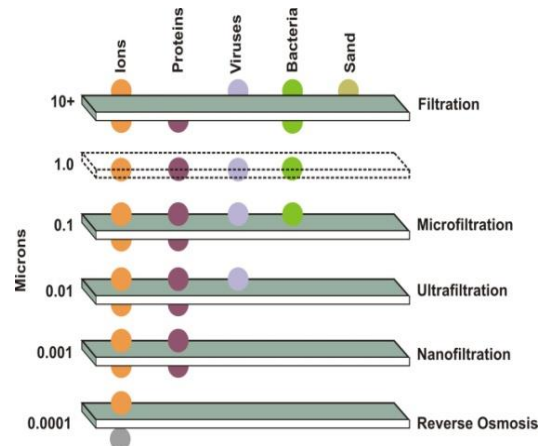
1. Pendahuluan

Teknologi membran adalah salah satu teknologi alternatif yang paling kompetitif dan memberikan beragam solusi bagi manusia khususnya air bersih [1]. Teknologi pertama kali dikembangkan dan dikomersialkan di Jerman oleh Sartorius Werke tahun 1927. Beberapa kondisi yang harus diperhatikan pada proses pemurnian air antara lain yaitu fluks, permeabilitas, dan rejeksi [1-5]. Pemisahan dengan membran merupakan suatu teknik pemisahan campuran dua atau lebih komponen tanpa menggunakan panas dimana pemisahan berdasarkan ukuran partikel terjadi dengan gaya dorong yaitu tekanan, konsentrasi, potensial listrik, dan suhu [7-8].

Teknologi membran mempunyai beberapa kelebihan diantaranya pemisahan dapat berlangsung secara kontinyu, kebutuhan energi yang rendah, hybrid process, tidak memerlukan bahan aditif, serta dapat menjadi *clean technology*. Jenis membran yang digunakan dalam aplikasi teknologi membran dibagi menjadi empat jenis yaitu mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan Reverse Osmosis (RO) [2-5]. Perbedaan dari keempat jenis membran terdapat pada ukuran pori membran (Gambar 1). Perbedaan ukuran pori membran akan mempengaruhi terhadap kontaminan atau partikel-partikel apa saja yang dapat dipisahkan didalam air [8; 31].

Kelayakan BWRO dari segi teknis berkaitan dengan sistem desain yang dipengaruhi oleh karakteristik air baku, kapasitas plant, kualitas air produk, biaya kapital, dan biaya operasi dan perawatan (O&M) [6-8, 13-21]. Sistem desain BWRO lebih menekankan kepada penentuan besarnya recovery dan jumlah stage yang digunakan. *Total dissolved solid* (TDS) air payau yang tergolong *medium range* (1.000-10.000 ppm) [33] sehingga proses desalinasi dapat dijalankan secara multi stage yang akan menaikkan persen recovery antara 75-90% sehingga kualitas produk akan lebih baik [2-5, 27, 30-33, 35-36, 38, 40]. Menurut Widiassa dkk

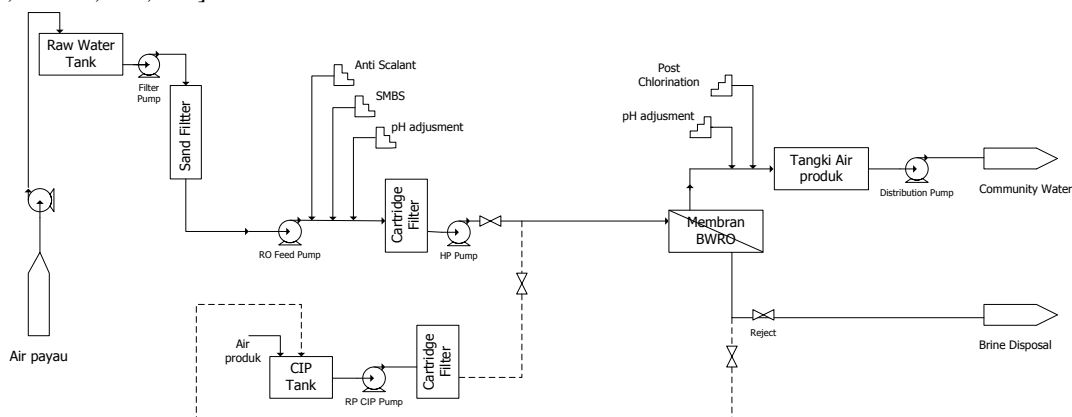
sistem desain BWRO secara multi stage selain untuk menaikkan recovery juga dapat menjadi alternatif apabila sistem tersebut dipasang pada panjang ruang yang terbatas. Oleh karena itu tujuan dalam penelitian ini untuk mengetahui bagaimana pengaruh keterbatasan panjang ruang terhadap sistem desain desalinasi BWRO kepada proses dan karakteristik produk yang dihasilkan.



