



EVALUASI TEKNIS DAN MANAJERIAL SISTEM FRESH WATER GENERATOR SEBAGAI PENUNJANG OPERASIONAL KAPAL NIAGA

Oleh

Julio Levinsky Bumbungan¹, Carles Yerid Absalom Nalle², Filemon³, Ryan Puby Sumarta⁴

*Politeknik Pelayaran Sorong¹, Politeknik Pelayaran Sorong²,
Politeknik Pelayaran Sorong³, Politeknik Pelayaran Sorong⁴*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab penurunan performa sistem *Fresh Water Generator* (FWG) di kapal niaga serta merumuskan strategi pemeliharaan yang efektif. Metode yang digunakan meliputi observasi langsung dan wawancara dengan kru mesin selama pelayaran. Hasil menunjukkan bahwa penurunan kinerja FWG disebabkan oleh pembentukan kerak pada evaporator, kebocoran sistem kevakuman, serta gangguan pada pompa dan kondensor. Selain itu, lemahnya implementasi perawatan rutin, ketidakteraturan dokumentasi log operasional, dan kurangnya pelatihan teknis menjadi penyumbang utama terhadap kegagalan sistem. Kondisi ini berdampak pada peningkatan salinitas air, efisiensi energi yang menurun, serta tingginya biaya operasional akibat ketergantungan pada pasokan air pelabuhan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penguatan sistem pemeliharaan terstruktur, peningkatan kapasitas SDM, serta pengawasan teknis yang konsisten sangat diperlukan untuk menjamin keandalan FWG dalam mendukung keberlangsungan operasional kapal.

Kata kunci: *Fresh Water Generator*, Kapal Niaga, Pemeliharaan, Air Tawar

1. PENDAHULUAN

Kapal sebagai moda transportasi laut memiliki sistem pendukung yang kompleks untuk menjamin kelancaran operasi selama pelayaran. Salah satu sistem vital namun sering kurang mendapat perhatian adalah sistem produksi air tawar atau *Fresh Water Generator* (FWG). Sistem ini menjadi komponen penting yang menunjang keberlangsungan hidup awak kapal serta berperan dalam operasional sistem teknis seperti pendinginan mesin dan pencampuran bahan kimia (Hanenberg et al., 2012; Pal et al., 2021).

Sebagian besar FWG bekerja dengan memanfaatkan panas limbah dari mesin utama kapal untuk menguapkan air laut dalam kondisi tekanan rendah, lalu mengembunkan uap tersebut menjadi air tawar (Morsy & Othman, 2010; Pal et al., 2021). Komponen utama dalam sistem ini mencakup evaporator, kondensor, dan unit pengumpul air hasil destilasi (Faitär et al., 2021; MP et al., 2023; Syahputra et al., 2024). Beberapa sistem canggih telah mengintegrasikan unit Reverse Osmosis (RO) dan siklus pemulihan panas

seperti *Organic Rankine Cycle* untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas sistem (Cao et al., 2021; Nematı et al., 2017; Ouyang et al., 2020).

Kebutuhan akan air tawar dalam pelayaran jarak jauh sangat krusial karena air tawar digunakan untuk keperluan minum, mencuci, memasak, mandi, dan operasional mesin. Jika harus dibeli di pelabuhan, selain biayanya tinggi, kualitasnya pun tidak selalu terjamin (Le & Nguyen, 2019; Mulić & Tomić, 2020). Oleh karena itu, sistem FWG menjadi solusi utama yang ekonomis dan andal bagi kapal niaga dalam memenuhi kebutuhan air selama pelayaran.

FWG bekerja berdasarkan prinsip evaporasi dan kondensasi dalam kondisi kevakuman, yang memungkinkan proses penguapan terjadi pada suhu lebih rendah, sehingga dapat menghemat energi dan meningkatkan efisiensi termal kapal (Chung et al., 2012; Mahdi et al., 2024; MP et al., 2023; Wang et al., 2019; Zhao et al., 2024). Namun, keberhasilan proses ini sangat bergantung pada kestabilan suhu dan tekanan, serta kebersihan komponen sistem.

