

OPTIMASI UNIT DESALINASI AIR LAUT DENGAN ALAT *SEAWATER REVERSE OSMOSIS* (MEMBRAN) PADA UNIT PLTU SULBAGUT I GORONTALO MENGGUNAKAN METODE PENDEKATAN *RESPONSE SURFACE I-OPTIMAL DESIGN EXPERT*

Nashru Imaruzi^{1,*}, Zulkifli², Teuku Rihayat³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jl. Banda Aceh-Medan Km. 280,3, Buketrata, Kota Lhokseumawe, Aceh 24301, Indonesia

*Email: nashrujurnal@gmail.com

Abstract

Indonesia is still experiencing an energy crisis. One of the efforts that has been made by the Government is to build various new power generation facilities and optimize existing power plants. As for the PLTU cycle, demineralized water is required to be obtained from fresh water, so the role of a desalination plant is needed to provide fresh water. This project was to evaluate and optimize the role of the seawater desalination units using seawater reverse osmosis membrane devices at the Sulbagut I Gorontalo PLTU unit using the response surface I-optimal design expert approach. Optimization of seawater desalination work is carried out by observing the reverse osmosis membrane process in the desalination unit. The main equipment involved in the desalination process is the reverse osmosis membrane module, SWRO high pressure pump, turbo charger energy recovery device, chlorine reductant and antiscalant dosing. The working principle of desalination optimization is analysis using formulations and graphics from Design Expert with the I-Optimal Response Surface method with observational data using actual operating conditions. Analysis and testing of the model condition results obtained from the design expert, with the model analysis results obtained a set up goal will be carried out with the maximum parameters of the production parameters which get optimization results in the form of membrane inlet pressure at a set point of 4,938 MPa which is the best and most efficient and optimal optimization result where this parameter is applied to get optimal production results in quality and quantity.

Keywords: *Desalination, reverse osmosis, membrane, sea water*

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia meningkat setiap tahunnya, hal ini seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi dan perkembangan yang ada. Namun tingginya kebutuhan energi listrik tersebut belum mampu dipenuhi mengingat keterbatasan daya listrik yang ada, walaupun Pemerintah melalui PT. PLN (persero) dan membentuk sistem IPP (*independent power plant*) tetap berusaha secara maksimal untuk memenuhi

tingginya kebutuhan energi listrik tersebut [1, 2].

Hingga saat ini Indonesia masih mengalami krisis energi. Hal ini ditandai dengan pemadaman secara bergilir yang masih terus terjadi. Masalah krisis listrik merupakan masalah yang sangat serius, sehingga harus segera dicarikan solusinya. Salah satu usaha yang telah dilakukan Pemerintah adalah dengan membangun berbagai fasilitas pembangkit listrik yang baru dan mengoptimalkan pembangkit yang

telah ada untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional dan mewujudkan rencana pemerintah dalam program listrik 35.000 MW [3]. Hal ini sangat memerlukan investasi dan dana yang tidak sedikit. PLTU memiliki peralatan utama meliputi boiler, turbin, generator, trafo, dan lain sebagainya dan peralatan tambahan dan penunjang berupa desalinasi, demineralisasi, dan lain – lain.

Siklus proses pada PLTU membutuhkan air demineralisasi agar peralatan pada siklus PLTU dapat berlangsung baik dan tidak terjadi korosi (berkarat) [4, 5]. Sebelum memperoleh air demineralisasi terlebih dahulu yang dibutuhkan adalah air tawar. Desalinasi adalah proses yang digunakan untuk mengolah air laut untuk dijadikan air tawar/air baku produksi. Air tawar tersebut diperoleh dengan cara filtrasi membran (*reverse osmosis*). Untuk memperoleh air tawar yang maksimal, maka diperlukan sistem kontrol yang terkondisikan agar proses desalinasi berlangsung sempurna.

