

Optimalisasi Produksi Air Tawar: Identifikasi dan Efisiensi pada Reverse Osmosis Plant di MV Golden Splendor

Fardian Iqbal Alansyah¹⁾, Yulius Oscar²⁾, Noviarianto³⁾, Akhmad Nuriyanis⁴⁾

^{1, 2, 3, 4)} Politeknik Maritim Negeri Indonesia

Jalan PTP Ngobo, Wringinputih, Bergas, Kabupaten Semarang 50552

²⁾email: oscar@polimarin.ac.id

Abstrak

Instalasi Reverse Osmosis (RO) memiliki peran penting dalam penyediaan air tawar di kapal laut untuk memenuhi kebutuhan akomodasi dan operasional. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi penyebab menurunnya produksi air tawar pada RO Plant di kapal MT. Golden Splendor serta mengusulkan strategi optimalisasi. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan cara melakukan observasi lapangan, wawancara bersama perwira mesin, serta menganalisis data logbook selama kegiatan praktik laut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan efisiensi RO disebabkan oleh penyumbatan filter dan membran, kebocoran pada ejector pump, serta kurangnya perawatan rutin. Masalah tersebut menyebabkan penurunan produksi air tawar dari 1000 liter/jam menjadi 700 liter/jam. Setelah dilakukan perbaikan dan perawatan seperti penggantian filter, pembersihan membran, serta perbaikan pompa dan pipa, produksi meningkat kembali hingga 1000 liter/jam. Temuan ini menegaskan pentingnya pemeliharaan berkala dan pemantauan sistem untuk menjamin kinerja RO yang optimal. Studi ini merekomendasikan penerapan prosedur perawatan sesuai manual dan pengawasan sistem yang lebih ketat guna meningkatkan efisiensi dan kontinuitas produksi air tawar di kapal.

Kata Kunci: produksi air tawar, reverse osmosis, efisiensi, kapal laut, perawatan

Abstract

The Reverse Osmosis Plant (RO) is a critical system for supplying freshwater on board ships to meet accommodation and operational needs. This study aims to identify the causes of reduced freshwater production in the RO Plant aboard the MT. Golden Splendor and to propose optimization strategies. A qualitative approach was employed through direct observation, interviews with engineering officers, and analysis of logbook data collected during a 12-month sea training period. The findings indicate that the main causes of inefficiency include clogged filters and membranes, leakage in the ejector pump, and inadequate routine maintenance. These issues led to a decline in freshwater production from 1000 liters/hour to 700 liters/hour. After corrective measures such as filter replacement, membrane cleaning, and pump repairs were implemented, production increased back to 1000 liters/hour. The results highlight the importance of scheduled maintenance and system monitoring to ensure optimal RO performance. The study recommends strict adherence to maintenance procedures and enhanced system supervision to improve efficiency and ensure the sustainability of freshwater production on board.

Keywords: reverse osmosis, freshwater production, efficiency, marine vessel, system maintenance

1. PENDAHULUAN

Air tawar merupakan kebutuhan dasar yang sangat penting dalam operasional kapal laut, tidak hanya untuk konsumsi kru, tetapi juga untuk mendukung berbagai aktivitas teknis seperti pendinginan mesin, pencucian peralatan, kebersihan ruang, dan proses lain yang membutuhkan pasokan air bersih dalam jumlah cukup dan kualitas yang baik (Ariyanti & Widiyasa, 2011). Keterbatasan ruang penyimpanan dan tantangan logistik dalam pengisian ulang air tawar dari pelabuhan menjadikan kapal perlu memiliki sistem produksi air tawar mandiri, terutama untuk pelayaran jarak jauh. Salah satu teknologi yang umum digunakan di kapal modern, termasuk kapal tanker seperti MT. Golden Splendor adalah sistem Reverse Osmosis (RO) yang memanfaatkan air laut sebagai sumber utama untuk diproses menjadi air tawar (Chen & Li, 2005).

Reverse Osmosis adalah teknologi desalinasi yang mengandalkan pemisahan molekul dengan bantuan membran semi-permeabel. Sistem ini mengandalkan tekanan tinggi, biasanya dalam kisaran 40–70 bar, untuk mendorong air laut menembus membran, sementara garam dan partikel pengotor lainnya tertinggal dan dibuang sebagai air pekat (Kim et al., 2019). Kinerja sistem RO sangat dipengaruhi oleh kondisi setiap komponen utama, seperti pre-filter (coarse dan fine filter), pompa tekanan tinggi, membran RO, serta sistem pasca-filtrasi (Fritzmman et al., 2007). Bila salah satu komponen ini mengalami gangguan, maka efisiensi produksi air tawar akan menurun drastis, memengaruhi pasokan air harian di kapal.

