

Optimalisasi Air Buangan Menara Pendingin Melalui Variasi Pengolahan Air Umpan

Roby Nyoman Sambeyano¹

Universitas Fajar Makassar¹

robysambeyano@gmail.com

Abstract

Cooling water systems play a critical role in industry but face significant challenges related to mineral accumulation, scaling, and corrosion that can reduce heat transfer efficiency. This research aims to optimize the cooling water blowdown process through variations in make-up water treatment. The study was conducted by analyzing three make-up water variations: without reverse osmosis (RO), a mixture of treated and untreated water (50:50), and full RO treatment. The research methodology includes calculations of evaporation (E), cycles of concentration (CR), and blowdown volume (BD), considering water quality parameters such as conductivity, calcium and magnesium hardness, and silica content. The results showed that using make-up water without RO produced the highest blowdown volume of 20.86 m³/h, the 50:50 make-up water mixture produced 9.25 m³/h, while full RO treatment reduced the blowdown volume to 1.97 m³/h. Water treatment with RO significantly reduced blowdown volume by 90.56%, which was primarily influenced by magnesium hardness parameters (for non-RO and mixed) and silica (for RO). The research findings provide important contributions to cooling water system optimization strategies, offering approaches to reduce water consumption and extend industrial equipment life.

Keywords: Blowdown, Cooling Water, Reverse Osmosis, Make-Up Water, Cooling System Efficiency.

Abstrak

Sistem cooling water memiliki peran kritis dalam industri, namun menghadapi tantangan signifikan terkait akumulasi mineral, pengendapan, dan korosi yang dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan proses *blowdown cooling water* melalui variasi pengolahan air *make-up*. Studi dilakukan dengan menganalisis tiga variasi air *make-up*: tanpa *reverse osmosis* (RO), campuran air terolah dan tidak terolah (50:50), dan pengolahan RO sepenuhnya. Metodologi penelitian mencakup perhitungan evaporasi (E), siklus konsentrasi (CR), dan volume *blowdown* (BD) dengan mempertimbangkan parameter kualitas air seperti konduktivitas, kesadahan kalsium dan magnesium, serta kadar silika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan air *make-up* tanpa RO menghasilkan volume *blowdown* tertinggi sebesar 20,86 m³/h, campuran air *make-up* 50:50 menghasilkan 9,25 m³/h, sedangkan pengolahan RO sepenuhnya menurunkan volume *blowdown* menjadi 1,97 m³/h. Pengolahan air dengan RO secara signifikan menurunkan volume *blowdown* sebesar 90,56%, yang dipengaruhi terutama oleh parameter kesadahan magnesium (tanpa RO dan campuran) dan silika (RO). Temuan penelitian memberikan kontribusi penting dalam strategi optimalisasi sistem cooling water, menawarkan pendekatan untuk mengurangi konsumsi air dan memperpanjang umur peralatan industri.

Kata Kunci: Blowdown, Cooling Water, Reverse Osmosis, Air Make-Up, Efisiensi Sistem Pendingin.

A. PENDAHULUAN

Sistem pendingin berbasis air (cooling water system) merupakan komponen vital dalam berbagai proses industri, khususnya pada pembangkit listrik dan fasilitas manufaktur. Dalam operasionalnya, sistem ini menghadapi tiga tantangan utama yaitu scaling (pengendapan mineral), korosi, dan fouling (penumpukan material organik dan mikroorganisme) yang dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas, mengurangi diameter efektif pipa, dan meningkatkan biaya pemeliharaan sistem.

Proses blowdown, yaitu pembuangan sebagian air sirkulasi yang digantikan dengan air make-up, menjadi metode kunci dalam mengendalikan konsentrasi kontaminan. Parameter penting dalam mengontrol proses blowdown meliputi Cycles of Concentration (CR), Evaporation Rate (E), Temperature differential (ΔT), dan Total Dissolved Solids (TDS). Optimalisasi parameter-parameter ini penting untuk meminimalkan kehilangan air, energi, dan bahan kimia, sambil tetap menjaga kualitas air pendingin dalam batas yang diinginkan.

