

ANALISIS EFISIENSI *TURBOCHARGER* DALAM *REVERSE OSMOSIS* SISTEM PAKET POMPA PADA *POST TREATMENT WATER PLANT*

Casban

Program Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jalan Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta 10510
E-mail : casban@ftumj.ac.id

ABSTRAK

Turbocharger adalah kompresor sentripugal yang terdiri dari turbin dan *impeller* yang terpasang dalam satu poros, putaran dari poros turbin ini dimanfaatkan untuk menggerakkan poros *impeller* sehingga dapat berputar secara bersamaan. Desain dari *Turbocharger* digunakan untuk menghasilkan peningkatan tekanan air laut sebelum masuk *Reverse Osmosis* (RO) dengan memanfaatkan tekanan dari *reject water*. Pada membran RO sistem di *Post Treatment Water* (PTW) Jene Ponto membutuhkan aliran fluida masuk sebesar 123 m³/h dengan tekanan 60 bar, dan aliran fluida keluar dari *reject water* sebesar 71.7 m³/h dengan tekanan 58 bar, sehingga untuk memenuhi kebutuhan tekanan dari membran RO sistem diperlukan pompa yang memiliki spesifikasi tekanan yang tinggi. Oleh karena itu perlu mengetahui efisiensi dari *turbocharger* untuk menentukan spesifikasi *High Pressure Pump* (HPP) yang dibutuhkan akan menjadi tujuan dari paper ini. Hasil perhitungan efisiensi *turbocharger* sebesar 58.3 % dan dapat menghasilkan peningkatan tekanan air laut sebesar 22.78 bar dengan aliran fluida keluar 51.3 m³/h, sehingga untuk memenuhi kebutuhan tekanan membran RO sistem di PTW Jeneponto dapat ditentukan spesifikasi HPP yang dibutuhkan dengan tekanan kerja sebesar 37.22 bar.

Kata kunci : *Turbocharger, Reverse Osmosis, Post Treatment Water, Reject Water, High Pressure Pump*

ABSTRACT

Turbocharger is a centrifugal compressor consisting of turbine and *impeller* mounted in one shaft, the rotation of the turbine shaft is used to drive the *impeller* shaft so that it can rotate simultaneously. Design of the *Turbocharger* is used to produce increased sea water pressure before entering first reverse osmosis (RO) by utilizing the pressure of *reject water*. On the membrane RO system at *Post Treatment Water* (PTW) Jene Ponto requires input flow of 123 m³/h with pressure 60 bar, and output flow from *reject water* equal to 71.7 m³/h with pressure 58 bar, so to meet pressure requirement from membrane RO system required pumps that have high pressure specifications. Therefore it is necessary to know the efficiency of the *turbocharger* to determine the required *High Pressure Pump* (HPP) specifications will be the purpose of this paper. The calculation result of *turbocharger* efficiency of 58.3% and can result in increased sea water pressure of 22.78 bar with output flow 51.3 m³/h, so to meet the pressure requirement of membrane RO system at PTW Jeneponto can be determined specification of required HPP with work pressure equal to 37.22 bar.

Keywords : *Turbocharger, Reverse Osmosis, Post Treatment Water, Reject Water, High Pressure Pump*

PENDAHULUAN

Sistem pengolahan air bersih merupakan sarana yang penting untuk pengolahan air baku terkontaminasi menjadi kualitas air pengolahan sesuai standar air bersih yang siap untuk di konsumsi. Parameter fisik air bersih biasanya di lihat dari unsur yang berhubungan dengan indra manusia seperti penglihatan, sentuhan, pengecap dan penciuman, dasar pengukurannya meliputi kekeruhan, warna, bau, rasa dan suhu.