Kondisi tersebut ditemukan pada sistem RO di kapal MT. Golden Splendor, di mana terdapat penurunan produksi air tawar yang signifikan dari kapasitas optimal 1000 liter per jam menjadi sekitar 700 liter per jam. Penurunan ini bukan hanya mengganggu kenyamanan kru, tetapi juga berpotensi mengganggu operasional kapal, terutama ketika kapal berlayar dalam jangka waktu lama tanpa akses pelabuhan. Permasalahan ini menunjukkan adanya potensi ketidakefisienan dalam sistem yang dapat bersumber dari aspek teknis maupun prosedural, seperti filter yang tersumbat, fouling pada membran, kebocoran pada pompa, dan ketidakpatuhan terhadap jadwal perawatan rutin (Kavitha et al., 2019; Zhao et al., 2018).

Berdasarkan observasi awal dan analisis dokumen teknis, ditemukan beberapa kemungkinan penyebab penurunan efisiensi RO. Fouling atau penumpukan material pada permukaan membran dapat menghambat aliran air, meningkatkan tekanan kerja sistem, serta mempercepat kerusakan komponen (Greenlee et al., 2009). Selain itu, ketidakteraturan dalam mengganti cartridge filter atau membersihkan membran dapat memperburuk kondisi sistem. Kebocoran pada cover ejector pump, yang berfungsi sebagai penghisap awal air laut ke dalam sistem, juga menjadi salah satu faktor penyebab berkurangnya tekanan isap dan debit air masuk. Semua faktor ini menunjukkan perlunya perhatian serius terhadap pengelolaan dan pemeliharaan sistem RO secara sistematis (Gude, 2016).

Sejumlah studi sebelumnya juga menyoroti pentingnya manajemen perawatan sistem RO agar tetap beroperasi dalam kapasitas maksimal. Menurut (Chen & Li, 2005), efektivitas sistem RO di kapal sangat bergantung pada kualitas pra-perawatan air laut dan kondisi pompa. Kim et al., (2019) menekankan pentingnya pengaturan tekanan kerja yang tepat agar tidak membebani sistem secara berlebihan. Sementara itu, Kavitha et al., (2019) mengidentifikasi bahwa masalah-masalah seperti biofouling dan scaling menjadi penyebab umum penurunan performa RO. Oleh karena itu, perawatan rutin, termasuk pencucian membran dengan bahan kimia dan penggantian filter, merupakan tindakan pencegahan yang vital (Ragetiśvara & Titah, 2021).

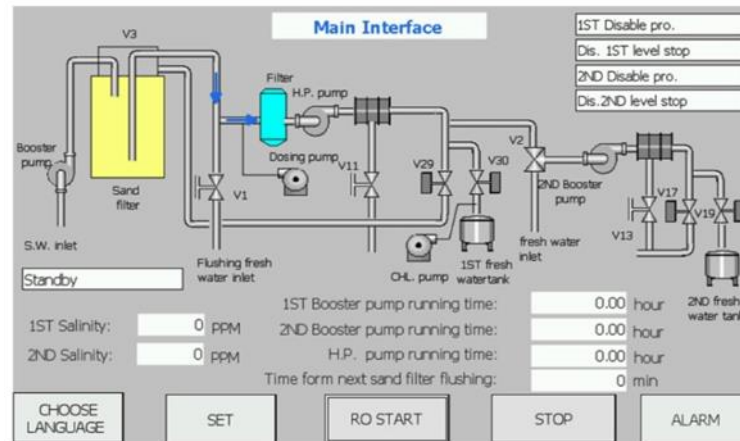
Penelitian ini dilakukan untuk menjawab permasalahan yang dihadapi oleh sistem RO di kapal MT. Golden Splendor. Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab penurunan produksi air tawar, menganalisis dampaknya terhadap operasional kapal, serta merumuskan strategi mitigasi dan optimalisasi kinerja sistem RO agar kembali berfungsi secara maksimal. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif melalui metode observasi langsung di kapal, wawancara dengan perwira mesin, serta analisis dokumentasi teknis seperti logbook dan manual perawatan.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang menyeluruh mengenai kendala yang dihadapi dalam pengoperasian sistem RO di atas kapal, serta solusi praktis dan aplikatif yang dapat diterapkan secara langsung oleh awak kapal untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem. Dengan demikian, hasil dari studi ini tidak hanya relevan bagi kapal MT. Golden Splendor, tetapi juga dapat menjadi acuan perbaikan sistem RO di kapal-kapal lain yang menggunakan teknologi serupa. Efisiensi sistem RO yang optimal akan berdampak pada peningkatan kualitas hidup awak kapal, efisiensi biaya operasional, serta keberlanjutan pelayaran jarak jauh tanpa ketergantungan pada suplai air dari darat.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif yang bertujuan untuk menggambarkan secara mendalam kondisi aktual sistem Reverse Osmosis (RO) di kapal MT. Golden Splendor. Pendekatan ini dipilih karena sesuai untuk mengungkap fenomena teknis dan prosedural secara alami dan kontekstual, serta memungkinkan peneliti mengeksplorasi penyebab penurunan efisiensi produksi air tawar secara menyeluruh berdasarkan data lapangan.

