



2580-2798 (e)
2588-6225 (p)

Inovtek Polbeng: Jurnal Inovasi Teknologi Politeknik Negeri Bengkalis
(Bengkalis State Polytechnic Technology Innovation Journal)

journal homepage: <https://jurnal.polbeng.ac.id/index.php/IP/index>

ANALISIS FENOMENA PEMBEKUAN EVAPORATOR DAN KOMPRESOR PADA SISTEM AC SENTRAL KAPAL DENGAN KOMPRESOR SEMIHERMETIK CARLYLE 06EA599 DAN REFRIGERAN R-407C

Suyanto¹⁾, Ratna Dwi Kurniawan¹⁾

¹⁾Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Sudarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

Corresponding Author: suyantoeset@gmail.com

Article Info

Abstract

Keywords:

Floodback, Evaporator Frosting,
TXV Superheat, Marine HVAC,
refrigeran

Article history:

Received: 16/11/2025
Last revised: 21/11/2025
Accepted: 22/11/2025
Available online: 23/11/2025
Published: 28/11/2025

DOI:<https://doi.org/10.35314/p4myz386>

Abstrak

Sistem AC sentral pada kapal kerap mengalami gangguan berupa pembekuan ekstrem (frosting) pada evaporator dan saluran hisap kompresor, yang dapat menurunkan kinerja pendinginan dan membahayakan kompresor. Penelitian ini bertujuan menganalisis penyebab utama fenomena frosting pada sistem AC kapal dengan kompresor semihermetik Carlyle 06EA599 dan refrigeran R-407C, serta memberikan rekomendasi teknis untuk meningkatkan keandalan operasi. Metode yang digunakan adalah studi kasus terapan melalui inspeksi langsung, pengukuran tekanan-temperatur, perhitungan superheat dan subcooling, serta analisis kondisi komponen sesuai panduan Service Guide Carlyle. Hasil menunjukkan bahwa tekanan evaporasi rendah (3,2 bar), nilai superheat mendekati 0 K, fenomena liquid floodback, serta hunting pada TXV merupakan faktor dominan penyebab pembekuan. Overcharge refrigeran dan kondisi ruang mesin yang panas turut memperparah ketidakseimbangan siklus. Kesimpulannya, penyesuaian superheat TXV, pengurangan refrigeran, dan verifikasi ulang aliran udara efektif menghilangkan flooding dan menstabilkan operasi sistem.

Abstract

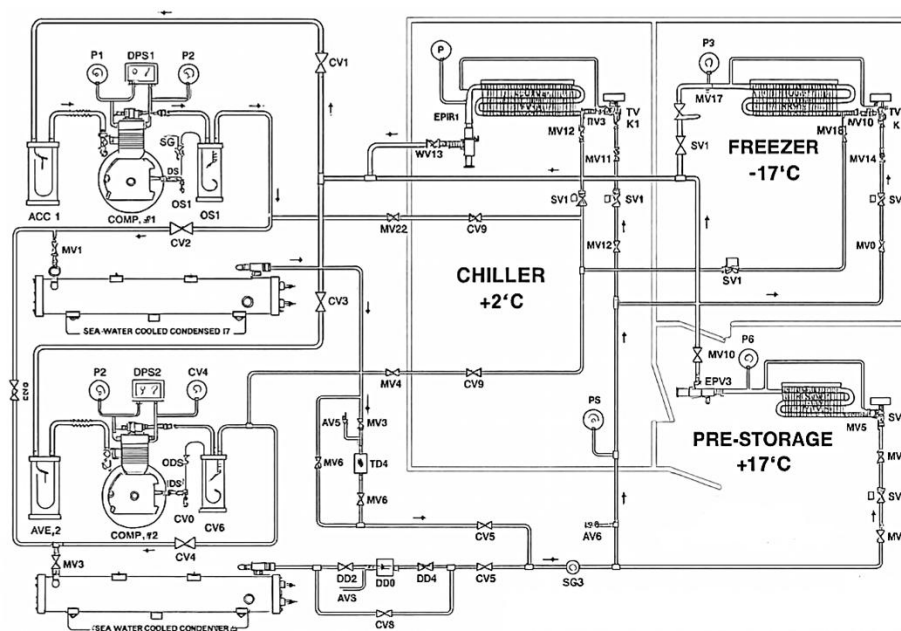
Centralized air-conditioning systems on ships often experience severe frosting on the evaporator and suction line, which reduces cooling performance and poses risks to the compressor. This study aims to analyze the root causes of frosting in a marine AC system using a Carlyle 06EA599 semi-hermetic compressor and R-407C refrigerant, and to provide technical recommendations to improve system reliability. The applied case-study method was used through direct inspection, pressure-temperature measurements, superheat/subcooling evaluation, and component assessment based on the Carlyle Service Guide. The results show that low evaporating pressure (3.2 bar), near-zero superheat, liquid floodback, and TXV hunting were the dominant causes of frosting. Refrigerant overcharge and high engine-room temperature further aggravated system imbalance. In conclusion, adjusting TXV superheat, reducing refrigerant charge, and verifying airflow were effective in eliminating flooding and stabilizing system performance.