Dalam sistem pengolahan air bersih ada beberapa tahapan proses yang dilakukan yaitu *koagulasi* (untuk memisahkan air dengan pengotor yang terlarut didalamnya), *flokulasi* (untuk membentuk dan memperbesar flok atau pengotor yang terendapkan), *sedimentasi* (untuk mengendapkan partikel-partikel koloid yang sudah didestabilisasi oleh proses sebelumnya yaitu partikel koloid lebih besar berat jenisnya daripada air), *filtrasi* (untuk penyaringan yang dapat dilakukan dengan teknologi membran seperti *Multi Media Filter*,

Ultra filtration System, Nano filtration System, Micro filtration System, Reverse Osmosis System) dan **desinfeksi** (untuk mematikan kuman dengan penambahan *chlor*, ozonosasi dan *Ultra Violet*).

Post Treatment Water (PTW) Jeneponto *plant* adalah tahapan pengolahan air baku menjadi air bersih melalui proses *filtrasi* yang bertujuan untuk penyaringan dengan menggunakan teknologi *membrane reverse osmosis system*. Sumber air baku berasal dari air laut (*sea water*) yang diberi tekanan tinggi dengan menggunakan *High Pressure Pump* (HPP) melewati membran RO sistem yang akan menghasilkan produk berupa air tawar (*fresh water*) dan sisanya masih berupa air baku (*sea water*) yang akan dibuang menjadi *reject water*.

Untuk pemanfaatan energi dari *reject water* tersebut dapat dilakukan dengan pengembangan teknologi dari *Energi Recovery Devices* (ERD). Dalam paper ini ERD yang akan dibahas dengan menggunakan sistem putaran dari turbin dan impeller yang terpasang dalam satu poros yang didesain untuk menghasilkan tenaga hidrolik yang disebut sebagai *turbocharge*. Aplikasi teknologi *turbocharger* dalam *reverse osmosis* sistem paket pompa pada proses pengolahan air bersih di PTW adalah untuk mendapatkan peningkatan tekanan aliran fluida sebelum masuk *first reverse osmosis*. Penambahan tekanan yang dihasilkan *turbocharge* ini akan menentukan spesifikasi tekanan kerja HPP yang akan digunakan dalam rangkaian sistem paket pompa.

KAJIAN PUSTAKA

Reverse Osmosis merupakan proses kebalikan dari *osmosis* dimana fluida yang memiliki konsentrasi kontaminan yang tinggi sebagai air baku diberi tekanan agar menjadi fluida yang memiliki konsentrasi kontaminan yang rendah sebagai air bersih (Denny S, 2013). Membran merupakan media pemisah yang bersifat selektif *permeable* dengan menahan komponen tertentu dan melewatkan komponen lainnya, proses pemisahan didasarkan pada ukuran partikel dan beda muatan dengan gaya dorong (*driving force*) berupa tekanan terbukti cocok diterapkan dalam industri pengolahan air bersih (Wahyu, 2010).

Membran *Reverse Osmosis* memiliki ukuran pori persepuluhribu micron dan dapat

menghilangkan zat organik, bakteri, pirogen dan koloid yang tertahan oleh struktur mikro yang berfungsi sebagai penyaring (Metcalf and Eddy, 2004). Semakin kecil ukuran pori membran maka tekanan operasi yang digunakan akan semakin tinggi (Misran, 2012). Dengan teknologi membran perlu adanya perawatan antara lain pembersihan dan penggantian membran secara rutin. Untuk kebutuhan pengolahan selama dua puluh tahun dan kebutuhan kualitas efluen air limbah yang ketat maka biaya yang dibutuhkan pada teknologi membran sama dengan pada lumpur aktif konvensional (Young, 2012).