Pengoperasian peralatan yang sudah berjalan dalam kurun waktu tertentu maka dapat dipastikan suatu alat akan mengalami penurunan performa, hal ini menjadi masalah dimana hasil yang didapat secara kualitas maupun kuantitas akan menurun, dan juga untuk kemampuan kerja dari peralatan juga akan menurun dari limit design [6].

Kajian desalinasi *seawater* dengan menggunakan teknologi reverse osmosis telah diteliti dan dikembangkan oleh para peneliti dari berbagai tinjauan dan parameter yang berpengaruh terhadap performan [7-9].

Beberapa kajian mengenai performa proses desalinasi telah dilakukan oleh para peneliti. Kajian efektivitas desalinasi brackish water dengan reverse osmosis telah dilakukan pada system pengolahan air industry di PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia [10]. Sementara rancangan *multistage recovery brackish water* dengan metoda *reverse osmosis* telah dirancang

pada PLTU Cilacap dengan kapasitas 660 MW [11]

Oleh karena kajian optimasi pada peralatan proses ini agar mendapatkan titik optimal parameter produksi yang dapat menunjang kegiatan proses dan mendapatkan hasil terbaik dan efisien untuk diterapkan itu sangat penting dilakukan. Peningkatan dan kesempurnaan proses dalam desalinasi yang secara langsung dapat meningkatkan jumlah air baku yang dibutuhkan PLTU.

METODE

Unit Peralatan Proses

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa parameter dan kinerja peralatan *seawater reverse osmosis system subsistem* dari *desalination treatment* pada *unit water treatment plant* PLTU Sulbagut 1. Peralatan *SWRO treatment system* diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampak depan peralatan *SWRO treatment system*

Indikator Kinerja

- Tekanan air umpan keluaran pompa dan tekanan air masuk modul membran.
- Electric conductivity air umpan dan air permeate (produk)
- Laju alir air umpan, air concentrate, air permeate (produk)

Rancangan Evaluasi Kinerja Peralatan

Langkah-langkah dalam penelitian berawal dari studi literature mengenai proses desalinasi unit *seawater reverse osmosis* PLTU Sulbagut 1 serta survey lapangan pengamatan serta pengambilan data. Tahapan selanjutnya adalah mengetahui komponen-komponen utama, cara kerjanya serta fungsinya yang terdapat di desalinasi. Setelah diperoleh pengamatan tersebut kemudian dilakukan formulasi variable penelitian menggunakan Design Expert dan perhitungan parameter optimasi dengan menggunakan *software Design Expert* dengan metode *Response Surface, I-Optimal* dan mengamati hasil analisis grafik optimasi hasil analisa dengan *design expert* untuk proses produksi desalinasi unit *seawater reverse osmosis* PLTU Sulbagut 1 Gorontalo.

Setelah diperoleh hasil dari perhitungan optimasi untuk unit desalinasi, maka dilakukan analisis dan diambil kesimpulan optimasi kinerja peralatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sea water reverse osmosis system adalah peralatan unit desalinasi yang digunakan untuk memurnikan air laut dengan proses penyaringan menggunakan membrane. Prinsip osmosis terbalik atau reverse osmosis dilakukan dengan memberikan tekanan pada air laut umpan dengan menggunakan pompa multistage bertekanan tinggi yaitu *SWRO High pressure pump* dan penambahan tekanan dari *energy recovery device (turbo charger)* yang memanfaatkan energi dari *rejection air concentrate* setelah penyaringan di *module membrane reverse osmosis*.

Energi kinetik yang dibuang dari hasil penyaringan RO mencapai 95% dan dimanfaatkan kembali dengan menggunakan *energy recovery device* untuk membantu menaikkan tekanan air laut umpan saat memasuki modul membran RO.