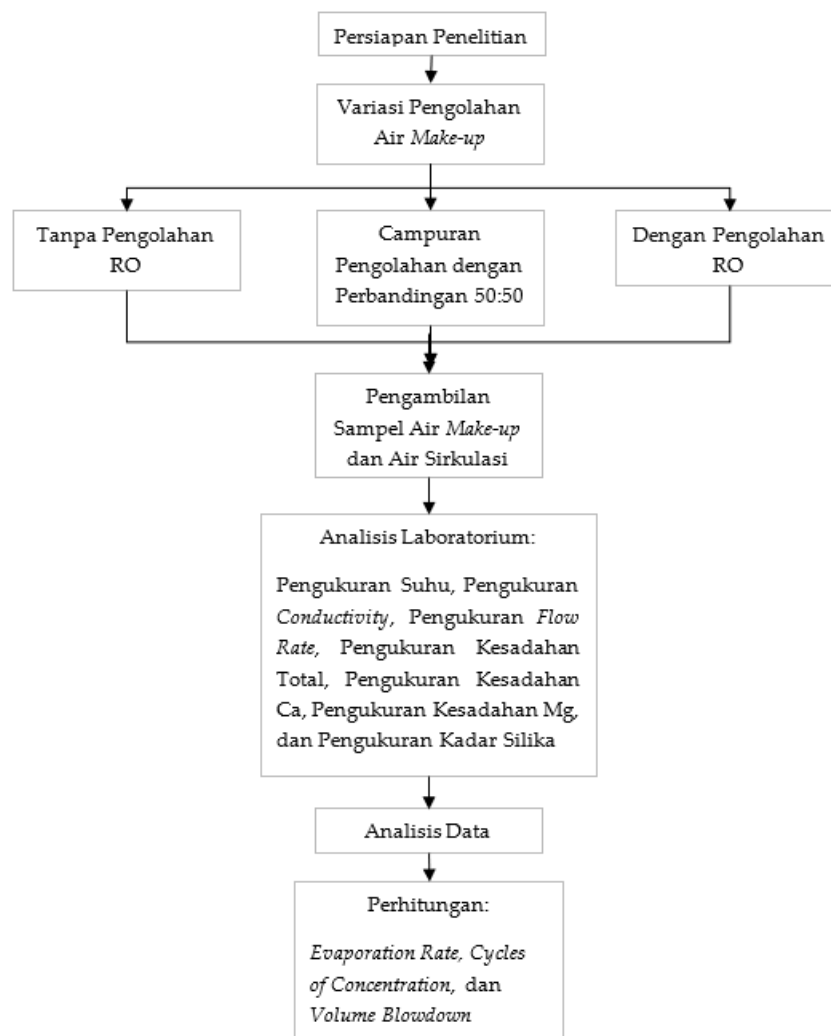
Dalam industri oleokimia, sistem pendingin memainkan peran kritis dalam berbagai tahapan proses, mulai dari kontrol suhu reaksi, kondensasi produk, pendinginan peralatan, kristalisasi dan pemurnian, hingga efisiensi energi. Sistem ini terutama penting dalam proses hidrolisis (splitting) yang membutuhkan kondensasi produk, distilasi fatty acid yang memerlukan kondensasi uap, dan tahap hidrogenasi yang membutuhkan pendinginan untuk menjaga stabilitas katalis.

Penelitian terkini menunjukkan berbagai pendekatan inovatif dalam pengolahan air make-up. Kornboonraksa (2016) membuktikan efektivitas teknologi Reverse Osmosis (RO) yang mampu meningkatkan siklus konsentrasi dari 2,3 menjadi 44 siklus dan mengurangi kebutuhan air make-up sebesar 41,6%. Sementara itu, Hashemi dkk. (2020) mengembangkan metode multifiltrasi terintegrasi yang berhasil menurunkan Chemical Oxygen Demand (COD) sebesar 57% dan Total Dissolved Solids (TDS) sebesar 80%.

Optimalisasi blowdown cooling tower melalui variasi kualitas make-up water menjadi strategi kunci dalam meningkatkan efisiensi sistem pendingin. Studi mutakhir oleh Muller dkk. (2024) menunjukkan bahwa pendekatan inovatif dalam pengolahan air make-up dapat menghasilkan penurunan konsumsi air hingga 13% pada sistem pendingin industri. Hal ini menegaskan pentingnya pengolahan air make-up yang tepat untuk mencapai efisiensi operasional yang lebih baik dalam sistem pendingin industri.