1. PENDAHULUAN

Kapal modern dirancang sebagai struktur tertutup yang memiliki tingkat kerapatan tinggi untuk menjamin keselamatan dan stabilitas selama pelayaran. Karakteristik konstruksi ini menyebabkan terbatasnya pertukaran udara secara alami, sehingga hampir seluruh ruang pada kapal sangat bergantung pada sistem ventilasi mekanis dan pendingin udara atau AC. Sistem ini tidak hanya

bertujuan memberikan kenyamanan termal, tetapi juga memiliki fungsi penting dalam mempertahankan kualitas udara dan mendukung operasi keseluruhan kapal. Ruang akomodasi, ruang navigasi, serta ruang mesin merupakan area yang memerlukan suplai udara dalam jumlah memadai untuk mendukung kesehatan awak kapal, efisiensi peralatan, serta keselamatan operasional. Kebutuhan ventilasi kapal berperan penting dalam menjaga kondisi udara di area kerja, meminimalkan akumulasi kontaminan, serta memastikan tersedianya suplai oksigen yang cukup [1].

Pada ruang mesin, kebutuhan udara tidak hanya berkaitan dengan kenyamanan manusia, tetapi juga terkait langsung dengan proses pembakaran pada mesin diesel sebagai penggerak utama kapal atau penghasil energi listrik. Selain itu, udara ventilasi berfungsi membantu mengangkut panas yang dilepaskan oleh mesin, boiler, generator, dan peralatan lainnya. Sistem HVAC pada kapal memikul beban termal lebih tinggi dibandingkan instalasi darat akibat lingkungan laut yang lebih ekstrem, ruang sempit, dan kontinuitas operasi mesin [2]. Ketersediaan udara segar dan sistem pendingin yang efisien merupakan syarat bagi keandalan kapal secara keseluruhan. Sistem dan komponen HVAC pada kapal bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem dan komponen HVAC pada kapal [3]

Selain kebutuhan ventilasi, kapal juga wajib memenuhi aturan klasifikasi dan standar internasional mengenai desain ruang, keselamatan kerja, serta batasan lingkungan. Biro klasifikasi seperti BKI, ABS, LR, dan DNV memberikan ketentuan detail terkait temperatur maksimum ruang mesin, jumlah pergantian udara per jam, serta kapasitas minimal sistem pendingin untuk menjamin keselamatan operasional. Studi keselamatan ventilasi kapal [1] menyatakan bahwa batas suhu ruang mesin, kelembapan, dan konsentrasi gas harus dijaga secara ketat untuk mempertahankan kondisi kerja yang aman. Hal ini sejalan dengan regulasi nasional, termasuk ketentuan dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) yang mensyaratkan bahwa suhu ruang mesin tidak boleh melebihi ambang tertentu demi mencegah risiko kerusakan peralatan dan kelelahan termal pada awak kapal [4]. Sistem AC sentral pada kapal tanker atau kapal niaga lainnya berfungsi menjaga kestabilan suhu di seluruh area akomodasi dan ruang khusus. Pemanfaatan kompresor semihermetik di lingkungan maritim telah lama direkomendasikan karena efisiensi volumetriknya tinggi dan konstruksinya mampu menahan

beban mekanis berkelanjutan [5]. Desainnya yang memungkinkan perawatan ditempat juga menjadi keuntungan signifikan mengingat keterbatasan ruang dan fasilitas di kapal.