Setelah memasuki modul membran RO yang berukuran 0,0001 µm dan terjadi penyaringan yang hanya membolehkan molekul air dan partikel yang berukuran kurang dari 0,0001 µm untuk lewat ke jalur permeate, sedangkan air concentrate yang masih memiliki tekanan yang sangat tinggi masuk ke *energy recovery device* untuk memutar impeler dari *turbo changer* sebelum di alirkan kembali ke laut.

Membrane inlet pressure ditetapkan sebagai variable factor/variable bebas dan terdapat empat variable respon dalam proses ini berupa *feed inlet flow, concentrate flow, permeate conductivity dan permeate flow*. Adapun data – data yang digunakan dalam analisis dan menentukan optimasi dari unit *seawater reverse osmosis membrane* pada PLTU ini diperoleh dari data rekaman harian yang ada di unit desalinasi SWRO A unit PLTU Sulbagut I Gorontalo. Data pengamatan harian unit desalinasi ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data pengamatan harian unit desalinasi

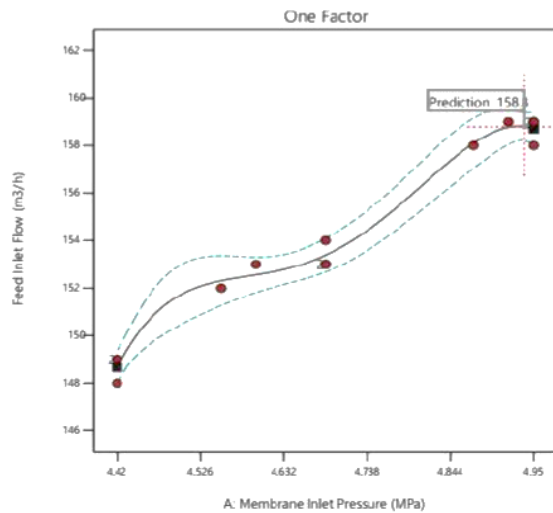
Item	Experiment Run	Formulated by Design Expert Membrane Inlet Pressure	Actual Membrane Inlet Pressure	Inlet Flow	Concentrate Flow	Permeate Conductivity	Permeate Flow
		Factor 1		Response 1	Response 2	Response 3	Response 4
Unit		Mpa	Mpa	m ³ /h	m ³ /h	µs/cm	m ³ /h
Std		≤5	≤5	< 165	≤97	≤1000	≤65
5-Okt-2022 (18:00)	1	4.95	4.950	159	97	395	62
6-Okt-2022 (02:00)	2	4.95	4.94	159	97	397	62
5-Okt-2022 (16:00)	3	4.9175	4.91	159	97	390	62
4-Okt-2022 (10:00)	4	4.5967	4.60	153	96	420	57
3-Okt-2022 (10:00)	5	4.95	4.93	158	97	390	61
1-Okt-2022 (20:00)	6	4.42	4.42	149	95	423	54
2-Okt-2022 (02:00)	7	4.685	4.63	153	96	412	57
1-Okt-2022 (22:00)	8	4.42	4.42	148	94	449	54
2-Okt-2022 (16:00)	9	4.5525	4.55	152	95	432	57
6-Okt-2022 (22:00)	10	4.8733	4.88	158	96	392	61
2-Okt-2022 (04:00)	11	4.685	4.61	154	96	410	58
2-Okt-2022 (00:00)	12	4.685	4.63	153	96	412	57
1-Okt-2022 (18:00)	13	4.42	4.41	149	94	428	55

Setelah melakukan formulasi variable awal berdasarkan rekomendasi dari *Design Expert* dengan menggunakan metode

Response Surface I-Optimal yang dijadikan sebagai dasar pengambilan data pengamatan, serta menjadi acuan untuk menentukan variable respons dari logsheet harian operasi unit SWRO.

