ISSN: 2089-2527

RANCANGAN MULTISTAGEHIGHRECOVERYBRACKISHWATERREVERSE OSMOSIS PADA PLTU CILACAP KAPASITAS 660 MW

Teguh Sasono, Tjatur Udjianto, Taufik Rizal Jurusan Teknik Konversi Energi – Politeknik Negeri Bandung

Abstraksi

Rancangan sistem BWRO dengan persentase air hasil pengolahan yang tinggi (high recovery)akan mengurangi biaya operasinya. Untuk mencapai high recovery, skema multistage diterapkan dalam rancangan BWRO ini. Dengan menerapkan skema multistage dan nilai recovery per elemen sebesar 14,53%, sistem BWRO ini memiliki keandalan (reliability) yang baik dengan investasi yang rendah. Air yang diolah pada BWRO merupakan air keluaran dari Seawater Reverse Osmosis (SWRO), air keluaran SWRO ini masih mengandung mineral di dalamnya. Kandungan mineral di dalam air disebut Total Dissolved Solids (TDS), TDS merupakan parameter yang harus dikurangi jumlahnya. Air keluaran SWRO merupakan brackish water dengan kandungan TDS 400 mg/L, temperature 25 °C, dan nilai pH 8. Perancangan BWRO dimulai dari menentukan kebutuhan jumlah air dan mengetahui karakteristik air yang akan diolah. Kemudian dilakukan pemilihan elemen membran dan pressurevessel, menentukan recoveryrate, dan menentukan jumlah stage. Selanjutnya adalah menentukan tekanan input dan menghitung parameter performansi BWRO. Selain TDS, parameter yang menjadi persyaratan dalam rancangan BWRO ini adalah Specific Membrane Permeability (SMP) standar BWRO yaitu 4,9-8,3 Lmh/bar.

Dari hasil rancangan didapat feed flow 127,28 m³/jam, permeateflow 113 m³/jam, jumlah vessel stage 1 dan 2 masing-masing 12 buah dan 4 buah, TDS 7,72 mg/L, SMP stage 1 dan stage 2 masing-masing 6,52 Lmh/bar dan 6,87 Lmh/bar.

Kata kunci : Reverse osmosis, TDS, BWRO, Specific Membran Permeability

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan air di PLTU adalah salah satu kebutuhan yang paling penting. PLTU membutuhkan air yang cukup banyak untuk menjalankan operasinya. Kebutuhan air ini selain untuk proses pembangkitan juga untuk kebutuhan manusia yang ada di dalam situs pembangkitan tersebut seperti untuk konsumsi, sanitasi, dll.

Karena kebutuhan air yang begitu banyak, biasanya PLTU terletak di lokasi yang dekat dengan sumber air; biasanya di dekat laut. Air laut yang digunakan untuk kebutuhan pembangkit tidak dapat langsung digunakan begitu saja, ada proses pengolahan air laut sehingga air tersebut memenuhi standar dan dapat digunakan.

Untuk kondisi di PLTU Cilacap, proses pengolahan air laut berada pada Water Treatment Plant (WTP), terdapat 3 (tiga) tahapan dalam proses pengolahan air tersebut yaitu pretreatment, desalinasi, dan demineralisasi. Proses pengolahan dimulai dari pretreatment yaitu pompa intake, clarifier, danvalveless filter. Proses selanjutnya adalah desalinasi yaitu multimedia filter, cartridge filter, seawater reverse osmosis (SWRO), dan brackish water reverse osmosis (BWRO). Proses yang ketiga adalah demineralisasi meliputi cation bed, anion bed, dan mixed bed.

Air yang masuk ke BWRO merupakan air hasil pengolahan dari SWRO dengan kandungan TDS sebesar 400 mg/L, temperature 25 °C, dan pH 8. Atas dasar pemikiran-pemikiran yang telah disebutkan sebelumnya, penulis tertarik untuk melakukan penelitian lebih lanjut pada system *Brackish Water Reverse Osmosis*ini agar air inputan yang telah melewati berbagai proses *treatment* dengan biaya tertentu dapat diproses dengan laju keluaran yang tinggi untuk menghemat biaya operasi.

