

Analisis Kebocoran Freon Yang Menyebabkan Turunnya Kinerja Evaporator Pada Mesin *Refrigerator Reefer Container* Di MV. NYK Vesta

Edi Aprilianto¹, Fitri Ramadhani. M², Nanak Pamungkas. P³, Afandi Sahputra⁴, Thaibil Anwar⁵

^{1,2,3,4,5} Politeknik Pelayaran Malahayati, Aceh, Indonesia

Article Info

Article history:

Received Aug 12th, 2025

Revised Dec 20th, 2025

Accepted March 26th, 2026

Keyword:

Refrigerator
Reefer Container
Freon
Alarm E809
Brazing
Case Study

ABSTRAK

Penurunan kinerja evaporator pada mesin *refrigerator reefer container* di MV. NYK Vesta saat perjalanan dari Nava Sheva, India menuju Rotterdam, Netherlands pada 16 September 2024 menjadi masalah serius karena suhu ruang pendingin tidak mencapai setpoint -22°C , memicu *alarm* E809 dan meningkatkan risiko kerusakan muatan. Tercatat 2,5% dari total *reefer container* mengalami gangguan dengan *alarm* yang berbeda. Penelitian ini bertujuan menganalisis penyebab kebocoran freon pada pipa kondensor menuju *expansion valve* yang mengakibatkan turunnya kinerja evaporator, dampak dari turunnya kinerja evaporator, dan langkah antisipatif agar kejadian serupa tidak terulang kembali pada mesin *refrigerator reefer container*. Metode yang digunakan adalah *case study* melalui observasi partisipatif, pengecekan suhu tekanan dan *volume* freon, serta penggunaan *leak detector* untuk menemukan titik kebocoran. Hasil penelitian menunjukkan kebocoran freon mengurangi tekanan dan *volume* freon, sehingga evaporator tidak dapat menyerap panas secara optimal, suhu kontainer naik hingga $+3^{\circ}\text{C}$, dan kompresor bekerja lebih berat. Perbaikan dengan isolasi *valve*, *brazing* pipa bocor menggunakan gas *acetylene* dan O_2 , vakum sistem, dan pengisian ulang refrigeran berhasil mengembalikan kinerja sistem. Kesimpulannya, kebocoran pipa sirkulasi freon menjadi penyebab utama turunnya kinerja evaporator. Rekomendasi meliputi inspeksi dan perawatan rutin, pemantauan tekanan serta *level* freon, dan pelapisan pipa untuk mencegah korosi, sehingga sistem pendingin tetap optimal dan muatan aman selama pengiriman.



© 2021 The Authors. Published by Politeknik Pelayaran Sumatera Barat. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>)

Corresponding Author:

Edi Aprilianto
Politeknik Pelayaran Malahayati Aceh
Email: ediaprilianto98@gmail.com

Pendahuluan

Kegiatan pelayaran merupakan salah satu sektor vital dalam mendukung aktivitas perdagangan dan distribusi global. Menurut Hanna, M., Kalangi., E (2020), pelayaran terbagi atas 2 (dua) jenis, yaitu Pelayaran Niaga (*shipping business, commercial shipping, merchant marine*) dan pelayaran non niaga. Pelayaran niaga yaitu usaha pengangkutan barang (khususnya barang dagangan) atau penumpang, melalui laut, baik yang dilakukan antar pelabuhan-pelabuhan dalam wilayah sendiri maupun antar negara. Sedangkan Pelayaran Non Niaga adalah kegiatan pelayaran

yang bertujuan bukan untuk kegiatan perdagangan, yang meliputi pelayaran angkatan perang, dinas pos, dinas perambuan, penjaga pantai, hidrografi dan sebagainya (UNCTAD, 2021; UNCTAD, 2024). Berdasarkan trayek yang dilayari terbagi atas kegiatan pelayaran nasional dan kegiatan pelayaran internasional.

Salah satu aspek penting dalam pelayaran niaga adalah penggunaan kapal kontainer, khususnya reefer container atau kontainer berpendingin. Kontainer ini dirancang untuk mengangkut muatan yang membutuhkan kontrol suhu ketat seperti makanan, obat-obatan, dan bahan kimia (International Institute of Refrigeration, 2024; Riffat, 2022). Dengan sistem pendingin yang terdiri atas kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator, reefer container mampu mempertahankan suhu internal secara stabil agar kualitas barang tetap terjaga. Namun, kompleksitas komponen dan ketergantungan pada sistem kelistrikan menjadikan reefer container rentan terhadap berbagai gangguan teknis, termasuk kebocoran refrigeran, kerusakan mekanis, gangguan listrik, maupun kesalahan operasional manusia (The Swedish Club, 2022; Muradi et al., 2024).

Permasalahan kebocoran refrigeran (freon) menjadi salah satu isu yang paling sering dijumpai dalam operasi reefer container. Kebocoran ini dapat menyebabkan penurunan tekanan sistem, berkurangnya volume refrigeran, serta turunnya kinerja evaporator sehingga suhu internal kontainer tidak tercapai sesuai setpoint. Akibatnya, kualitas barang yang diangkut, terutama muatan sensitif seperti produk beku dan farmasi, dapat mengalami kerusakan dan menimbulkan kerugian ekonomi (Muradi et al., 2024; Zhao, 2024).