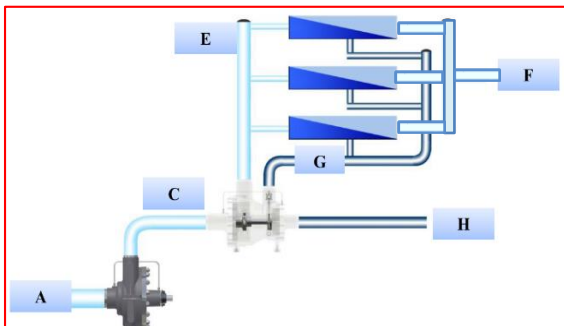
Pengolahan air bersih membutuhkan *recovery* dari 75% atau lebih untuk optimalisasi, ekonomis dan operasi yang menguntungkan, namun beberapa alasan sulit memanfaatkan *reject water* yang menjadi produk sisa dari proses. Untuk peningkatan *recovery* melebihi 75% dalam pengolahan air bersih proposional dengan peningkatan energi yang dihabiskan yaitu semakin tinggi *recovery* yang dibutuhkan maka semakin tinggi energinya (Liu, 2011). Konsumsi energi yang dibutuhkan selama proses pengolahan air bersih dapat dikurangi dalam jumlah yang signifikan dengan penggunaan teknologi ERD (Guirguis, 2011).

Turbocharger adalah jenis *ERD* yang didesain sebagai hidrolik kompresor sentripugal sudah digunakan sejak tahun 1990an (Penate, 2011), ini adalah generasi kedua dari ERD yang menggunakan material alloy agar ketahanan terhadap karat. Beberapa jenis material alloy yang digunakan mendekati grade material duplex (Eli Oklejas, 1995), sebuah poros penggerak yang terpasang diturbin dihubungkan untuk memutar impeller (Stover, 2006).

Fungsi *turbocharger* ini adalah untuk menghasilkan penambahan tekanan dengan HPP untuk mencapai tekanan input yang dibutuhkan. *Turbocharger* terdiri dari turbin dan *impeller* yang terpasang dalam satu poros (gambar 1), putaran poros turbin dimanfaatkan untuk memutar poros impeller sehingga poros turbin dan impeller dapat berputar secara bersamaan dan seimbang.

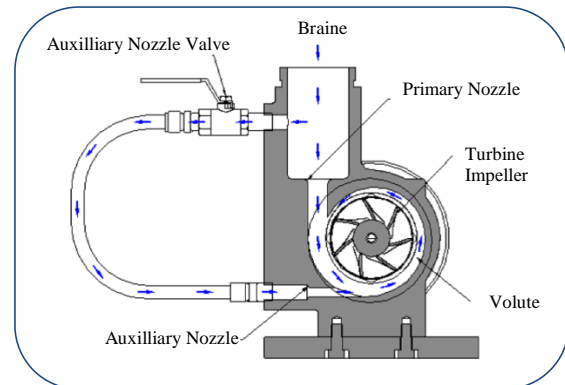
Gambar 1 : Turbin dan *Impeller Turbocharger*

Prinsip kerja dari *turbocharger* pada PTW (gambar. 2) dari aliran air laut dengan tekanan rendah (A) melewati pompa utama (HPP) dengan tekanan yang tersedia (C-A), keluaran dari *turbocharger* dapat menghasilkan penambahan tekanan (E-C) yang akan masuk ke membrane RO sistem (E), kemudian fluida yang keluar dari membrane RO akan menjadi air bersih (F) dan *reject water* yang masih bertekanan (G), dimanfaatkan untuk menghasilkan penambahan tekanan (G-H) dan sisa fluida yang terbuang hanya bertekanan rendah (H). (ERK, 2012).

Gambar 2. Prinsip kerja *turbocharger* di PTW

Turbocharger dilengkapi dengan *Nozzle* Utama, *Nozzle Auxiliary* sekunder (AN) dan *Auxiliary Nozzle Control Valve* (ANCV) dapat dilihat pada Gambar 3. *Nozzle* Utama untuk menyediakan daya tahan sistem konsentrat sama dengan tekanan disain maksimum konstan laju aliran air laut. *Nozzle* tambahan berukuran sekitar 20-25% dari area *Nozzle* Utama. ANCV akan memberikan kisaran tekanan sebesar 20-30% pada aliran air laut konstan. Optimalisasi sistem untuk mengurangi tekanan air laut, dapat dilakukan dengan membuka katup *Nozzle* tambahan sampai aliran air laut dan tekanan diperoleh sesuai kebutuhan. Membuka ANCV akan mengurangi tekanan air laut dan akibatnya mengurangi tekanan dorongan (karena ada