Dalam praktiknya, performa FWG sering menurun akibat faktor teknis seperti pembentukan kerak pada evaporator, kebocoran pada sistem kevakuman, dan gangguan pada pompa atau unit pendingin (Budhiraja & Fares, 2008; Deharkar et al., 2019; Jin et al., 2021; Liu et al., 2019; Shahane et al., 2022; Tahir et al., 2019). Kerak memperbesar hambatan termal dan menurunkan efisiensi perpindahan panas. Kebocoran sistem vakum mengganggu tekanan operasional dan meningkatkan beban kerja sistem (Ávila et al., 2021; Maskit & Ostfeld, 2014; Pandya et al., 2023; Teichmann et al., 2019; Yu et al., 2021). Sedangkan gangguan pada pompa dan kondensor sering kali disebabkan oleh korosi, kavitasi, atau kerusakan mekanis (Kim et al., 2010; Malik et al., 2010).

Selain masalah teknis, faktor pemeliharaan juga sangat berpengaruh. Banyak permasalahan timbul karena kelalaian dalam pelaksanaan perawatan rutin, kurangnya pengawasan terhadap jam operasi, dan dokumentasi log perawatan yang tidak memadai. Kegagalan melakukan pembersihan kerak, pengecekan valve, atau pengisian ulang chemical cleaner terbukti menurunkan kualitas

air dan meningkatkan salinitas hasil (MP et al., 2023).

Sumber daya manusia juga menjadi faktor penting yang memengaruhi kinerja FWG. Masih banyak operator yang belum memahami instruksi manual dan standar prosedur kerja, sehingga melakukan kesalahan seperti pengoperasian valve yang salah atau pengabaian tanda-tanda awal kerusakan (Franciosi et al., 2019; Park et al., 2024). Faktor kelelahan kerja, kurangnya pelatihan teknis, dan tidak adanya supervisi yang memadai menjadi penyebab utama terjadinya kesalahan manusia dalam pengoperasian FWG (Franciosi et al., 2019).

Melihat pentingnya FWG dalam mendukung kelangsungan operasional kapal dan kualitas hidup awak kapal, serta banyaknya kendala teknis dan manajerial yang memengaruhi kinerjanya, maka penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab penurunan performa FWG secara menyeluruh.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode studi kasus pada kapal MV. CNC Serval yang mengoperasikan Fresh Water Generator (FWG) merek Gea Westfalia. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk mendeskripsikan secara rinci faktor-faktor penyebab penurunan produksi air tawar serta mengevaluasi aspek teknis dan operasional dalam pengelolaan FWG di atas kapal.

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung, wawancara terstruktur, dan studi dokumentasi teknis. Observasi dilakukan selama proses operasional FWG berlangsung, mencakup pemantauan suhu, tekanan vakum, kadar salinitas, serta performa kondensor dan evaporator. Wawancara dilakukan terhadap dua perwira mesin yang bertanggung jawab atas pengoperasian dan pemeliharaan FWG, untuk memperoleh data terkait prosedur pengisian air laut, pemantauan salinitas, serta penanganan gangguan teknis.

Data sekunder diperoleh dari manual operasional FWG Gea Westfalia, logbook pemeliharaan, dan catatan inspeksi harian. Selain itu, analisis dilakukan dengan mengacu pada literatur teknis dan penelitian terdahulu mengenai sistem destilasi air laut, prinsip kerja vacuum evaporator, serta manajemen

pemeliharaan berbasis Plant Maintenance System (PMS).

Data dianalisis menggunakan pendekatan analisis tematik, yaitu mengelompokkan data ke dalam kategori permasalahan teknis (kerak, kevakuman, salinitas), permasalahan perawatan (PMS, jadwal inspeksi), dan kompetensi sumber daya manusia (pemahaman prosedur dan manual).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara di atas kapal, ditemukan bahwa sistem *Fresh Water Generator* (FWG) tidak beroperasi secara optimal. Permasalahan utama adalah rendahnya volume produksi air tawar serta tingginya kadar salinitas yang melebihi standar yang ditetapkan WHO, yaitu di bawah 500 mg/liter (Pal et al., 2021). Hal ini berdampak pada keterbatasan air bersih untuk keperluan harian seperti memasak, mencuci, hingga pendinginan mesin.

Secara teknis, penyebab penurunan performa FWG yang paling dominan adalah pembentukan kerak pada evaporator, yang menghambat perpindahan panas dari uap ke air laut. Kerak menyebabkan resistansi termal meningkat dan menurunkan efisiensi distilasi (Budhiraja & Fares, 2008; Deharkar et al., 2019; Jin et al., 2021; Liu et al., 2019; Shahane et al., 2022; Tahir et al., 2019). Faktor lingkungan seperti suhu tinggi, salinitas tinggi, dan kandungan garam sadah dalam air laut memperparah proses scaling tersebut (Budhiraja & Fares, 2008; Jin et al., 2021; Liu et al., 2019).