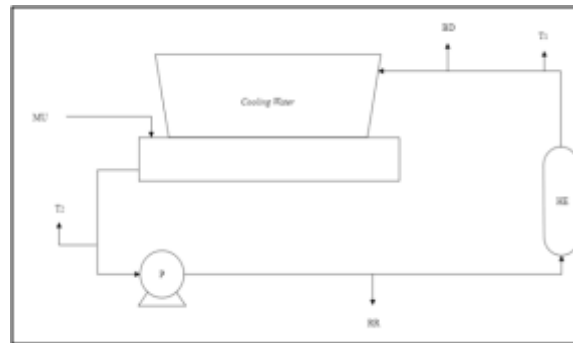
B. METODE PENELITIAN

Penelitian optimalisasi *blowdown cooling water* melalui variasi pengolahan air *make-up* dilaksanakan di PT XYZ pada periode November 2024-Januari 2025. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental untuk menganalisis pengaruh pengolahan air *make-up* terhadap jumlah *blowdown cooling water*. Penelitian ini bertujuan membandingkan tiga jenis perlakuan air *make-up* terhadap jumlah *blowdown* pada sistem pendingin, yaitu air *make-up* tanpa pengolahan, air *make-up* yang telah melalui proses *Reverse Osmosis* (RO), dan campuran 50:50 antara keduanya. Studi ini akan menilai parameter kualitas air dalam sistem pendingin dan volume *blowdown* yang diperlukan untuk setiap jenis perlakuan. Meskipun penelitian sebelumnya telah menunjukkan manfaat pengolahan air *make-up*, studi yang membandingkan secara langsung berbagai metode perlakuan dan dampaknya terhadap *blowdown* masih terbatas (Lian-Shin dan Fernando, 2024). Berikut *flowsheet* penelitian optimalisasi *blowdown cooling tower*.



Pengambilan Sample

Sampel air diambil dari dua titik, yaitu sumber air *make-up* yang telah diolah dan *blowdown cooling water*, sebanyak 500 mL, kemudian dilakukan analisa dengan beberapa parameter. Pengambilan dilakukan secara bersamaan pada kondisi operasional normal dengan frekuensi satu kali selama lima hari.



Gambar 1. Tempat pengambilan sample dan pengukuran parameter operasional

Keterangan: MU = Air *make-up*, T_2 = Cold water supply temperature ($^{\circ}\text{C}$), P = Pompa, RR = Recirculation rate (m^3/h), HE = Heat exchanger, T_1 = Hot water return temperature ($^{\circ}\text{C}$), dan BD = Total blowdown (m^3/h).

Analisis Laboratorium

Parameter sample air yang dianalisa meliputi:

- Konduktivitas (*conductivity meter*)
- Kesadahan total dan kalsium (titrasi EDTA)
- Kesadahan magnesium (perhitungan dari selisih kesadahan total dan kalsium)
- Kandungan silika (*spektrofotometer*)

Pengukuran Operasional

Parameter yang dianalisa pada pengukuran operasional meliputi:

- Laju sirkulasi pompa (*Recirculation Rate*) diukur menggunakan *flow meter* digital
- Temperatur air (T_2 dan T_1) sistem pendingin diukur dengan *thermometer* digital

Analisis Data

Setelah memperoleh data analisa baik itu data analisa laboratorium dan data operasional, maka dilakukan perhitungan evaporasi (E), cycles of concentration (CR), dan total blowdown (BD) dengan persamaan:

$$E = \frac{R(T1 - T2)(f)}{1000} \quad (1)$$

$$CR = \frac{CB}{CM} \quad (2)$$

$$BD = \frac{E}{(CR - 1)} \quad (3)$$

Dimana:

E= Evaporation (m³/h)

R = Recirculation rate (m³/h)

T1 = Hot water (return) temperature (°C)

T2 = Cold water (supply) temperature (°C)

(f) = Evaporation factor = 0,85

CR = Cycles of concentration

CB = Concentration of ion in blowdown (mg/L)

CM = Concentration of ion in make-up (mg/L)

BD = Total blowdown (m³/h)

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Analisa Air Make-up Tanpa Pengolahan