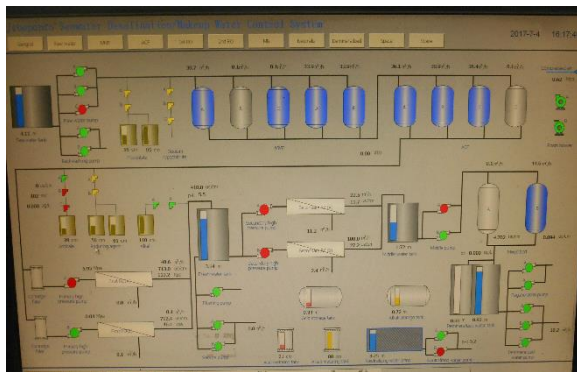
sedikit tekanan diferensial air laut untuk penyesuaian). Membuka ANCV akan meningkatkan area *nozzle* total sehingga memungkinkan aliran fluida yang lebih sedikit dan tekanan lebih rendah.

Gambar 3. Diagram *Nozzle* Utama, AN dan ANCV

Teknologi ERD jenis yang lain adalah PX (*Pressure Exchanger*). Berdasarkan hasil penelitian Penat, et al, (2010) penggunaan PX dapat mengurangi konsumsi energy dengan efisiensi maksimum mencapai 98% mengurangi kerja pompa tekanan tinggi, tidak bising dan vibrasi rendah. Potensi penghematan ini diteliti lebih lanjut oleh Timur et al, (2011) yang membandingkan antara penggunaan PX dengan *Turbocharger* pada *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO) plants, perbandingan berdasarkan investasi awal dan biaya konsumsi energi, hasilnya penggunaan PX membutuhkan biaya yang lebih besar untuk investasi awal meskipun dari konsumsi energi lebih sedikit dibandingkan dengan *turbocharger*. Hasil penelitian serupa di lakukan oleh Guirguis (2011) dengan melakukan perbandingan antara penggunaan *Energi Recovery Turbine* (ERT) dengan PX pada SWRO plants, hasilnya menunjukkan penggunaan PX dapat mencapai konsumsi energi yang lebih baik, namun ERT dapat menghasilkan biaya investasi dan biaya perawatan yang lebih rendah, oleh karena itu kesimpulan penelitiannya menyatakan bahwa penggunaan ERT lebih ekonomis dibandingkan PX. Kelebihan penggunaan *turbocharger* dibandingkan dengan EDR jenis yang lain adalah lebih tahan lama (*reliable*) dan biaya perawatan (*maintenance*) lebih murah, namun keterbatasannya hanya dapat *me-recover* energi sebesar 50% - 80 % (Pique,2000).

METODOLOGI

Sistem pengolahan air bersih pada tahapan proses *Post Treatment Water* merupakan tahapan proses lanjutan dari proses pengendapan (sedimentation) dimana partikel koloid yang lebih besar berat jenisnya daripada air akan mengendap dibawah permukaan, untuk proses *koagulasi*, *flokulasi*, dan *sedimentasi* dapat dibuat tergabung dalam satu sistem terintegrasi , pengoperasiannya dimonitor dari ruang kontrol melalui *Distribute Contorl Sytem* (DCS) yang dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Sistem PTW di DCS

Desain sistem pengolahan air bersih di PTW Jene Pontoh menggunakan sistem paket pompa dengan jumlah 2 unit, dengan filosofi operasinya 1 x 100% yaitu 1 unit *running* dan 1 unit lagi *stand by* atau sebagai *back up* yang terintegrasi dengan 2 jalur pipa produksi membran RO sistem untuk pengolahan air bersih, spesifikasi data membran RO yang digunakan yaitu :

- *Feed flow to membrane* : 110-120³/jam
- *Feed Pressure at membrane* : 60 bar
- *Brine Flow from membrane* : 65-70 m³/jam
- *Brine pressure from membrane* : 58 bar