Gambar 1. Ukuran Pori Membran

2. Metodologi

Sistem desain pada penelitian ini merujuk pada penelitian yang telah dilakukan oleh Widiassa dan Yoshi. Gambar 2 merupakan skema rangkaian proses desalinasi BWRO yang terdiri dari proses pretreatment, desalinasi RO, dan proses posttreatment. Jenis membran yang digunakan adalah membran CSM RE8040-BE dengan TDS air baku 5.000 ppm. Proses dijalankan pada kapasitas 500 m³/hari dengan recovery 75% yang disimulasikan menggunakan software CSM PRO 5. Simulasi pertama dilakukan pada proses single stage dan hasil yang diperoleh selanjutnya dirubah ke sistem double stage.

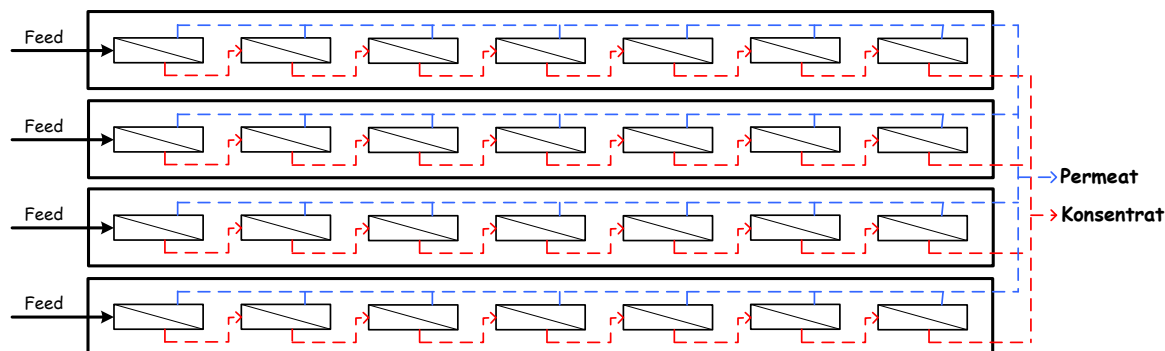


Gambar 2. Skema proses desalinasi RO

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi, proses desalinasi dengan kapasitas instalasi yang lebih besar akan membutuhkan jumlah membran yang lebih banyak. Hal ini dimaksudkan untuk mencapai distribusi fluks permeat disetiap membran dengan nilai kurang dari 39,05 L/m²h

[5, 40-42]. Sehingga untuk kapasitas 500 m³/hari, recovery 75%, kebutuhan minimum jumlah membran yang disusun secara single stage adalah 24 buah. Membran ini disusun pada 4 buah pressure vessel (PV) dan setiap pressure vesselnya berisi 7 buah membran (4-7) (Gambar 3).