Berbagai studi terdahulu menunjukkan bahwa kebocoran refrigeran berpengaruh langsung terhadap efisiensi sistem pendingin, kapasitas penyerapan panas, serta umur pakai komponen utama. Zhang et al. (2024) menegaskan bahwa kebocoran refrigeran menyebabkan penurunan tekanan dan aliran refrigeran menuju evaporator, sehingga karakteristik operasi sistem pendingin berubah secara signifikan. Penelitian ini menunjukkan bahwa refrigerant undercharge mengakibatkan penurunan kinerja termodinamika serta kapasitas pendinginan. Hal ini diperkuat oleh Pelella et al. (2022) yang mengkaji kombinasi efek kebocoran refrigeran dan fouling pada sistem pendingin, di mana hasilnya menunjukkan efisiensi dapat menurun lebih dari 25% ketika refrigeran berkurang secara signifikan. Studi ini relevan karena menjelaskan secara kuantitatif besarnya pengaruh kebocoran freon terhadap performa evaporator (Lukasse, 2023; Green Cooling Initiative, 2025).

Dari sisi praktik di lapangan, Złoczowska (2018) melakukan survei pada unit refrigerasi kontainer dan menemukan bahwa kebocoran refrigeran merupakan salah satu penyebab paling umum dari kegagalan sistem pendingin. Penelitian ini memberikan gambaran empiris bahwa kasus kebocoran bukanlah insiden tunggal, melainkan masalah berulang pada operasi reefer container di berbagai kapal. Selaras dengan itu, Getahun (2017) meneliti kinerja pendinginan kontainer berpendingin dan menyoroti bahwa kebocoran refrigeran tidak hanya menurunkan kualitas pendinginan tetapi juga meningkatkan konsumsi energi, terutama karena kompresor harus bekerja lebih keras untuk mempertahankan suhu yang ditetapkan.

Penyebab kebocoran freon pada lingkungan maritim umumnya berkaitan dengan faktor korosi. Studi terkini menunjukkan korosi pada pipa dan sambungan sering terjadi akibat kelembapan tinggi serta paparan zat kimia di udara laut (Dariansyah, 2023; Yang, 2024). Hal ini diperkuat oleh temuan dan rekomendasi teknis dari International Institute of Refrigeration yang menekankan bahwa kontainer berpendingin di laut sangat rentan terhadap oksidasi pada pipa logam akibat paparan air asin, uap garam, serta kondisi iklim ekstrem (International Institute of Refrigeration, 2021; International Institute of Refrigeration, 2024). Oleh karena itu, aspek pencegahan seperti pelapisan pipa atau coating menjadi bagian penting dalam upaya menjaga kinerja sistem.

Fenomena tersebut dialami peneliti saat praktik laut di MV. NYK Vesta pada 16 September 2024, ketika terjadi kebocoran freon pada sistem pendingin reefer container dalam pelayaran dari Nava Sheva, India menuju Rotterdam, Belanda. Gangguan tersebut menyebabkan suhu internal kontainer menyimpang dari -22°C menjadi 0°C hingga $+3^{\circ}\text{C}$, sehingga mengakibatkan kerusakan

muatan. Kasus ini memperlihatkan urgensi perawatan dan pengendalian sistem pendingin reefer container secara berkelanjutan (The Swedish Club, 2022; Lukasse, 2023).

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, maka penelitian ini merumuskan beberapa permasalahan utama yang akan dibahas. Pertama, penelitian ini berfokus pada identifikasi faktor-faktor yang menyebabkan turunnya kinerja evaporator pada mesin refrigerator reefer container di MV. NYK Vesta. Kedua, penelitian akan mengkaji dampak yang ditimbulkan akibat menurunnya kinerja evaporator tersebut, baik terhadap performa mesin maupun proses penyimpanan muatan di dalam reefer container. Ketiga, penelitian ini juga akan membahas langkah-langkah antisipatif yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya penurunan kinerja evaporator, sehingga sistem pendingin dapat beroperasi secara optimal dan berkelanjutan. Dengan demikian, rumusan masalah ini menjadi dasar sekaligus arah dalam pelaksanaan penelitian.

Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai kebocoran freon yang menyebabkan turunnya kinerja evaporator pada mesin refrigerator reefer container di MV. NYK Vesta. Studi kasus dipilih karena mampu mengeksplorasi fenomena dalam sistem yang terikat oleh waktu dan tempat, serta menjelaskan hubungan sebab-akibat yang muncul secara komprehensif (Chowdhury & Shil, 2021; McQuaid, Thomson, & Bannigan, 2023). Sesuai dengan pendapat Creswell (2017), studi kasus memungkinkan peneliti menggali peristiwa atau permasalahan tertentu dengan melibatkan berbagai sumber informasi yang kaya, sehingga hasil penelitian dapat memberikan gambaran yang lebih menyeluruh.