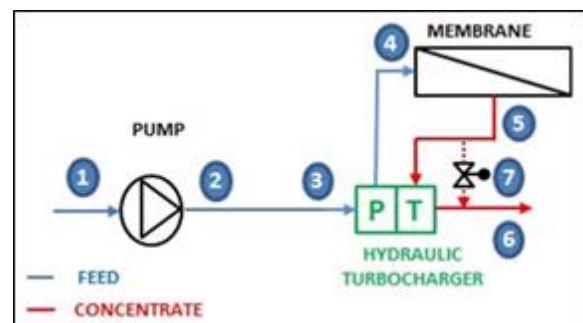
Untuk memenuhi kebutuhan parameter operasi dari data membran RO tersebut diperlukan sistem paket pompa yang terintegrasi sebagai *High Pressure Pump* (HPP). Untuk kebutuhan pengoperasian sistem PTW yang lebih ekonomis maka diperlukan pemasangan teknologi *turbocahrger* untuk menambahkan tekanan, sehingga HPP yang akan digunakan dapat diseleksi dengan spesifasi tekanan kerja yang lebih rendah. Langkah untuk melakukan seleksi kebutuhan *turbocharger* dapat dilakukan dengan memproyeksikan dalam simulasi di *software*,

berdasarkan input data dari parameter operasi membran RO sistem dan sitem paket pompa yang dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Seleksi *Turbocharger*

Dalam melakukan seleksi *turbocharge* berdasarkan parameter operasi membran RO sebagai input data dengan *feed flow* sebesar 123 m³/h dan *brain flow* sebesar 68 m³/h, sedangkan data kebutuhan tekanan dari *suction pressure pump* sebesar 2 bar, dengan parameter data operasi tekanan aliran masuk membran RO sebesar 59 bar dan menghasilkan *brain pressure* sebesar 58 bar, dan tekanan sisa sebagai keluaran dari *turbocharge* sebesar 1 bar maka berdasarkan hasil perhitungan seleksi jenis *turbocharger* yang diperlukan adalah model AT dengan size 550, dengan spesifikasi kemampuan teknis dapat menghasilkan aliran fluida sebesar 55 m³/h dan tekanan kerja (*discharge pressure*) sebesar 38,4 bar, kebutuhan konsumsi energi yang diperlukan sebesar 3.14 kWh/m³, sehingga dapat ditentukan kebutuhan dari pompa yang terintegrasi dengan *turbocharge* sebagai HPP dengan spesifikasi tekanan kerja sebesar 20,6 bar. Untuk menggambarkan hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 6 sebagai berikut :



Gambar 6. *Turbocharger* dalam HPP package

- Keterangan :
- 1 = *Suction Pressure* (bar)
 - 2 = *Discharge pressure* (bar)

- 3 = *Input flow turbocharger* (m³/h)
- 4 = *Membrane Pressure* (bar)
- 5 = *Brine Pressure* (bar)
- 6 = *Exhaust Pressure* (bar)
- 7 = *Bypass line* (m³/h)

Untuk mengetahui efisiensi *turbocharge* dilakukan dengan menggabungkan besarnya *feed flow* pada no.1,2,3&4 di gambar 6 sedangkan untuk menghitung besarnya *brain flow* dilakukan dengan menjumlahkan no.5&6 pada gambar 6, untuk perhitungan efisiensi kerja *turbocharger* dapat dilihat pada table 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Perhitungan *Turbocharger Performance*

Description	No	Value
Feed Flow (m ³ /h)	1,2,3,4	123
Brine Flow (m ³ /h)	5,6	71,7
Suction Pressure (bar)	1	2,0
Membrane Pressure (bar)	4	60
Brine Pressure (bar)	5	58
Exhaust Pressure (bar)	6	1
Bypass line (m ³ /h)	7	
Turbo Efficiency		68,6%
Auxiliary Valve Position		Closed
Turbo Reject Ratio		58.3 %
Turbo Pressure Boost (bar)		22,78
Required HPP Discharge Pressure (bar)		37,22