Tabel 1. Hasil analisa air make-up tanpa pengolahan

Parameter Analisa	Sample air dengan tanpa pengolahan pada air <i>make-up</i>									
	MU	BCW	MU	BCW	MU	BCW	MU	BCW	MU	BCW
<i>Conductivity</i> (μS/cm)	613	1296	622	1288	618	1294	642	1311	639	1298
<i>Total hardness</i> (mg/L)	104	148	106	146	106	148	104	150	106	148
<i>Ca-hardness</i> (mg/L)	62	96	66	96	64	96	62	98	66	98
<i>Mg-hardness</i> (mg/L)	42	52	40	50	42	52	42	52	40	50
<i>Silica</i> (mg/L)	66,7	143,5	64,7	144,1	65,3	143,9	66,3	144,5	65,5	144,8

Parameter Operasional					
RR (m ³ /h)	1290	1290	1290	1290	1290
T ₁ (°C)	32,7	32,9	32,9	32,8	32,9
T ₂ (°C)	28,3	28,1	28,2	28,2	28,3
Analisis data <i>blowdown</i>					
E (m ³ /h) (1)	4,82	5,26	5,15	5,04	5,04
CR (2)	1,24	1,25	1,24	1,24	1,25
BD (m ³ /h) (3)	20,26	21,05	21,64	21,18	20,18

Sumber: Data analisa laboratorium NW3DA

Catatan: MU = *Sample air make-up*, BCW = *Sample air blowdown cooling water*

Pada perhitungan CR (*cycles of concentration*) digunakan perbandingan antara konsentrasi ion magnesium yang ada pada *sample air blowdown cooling water* (BCW) dengan *sample air make-up* (MU). Hal ini karena konsentrasi ion magnesium tidak terpengaruh dengan adanya *treatment* pada air *cooling water*, serta perbandingan antara konsentrasi ion magnesium yang ada pada *sample air blowdown cooling water* (BCW) dengan *sample air make-up* (MU) memiliki nilai CR yang paling kecil dengan nilai rata-rata yaitu 1,24.

Data Analisa Air Make-up Tanpa Pengolahan

Tabel 2. Hasil analisa air *make-up* dengan pencampuran 50:50 antara air RO dan tanpa pengolahan

Parameter Analisa	Sample air dengan pencampuran 50:50 pada air <i>make-up</i>									
	MU	BCW	MU	BCW	MU	BCW	MU	BCW	MU	BCW
Conductivity (μS/cm)	221,5	998,4	218,3	1012	216,9	1006	220,5	1019	218,3	1023
Total hardness (mg/L)	60	102	58	104	58	104	58	106	60	106

<i>Ca-hardness</i> (mg/L)	36	66	36	70	34	66	36	72	38	72
<i>Mg-hardness</i> (mg/L)	24	36	22	34	24	38	22	34	22	34
<i>Silica</i> (mg/L)	24,3	84,3	23,9	83,7	25,1	84,5	24,7	84,1	25,8	85,1
Parameter Operasional										
RR (m³/h)	1290		1290		1290		1290		1290	
T ₁ (°C)	32,4		32,3		32,4		32,5		32,4	
T ₂ (°C)	27,9		27,8		27,9		28,0		27,9	
Analisis data <i>blowdown</i>										
E (m³/h) (1)	4,93		5,15		5,05		4,93		5,04	
CR (2)	1,5		1,55		1,58		1,55		1,55	
BD (m³/h) (3)	9,87		9,45		8,65		9,05		9,25	

Sumber: Data analisa laboratorium NW3DA

Catatan: MU = *Sample air make-up*, BCW = *Sample air blowdown cooling water*

Pada perhitungan CR (*cycles of concentration*) digunakan perbandingan antara konsentrasi ion magnesium yang ada pada *sample air blowdown cooling water* (BCW) dengan *sample air make-up* (MU). Hal ini karena konsentrasi ion magnesium tidak terpengaruh dengan adanya *treatment* pada air *cooling water*, serta perbandingan antara konsentrasi ion magnesium yang ada pada *sample air blowdown cooling water* (BCW) dengan *sample air make-up* (MU) memiliki nilai CR yang paling kecil dengan nilai rata-rata yaitu 1,54.