Bahan penelitian meliputi objek berupa unit mesin refrigerator reefer container di MV. NYK Vesta, dokumen teknis seperti manual perawatan dan laporan operasional, serta data lapangan hasil observasi langsung terhadap komponen pendingin seperti kompresor, kondensor, expansion valve, evaporator, dan pipa sirkulasi. Referensi teknis dan review terkini tentang sistem reefer dan komponen pendingin dipakai untuk menyokong deskripsi bahan dan interpretasi kerusakan (International Institute of Refrigeration, 2024; Minetto, 2023). Selain itu, penelitian ini juga menggunakan bukti dokumentasi berupa foto, catatan teknis, serta rekaman visual untuk memperkuat hasil analisis. Data dikumpulkan melalui observasi partisipatif, studi dokumen, dan dokumentasi lapangan secara sistematis untuk memastikan informasi yang diperoleh relevan dan valid — pendekatan yang umum direkomendasikan dalam penelitian kualitatif terapan dan studi kasus (Weston, 2021; Tenny & Brannan, 2022).

Data yang terkumpul kemudian dianalisis secara deskriptif dengan pendekatan kualitatif. Analisis dilakukan dengan cara mengaitkan hasil observasi lapangan, dokumen teknis, serta bukti dokumentasi untuk menemukan pola sebab-akibat kebocoran freon terhadap kinerja evaporator; pada praktiknya analisis ini memakai teknik deskriptif-tematik dan prosedur kualitas data yang lazim dalam penelitian kualitatif deskriptif (Braun & Clarke, 2021; Villamin et al., 2024). Hasil analisis diharapkan mampu memberikan gambaran menyeluruh tentang permasalahan yang terjadi, menjelaskan dampak kebocoran freon pada penurunan performa sistem pendingin, serta menawarkan langkah antisipatif yang dapat diterapkan pada pengoperasian dan pemeliharaan reefer container di kapal niaga.

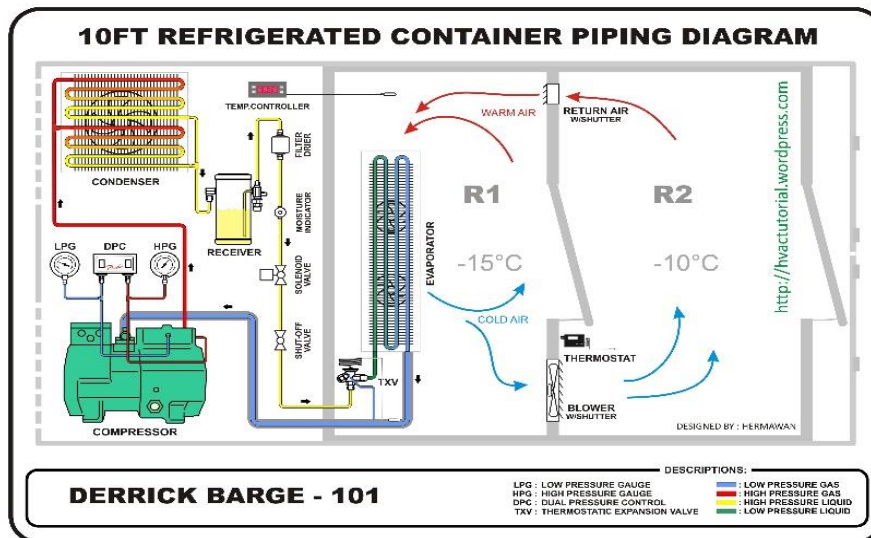
Hasil dan Diskusi

Analisis Awal dan Pemahaman Reefer Container

Reefer container adalah kontainer berpendingin yang dirancang khusus untuk menjaga suhu dan kelembaban stabil selama proses transportasi maupun penyimpanan, terutama bagi produk yang sensitif terhadap perubahan suhu. Sistem pendinginnya berbasis siklus kompresi uap dengan komponen utama kompresor, kondensor, evaporator, katup ekspansi, kipas, serta unit kontrol digital. Fungsi utama *reefer container* meliputi menjaga suhu sesuai kebutuhan produk pada rentang +30°C hingga -30°C, mengatur kelembaban, serta memastikan sirkulasi udara merata agar kualitas produk tetap terjaga. Hal ini menjadikan *reefer container* sangat penting untuk pengangkutan makanan segar, produk beku, farmasi, dan bahan kimia. Selain itu, keberadaan sistem kontrol otomatis dan

monitoring digital meningkatkan efisiensi, keamanan, serta keandalan operasional, baik ketika menggunakan pasokan listrik dari generator kapal maupun jaringan listrik pelabuhan.