Gambar 3. Proses desalinasi secara *single stage*

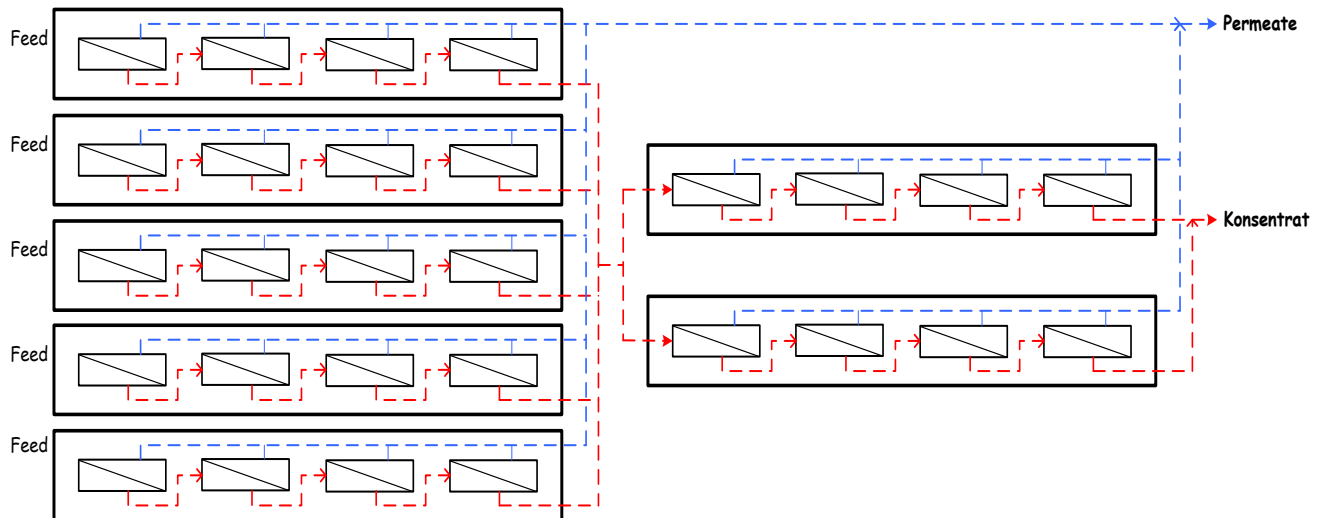
Guna mengatasi keterbatasan panjang ruang maka membran dapat disusun secara *double stage* dengan menggunakan 7 buah PV yang berisi 4 buah membrane. Pada stage pertama terdiri dari 5 buah PV dan stage kedua terdiri dari 2 buah PV (5-4; 2-4). Hasil desain dari kedua sistem ditunjukkan pada Tabel 1. Dari tabel tersebut diketahui proses desain antara *single stage* dan *double stage* memberikan sedikit perbedaan pada tekanan *High Pressure Pump* (HPP) yang dibutuhkan untuk memompa air umpan ke membran RO dan TDS/ kemurnian produk yang dihasilkan. Pada sistem *double stage* diperlukan tekanan HPP 5% lebih besar dari sistem *single stage*. Hal ini disebabkan oleh adanya penambahan aliran recycle yang lebih besar yaitu 5 m³/jam.

Tabel 1. Hasil proses desain BWRO secara *single stage* dan *double stage*

Sistem	Tekanan HPP (bar)	Rejeksi (%)	TDS Permeat (ppm)
Single stage	17,9	98,40	109,88
Double stage	18,8	98,68	107,48

Aliran recycle merupakan aliran dari sebagian konsentrat yang dikembalikan ke aliran

umpan sehingga TDS umpan akan naik. Penggunaan aliran ini berfungsi untuk mencapai recovery yang tinggi dan tercapainya minimum laju alir umpan di setiap membran yaitu 2,73 m³/jam [30]. Sedangkan perbedaan kemurnian produk yang dihasilkan disebabkan oleh sistem desain, dimana pada sistem *double stage* konsentrat atau buangan pada *stage* pertama diolah lagi sebagai umpan untuk *stage* kedua yang laju alirnya lebih besar (*single stage* 4 m³/jam sedangkan *double stage* 9 m³/jam). Oleh karena itu produk yang dihasilkan untuk *single stage* akan lebih baik. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Widiasta dan Yoshi bahwa desalinasi BWRO pada kapasitas 300 m³/hari yang disusun secara *single stage* (2-6) maupun *double stage* (2-4; 1-4) tidak memberikan hasil yang berbeda pada tekanan HPP (16,3 bar pada *single stage* dan 16,5 bar pada *double stage*) dan kemurnian produk yang dihasilkan. Penyebabnya adalah semakin besar kapasitas instalasi desalinasi RO membutuhkan jumlah membran yang lebih banyak sehingga aliran recycle juga akan lebih banyak dengan maksud untuk memenuhi laju alir disetiap membrane [4].