Data Analisa Air Make-up Tanpa Pengolahan

Tabel 3. Hasil analisa air *make-up* dengan pengolahan RO (*Reverse Osmosis*)

Parameter Analisa	Sample air dengan pengolahan RO (<i>Reverse Osmosis</i>) pada air <i>make-up</i>									
	MU	BCW	MU	BCW	MU	BCW	MU	BCW	MU	BCW
<i>Conductivity</i> (μS/cm)	40,81	459,3	41,57	450,8	42,43	457,1	41,29	462,1	40,94	455,7

<i>Total hardness</i> (mg/L)	8	40	10	42	10	42	8	44	8	42
<i>Ca-hardness</i> (mg/L)	6	28	6	26	6	28	6	32	6	32
<i>Mg-hardness</i> (mg/L)	2	12	4	16	4	14	2	12	2	10
<i>Silica</i> (mg/L)	8,7	27,3	8,4	28,2	8,5	27,6	8,8	29,1	8,4	28,4
Parameter Operasional										
RR (m³/h)	1290		1290		1290		1290		1290	
T ₁ (°C)	32,1		31,9		31,9		32,0		31,9	
T ₂ (°C)	27,8		27,9		27,8		27,9		27,9	
Analisis data <i>blowdown</i>										
E (m³/h) (1)	4,71		4,39		4,50		4,50		4,39	
CR (2)	3,14		3,36		3,25		3,31		3,38	
BD (m³/h) (3)	2,21		1,86		2,00		1,95		1,84	

Sumber: Data analisa laboratorium NW3DA

Catatan: MU = *Sample air make-up*, BCW = *Sample air blowdown cooling water*

Pada perhitungan CR (*cycles of concentration*) digunakan perbandingan antara konsentrasi ion silica yang ada pada *sample air blowdown cooling water* (BCW) dengan *sample air make-up* (MU). Hal ini karena konsentrasi ion silica tidak terpengaruh dengan adanya *treatment* pada air *cooling water*, serta perbandingan antara konsentrasi ion magnesium yang ada pada *sample air blowdown cooling water* (BCW) dengan *sample air make-up* (MU) memiliki nilai CR yang paling kecil dengan nilai rata-rata yaitu 3,29.

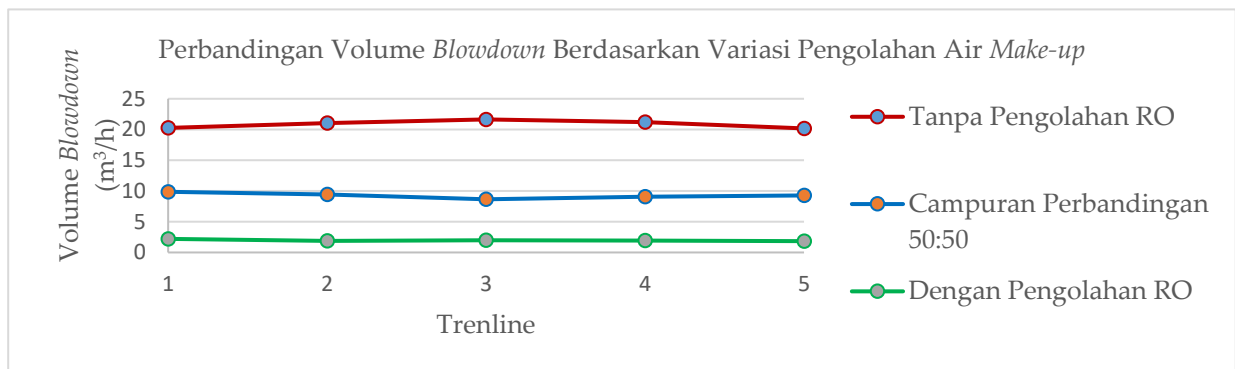
Semakin tinggi *Cycles of concentration* (CR), semakin banyak mineral dan padatan terlarut yang terakumulasi dalam sistem. Sehingga menggunakan nilai *Cycles of concentration* (CR) terkecil diperlukan untuk:

- Keamanan operasional. Dengan menggunakan *Cycles of concentration* (CR) terkecil, kita memastikan volume *blowdown* yang optimal untuk mencegah pengendapan berlebih

dan korosi dalam sistem.