Siklus Kerja Mesin Refrigerator



Gambar 1. Refrigeration System

Dalam proses pendinginan, siklus kerja mesin *refrigerator* berlangsung melalui empat tahapan utama, yaitu kompresi, kondensasi, ekspansi, dan penguapan. Pada tahap kompresi, uap refrigeran bertekanan dan bertemperatur rendah dari evaporator dimampatkan oleh kompresor menjadi uap bertekanan serta bertemperatur tinggi. Selanjutnya, pada tahap kondensasi, uap panas tersebut melepaskan energi panas ke lingkungan melalui kondensor sehingga berubah menjadi cairan bertekanan tinggi. Cairan ini kemudian mengalami proses ekspansi melalui katup ekspansi, yang menurunkan tekanan dan suhu refrigeran sehingga menjadi cairan dengan kondisi jenuh. Tahap terakhir adalah penguapan, di mana refrigeran cair bertekanan rendah menyerap panas dari ruang pendingin melalui evaporator dan berubah kembali menjadi uap. Proses penguapan inilah yang menyebabkan suhu ruang pendingin menurun, dan siklus berulang secara terus-menerus. Ditinjau dari perspektif termodinamika, siklus ini melibatkan perpindahan energi dalam bentuk panas laten maupun panas sensibel, yang menjadikan mesin *refrigerator* mampu menjaga suhu sesuai kebutuhan pendinginan.

Selain empat tahap utama tersebut, aspek operasional dan performa siklus juga sangat dipengaruhi oleh kondisi termodinamika dan kontrol sistem, seperti temperatur evaporator dan kondensor serta besarnya superheating dan subcooling. Perbedaan suhu evaporasi dan kondensasi menentukan kerja kompresor dan koefisien performa (COP), sehingga perubahan kecil pada titik-titik tersebut dapat signifikan menurunkan efisiensi pendinginan. Aliran massa refrigeran yang tidak memadai, misalnya akibat kebocoran, mengurangi kapasitas pendinginan evaporator dan memaksa kompresor bekerja lebih keras, yang pada gilirannya meningkatkan konsumsi energi dan keausan mekanik. Perangkat pengatur aliran refrigeran seperti thermostatic expansion valve (TXV) atau electronic expansion valve (EEV) berperan penting menjaga kondisi jenuh dan superheating yang tepat di evaporator untuk mencegah masuknya cairan ke kompresor. Selain itu, faktor non-termal seperti fouling pada kondensor/evaporator, hambatan aliran udara, dan kualitas pelumasan juga memengaruhi perpindahan panas serta stabilitas siklus. Oleh karena itu, pemantauan parameter operasional (tekanan, temperatur, superheat/subcooling) dan pemeliharaan berkala menjadi kunci untuk mempertahankan efisiensi dan mencegah penurunan performa akibat masalah seperti kebocoran refrigeran atau degradasi komponen.

Pembahasan Masalah Turunnya Kinerja Evaporator

Penelitian ini secara spesifik mengkaji turunnya kinerja evaporator pada mesin refrigerator *reefer container*. Yang mana terjadi pada *reefer container* di MV. NYK Vesta dengan indikasi awal terdapat *alarm E809* pada LCD *reefer container* yang menunjukkan *refrigerant shortage* atau kekurangan refrigeran dalam sistem, sehingga mengakibatkan ketidaksesuaian suhu yang seharusnya -22°C sesuai dengan *setpoint* namun meningkat drastis menjadi 0°C .



Gambar 2. Alarm E809

Gejala kebocoran juga terlihat dari menurunnya tekanan sistem pendingin dari standar 9,5 bar menjadi sekitar 5 bar, serta berkurangnya *volume* freon yang terdeteksi melalui *sight glass*. Sistem *alarm* otomatis pada *reefer container* berfungsi penting dalam mendeteksi permasalahan sejak awal tanpa perlu inspeksi manual, sehingga mempercepat proses *troubleshooting* dan mencegah kerugian lebih besar akibat kerusakan kargo.

Untuk mengatasi masalah ini, terdapat beberapa penanganan yang tepat. Dengan langkah awal penanganan menonaktifkan unit melalui MCB atau mencabut *plug reefer container* dari *shocket power* 440V, mengisolasi kebocoran dengan menutup *valve* setelah kondensor dan kompresor, kemudian melaksanakan perbaikan menggunakan metode *brazing*. Proses ini dilakukan dengan memanaskan pipa menggunakan *flame torch* berbahan bakar gas asetilena (C_2H_2) dan oksigen (O_2), lalu menambahkan logam pengisi pada area bocor setelah pembersihan permukaan pipa. Setelah perbaikan, sistem divakum untuk mengeluarkan udara, kemudian dilakukan pengisian ulang refrigeran secara bertahap dengan *manifold gauge* sesuai prosedur manual. Hasil pengujian pascaperbaikan menunjukkan tekanan tinggi sistem meningkat kembali menjadi 10 bar dan suhu ruang pendingin turun hingga $-16,4^{\circ}\text{C}$.