Data diperoleh dari kegiatan praktik laut selama satu tahun penuh di atas kapal MT. Golden Splendor, yang merupakan kapal tanker berbobot mati menengah. Pengamatan dilakukan secara langsung terhadap sistem RO dan prosedur operasionalnya, baik dalam kondisi normal maupun ketika sistem mengalami gangguan. Data primer diperoleh melalui wawancara mendalam dengan perwira mesin kapal yang terlibat langsung dalam pengoperasian dan pemeliharaan sistem RO, termasuk Chief Engineer dan Second Engineer. Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur untuk mendapatkan data teknis sekaligus pengalaman praktis mereka dalam menangani masalah sistem RO. Antar muka pada RO seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Antar muka reverse osmosis plan

Selain itu, data juga dikumpulkan melalui studi dokumen berupa manual book sistem RO, logbook operasional mesin, catatan maintenance harian, serta laporan kerusakan dan perbaikan. Manual sistem digunakan untuk memahami spesifikasi teknis dan standar operasional sistem RO, sementara logbook berfungsi untuk menelusuri histori tekanan, flow rate, jumlah produksi air, dan jadwal perawatan. Catatan perbaikan memberikan gambaran kronologis mengenai gangguan dan intervensi teknis yang dilakukan.

Data dianalisis dengan metode tiga tahap kualitatif yang merujuk pada pendekatan Miles dan Huberman, yaitu: (1) Reduksi data, dilakukan dengan cara menyaring data yang relevan terhadap fokus penelitian, seperti data produksi air tawar harian, waktu terjadinya gangguan, dan hasil wawancara yang mengindikasikan adanya kelalaian prosedural atau kerusakan teknis. (2) Penyajian data, diorganisasi dalam bentuk narasi tematik yang mencakup kategori-kategori seperti penyumbatan filter, fouling membran, kebocoran pompa, dan pola perawatan. Setiap tema disertai dengan kutipan dari logbook dan wawancara untuk memperkuat temuan. (3) Penarikan kesimpulan dan verifikasi, dilakukan dengan mengaitkan pola yang muncul dari data dengan teori dan studi sebelumnya tentang sistem RO serta praktik pemeliharaan mesin kapal.

Kriteria validitas dan reliabilitas data dijaga melalui teknik triangulasi sumber dan metode. Triangulasi dilakukan dengan membandingkan informasi dari wawancara dengan data logbook serta manual book teknis. Selain itu, observasi lapangan memperkuat bukti empiris terkait kondisi fisik komponen RO seperti cartridge filter, membran, dan pompa ejector. Validasi juga dilakukan melalui diskusi dengan pembimbing lapangan dan Chief Engineer sebagai bentuk member checking.

Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai penyebab utama penurunan efisiensi sistem RO serta solusi yang realistis dan aplikatif berdasarkan praktik nyata di kapal. Metodologi ini mendukung pencapaian tujuan penelitian, yaitu menyusun rekomendasi optimalisasi produksi air tawar melalui pendekatan teknis dan prosedural yang berbasis data lapangan dan pengalaman praktis awak kapal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Faktor Penyebab Penurunan Produksi Air Tawar

Berdasarkan observasi dan dokumentasi lapangan di kapal MT. Golden Splendor, ditemukan beberapa faktor utama penyebab penurunan produksi air tawar pada sistem Reverse Osmosis Plant (RO). Masalah ini muncul sebagai akumulasi dari gangguan teknis dan kelalaian prosedural, yang berdampak langsung terhadap efisiensi sistem.