- b. Pengendalian mineral terlarut. *Cycles of concentration* (CR) terkecil membantu mengendalikan akumulasi mineral yang dapat merusak peralatan pendingin.
- c. Mencegah kerusakan peralatan. Konsentrasi mineral yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pengendapan (*scaling*), korosi dan penurunan efisiensi perpindahan panas.

Perbandingan Volume Blowdown Berdasarkan Variasi Pengolahan Air Make-up



Gambar 3.1 Grafik Volume Blowdown pada Berbagai Variasi Pengolahan Air Make-up

Volume *blowdown* pada penggunaan air umpan tanpa pengolahan RO menghasilkan rata-rata *blowdown* sebesar 20,86 m³/h, pada penggunaan air umpan campuran antara tanpa dan dengan pengolahan RO perbandingan 50:50 menghasilkan rata-rata *blowdown* sebesar 9,25 m³/h, sedangkan pada penggunaan air umpan dengan pengolahan RO menghasilkan rata-rata *blowdown* sebesar 1,97 m³/h. Semakin banyak jumlah *blowdown* yang dikeluarkan dari sistem *cooling tower*, maka semakin tinggi biaya operasional yang digunakan dan semakin besar dampaknya kelingkungan.

Optimalisasi *blowdown cooling tower* terutama dengan menggunakan pengolahan *Reverse Osmosis* (RO), secara signifikan mengurangi volume *blowdown* sebesar 90,56 %, sehingga jumlah air umpan yang digunakan untuk menggantikan air yang dikeluarkan dari sistem semakin berkurang dan dapat memperpanjang umur peralatan. Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Muller dkk. (2024) yang memprediksi pengurangan konsumsi air hingga 13 % melalui inovasi pengolahan air.

D. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian optimalisasi *blowdown cooling water* melalui variasi pengolahan make-up ini menunjukkan penurunan volume *blowdown* berdasarkan variasi

pengolahan air umpan. Pada air umpan tanpa RO, menghasilkan volume *blowdown* rata-rata 20,86 m³/jam, menggambarkan kondisi awal sistem. Dengan menggunakan campuran air (50% tanpa RO, 50% dengan RO), volume *blowdown* berhasil diturunkan menjadi rata-rata 9,25 m³/jam. Selanjutnya, air umpan dengan pengolahan RO penuh mencapai volume *blowdown* terendah dengan rata-rata 1,97 m³/jam. Penggunaan campuran air umpan (50% tanpa RO, 50% dengan RO) menurunkan volume *blowdown* sebesar 55,66%. Sedangkan air umpan dengan pengolahan RO mampu menurunkan volume *blowdown* hingga 90,56%. Sehingga memungkinkan Perusahaan untuk menghemat biaya operasional, dan meminimalkan dampak lingkungan pada sistem *cooling water*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Shafy, H. I., Shoeib, M. A., El-Khateeb, M. A., Youssef, A. O., dan Hafez, O. M. (2020). Electrochemical treatment of industrial cooling tower blowdown water using magnesium-rod electrode. *Water Resources and Industry*, 23, 100121. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100121>
- Ahmed, J., Jamal, Y., dan Shujaatullah, M. (2020). Recovery of cooling tower blowdown water through reverse osmosis (RO): Review of water parameters affecting membrane fouling and pretreatment schemes. *Desalination and Water Treatment*, 189, 9–17. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25639>
- Ahmed, J., Younas, A., Jamal, Y., dan Shujaatullah, M. (2023). A pilot study on recycling cooling tower blowdown water through ultrafiltration and reverse osmosis. *Desalination and Water Treatment*, 307, 8–17. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29855>
- Barber, H., Lin, L.-S., dan Lima, F. V. (2024). Synergistic cotreatment of cooling tower blowdown and produced waters: Modeling strategies for a comprehensive wastewater treatment simulation. *Desalination*, 569, 117003. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.117003>
- Biedunkova, O., Kuznietsov, P., dan Korbutiak, V. (2024). Evaluation of return cooling water reuse in the wet cooled power plant to minimise the impact of water intake and drainage. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 7, 100151. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100151>
- Hashemi, F., Hashemi, H., Shahbazi, M., Dehghani, M., Hoseini, M., dan Shafeie, A. (2020). Reclamation of real oil refinery effluent as makeup water in cooling towers using