Gambar 4. Proses desalinasi BWRO secara *double stage*

4. Kesimpulan

Keterbatasan ruang desalinasi mengakibatkan ketidaksempurnaan sistem desain. Ruang yang terbatas menyebabkan sistem desain desalinasi BWRO dirubah dari *single stage* ke *double stage*. Kebutuhan tekanan pompa untuk High Pressure dipengaruhi oleh sistem desain *single stage* dan *double stage*.

Daftar Pustaka

- [1] Fritzmann, C., J., Löwenberg, T., Wintgens, dan T., Melin. 2007. State-of-the-art of reverse osmosis desalination, *Desalination*. 216: 1-76.
- [2] Greenlee, L. F., Lawler, D. f., Freeman, B. D., Marrot, B., dan Moulin, P. 2009. Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, dan today's challenges. *Water research*. 43: 2317-2348.
- [3] Malaeb, L. dan George, M. A. 2011. Reverse osmosis technology for water treatment: State of the art review. *Desalination*. 267: 1-8.
- [4] Widiassa. I. N., dan Yoshi. L. A. 2016. Economy Analysis A Small Scale reverse Osmosis System for Brackish Water Desalination. *International Journal of Science and Engineering*. 10 (2): 51-57.
- [5] Yoshi. L. A. dan Widiassa. I. N. 2016. Sistem Desalinasi membrane Reverse Osmosis Untuk Penyediaan Air Bersih. Prosiding Seminar nasional Teknik Kimia "Kejuangan". Yogyakarta, 17 Maret 2016. ISSN 1693-4393.
- [6] Into, M., Jonsson, A. S., dan Lengden, G. 2004. Reuse of industrial wastewater following treatment with reverse osmosis. *Membrane science*. 242: 21-25.
- [7] Khawaji, A. D., Ibrahim, K. K., dan Jong, M. W. 2008. Advances in seawater desalination technologies. *Desalination*. 221: 47-69.
- [8] Lapunte, E. 2012. Full cost in desalination: A case study the Segura River Basin. *Desalination*. 300: 40-45.
- [9] Ghobeity, A. dan Mitsos, A. 2014. Optimal design dan operation of desalination systems new challenges dan recent advances. *Chemical Engineering*. 6: 61-68.
- [10] Mohamed, E. Sh., Papadakis, G., Mathioulakis, E., dan Belessiotis, V. 2006. An experimental comparative study of the technical dan economic performance of a small reverse osmosis desalination system equipped with an hydraulic energy recovery unit. *Desalination*. 194: 239-250.
- [11] Mezher, T., Fath, H., Abbas, Z., dan Khaled, A., 2011. Techno economic assessment dan environmental impacts of desalination technologies. *Desalination*. 266: 263-273.
- [12] Karabelas, A. J. dan Sioutopoulos, D. C. 2015. New insights into organic gel fouling of reverse osmosis desalination membranes. *Desalination*. xxx: xxx-xxx