Tersumbatnya Filter dan Membran: Penyumbatan terjadi pada sea chest filter, coarse strainer, fine filter (3 μ m dan 10 μ m), serta membran utama RO akibat akumulasi kotoran laut seperti pasir, lumpur, teritip, mikroorganisme, dan partikel plastik. Sumbatan ini menyebabkan tekanan berkurang dan aliran air laut ke sistem RO menjadi terhambat, sehingga produksi air menurun (Kavitha et al., 2019). Bentuk file filter seperti pada Gambar 2.

Gambar 2. Fine filter 3 μ m dan 10 μ m

Kebocoran pada Ejector Pump dan Pipa: Kebocoran ditemukan pada cover impeller ejector pump yang berfungsi menghisap air laut awal ke sistem RO. Selain itu, pipa intake yang mengalami korosi juga berkontribusi pada berkurangnya tekanan hisap dan aliran. Penurunan tekanan ini menghambat proses desalinasi yang membutuhkan tekanan konstan dan tinggi (Chen & Li, 2005). Pompa low pressure pada sistem RO seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Low pressure pump

Perawatan Tidak Memadai: Berdasarkan analisis logbook dan wawancara dengan perwira mesin, ditemukan bahwa pencucian membran (chemical cleaning) dan penggantian cartridge filter tidak dilakukan sesuai interval waktu yang dianjurkan (sekitar 500 jam operasi). Hal ini menyebabkan fouling yang menumpuk dan mengurangi efisiensi penyaringan (Ragetisvara & Titah, 2021).

3.2. Dampak Penurunan Produksi RO

Penurunan efisiensi RO berdampak signifikan terhadap operasi kapal, khususnya pada aspek pasokan air tawar. Kekurangan air tawar untuk akomodasi dan operasi. Produksi air tawar yang semula 1000 liter per jam turun menjadi hanya sekitar 700–800 liter per jam. Kekurangan ini sangat berdampak pada kebutuhan kru, pembersihan, serta pasokan untuk steam generator dan sistem pendingin.

Menurunnya Keandalan Sistem Penunjang: Beberapa sistem penunjang seperti cooling system dan fuel purifier yang memerlukan air tawar sebagai media pendukung turut terganggu, mengakibatkan meningkatnya risiko downtime dan pengurangan cadangan air dalam tanki penampung.

3.3. Strategi Mitigasi dan Perawatan

Untuk mengatasi permasalahan tersebut dilakukan serangkaian strategi mitigasi berbasis Planned Maintenance System (PMS) yang terstruktur dan terjadwal.

Perawatan Berkala: Tindakan preventif dilakukan dengan mengganti cartridge filter 3 μ m dan 10 μ m secara periodik, mencuci membran dengan larutan kimia khusus, mengganti pasir sandfilter setiap 6 bulan, serta melakukan perawatan rutin pada high pressure pump termasuk pengecekan pelumas dan seal (Kim et al., 2019).

Pemantauan Parameter Kunci: Tekanan pada inlet, outlet, dan komponen filter dipantau melalui manometer dan flowmeter yang tersedia. Nilai tekanan yang anomali menjadi indikator awal terhadap potensi penyumbatan atau kebocoran sistem (Ariyanti & Widiyasa, 2011). Sensor tekanan digital yang terhubung dengan panel alarm juga mulai diterapkan untuk meningkatkan respons cepat awak mesin.

Peningkatan Material dan Sumber Daya: Untuk mencegah kebocoran ulang, komponen pipa dan fitting diganti menggunakan stainless steel dan material tahan korosi lainnya. Ejector pump mengalami overhaul menyeluruh, dan beberapa bagian seperti mechanical seal serta shaft diganti sesuai spesifikasi pabrikan. Awak kapal juga dibekali pelatihan berkala terkait pemeliharaan sistem RO berdasarkan SOP dan dokumentasi teknis.

3.4. Evaluasi Hasil Intervensi

Setelah intervensi dilakukan, produksi air tawar kembali meningkat hingga mencapai performa optimal 1000 liter/jam. Stabilitas ini tercatat dalam logbook selama 3 minggu berturut-turut pelayaran di laut lepas, menunjukkan keberhasilan implementasi strategi mitigasi.