Selain itu, ditemukan kebocoran pada sistem kevakuman, yang menyebabkan tekanan kerja tidak stabil. Padahal, FWG bergantung pada tekanan rendah agar air dapat menguap pada suhu di bawah titik didih normal, sehingga efisien dalam memanfaatkan panas buangan (Chung et al., 2012; Mahdi et al., 2024; Wang et al., 2019). Kebocoran ini umumnya disebabkan oleh infrastruktur yang menua, korosi, dan kerusakan mekanis pada sambungan atau valve (Ávila et al., 2021; Maskit & Ostfeld, 2014; Pandya et al., 2023; Teichmann et al., 2019; Yu et al., 2021).

Gangguan lainnya terjadi pada sistem pompa dan kondensor, di mana pompa tidak mampu mengalirkan air laut dengan tekanan yang memadai ke sistem. Ditemukan adanya

korosi dan kavitasi pada pompa sirkulasi, serta keausan mekanis pada bearing dan seal, yang menyebabkan penurunan debit air pendingin (Kim et al., 2010; Malik et al., 2010). Dampaknya, proses kondensasi tidak berlangsung sempurna sehingga uap air tidak seluruhnya berubah menjadi air tawar.

Dari aspek pemeliharaan, sebagian besar komponen FWG tidak mendapatkan perawatan berkala sesuai dengan prosedur standar. Misalnya, pembersihan kerak tidak dilakukan sesuai interval, dan chemical cleaner tidak tersedia secara memadai. Hal ini menyebabkan produksi air tawar terus menurun dan kadar salinitas terus meningkat (MP et al., 2023). Selain itu, dokumentasi riwayat operasi dan perawatan sangat penting untuk memantau kondisi FWG, mencegah kerusakan berulang, dan memudahkan identifikasi masalah (Rivo, 2017; Yohanes, 2018).

Sumber daya manusia (SDM) juga berperan penting terhadap penurunan performa FWG. Ditemukan bahwa sebagian besar operator belum memahami prosedur pengoperasian yang benar. Masih banyak operator yang belum memahami instruksi manual dan standar prosedur kerja, sehingga melakukan kesalahan seperti pengoperasian valve yang salah atau pengabaian tanda-tanda awal kerusakan (Franciosi et al., 2019; Park et al., 2024). Studi menyebutkan bahwa kesalahan manusia akibat faktor-faktor tersebut merupakan penyebab dominan kegagalan sistem industri, termasuk FWG (Franciosi et al., 2019).

Ketika FWG gagal memenuhi kebutuhan air tawar, kapal terpaksa membeli pasokan air dari pelabuhan yang biayanya tinggi dan kualitasnya tidak selalu sesuai standar (Le & Nguyen, 2019; Mulić & Tomić, 2020). Hal ini jelas mengganggu efisiensi operasional, terutama bagi pelayaran jarak jauh yang sangat bergantung pada sistem internal untuk keberlangsungan logistik.