Faktor Penyebab Turunnya Kinerja Evaporator

Penyebab utama turunnya kinerja evaporator pada mesin refrigerator *reefer container* di MV. NYK Vesta dapat dikategorikan menjadi dua faktor. Pertama, kebocoran pada pipa sirkulasi yang menghubungkan kondensor dengan *expansion valve* menjadi penyebab dominan penurunan performa evaporator. Pipa tersebut seharusnya menyalurkan refrigeran cair bertekanan tinggi setelah proses kondensasi, namun ketika terjadi kebocoran, jumlah refrigeran yang masuk ke *expansion valve* berkurang. Akibatnya, aliran refrigeran ke evaporator tidak mencukupi untuk menyerap panas secara optimal sehingga proses pendinginan menjadi tidak efisien. Kebocoran ini

dapat dipicu oleh berbagai hal, seperti korosi akibat kelembaban dan kontaminasi zat kimia dari lingkungan laut, getaran mekanis selama pengoperasian yang melemahkan sambungan pipa, proses pengelasan yang kurang sempurna, hingga kerusakan fisik akibat benturan saat pemuatan maupun perawatan. Kedua, kebocoran pada jalur pipa sirkulasi tersebut juga berdampak pada penurunan tekanan dan volume freon, dari semula 9,5 bar turun menjadi 5 bar. Kondisi ini menghambat aliran refrigeran menuju evaporator, sehingga kapasitas penyerapan panas menurun dan distribusi suhu di dalam kontainer menjadi tidak merata. Penurunan tekanan juga mengganggu kinerja *expansion valve*, membuat sistem pendingin kurang efisien, meningkatkan beban kerja kompresor, serta berpotensi menyebabkan kerusakan pada komponen lain akibat beban berlebih dan konsumsi energi yang lebih tinggi.

Selain kebocoran dan korosi, fouling dan kontaminasi pada permukaan evaporator merupakan faktor penting yang menurunkan kinerja penukar panas. Lapisan kotoran, es, atau minyak mengurangi koefisien perpindahan panas dan memperbesar hambatan termal antara refrigeran dan udara ruang kargo sehingga kapasitas pendinginan menurun. Kehadiran gas non-kondensabel atau uap air dalam sistem juga meningkatkan tekanan tegangan uap lokal dan menyebabkan kenaikan superheat yang membuat evaporator tidak bekerja pada kondisi jenuh yang diinginkan. Kondisi tersebut memaksa kompresor bekerja lebih sering dan lebih lama, mempercepat siklus short-cycling serta meningkatkan konsumsi energi dan risiko kegagalan mekanis. Pengendalian kualitas udara masuk, penggunaan filter yang tepat, serta prosedur defrosting dan pembersihan berkala diperlukan untuk mengurangi dampak fouling tersebut. Implementasi inspeksi visual berkala dan pengukuran performa (perbedaan temperatur masuk-keluar, tekanan evaporator, dan superheat) akan membantu deteksi dini masalah ini sebelum menyebabkan gangguan operasional serius.

Faktor operasional dan kesalahan pengaturan juga berkontribusi signifikan terhadap penurunan performa evaporator. Pengisian refrigeran yang tidak sesuai—baik kekurangan maupun kelebihan—mengubah titik kerja sistem sehingga evaporator mungkin mengalami penguapan tidak sempurna atau pembasahan berlebih yang merusak efisiensi. Kerusakan atau ketidakseimbangan pada kipas evaporator dan motor blower mengurangi laju aliran udara melintasi pipa, menimbulkan hotspot dan distribusi suhu yang tidak merata dalam kontainer. Selain itu, sensor temperatur, kontroler elektronik, atau katup ekspansi yang tidak terkalibrasi dapat menyebabkan set-point kerja yang keliru sehingga sistem tidak menanggapi perubahan beban dengan benar. Vibrasi berulang dan kelelahan material pada sambungan pipa atau fitting juga mempercepat degradasi mekanis yang pada akhirnya memicu kebocoran dan kegagalan komponen. Oleh karena itu, kombinasi pemeriksaan fungsi kontrol, kalibrasi instrumen, perawatan mekanis, dan program pemantauan kondisi berbasis data sangat dianjurkan untuk menjaga stabilitas operasi evaporator.

Dampak Turunnya Kinerja Evaporator

Turunnya kinerja evaporator pada mesin refrigerator reefer container akibat kebocoran freon menimbulkan konsekuensi serius yang berdampak luas terhadap kualitas muatan, keberlangsungan operasional, maupun kondisi peralatan pendingin. Pertama, dari sisi muatan, ketidaktercapainya suhu sesuai *setpoint* -22°C menyebabkan produk yang sensitif terhadap suhu, seperti bahan pangan beku dan farmasi, mengalami kerusakan kualitas. Produk beku berpotensi mencair, terjadi pertumbuhan mikroorganisme, serta degradasi komposisi kimia pada barang farmasi, yang pada akhirnya mengancam keamanan konsumsi maupun stabilitas obat. Kedua, dari sisi perusahaan, kerusakan muatan tersebut menimbulkan kerugian finansial yang signifikan. Produk yang tidak layak konsumsi berisiko ditolak pembeli, memicu klaim ganti rugi, dan menggerus kepercayaan pelanggan. Dampak ini tidak hanya menimbulkan kerugian material dalam jangka pendek, tetapi juga berimplikasi pada reputasi serta daya saing perusahaan dalam jangka panjang di industri logistik berpendingin. Ketiga, dari sisi peralatan, kebocoran freon membuat kompresor bekerja terus-menerus karena suhu pendinginan tidak pernah mencapai target yang ditetapkan. Hal ini mempercepat keausan komponen internal, meningkatkan risiko *overheat* dan kerusakan permanen, serta menimbulkan konsumsi energi yang lebih tinggi dibanding kondisi normal. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat menyebabkan biaya perawatan dan penggantian komponen yang besar, sehingga semakin menambah beban operasional perusahaan.