Peningkatan ini memperkuat kesimpulan bahwa penurunan efisiensi sebelumnya bukan disebabkan oleh kerusakan permanen atau kerusakan struktural pada sistem, melainkan akumulasi dari pengabaian prosedur perawatan. Oleh karena itu, konsistensi dalam menjalankan PMS, pelatihan kru teknis, dan evaluasi performa sistem secara periodik menjadi kunci keberlanjutan performa RO (Greenlee et al., 2009).

Penelitian ini juga menyarankan penggunaan teknologi monitoring berbasis IoT untuk sistem RO guna meningkatkan akurasi dan efisiensi pengawasan. Beberapa sistem modern telah mengintegrasikan sensor tekanan, aliran, dan suhu dengan panel digital serta dashboard berbasis web untuk pemantauan jarak jauh (Zhao et al., 2018). Plant reverse osmosis pada kapal MT. Golden Splendor seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Reverse osmosis plant HSRO-25E-10D

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di kapal MT. Golden Splendor, dapat disimpulkan bahwa penurunan produksi air tawar pada sistem Reverse Osmosis Plant (RO) disebabkan oleh kombinasi faktor teknis dan prosedural. Penyumbatan pada filter dan membran, kebocoran pada ejector pump, serta kurangnya perawatan berkala menjadi faktor dominan yang menghambat proses desalinasi. Efeknya sangat terasa pada aspek ketersediaan air tawar untuk akomodasi dan operasional kapal, termasuk gangguan pada sistem penunjang seperti cooling system dan steam generator. Langkah-langkah mitigasi yang diterapkan, seperti perawatan rutin filter dan membran, pemantauan tekanan sistem, serta penggantian komponen dengan material tahan korosi, terbukti efektif. Penerapan pendekatan Planned Maintenance System (PMS) secara disiplin meningkatkan kembali produksi air tawar hingga 1000 liter per jam. Evaluasi pasca-intervensi memperlihatkan bahwa perawatan dan monitoring yang tepat dapat memulihkan efisiensi RO secara signifikan tanpa perlu penggantian unit secara keseluruhan. Penelitian ini turut menekankan perlunya pelatihan bagi kru mesin terkait pemeliharaan serta pengoperasian sistem RO sesuai prosedur yang telah ditetapkan. Pemanfaatan sistem monitoring dengan teknologi IoT dapat menjadi langkah strategis jangka panjang untuk pemantauan performa sistem secara real-time dan prediktif. Dengan demikian, optimalisasi produksi air tawar di kapal melalui peningkatan manajemen perawatan dan pemanfaatan teknologi dapat memberikan kontribusi besar terhadap efisiensi operasional kapal secara keseluruhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada seluruh kru MT. Golden Splendor yang sudah memberikan kesempatan ini. Politeknik Maritim Negeri Indonesia atas segala bentuk dukungan dan fasilitas yang telah diberikan dalam pelaksanaan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanti, D., & Widiasta, I. N. (2011). Aplikasi teknologi reverse osmosis untuk pemurnian air skala rumah tangga. *Teknik*, 32(3), 193–197.
- Chen, J., & Li, G. (2005). Marine reverse osmosis desalination plant—a case study. *Desalination*, 174(3), 299–303.
- Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., & Melin, T. (2007). State-of-the-art of reverse osmosis desalination. *Desalination*, 216(1–3), 1–76.
- Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B., & Moulin, P. (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research*, 43(9), 2317–2348.
- Gude, V. G. (2016). Desalination and sustainability—An appraisal and current perspective. *Water Research*, 89, 87–106.
- Kavitha, J., Rajalakshmi, M., Phani, A. R., & Padaki, M. (2019). Pretreatment processes for seawater reverse osmosis desalination systems—A review. *Journal of Water Process Engineering*, 32, 100926.
- Kim, J., Park, K., Yang, D. R., & Hong, S. (2019). A comprehensive review of energy consumption of seawater reverse osmosis desalination plants. *Applied Energy*, 254, 113652.
- Ragetisvara, A. A., & Titah, H. S. (2021). Studi kemampuan desalinasi air laut menggunakan sistem Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) pada kapal pesiar. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), F68–F75.
- Zhao, Y., Liu, X., & Li, Q. (2018). An evaluation of membrane fouling in full-scale reverse osmosis seawater desalination plant. *Desalination and Water Treatment*, 120, 18–27.