Secara keseluruhan, penurunan performa FWG merupakan hasil akumulasi dari kegagalan teknis, lemahnya sistem pemeliharaan, dan rendahnya kompetensi personel. Oleh karena itu, perlu dilakukan strategi penguatan pada seluruh aspek tersebut, mulai dari peningkatan frekuensi perawatan, pengadaan komponen cadangan dan chemical yang cukup, hingga pelatihan teknis yang berkelanjutan untuk kru kapal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil observasi dan analisis terhadap sistem Fresh Water Generator (FWG) di atas kapal, dapat disimpulkan bahwa penurunan performa FWG disebabkan oleh kombinasi antara permasalahan teknis, lemahnya pelaksanaan pemeliharaan, dan rendahnya kompetensi sumber daya manusia. Masalah teknis meliputi pembentukan kerak pada evaporator, kebocoran pada sistem kevakuman, serta gangguan pada pompa dan pendingin. Di sisi lain, ketidakpatuhan terhadap jadwal perawatan, minimnya dokumentasi log operasional, serta kurangnya pemahaman dan pelatihan teknis menjadi faktor utama yang memperparah penurunan efisiensi sistem. Dampaknya tidak hanya pada kualitas air tawar yang dihasilkan, tetapi juga pada efisiensi energi dan beban operasional kapal secara keseluruhan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu diterapkan sistem pemeliharaan berbasis Plant Maintenance System (PMS) yang disiplin, termasuk inspeksi visual berkala, pembersihan evaporator secara rutin, dan pemantauan tekanan vakum. Perusahaan pelayaran juga disarankan untuk meningkatkan kapasitas teknis kru kapal melalui pelatihan berkelanjutan yang fokus pada operasional FWG, prosedur troubleshooting, serta pengenalan teknologi terbaru dalam sistem desalinasi. Pencatatan log perawatan dan evaluasi performa sistem harus dilaksanakan secara digital dan berkelanjutan guna mendeteksi gejala kerusakan lebih awal dan mencegah kerugian yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ávila, C. A. M., Sánchez-Romero, F. J., López-Jiménez, P. A., & Pérez-Sánchez, M. (2021). Leakage management and pipe system efficiency. Its influence in the improvement of the efficiency indexes. *Water (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/w13141909>
- Budhiraja, P., & Fares, A. A. (2008). Studies of scale formation and optimization of antiscalant dosing in multi-effect thermal desalination units. *Desalination*, 220(1–3), 313–325. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.036>
- Cao, Y., Mihardjo, L. W. W., Dahari, M., Mustafa Mohamed, A., Ghaebi, H., & Parikhani, T. (2021). Assessment of a novel system utilizing gases exhausted from a ship's engine for power, cooling, and desalinated water generation. *Applied Thermal Engineering*, 184, 116177. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116177>
- Chung, H., Wibowo, S., Fajar, B., Shin, Y., & Jeong, H. (2012). Study on low pressure evaporation of fresh water generation system model. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26(2), 421–426. <https://doi.org/10.1007/s12206-011-1102-8>
- Deharkar, R., Mudgal, A., Bhatt, M., Choksi, M., & Bhavsar, D. (2019). Design challenges in vertical tube evaporator to reduce maintenance for small scale multi-effect desalination. *International Conference on Thermal Engineering*, 2019. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85125426656&partnerID=40&md5=63bb162d3d61262cdea4f99030f78ae4>
- Faităr, C., Stan, L.-C., Buzbuchi, N., & Baci, M. (2021). Study of the functional parameters of the freshwater generation system, as an integral part of the waste heat recovery system for a tanker ship. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1182(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1182/1/012023>
- Franciosi, C., Di Pasquale, V., Iannone, R., & Miranda, S. (2019). A taxonomy of performance shaping factors for human reliability analysis in industrial maintenance. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(1), 115–132. <https://doi.org/10.3926/jiem.2702>
- Hanenberg, G. Van Den, Volmerink, H., & Thijssen, B. (2012). Gap filled in water maker industry. *Maritime by Holland*, 61(2), 62–63. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84859017785&partnerID=40&md5=e037c90637975e11640fac8e1250ddf7>
- Jin, H.-Q., Shahane, S., Zhang, Y., Wang, S.,