ISSN: 2089 -2527

Pada kajian ini dilakukan analisis pada hasil rancangan dan analisis pada air hasil pengolahan Multistage *High Recovery* BWRO untuk kebutuhan air PLTU Cilacap

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Teknologi Reverse Osmosis

Bila air yang memiliki salinitas tinggi dipisahkan oleh sebuah membran semipermeabel dengan air yang memiliki salinitas yang lebih rendah, maka secara alami air dengan salinitas yang lebih rendah akan mengalir ke sisi air dengan salinitas yang lebih tinggi sampai keduanya mencapai konsentrasi salinitas yang sama. Peristiwa berpindahnya air melalui membran yang dipengaruhi oleh perbedaan salinitas diketahui sebagai osmosis[1].

Tekanan hidraulik air pada membran saat perpindahan dari sisi salinitas rendah ke sisi salinitas tinggi biasa disebut tekanan osmotik. Tekanan osmotik merupakan peristiwa alamiah layaknya gravitasi.

Untuk mendapatkan air bersih dari air dengan salinitas tinggi menggunakan membran, proses alamiah perpindahan air yang terjadi harus dibalikkan. Air dengan salinitas tinggi harus ditransfer ke sisi salinitas rendah. Untuk melakukan proses ini, air dengan salinitas tinggi harus diberi tekanan yang lebih tinggi dari tekanan osmotiknya.

Metode desalinasi air laut menggunakan Metoda *reverse osmosis* telah dikembangkan sejak tahun 1950an. Metoda juga dikenal sebagai 'hyperfiltration' terus dikembangkan untuk mengurangi atau bahkan membuang hampir semua kontaminan yang ada pada air yang akan diolah.

Metode RO memiliki kemampuan untuk menyingkirkan semua jenis bakteri dan virus secara efektif. Dimensi dari pori-pori yang ada pada membran RO mencapai 0,0001 mikron (ukuran bakteri antara 0,2 hingga 1 mikron, sementara virus pada ukuran antara 0,02 hingga 0,4 mikron).

Penggunaan metode RO juga mampu untuk menghilangkan sebagian besar bahan kimia non organik seperti garam, metal, dan mineral. Metode RO efektif untuk menyingkirkan kontaminan yang dapat mempengaruhi kesehatan seperti arsenic, asbestos, atrazine, fluoride, lead, mercury, nitrat, radium, dll.

B. Membran, Struktur, dan Material Reverse Osmosis

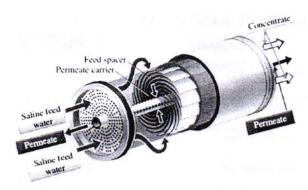
Membran reverse osmosis dapat dibedakan berdasarkan material dari polymer membran, struktur, dan konfigurasinya. Berdasarkan strukturnya, membrane dapat dibagi menjadi 2 (dua) bagian, yaitu komposit lapisan tipis konvensional dan lapisan tipis nanokomposit. Berdasarkan material darilapisan membrane konvensional kini diklasifikasikan menjadi 2 (dua) bagian utama, yakni polyamide celluloseacetat. Tergantung konfigurasi dari membrane dengan elemen (modul) asli membran, membran RO dibagi menjadi 3 (tiga) bagian utama, yaitu spiralwound, hollow-fiber, danflat-sheet (plate-andframe).

Dalam Rancangan ini diterapkan sistem Multistage BWRO dengan tujuan meningkatkan recovery atau dapat dikatakan untuk meningkatkan jumlah air hasil pengolahan.

C. Elemen Membran Spiral-Wound

Elemen membran *spiral-wound* (modul) terbuat dari lembaran membran yang memiliki struktur tiga lapisan seperti yang telah dijelaskan pada segmen sebelumnya yaitu CA dan PA; microporous polymeric; dan reinforcing fabric. Sebuah elemen membran *spiral-wound* dengan diameter 8-in memiliki 40 sampai 42 lembaran membran [1].

Lembaran-lembaran tersebut dipasang mejadi 20 sampai 21 amplop membran (leafs), sehingga terdapat 2 amplop yang dipisahkan oleh jaring plastik tipis (permeatespacer) membentuk saluran agar permeate terpisah dari air garam. Tiga dari empat sisi amplop disekat dengan lem dan sisi yang keempat dibiarkan terbuka. Amplop amplop ini dipisahkan oleh feed spacer yang tebalnya sekitar 0,7 atau 0,9 mm [1].