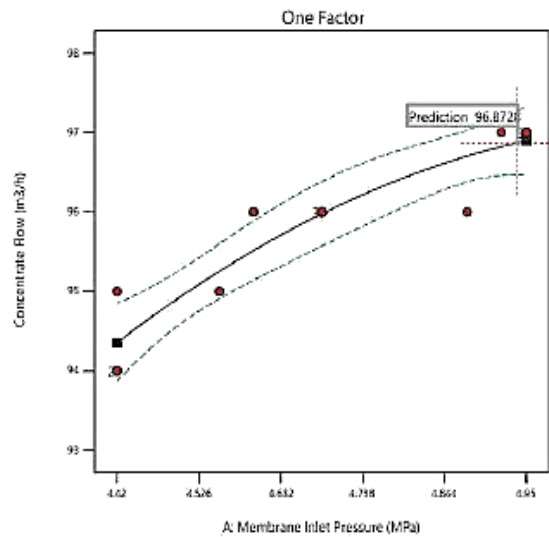
Analisa Grafik Optimum Menggunakan Metode RSM Design Expert

Analisa optimasi *surface membrane pressure* dengan *concentrate flow* ditunjukkan pada Gambar 2. Dari Gambar tersebut diamati variabel factor pada parameter *membrane inlet pressure* pada 4,9175 Mpa didapatkan titik optimasi parameter *feed inlet flow* didapatkan pada angka 159 m³/h dan ini masih masuk kedalam range parameter operasi yang di izinkan dalam proses operasi.



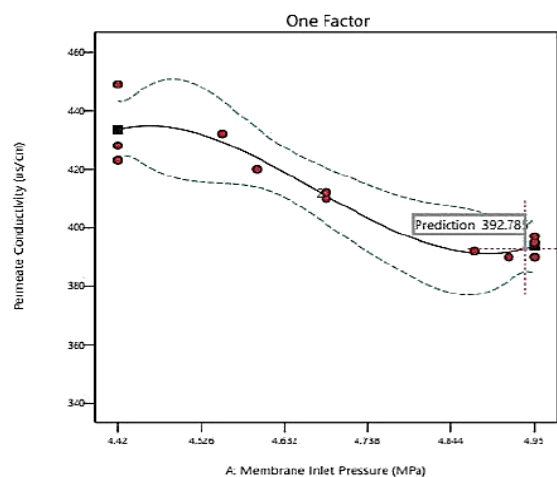
Gambar 2. Analisa *Design Expert* metode *response surface membrane inlet pressure vs feed inlet flow*.

Hasil analisa *Design Expert* metode *response surface membrane inlet pressure vs concentrate flow* diperlihatkan pada Gambar 3. Dari Gambar tersebut dapat diamati bahwa variabel factor pada parameter *membrane inlet pressure* pada 4,9175 Mpa didapatkan titik optimasi parameter *concentrate flow* didapatkan sebesar 97 m³/h yang merupakan titik maksimal yang di izinkan dalam proses operasi.



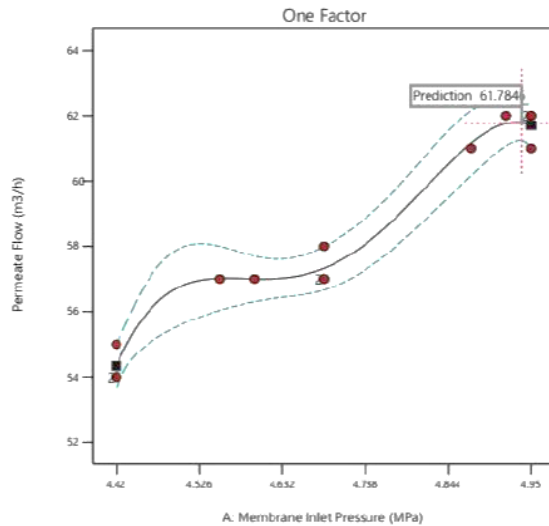
Gambar 3. Analisa *Design Expert* metode *response surface membrane inlet pressure vs concentrate flow*

Sedangkan analisa terhadap *inlet pressure vs permeate conductivity* ditunjukkan pada Gambar 4. Dari Gambar 4 terlihat bahwa variabel factor pada parameter *membrane inlet pressure* pada 4,9175 Mpa didapatkan titik optimasi parameter *permeate conductivity* didapatkan pada angka 390 μ s/cm dan ini masih masuk kedalam range parameter operasi yang di izinkan dalam proses operasi.