- & Nawaz, K. (2021). Modeling of crystallization fouling on a horizontal-tube falling-film evaporator for thermal desalination. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121596>
- Kim, J. Y., Park, S. M., Kim, J. H., & Kim, S. W. (2010). Numerical hydraulic study on seawater cooling system of combined cycle power plant. *AIP Conference Proceedings*, 1225, 628–635. <https://doi.org/10.1063/1.3464910>
- Le, V. V., & Nguyen, L. H. (2019). Design and fabrication of distillation equipment of fresh water from the seawater by the use of the waste heat from diesel engines. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 42(2), 79–83. <https://doi.org/10.26480/jmerd.02.2019.79.83>
- Liu, X., Chen, D., Shan, F., Shen, S., & Shang, Y. (2019). Study on the performance of a scale inhibitor during horizontal-tube falling film evaporation of seawater. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 227(6). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/227/6/062018>
- Mahdi, M. S., Ezzat, A. W., & Hu, E. (2024). Parametric Study of Low-temperature Solar-assisted Flash Evaporation Desalination Systems Using Two-phase Water-steam Ejector. *Heat Transfer*, 53(7), 3931–3947. <https://doi.org/10.1002/htj.23118>
- Malik, A. U., Andijani, I., Mobin, M., Al-Fozan, S., Al-Muaili, F., & Al-Hajiri, M. (2010). An overview of the localized corrosion problems in seawater desalination plants - some recent case studies. *Desalination and Water Treatment*, 20(1–3), 22–34. <https://doi.org/10.5004/dwt.2010.1479>
- Maskit, M., & Ostfeld, A. (2014). Leakage Calibration of Water Distribution Systems. *World Environmental and Water Resources Congress 2014: Water Without Borders - Proceedings of the 2014 World Environmental and Water Resources Congress*, 417–425. <https://doi.org/10.1061/9780784413548.045>
- Morsy, M., & Othman, H. H. (2010). Improving green fresh water supply in passengers ships using waste energy recovery. *Journal of King Abdulaziz University, Marine Science*, 21(2), 127–143. <https://doi.org/10.4197/Mar.21-2.9>
- MP, A., Ridwan, M., & Y Siahaan, R. (2023). Efforts To Sustain Fresh Water Production in Order to Improve The Performance of Fresh Water Generator On The Mt. Rubra. *International Journal of Advanced Multidisciplinary*, 2(2), 612–615. <https://doi.org/10.38035/ijam.v2i2.303>
- Mulić, R., & Tomić, I. J. (2020). Supplying ships with safe drinking-water. *International Maritime Health*, 71(2), 123–128. <https://doi.org/10.5603/IMH.2020.0022>
- Nemati, A., Sadeghi, M., & Yari, M. (2017). Exergoeconomic analysis and multi-objective optimization of a marine engine waste heat driven RO desalination system integrated with an organic Rankine cycle using zeotropic working fluid. *Desalination*, 422(August), 113–123. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.08.012>
- Ouyang, T., Zhao, Z., Lu, J., Su, Z., Li, J., & Huang, H. (2020). Waste heat cascade utilisation of solid oxide fuel cell for marine applications. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124133. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124133>
- Pal, J. S., Sapali, S. N., Anil, T. R., & Shinde, A. B. (2021). Exergy Analysis of a Plate Type Freshwater Generator Used in Marine Vessels. *International Review of Mechanical Engineering*, 15(8), 434–441. <https://doi.org/10.15866/ireme.v15i8.21332>
- Pandya, N. C., Popawala, R., & Yadav, S. M. (2023). Effect of leakage location on pressure deficiency index of water distribution network. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 29(4), 427–436. <https://doi.org/10.1080/09715010.2022.2094731>
- Park, M.-H., Park, J.-S., & Lee, W.-J. (2024). Toward optimized operation of

- freshwater generator using computer vision, and its economic and environmental benefits. *Desalination*, 573, 117214. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.117214>
- Rivo, M. (2017). *Identifikasi perawatan Fresh Water Generator di MV. Luzon dengan metode Hazard Opeability* [Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang]. <http://repository.pip-semarang.ac.id/id/eprint/1419>
- Shahane, S., Jin, H.-Q., Wang, S., & Nawaz, K. (2022). Numerical modeling based machine learning approach for the optimization of falling - film evaporator in thermal desalination application. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123223>
- Syahputra, F. A., Daryanto, D., & Saktiono, M. A. (2024). Analysis of the Causes of the Decline in Water Production Bid on Fresh Water Generator in Ship MV. Lumoso Karunia II. *Jurnal Aplikasi Pelayaran Dan Kepelabuhanan*, 15(1), 66–81. <https://doi.org/10.30649/japk.v15i1.124>
- Tahir, F., Mabrouk, A., & Koc, M. (2019). Review on CFD analysis of horizontal falling film evaporators in multi-effect desalination plants. *Desalination and Water Treatment*, 166, 296–320. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24487>
- Teichmann, M., Kuta, D., & Kuda, F. (2019). Fluctuation of water pressure and its impact on water losses in water distribution network. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 19(3.1), 209–216. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/3.1/S12.027>
- Wang, Z., Horseman, T., Straub, A. P., Yip, N. Y., Li, D., Elimelech, M., & Lin, S. (2019). Pathways and Challenges for Efficient Solar-Thermal Desalination. *Science Advances*, 5(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0763>
- Yohanes, C. M. D. (2018). *PENGARUH KERJA EVAPORATOR PADA FRESH WATER GENERATOR TERHADAP JUMLAH PRODUKSI AIR TAWAR DI KAPAL LPG/C LADY MARGAUX* [Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang]. <http://repository.pip-semarang.ac.id/id/eprint/586>
- Yu, J., Zhang, L., Chen, J., Xiao, Y., Hou, D., Huang, P., Zhang, G., & Zhang, H. (2021). An integrated bottom-up approach for leak detection in water distribution networks based on assessing parameters of water balance model. *Water (Switzerland)*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/w13060867>
- Zhao, Z., Wang, C., Wei, D., & Wang, F. (2024). Condensation device design represents a critical step for solar-driven water evaporation toward practical applications. *Cell Reports Physical Science*, 5(2), 101794. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2024.101794>