Gambar 1 Elemen Membran Spiral Wound [1]

D. Pemilihan Membran Berdasarkan Kandungan TDS Dalam Air Yang Akan Diolah

Tabel berikut merupakan petunjuk pemilihan elemen membran berdasarkan kandungan TDS di dalam air yang akan diolah. Pada rancangan ini diketahui

Tabel 1 Pemilihan Elemen Membran Berdasarkan Kandungan TDS[2]

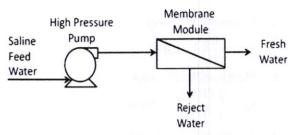
Low conc. Brackishwater	BWRO (Low
(up to 500mg/L)	energy)
Brackishwater (up to 5,000	BWRO
mg/L)	(Standard)
Brackishwater (more than 5,000 mg/L), Seawater	SWRO

E. Optimalisasi Desain RO Untuk Mencapai High Recoery

Konfigurasi sistem RO dapat diubah-ubah untuk meningkatkan produktifitasnya. Produktifitas suatu sistem RO biasa disebut recovery. Berikut ini adalah beberapa konfigurasi yang dapat diterapkan pada sistem RO.

1) Single Stage RO

Pada sistem RO konvensional biasanya terdiri dari 1 stage seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sistem single-stage ini banyak digunakan karena hanya membutuhkan satu pompa sehingga biaya operasinya lebih murah dibanding dengan sistem multistage yang membutuhkan lebih dari satu pompa [3].

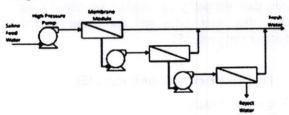


Gambar 2 Single Stage BWRO[4]

2) Multistage RO

Sistem RO dapat dibuat satu tingkat (single stage) maupun banyak tingkat (multi stage). Pengaplikasian sistem multi stage adalah bila recoveryrate yang diinginkan lebih besar.Padaskema BWRO multistage, konsentrat dari hasil pengolahan air di modul RO pertama (stage 1) akan dipompakan kemodul RO yang kedua (stage 2) dan seterusnya.

Dengan cara ini, permeate yang dihasilkan akan lebih banyak daripada penggunan BWRO single stage. Untuk menentukan berapa stage yang akan diaplikasikan, parameter yang diperlukan adalah recovery individual dari setiap elemen membran yang akan digunakan. Selanjutnya dilakukan perhitungan sampai tercapai recovery keseluruhan sistem yang diinginkan.



Gambar 3. Skema Multistage Reverse Omsosis [4]

A. Parameter-Parameter Performansi Proses Reverse Osmosis[1]

- Permeate Flow Qf = Pr x Ff
- 2. TDS Permeate TDSp = Sp x TDSf
- 3. TDS Konsentrat $TDSc = \frac{TDSf TDSp \frac{Pr}{100}}{1 \frac{Pr}{100}}$
- 4. Tekanan Osmotik $O_p = Rx(T + 273)x \sum m_i$

5. Permeate Recovery

$$P_r = \left(\frac{Q_p}{Q_f}\right) x 100\%$$

6. MembranSaltPassage

$$S_p = \left(\frac{TDS_p}{TDS_f}\right) x 100\%$$

7. MembraneSaltRejection

$$S_r = 100\% - S_p = \left[1 - \left(\frac{TDS_p}{TDS_f}\right)\right] x 100\%$$

8. Net Driving Pressure (Transmembrane Pressure)

$$NDP = F_p - (O_p + P_p + 0.5P_d)$$

9. Membrane Permeate Flux

$$J = \frac{Q_p}{S}$$

10. Specific Membrane Permeability (Specific Flux)

$$SMP = \frac{J}{NDP}$$

Pompa

Pompa merupakan salah satu mesin turbo (turbomachine) yang berfungsi mengalirkan fluida cair dari daerah yang bertekanan rendah ketekanan yang lebih tinggi. Pompa juga digunakan untuk memindahkan fluida dari tempat yang rendah ketempat yang tinggi dan memindahkan dari satu tempat ketempat yang lain [5].