Gambar 4. Analisa *Design Expert* metode *response surface membrane inlet pressure vs permeate conductivity*

Hasil analisa *Design Expert metode response surface membrane inlet pressure vs permeate flow* ditunjukkan pada Gambar 5. Pada gambar tersebut terlihat bahwa variabel factor pada parameter *membrane inlet pressure* pada 4,9175 Mpa didapatkan titik optimasi parameter *permeate flow* didapatkan pada angka 62 m³/h dan ini masih masuk kedalam range parameter operasi yang di izinkan dalam proses operasi.



Gambar 5. Analisa *Design Expert metode response surface membrane inlet pressure vs permeate flow*.

Optimasi Variabel Respon

Proses optimasi bertujuan untuk mendapatkan kondisi parameter operasi yang memberikan respon optimal dengan parameter yang ideal dan efisien. Oleh karena itu, untuk mendapatkan respon optimal dengan parameter operasi yang ideal dan efisien maka *set-up goal* maksimum dilakukan untuk masing-masing parameter pada variable penelitian berdasarkan data pengamatan dan variable penelitian berdasarkan standar maksimum parameter produksi dengan batas bawah dan batas atas. *Set up goal* untuk data pengamatan diberikan dalam Tabel 2, sedangkan *set up goal* untuk parameter produksi diberikan dalam Tabel 3.

Tabel 2. *Set-up goal* variabel penelitian berdasarkan data pengamatan

Variabel	<i>Set-Up Goal</i>	Batas Bawah	Batas Atas
Membrane Inlet Pressure (Mpa)	Maksimum	4.42	4.95
Feed Inlet Flow (m3/h)	Maksimum	148	159
Concentrate Flow (m3/h)	Maksimum	94	97
Permeate Conductivity (µs/cm)	Minimum	390	449
Permeate Flow (m3/h)	Maksimum	54	62

Tabel 3. *Set-up goal* variabel penelitian berdasarkan standar maksimum parameter produksi

Variabel	<i>Set-Up Goal</i>	Batas Bawah	Batas Atas
Membrane Inlet Pressure (MPa)	Maksimum	4,42	5
Feed Inlet Flow (m3/h)	Maksimum	148	165
Concentrate Flow (m3/h)	Maksimum	94	97
Permeate Conductivity (µs/cm)	Minimum	350	449
Permeate Flow (m3/h)	Maksimum	54	66

Dari hasil analisa diatas maka dilakukan simulasi dengan menentukan *set up goal variabel* seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3 dengan *Design Expert* maka didapatkan hasil optimasinya seperti ditunjukkan dalam Tabel 4 dan Tabel 5.

Dari Tabel 4 terlihat bahwa penerapan metode *Response surface I-Optimal* dengan *desirability function*, maka diperoleh kesimpulan *membrane inlet pressure* diperoleh sebesar 4,038 MPa, parameter *feed inlet flow* diperoleh sebesar 158,8 m³/h, titik optimasi parameter *concentrate flow* diperoleh sebesar 96,873 m³/h, parameter *permeate conductivity* diperoleh sebesar 392,785 µs/cm, parameter *permeate flow* diperoleh pada angka 61.785 m³/h pada *desirability function* terbesar 0.970 (97%).

Hasil perolehan dari optimasi variable proses tersebut merupakan parameter operasi yang ideal dan efisien untuk diterapkan.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil optimasi variabel terikat (*membrane inlet pressure*)

Membrane Inlet Pressure	Feed Inlet Flow	Concentrate Flow	Permeate Conductivity	Permeate Flow	Desirability
4.938	158.800	96.873	392.785	61.785	0.970

Tabel 5. Rekapitulasi hasil optimasi variabel terikat (*membrane inlet pressure*) berdasarkan standart maksimum parameter produksi.