Selain dampak langsung pada kualitas muatan dan biaya perbaikan, turunnya kinerja evaporator juga mengganggu keandalan rantai pasok dingin secara keseluruhan. Produk yang rusak

atau tercemar dapat memicu penarikan kembali (recall) dan pemeriksaan kualitas tambahan di pelabuhan tujuan, sehingga menambah waktu tunggu, biaya logistik, dan risiko kehilangan kontrak dengan pelanggan. Ketidapatuhan terhadap standar sanitasi dan suhu simpan yang disyaratkan untuk komoditas tertentu (mis. farmasi, pangan beku) berpotensi mengakibatkan sanksi regulator atau penolakan muatan oleh otoritas impor. Gangguan berulang pada unit reefer mendorong meningkatnya klaim asuransi dan premi yang lebih tinggi, serta menimbulkan biaya administrasi untuk klaim dan audit kualitas. Selain itu, perusahaan harus menanggung biaya alternatif seperti pengalihan muatan, penyimpanan sementara, atau penggantian barang untuk menjaga kontinuitas distribusi. Dampak reputasi dari kejadian berulang dapat mengurangi kepercayaan pelanggan dan menghambat peluang pasar baru dalam jangka menengah hingga panjang.

Dari sisi lingkungan dan operasional kapal, kebocoran refrigeran menimbulkan konsekuensi negatif yang tidak kalah penting. Pelepasan refrigeran berpotensi meningkatkan jejak emisi gas rumah kaca, terutama jika digunakan refrigeran dengan GWP tinggi dan memicu kewajiban pelaporan serta potensi sanksi lingkungan sesuai peraturan internasional dan nasional. Operasi kapal menjadi kurang efisien karena kompresor dan genset bekerja lebih berat untuk mengompensasikan kehilangan kapasitas, sehingga konsumsi bahan bakar meningkat dan emisi CO₂ ikut naik. Frekuensi perawatan darurat dan penggantian komponen meningkat, menyebabkan waktu non-aktif (downtime) unit yang berdampak pada jadwal pelayaran dan produktivitas kapal. Risiko kontaminasi silang antar kontainer juga meningkat apabila suhu tidak stabil, yang dapat memperburuk kerugian muatan lain di dek atau ruang kargo. Oleh karena itu, tindakan mitigasi proaktif—seperti deteksi kebocoran dini, penggunaan refrigeran ber-GWP lebih rendah, dan program pemeliharaan prediktif—menjadi penting untuk mengurangi dampak lingkungan dan operasional tersebut.