Parameter Penentuan Pompa [5]

1. Kapasitas Pompa

$$Q_{tp} = \frac{Q_p}{\rho}$$

2. Kecepatan Aliran

$$V = \frac{Q}{A}$$

3. Head Total Pompa

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{V_d^2}{2g}$$

4. Head Losses

Head Statis

$$H_{st} = (\pm H_s + H_d)$$

Head Dinamis

$$H_{dn} = \Delta h_p + h_l + \frac{V_d^2}{2g}$$

5. Rugi Belokan Pada Pipa

$$H_{lm} = k \frac{v^2}{2g}$$

HASIL RANCANGAN

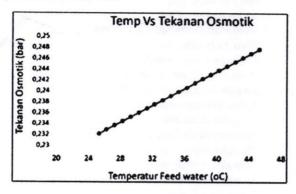
127 m ³ 113 m ³ 400 mg/L 25,3 °C 2 7 buah 12 buah 4 buah SpiralWound/ Polyamide 8 in x 40 in
400 mg/L 25,3 °C 2 7 buah 12 buah 4 buah SpiralWound/ Polyamide
25,3 °C 2 7 buah 12 buah 4 buah SpiralWound/ Polyamide
7 buah 12 buah 4 buah SpiralWound/ Polyamide
7 buah 12 buah 4 buah SpiralWound/ Polyamide
12 buah 4 buah SpiralWound/ Polyamide
4 buah SpiralWound/ Polyamide
SpiralWound/ Polyamide
Polyamide
8 in x 40 in
88,9%
6,52Lmh/bar
6,87 Lmh/bar
7,72 mg/L
139,7 m ³ /h
46,2 m ³ /h
125,4 m ³ /h
200 mm (ID) x 8000 mm
FRP (Fiberglass Reinforced Plastic)
316 L / LDX 2101-stainless

ANALISIS RANCANGAN

Analisis Perubahan Temperatur Feed Water Terhadap Tekanan Osmotik

Dibawah ini adalah table dan grafik simulasi perubahan nilai tekanan osmotic pada setiap 1°C kenaikan temperature feed water. Dari

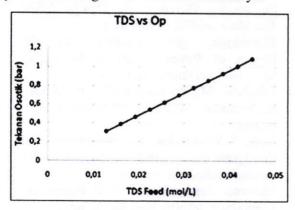
grafik tersebut dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai tekanan osmotic sebesar 0,000778 bar pada setiap kenaikan temperature feed water sebesar 1°C. Artinya hubungan antara temperature feedwater dengan tekanan osmotika dalah berbanding lurus yaitu semakin tinggi temperature feed water,maka semakin tinggi pula tekanan osmotic feed water tersebut. Sebaliknya semakin kecil temperature feed water, maka semakin kecil pula tekanan osmotic feed water tersebut.



Gambar 4. Grafik Perubahan Temperatur Feed water terhadap Tekanan Osmotik

B. Analisis Pengaruh Perubahan Konsentrasi TDS pada Feed Water Terhadap Tekanan Osmotik

Selain temperatur, kandunganTDS juga berpengaruh terhadap nilai tekanan osmotic suatu air garam. Grafik di bawah ini dapat menunjukan hubungan antara kandungan TDS feed water dengan nilai tekanan osmotiknya.



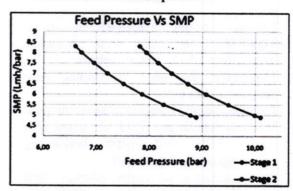
Gambar 5. Grafik Perubahan Kandungan TDS Feed water Terhadap Tekanan Osmotik

Grafik diatas menunjukkan kenaikan nilai tekanan osmotic akibat kenaikan konsentrasi TDS feed water pada setiap kenaikan TDS sebesar 100 mg/L. Dapat dilihat kenaikan nilai tekanan osmotic sebesar 0,003206 bar pada setiap kenaikan nilai TDS sebesar 100 mg/L. Artinya hubungan antara tekanan osmotic dengan kandungan TDS air adalah berbanding lurus, yaitu semakin tinggi kandungan TDS dalam air maka semakin tinggi pula tekanan osmotiknya. Sebaliknya semakin kandungan TDS air maka semakin kecil pula tekanan osmotiknya.

C. Analisis Kualitas Air Hasil Pengolahan BWRO

Air hasil pengolahan pada BWRO menunjukkan kandungan TDS sebesar 8,94 mg/L. Na⁺danCl⁻ adalah unsur yang paling tinggi konsentrasinya di dalam air hasil pengolahaan BWRO. Kandungan TDS tersebut dapat memenuh isyarat batas kandungan TDS pada air hasil Pengolahan BWRO yaitu sebesar <300 mg/L.