Membrane Inlet Pressure	Feed Inlet Flow	Concentrate Flow	Permeate Conductivity	Permeate Flow	Desirability
4.938	158.800	96.873	392.785	61.785	0.703
4.940	158.791	96.877	392.912	61.777	0.703

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh tekanan masuk pada peralatan SWRO A membran yang optimal dapat memberikan efisiensi parameter produksi yang lebih baik, pada tekanan masuk membran (*membrane inlet pressure*) optimal pada 4,938 Mpa.
2. Pada kondisi *membrane inlet pressure* 4,938 Mpa, maka hasil optimal diperoleh laju alir umpan (*feed inlet flow*) sebesar 158,8 m³/h, laju alir konsentrat (*concentrate flow*) sebesar 96,873 m³/h sebagai batas maksimum operasi, konduktivitas listrik air produk (*permeate conductivity*) sebesar 392,785 µs/cm, dan laju alir produk (*permeate flow*) sebesar 61.785 m³/h.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prayudi, P., Diantari, R. A., and Susilo, S. D., 2015. *Analisa pengaruh plugging evaporator terhadap performance desalination plant unit 2 PLTGU Gresik*. JURNAL POWERPLANT, Vol. 3, No. 1, pp. 38-41.
- [2] Laksmono, R. and Widodo, P., 2017. *Pengambilan keputusan strategik energi dan implementasinya*. ketahanan energi, Vol. 3, No. 1.
- [3] Tambunan, H. B. et al., 2021. *Review proses perencanaan jangka panjang sistem tenaga listrik*. EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control), Vol. 4, No. 1.
- [4] Saputra, H. H. and Siswanto, R., 2019. *Analisa sistem suplai air produksi dan air pendingin untuk kehandalan operasi di PLTU Pulang Pisau (2X66MW)*. Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika, Vol. 4, No. 2, pp. 23-36.
- [5] Prestanty, D. A. and Cahyono, B. D., 2022. *proses pembangkit listrik 15 MW Pada waste heats recovery system di PT. Cemindo Gemilang, TBK*. Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik (JURRITEK), Vol. 1, No. 2, pp. 52-66.
- [6] Amin, M. N., 2019. *Pengaruh turunnya flow brine recirculation pump terhadap kinerja desal c unit 5-7 PLTU Suralaya*. Jurnal Teknik Mesin Mercuri Buana, Vol. 8, No. 3, pp. 93-101.
- [7] Park, K. et al., 2020. *Towards a low-energy seawater reverse osmosis desalination plant: A review and theoretical analysis for future directions*. Journal of Membrane Science, Vol. 595, pp. 117607.
- [8] Shahabi, M. P. et al., 2014. *Environmental life cycle assessment of seawater reverse osmosis desalination plant powered by*

- renewable energy. Renewable energy, Vol. 67, pp. 53-58.*
- [9] Hapsari, L. P. *et al.*, 2022. *Using seawater reverse osmosis (SWRO) Technology in seawater desalination processes.* PELAGICUS, Vol. 3, No. 3, pp. 153-164.
- [10] Simanjuntak, Y. P., 2023. *Effectiveness of brackish water desalination using reverse osmosis system for industrial water treatment at PLTU PT Bintan Alumina Indonesia.* Eksergi: Jurnal Teknik Energi, Vol. 19, No. 03, pp. 91-94.
- [11] Sasono, T., Udjianto, T., and Rizal, T., 2016. *Rancangan multistage high recovery brackish water reverse osmosis pada PLTU Cilacap Kapasitas 660 MW.* Jurnal Teknik Energi, Vol. 6, No. 2, pp. 541-546.