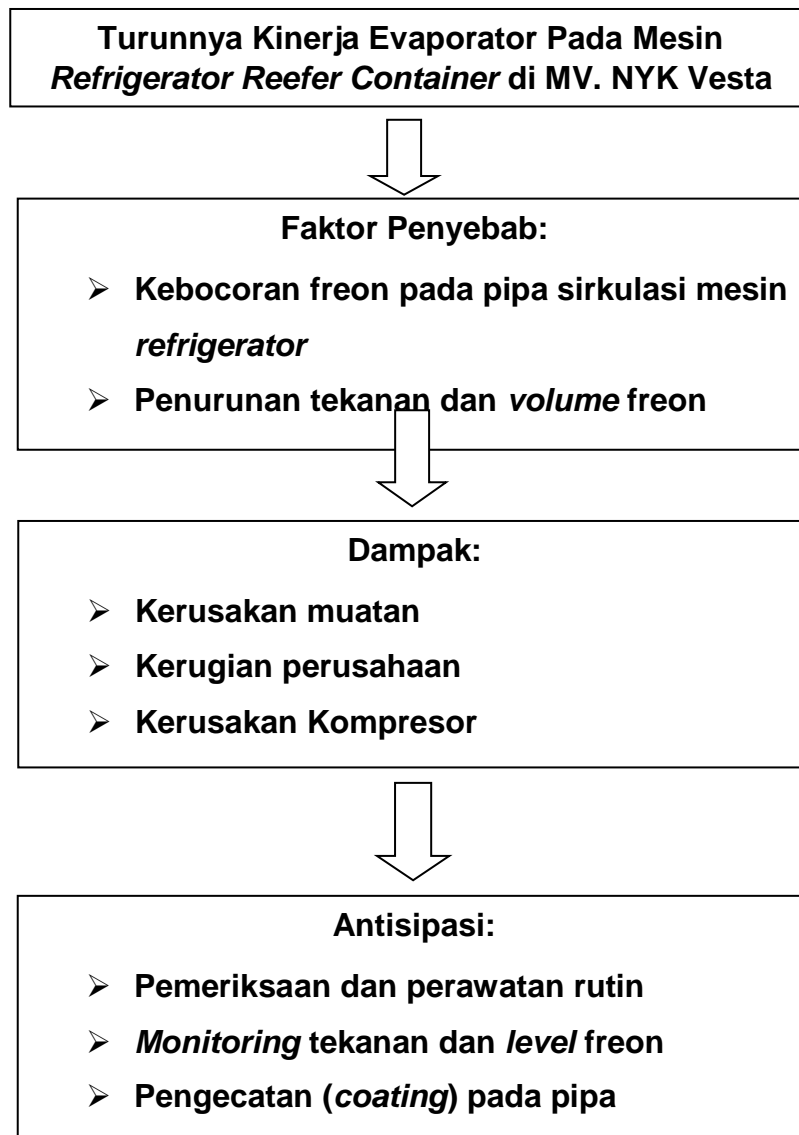
Antisipasi Turunnya Kinerja Evaporator

Untuk mengantisipasi turunnya kinerja evaporator pada mesin refrigerator reefer container, khususnya yang disebabkan oleh kebocoran freon, diperlukan langkah-langkah preventif yang sistematis. Pertama, pemeriksaan dan perawatan rutin sangat penting dilakukan untuk menjaga kinerja evaporator tetap optimal sekaligus mencegah kerusakan yang lebih serius. Kegiatan ini meliputi pengecekan visual maupun pengujian fungsi komponen utama seperti kompresor, kondensor, *expansion valve*, evaporator, serta pipa sirkulasi, guna mendeteksi gejala awal permasalahan seperti korosi, suara abnormal, atau indikasi kebocoran. Kedua, monitoring tekanan dan level freon perlu dilakukan secara berkala melalui indikator tekanan maupun *sight glass*, sehingga penurunan tekanan atau jumlah freon dapat segera terdeteksi dan ditangani sebelum berdampak pada penurunan kinerja evaporator dalam jangka panjang. Ketiga, penerapan pengecatan atau *coating* pada pipa logam juga menjadi langkah antisipatif yang efektif untuk mencegah korosi. Perlindungan ini sangat dibutuhkan ketika reefer container beroperasi di lingkungan ekstrem seperti daerah pesisir, laut, atau wilayah dengan suhu dan kelembapan tinggi. Dengan adanya pelapisan tersebut, pipa logam terlindungi dari oksidasi akibat paparan air laut, uap garam, hujan, maupun kelembapan berlebih, sehingga umur pakai komponen dapat diperpanjang dan sistem pendingin tetap bekerja secara efisien.

Untuk deteksi dini dan pengendalian kebocoran, pasanglah sistem deteksi kebocoran yang mencakup detektor elektronik portabel dan tetap serta sensor tekanan dan konsentrasi refrigeran yang terhubung ke data logger atau sistem SCADA. Penggunaan detektor ultrasonik dan kamera termal secara berkala juga membantu menemukan kebocoran halus atau area dengan perpindahan panas tidak normal sebelum kerusakan meluas. Monitoring kontinu tekanan, temperatur, superheat, dan subcooling yang dipantau secara real-time memungkinkan teknisi merespons anomali operasional lebih cepat dan mengurangi risiko kerusakan lanjutan. Setelah setiap perbaikan pipa atau fitting, lakukan nitrogen pressure test dan proses vakum yang benar sebelum mengisi ulang refrigeran untuk memastikan tidak ada kebocoran tersisa dan menghilangkan kelembapan. Implementasi program pemeliharaan prediktif berbasis analisis tren data (trend analysis) akan mengidentifikasi penurunan performa secara bertahap sehingga perawatan dapat dijadwalkan lebih efektif. Semua hasil inspeksi dan pengukuran harus terdokumentasi rapi untuk audit, evaluasi efektivitas tindakan perawatan, dan perencanaan penggantian komponen secara proaktif.

Dari sisi operasional, tetapkan Standard Operating Procedures (SOP) yang jelas untuk perawatan, perbaikan, dan pengisian refrigerant, termasuk langkah keselamatan kerja dan lingkungan serta pastikan semua teknisi tersertifikasi dan menerima pelatihan berkala. Perbaikan sambungan pipa harus dilakukan oleh tukang las/solder berpengalaman dengan standar kualitas tinggi; gunakan material dan fitting yang tahan korosi serta teknik pengaman terhadap getaran. Prosedur pengisian ulang refrigeran harus mengikuti rekomendasi pabrikan (charging by mass), dan pertimbangkan konversi ke refrigeran ber-GWP rendah bila layak secara teknis dan regulatori. Sediakan inventaris suku cadang kritis (seals, valve, sensor, filter drier) untuk mempercepat perbaikan darurat dan kurangi downtime unit selama pelayaran. Lakukan pemeriksaan pra-pelayaran dan uji beban untuk memastikan stabilitas suhu dan kinerja unit sebelum muatan dimuat ke kapal. Terakhir, siapkan rencana respons darurat kebocoran termasuk langkah mitigasi muatan, pelaporan lingkungan, dan prosedur klaim agar dampak finansial dan reputasi dapat diminimalkan.

Kerangka Pikir Penelitian



Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diatas, dapat disimpulkan bahwa penurunan kinerja evaporator pada mesin *refrigerator reefer container* terutama disebabkan oleh kebocoran freon pada sistem pendingin yang menurunkan tekanan dari 9,5 bar menjadi 5 bar serta mengurangi *volume* refrigeran.