D. Analaisis Pengaruh Perubahan Tekanan Feed Water Terhadap SMP



Gambar 6 Grafik Pengaruh Perubahan Tekanan Feed Water Terhadap SMP

Grafik di atas menunjukan perubahan nilai Specific Membrane Permeability (SMP) akibat dari perubahan tekanan input feed water. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai SMP semakin menurun ketika tekanan input feed water semakin tinggi. Artinya hubungan antara tekanan input feed water berbanding terbalik dengan nilai SMP.

Grafik di atas juga menunjukkan tekanan input yang diperbolehkan agar nilai SMP tetap berada pada *range* yang memenuhi syarat yaitu 4,9 - 8,3 Lmh/bar. Dari grafik dapat diketahui bahwa *range* tekanan input yang diperbolehkan untuk *stage* 1 adalah 6,61 - 8,89 bar, dan *range* tekanan input yang diperbolehkan untuk *stage* 2 adalah 7,82 – 10,1 bar.

5. KESIMPULAN

- BWRO yang dirancang adalah untuk sumber air laut Cilacap dan sebelum masuk ke BWRO air laut tersebut telah melewati beberapa proses pengolahan. Rancangan BWRO akan berbeda padas etiap tempat karena proses perancangan adalah berdasarkan pada karakteristik air yang akandiolah.
- Pemilihan material membrane reverse osmosis berdasarkan padafaktor dari ketahanan terhadap temperatur, nilai pH, dantekanan.
- Parameter yang berpengaruh terhadap performansi BWRO adalah temperatur, tekanan, dan kandungan TDS dalam feed water.
- Tekanan osmotic naikkonsistens ebesar 0,000778 bar pada setiap kenaikan temperature feed water sebesar 1 °C.
 Temperatur feed water berbanding lurus dengan tekanan osmotik.
- Tekanan osmotic mengalami kenaikan pada kenaikan kandungan TDS di dalam feed water. TDS feed water berbanding lurusdengan tekanan osmotik.
- Pada rancangan ini range tekanan input yang diperbolehkan agar nilai SMP tetap memenuhi syarat untuk stage 1 adalah 6,61
 8,89 bar, dan range tekanan input yang memenuhi syarat untuk stage 2 adalah 7,82
 10,1 bar.

6. NOTASI

TDS Total Dissolved Solids, [mg/L]
TDS_f Total Dissolved Solids Feed water, [mg/L]

Total Dissolved Solids Concentrate, [mg/L] TDS Total Dissolved Solids Permeate, [mg/L] TDS_{n} TekananOsmotik, [bar] O_p Permeate recovery, [%] P_r NDPNet driving pressure, [bar] Specific Membran Permeability, [Lmh/bar] SMP Konstanta Gas Universal R TTemperatur Air. [°C] Permeate recovery, [%] P_r Aliran Air Garam, [L/h] Aliran Air Tawar, [L/h] Salt passage, [%] Salt rejection, [%] Membran Permeate Flux, [Lmh] Feed Pressure, [bar] Pressure Drop, [bar] Permeate Pressure, [bar] Jumlah konsentrasi molar dariseluruhunsurdalam air P_s Tekanan di sisimasuk, [kg/m²] Tekanan di sisikeluaran, [kg/m²] Z_s Z_d C_s Tinggielevasi di sisimasuk, [m] Tinggielevasi di sisikeluar, [m] Kecepatanaliranmasuk, [m/s] C_d Kecepatanalirankeluar, [m/s] Percepatangravitasi, [m/s²] g Massa per satuan volume zatcair, [kg/m³] ρ Viskositaskinematikfluidacair, [m²/s] v Koefisien kerugian gesek λ K Koefisienkerugiangesek Rugi-rugi di sisimasukpompa, [m] H_{ls} Rugi-rugi di sisikeluarpompa, [m] H_{ld} Head total pompa (head statis), [m] Ht

7. DAFTAR PUSTAKA

Hsys

[1] 1Voutchkov, Nikolay. 2013. Desalination Engineering Planning and Design. USA. The McGraw-Hill Companies.

Head total pompa (head dinamis), [m]

- [2] 3Lewabrane. 2012. Guideline for the Design of Reverse Osmosis Membrane Systems. Leverkusen: Lanxess.
- [3] 7Alghoul, M., Poovanaesvaran, P., Sopian, K., Sulaiman, M. Review of brackish water reverse
- [4] 6Qiu, T.Y., Davies, P.A. Comparison of Configurations for High-Recovery InlandDesalination Systems.
- [5] 5Sularso., Tahara, Haruo. 2000. Pompa dan Kompresor. Jakarta. Pradnya Paramita.