Perhitungan dari efisiensi turbocharger :

- Turbo Rejec Ratio (TRR) :

$$TRR = \frac{Brine\ flow}{Feed\ flow}$$

$$= \frac{71,7\ m^3/h}{123\ m^3/h} = 58,3\%$$

- Turbo Pressure Boost (TPB) :

$$TPB = P_{in\ Membrane} - P_{in\ TC}$$

$$= 60\ bar - 37,22\ bar = 22.78\ bar$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mengacu data hasil seleksi *turbocharger* dan data parameter operasi membrane RO maka dapat dilakukan seleksi kebutuhan sistem paket pompa sebagai HPP yang akan

digunakan dalam proses pengolahan air bersih di PTW. Hasil perhitungan yang telah dilakukan berdasarkan proyeksi dalam simulasi di *software* didapatkan tekanan kerja HPP sebesar 20,6 bar. Sebagai tahapan proses seleksi selanjutnya dilakukan perhitungan berdasarkan efisiensi *turbocharger* didapatkan kebutuhan tekanan kerja HPP sebesar 37,22 bar dan aliran fluida sebesar 123 m³/h. Tahapan seleksi dalam menentukan tipe pompa yang sesuai dengan kebutuhan operasi di PTW, dilakukan dengan cara memproyeksikan data-data parameter operasi membrane RO dan hasil seleksi tipe *turbocharger* yang sudah didapatkan, kedalam simulasi di *software* yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. *Pump performance data sheet* dari HPP

Liquid	
Liquid type	: Other
Additional liquid description	: Seawater
Solids diameter, max	: 0.00 mm
Solids concentration, by volume	: 0.00 %
Temperature, rated / max	: 30.00 / 40.00 deg C
Fluid density, rated / max	: 1.030 / 1.030 SG
Viscosity, rated	: 1.00 cSt
Vapor pressure, rated	: 0.02 bar.a
Operating Conditions	
Flow, rated	: 123.0 m3/h
Differential head / pressure, rated (requested)	: 38.40 bar
Suction pressure, rated / max	: 0.00 / 0.00 bar.g
NPSH available, rated	: Ample
Frequency	: 50 Hz
Performance	
Speed, rated	: 2980 rpm
Impeller diameter, rated	: 238 mm
Impeller diameter, maximum	: 254 mm
Impeller diameter, minimum	: 215 mm
Efficiency	: 75.32 %
NPSH (3% head drop) / margin required	: 3.64 / 0.00 m
Ns (imp. eye flow) / Nss (imp. eye flow)	: 1,139 / 10,797 US Units
MCSF	: 29.33 m3/h
Head, maximum, rated diameter	: 44.07 bar
Head rise to shutoff	: 14.76 %
Flow, best eff. point	: 135.7 m3/h
Flow ratio, rated / BEP	: 90.67 %
Diameter ratio (rated / max)	: 93.50 %
Head ratio (rated dia / max dia)	: 85.08 %
Cq/Ch/Ce/Cn [ANSI/HI 9.6.7-2010]	: 1.00 / 1.00 / 1.00 / 1.00
Selection status	: Acceptable
Driver & Power Data	
Driver sizing specification	: Rated power
Margin over specification	: 0.00 %
Service factor	: 1.00
Power, hydraulic	: 131 kW
Power, rated	: 174 kW
Power, maximum, rated diameter	: 194 kW
Minimum recommended motor rating	: 200 kW / 268 hp

Berdasarkan hasil perhitungan dalam *Pump performance data sheet* maka dapat ditentukan spesifikasi pompa yang akan digunakan sebagai HPP yang dibutuhkan dengan tekanan kerja (*differential head / pressure*) sebesar 38,40 bar dengan aliran fluida sebesar 123 m³/h. Hasil akhir dari seleksi aplikasi *turbocharge* dalam sistem paket pompa yang terpasang dengan membran RO sistem pada PTW Jene Ponto *Plant* dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. *Turbocharge* & sistem paket pompa