- [13] Shenvi, S. S., Isloor, A. M., and Ismail, A. F. (2015). A review on RO membrane technology: Developments and challenges. *Desalination*. xx: xx-xx
- [14] Knops, F., Stephan, V. H., Harry, F., Lute B. 2007. Economic evaluation of a new ultrafiltration membrane for pretreatment of seawater reverse osmosis. *Desalination*. 203: 300–306.
- [15] Vince, F., Marechal, F., Aoustin, A., and Bréant, P. Multi-objective optimization of RO desalination plants. *Desalination*. 222: 96–118.
- [16] Ettouney, H. M., El-Desseouky, H. T., Faibish, R. S., dan Gowin, P. J. 2002. Evaluating the economics of desalination. *Heat transfer*. 32-39.
- [17] Hafez, A., dan Samir, E. M. 2002. Economics of seawater RO desalination in the Red Sea region, Egypt. Part 1. A case study. *Desalination*. 153: 335-347
- [18] Jaber, I. S. dan Ahmed, M. R. 2004. Technical dan economic evaluation of brackish groundwater desalination by reverse osmosis (RO) process. *Desalination*. 165: 209-213.
- [19] Ahmad, G.E. dan J. Schmid, 2002. Feasibility study of brackish water desalination in the Egyptian deserts dan rural regions using PV systems. *Energy Conversion dan Management* 43: 2641–2649
- [20] Karagiannis, I. C. dan Soldatos, P. G. 2008. Water desalination cost literature: review dan assessment. *Desalination*. 223: 448-456.
- [21] Khawaji, A. D., Ibrahim, K. K., dan Jong, M. W. 2008. Advances in seawater desalination technologies. *Desalination*. 221: 47-69.
- [22] Kim, M. Y., Seung, J. Kim., Yong, S. Kim., Sangho, Lee., I. S. Kim, dan Joon, H. K. 2009. Overview of systems engineering approaches for a large-scale seawater desalination plant with a reverse osmosis network. *Desalination*. 238: 312–332.
- [23] Lamei, A., Zaag, P. V. D., dan Münch, E. V. 2008. Basic cost equations to estimate unit production costs for RO desalination dan long-distance piping to supply water to tourism-dominated arid coastal regions of Egypt. *Desalination*. 225: 1–12.
- [24] Ghaffour, N., Missimer, T. M., dan Amy, G. L. 2013. Technical review dan evaluation of the economics of water desalination: Current dan future challenges for better
- [25] Kesieme, U. K., Milne, N., Aral, H., Cheng, C. Y., dan Duke, M. 2013. Economic analysis of desalination technologies in the context of carbon pricing, dan opportunities for membrane distillation. *Desalination*. 323: 66–74.
- [26] Loutatidou, S., Bushra, C., Prashanthi, R. M., dan Hassan, A. A. 2014. Capital Cost Estimation of RO plants: GCC countries versus Southern Europe. *Desalination*. 347: 103-111
- [27] Al-Zubari, W. K., 2003. Assessing the sustainability of non-renewable brackish groundwater in feeding an RO desalination plant in Bahrain. *Desalination* 159: 211–224.
- [28] Elzanati, E. dan Sherif, E. 2004. Development of a locally designed dan manufactured small-scale reverse osmosis desalination system. *Desalination*. 165: 133-139.
- [29] Drak, A. dan Adato, M. 2014. Energy recovery consideration in brackish water desalination. *Desalination*. 339: 34–39.
- [30] Allama, A.R., E-J. Saaf dan M.A. Dawoud, 2002. Desalination of brackish groundwater in Egypt. *Desalination* 152: 19–26.
- [31] Henthorne, L. dan Boysen, B. 2015. State-of-the-art of reverse osmosis desalination pretreatment. *Desalination*. 356: 129–139
- [32] Walha, K., R.B. Amar, L. Firdaous, F. Quéméneur dan P. Jaouen, 2007. Brackish groundwater treatment by nanofiltration, reverse osmosis dan electrodialysis in Tunisia: performance dan cost comparison. *Desalination* 207: 95–106.
- [33] Widiasa. I. N., Paramita V., Kusumayanti H. 2009. BWRO Desalination For Potable Water Supply Enhancement In Coastal Regions. *Journal of Coastal Development* 12: 81-88.

- [34] Saadi, A. dan N. Ouazzani, 2004. Perspectives of desalination of brackish water for valorization in arid regions of Morocco. *Desalination* 165: 81.
- [35] Lashkaripour, G.R. dan M. Zivdar, 2005. Desalination of brackish groundwater in Zahedan city in Iran. *Desalination* 177: 1–5.
- [36] Nederlof, M.M. dan J.H. Hoogendoorn, 2005. Desalination of brackish groundwater: the concentrate Dilemma. *Desalination* 182: 441–447.
- [37] Haddad, B. M. 2013. A case for an ecological-economic research program for desalination. *Desalination*. 324: 72–78.
- [38] Afonso, M.D., J.O. Jaber dan M.S. Mohsen, 2004. Brackish groundwater treatment by reverse osmosis in Jordan, *Desalination* 164: 157–171.
- [39] Dore, M. H. I. 2005. Forecasting the economics costs of desalination technology. *Desalination*. 172: 207-214.
- [40] Charcosset, C. 2009. A review of membrane processes dan renewable energies for desalination. *Desalination*. 245: 214–231.
- [41] Toray Chemical Inc, 2009
- [42] CSM RO System Design & CSM PRO program, Woongjin Chemical Co. Ltd Filter Design.