- ultrafiltration, ion exchange and multioxidant disinfectant. *Water Resources and Industry*, 23, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100123>
- Jebur, M., Chiao, Y.-H., Matsuyama, H., dan Wickramasinghe, S. R. (2024). Electrocoagulation as a pretreatment for reverse osmosis for potable water from brackish groundwater. *Water Resources and Industry*, 31, 100243. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2024.100243>
- Koeman-Stein, N.E., Creusen, R.J.M., Zijlstra, M., Groot, C.K., dan van den Broek, W.B.P. (2016). Membrane distillation of industrial cooling tower blowdown water. *Water Resources and Industry*, 14, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2016.03.002>
- Kornboonraksa, T. (2016). Using tertiary-treated municipal wastewater as makeup water by reverse osmosis membrane. *Desalination and Water Treatment*, 57(2016), 7422–7431. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1024937>
- Liu, B., Zhang, R., Liu, Y., Wang, Y., Almansoori, A., dan Feng, X. (2023). Multiperiod optimization of cooling water system with flexible topology network. *Green Chemical Engineering*, 5, 461-472. <https://doi.org/10.1016/j.gce.2023.10.005>
- Meng, Y., Liu, G., Hou, S., dan Chen, H. (2024). Performance and economic analysis of the cooling tower blowdown water treatment system in a coal-fired power plant. *Chemical Engineering Research and Design*, 201, 321–331. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.11.061>
- Minier-Matar, J., AlShamari, E., Raja, M., Khan, F., Al-Maas, M., Hussain, A., dan Adham, S. (2024). Detailed organic characterization of process water to evaluate reverse osmosis membrane fouling in industrial wastewater treatment. *Desalination*, 572, 117128. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.117128>
- Moreno Casillas, H. A., García Carrillo, M. C., Gamboa Hernandez, A., dan Vázquez Rueda, M. G. (2022). Calcium and silica removal from water in evaporative cooling systems, using precipitation and electrocoagulation. *Desalination and Water Treatment*, 245, 106–115. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.27946>
- Müller, S. I., Chapanova, G., Diekow, T., Kaiser, C., Hamelink, L., Hitsov, I. P., Wyseure, L., Moed, D. H., Palmowski, L., dan Wintgens, T. (2024). Comparison of cooling tower blowdown and enhanced make up water treatment to minimize cooling water footprint. *Journal of Environmental Management*, 367, 121949. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121949>

- Shaheen, R., dan Cséfalvay, E. (2024). The effect of pretreatment and operating temperature on reverse osmosis in make-up water preparation. *Water Resources and Industry*, 31, 100244. doi: 10.1016/j.wri.2024.100244
- Wang, C., Gao, B., Zhao, P., Yue, Q., Shon, H. K., dan Yang, S. (2018). The forward osmosis application: using the secondary effluent as makeup water for cooling water dilution. *Desalination and Water Treatment*, 105, 1–10. <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.21983>
- Wang, D., Wang, J., Luan, Z.-K., Wu, Y., dan Li, H.-S. (2016). Comprehensive utilization of phosphate in a highly concentrated recirculating cooling water system using secondary-treated municipal wastewater as make-up. *Desalination and Water Treatment*, 57(57), 10210–10221. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1037354>
- Novima Nurul Aini. (2021). Monitoring Kualitas Air pada Cooling Tower untuk Mendukung Pengendalian Proses Blowdown berbasis Internet of Things (IoT). *SinarFe7*, 4(1), 107–111. Retrieved from <https://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/view/33>
- Yani, E., dan Putra, A. H. Y. (2023). Studi Performa Cooling Tower berdasarkan Kualitas Air Pendingin. *Jurnal Ilmiah INOMET*, 1(2). <https://doi.org/10.25077/inomet.1.2.39-42.2023>
- Gusniawan, P. V., Aldillah, A. Z., dan Rulianah, S. (2024). Evaluasi performa heat exchanger 11E-25 CDU I (crude distillation unit I) pada FOC I (fuel oil complex I) PT Pertamina (Persero) Refinery Unit IV Cilacap Jawa Tengah. *Distilat*, 10(2), 463-475. <https://doi.org/10.33795/distilat.v10i2.5065>
- Dhamayanthie, I., dan Nugraha, D. F. (2018). Proses pengolahan air pendingin pada unit utilitas area karawang. *Jurnal Migasian*, 2(1), 15-21.