Kondisi ini mengakibatkan suhu ruang pendingin tidak mencapai *setpoint* -22°C , sehingga berpotensi merusak muatan dan menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Upaya penanganan dilakukan melalui pemeriksaan dan perbaikan pipa yang bocor, disertai perawatan sesuai buku panduan, sehingga kinerja evaporator dapat kembali optimal dan risiko kerusakan di masa mendatang dapat diminimalisasi.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Columbia Ship Management yang telah memberikan dukungan dalam bentuk hibah penelitian pada tahun 2024 melalui kegiatan penelitian di kapal MV. NYK Vesta, dengan penerima hibah adalah Edi Aprilianto, Amd.T selaku penulis sekaligus peneliti utama. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Ibu Fitri Ramadhani Manurung, M.Pd, Bapak Nanak Pamungkas Prastyo, M.Pd, Bapak Afandi Sahputra, S.T, M.T, dan Bapak Thaibil Anwar, M.Mat selaku dosen yang telah memberikan kontribusi berharga dalam bentuk arahan, masukan, serta revisi kritis terhadap naskah artikel jurnal ini. Peran dan dukungan yang sangat membantu dalam penyusunan, analisis, serta penyempurnaan karya ilmiah penelitian, sehingga menghasilkan kualitas jurnal yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- Chowdhury, A., & Shil, N. C. (2021). *Thinking 'Qualitative' Through a Case Study: Homework for a Researcher*. *American Journal of Qualitative Research*, 5(2), 190–210. <https://doi.org/10.29333/ajqr/11280>. ajqr.org
- Creswell, J. W. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Dariansyah, M. R. (2023). Corrosion rate estimation of passenger ships ballast system [Case study]. *International Journal of Marine Engineering & Industrial Research*. (Volume/Issue/halaman/DOI tidak disediakan dalam sumber awal.)
- Green Cooling Initiative. (2025). *Greener Reefers: Industry report on leakage rates and refrigeration efficiency* [Report]. green-cooling-initiative.org
- Hanna, M., & Kalangi, E. (2020). [Referensi lokal yang Anda gunakan — tetap tercantum di teks]. (Detail publikasi tidak disediakan.)
- International Institute of Refrigeration. (2021). *RTOC assessment report: Refrigeration, air conditioning and heat pumps (Assessment report)*. UNEP / IIR.
- International Institute of Refrigeration. (2024). *Refrigerated containers: State of play and perspectives* [Report]. International Institute of Refrigeration. iifir.org
- Lukasse, L. J. S. (2023). *Perspectives on the evolution of reefer containers for the transport of perishable goods* [Review article]. (Jurnal/volume/halaman/DOI tidak disediakan.)
- McQuaid, L., Thomson, K., & Bannigan, K. (2023). Exploring the contribution of case study research to the evidence base for occupational therapy: a scoping review. *Systematic Reviews*, 12, 132. <https://doi.org/10.1186/s13643-023-02292-4>. BioMed Central

-
- Minetto, S. (2023). *A review on present and forthcoming opportunities with transport refrigeration* [Review]. *International Journal of Refrigeration*. [ScienceDirect](#)
- Muradi, S., et al. (2024). *Survey and review of refrigerant leakage sources and detection methods* [Technical review / preprint]. [Semantic Scholar](#)
- Pelella, R., et al. (2022). *Effects of refrigerant leakage and fouling on refrigeration system performance* [Journal article].
(Detail jurnal/volume/halaman/DOI tidak disediakan.)
- Riffat, J. (2022). *Development and testing of a PCM-enhanced refrigeration system* [Conference paper / review on refrigeration components].
(Detail konferensi/prosiding tidak disediakan.)
- Saeed, M. Z. (2023). *Ultra-Low-Temperature Refrigeration Systems: A Review*. *Energies*, 16(21), 7274. [MDPI](#)
- Sullivan-Bolyai, S., et al. (2021). *Qualitative Description: A "How-To" Guide* (worked example & guidance). repository.escholarship.umassmed.edu
- Tenny, S., & Brannan, G. (2022). *Qualitative Study*. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. (overview of qualitative methods). [Pusat Data Bioteknologi Nasional](#)
- The Swedish Club. (2022). *Container focus — Refrigerated cargo analysis* [Industry report]. The Swedish Club.
- UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development). (2021). *Review of Maritime Transport 2021*. UNCTAD.
- UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development). (2024). *Review of Maritime Transport 2024*. UNCTAD.
- Villamin, P., et al. (2024). *A Worked Example of Qualitative Descriptive Design: Steps and Reporting*. *Journal / Source* (2024). [PMC](#)
- Yang, Y. (2024). *Reviewing the progress of corrosion fatigue research on marine structures*. *Frontiers in Materials*.
(Volume/artikel nomor/DOI tidak disediakan.)
- Zhang, X., et al. (2024). [Referensi Zhang et al. 2024 yang Anda cantumkan dalam teks].
(Detail lengkap tidak disediakan.)
- Zhao, Y. (2024). *Refrigerant leakage detection in refrigeration systems: impacts on efficiency and performance*. [Journal article]. [ScienceDirect](#)
- Złoczowska, A. (2018). *Survey on refrigerated container unit failures* [Survey].
(Sumber/penerbit/URL tidak disediakan.)