KESIMPULAN

Setelah melakukan pengamatan dan analisis data dalam proses pengoperasian *turbocharge* dalam sistem paket pompa, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Aplikasi *turbocharge* dalam sistem paket pompa digunakan untuk memanfaatkan energi reject water yang masih bertekanan tinggi.
2. *Turbocharger* dalam *reverse osmosis* sistem paket pompa pada *Post Treatment Water* mempunyai efisiensi sebesar 58,3 %.

DAFTAR PUSTAKA

Denny Surindra, M (2013). Analisis Efisiensi *Pressure Exchanger (PX)* di *Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)* pada *Sea Water Desalation Plant*. *Jurnal Teknik Energi*, Vol. 9 No. 3, hal. 80-84

Eli Oklejas, I.M., and Kent Nielsen (1995). Low cost Incremental Sea Water Plant Capacity Increase by Coupling and Advanced Pumping and RO Technologies. *Desalation*.102 : P. 189-197.

ERK and RBC (2012). *Turbocharger Auxiliary Nozzle and Valve*. Technical

- Bulletin, Doc No.80230-01 Rev 001, sheet 1 of 3, Energy Recovery Inc.'s (ERI) Hydraulic Turbochargers™.
- Guirguis, Mageed Jean (2011). Energi Recovery Devices in Sea Water Reverse Osmosis Desalation Plants with Emphasis on Efficiency and Economical Analysis of Isobaric versus Centrifugal Devices. Graduate Theses and Dissertations. University of South Florida.
- Liu, C. K, rainwater and L. Song (2011). Energi Analysis and efficiency assessment of Reverse Osmosis Desalation Process. *Desalation*. 276 (1-3) : P. 352-358.
- Metcalf and eddy (2004). *Waste water Engineering Treatment Disposal Reuse*, fourth edition, MCGraw-Hill, Inc. New York: St. Fransisco, Auckland.
- Misran, Erni (2002). Aplikasi Teknologi berbasis Membran dalam bidang Bioteknologi Kelautan, Pengendalian Pencemaran. Skripsi, fakultas Teknik Program Studi Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara.
- Penate, B. DE La Fuente, J.A., Barreto, M (2010). Operation of RO Kinetic® Energy Recovery Sistem : Description and Real Experiences, *Desalation* 252, P. 179-185.
- Penate, B. And L. Garcia-rodriguez (2011). Energy optimisation of existing SWRO (Sea Water Reverse Osmosis) Plants with ERT (Energi Recovery Turbine) : Technical and Thermoeconomic assessment. *Energy*. 36(1) : P. 613-626.
- Pique, G.G (2000). RO : New Devices shatters Sea water Conversion Conceptual Barriers, *Feature*. 42(7).
- Stover, B. R. L (2006). Energy Recovery Devices for Sea Water Reverse Osmosis, Everthing about Water.
- Timur, R.S., Corum, A., Okten, H.E., Coban, A., Demir, G., Bozbura, T (2011). Comparative Cost Analysis of Pressure Exchanger (PX) and Turbine Type Energi Recovery Devices at Sea water Reverse Osmosis (SWRO) Plamts, *Journal of Environmental Protection and Ecology* 12 No.3. P. 1186-1194.
- Wahyu Rachmi Pusparini, dkk. (2010). Teknologi Pemisahan Zr-HF menggunakan Metode Kompleksasi

Membran *Nano Filtrasi*. Jurnal Pustek Akselerator dan Proses Bahan – Batan, ISSN 0216-3128.

Young, T., Muftugila, M., Smoot, S., & Peetersb, J. (2012). MBR vs. CAS: Capital and operating cost evaluation. *Water Practice & Technology*, 7(4). Diakses 23 Maret, 2015, dari <http://www.iwaponline.com/wpt/007/0075/0070075.pdf>.