Sistem pendingin udara pada kapal dirancang untuk mampu beroperasi dalam kondisi berat, sehingga gangguan teknis berpotensi dapat terjadi, terutama pada komponen evaporator dan kompresor. Salah satu gangguan yang sering ditemukan pada sistem AC sentral kapal adalah terbentuknya lapisan es berlebih (*frosting*) pada permukaan evaporator hingga menjalar ke saluran hisap kompresor. *Frosting* terjadi ketika suhu permukaan evaporator turun di bawah titik beku udara lembap sehingga menyebabkan kondensasi dan pembentukan kristal es [6]. Fenomena ini dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas dan membatasi aliran udara, serta dalam kasus ekstrem dapat memicu shutdown operasional sistem pendingin.

Permasalahan *frosting* pada sistem pendingin kapal dapat memiliki akar penyebab beragam. Salah satu penyebab yang paling krusial adalah fenomena *liquid floodback*, yakni masuknya refrigeran dalam fase cair menuju sisi hisap kompresor. *Floodback* adalah salah satu kondisi paling merusak dalam sistem refrigerasi, karena refrigeran cair dapat mengencerkan oli pelumas kompresor, merusak pelat katup, dan mengakibatkan keausan mekanis premature [7]. Lebih jauh, *floodback* menurunkan temperatur saluran hisap secara ekstrem sehingga mempercepat terbentuknya lapisan es yang meluas pada pipa dan badan kompresor, sebuah gejala yang juga ditemukan pada kasus AC kapal, sebagaimana bisa dilihat pada Gambar 2(a). Pada kondisi lebih lanjut, kompresor yang tadinya normal seperti terlihat pada Gambar 3 (a), kemudian terkena dampak tertutup bunga es, seperti pada Gambar 3 (b).



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Evaporator yang mengalami Frosting, (b) Pintu AHU yang diganjal dibiarkan sedikit terbuka untuk mengurangi Frosting (Sumber: Eki)



(a)



(b)

Gambar 3 (a) Kompresor untuk melayani AC di seluruh ruang di kapal, dalam kondisi normal tidak mengalami *Frosting*, (b) . Penggantian Filter Evaporator (sumber: Eki)

Fenomena *floodback* sering kali berkaitan erat dengan pengaturan superheat yang tidak tepat pada katup ekspansi termostatik (TXV). TXV bertanggung jawab mengontrol jumlah refrigeran cair

yang masuk ke evaporator berdasarkan sinyal suhu pada bulb sensor. Ketika TXV terlalu terbuka atau mengalami *hunting* (membuka–menutup secara berulang), aliran refrigeran menuju evaporator menjadi tidak stabil, sehingga proses penguapan tidak berlangsung sempurna. TXV merupakan salah satu komponen paling sensitif dalam siklus refrigerasi, dan kesalahan kecil dalam penyetelan superheat dapat mengakibatkan kondisi starving maupun *flooding*. Selain itu, penggunaan refrigeran R-407C pada sistem pendingin kapal memiliki karakteristik tersendiri yang dapat memperbesar risiko frosting [8]. R-407C merupakan campuran zeotropik yang memiliki *temperature glide* cukup besar sehingga perubahan kecil pada tekanan evaporasi dapat menghasilkan perubahan signifikan pada suhu penguapan. R-407C sangat sensitif terhadap overcharge dan ketidakseimbangan tekanan, yang dapat menyebabkan evaporating temperature turun di bawah batas yang diinginkan [8].

Pada kasus nyata di banyak kapal, upaya awal untuk mengatasi frosting biasanya dilakukan melalui pembersihan evaporator, penggantian filter udara, serta pemeriksaan kebocoran refrigeran. Tindakan perawatan rutin tidak selalu mampu mengatasi akar penyebab, terutama jika masalah terletak pada ketidakseimbangan termodinamika sistem [9]. Permasalahan serupa juga terlihat pada sistem AC sentral yang menjadi objek penelitian ini, di mana frosting tetap terjadi meskipun serpihan prosedur pemeliharaan telah dijalankan secara menyeluruh. Kondensor telah dibersihkan, evaporator dicuci, filter diganti, dan sistem pendingin diperiksa tanpa menemukan adanya kebocoran. Namun, lapisan es tetap terbentuk pada pipa isap dan kompresor. Ketidaktepatan penyetelan superheat dan kemungkinan overcharge refrigeran sering menjadi pemicu *flooding* pada sistem refrigerasi industri maupun maritim [7] [8].

Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting untuk memperdalam pemahaman mengenai mekanisme terjadinya frosting dan floodback pada sistem AC sentral kapal yang menggunakan kompresor semihermetik Carlyle tipe 06EA599 dan refrigeran R-407C. Dengan menggabungkan analisis kasus nyata dan tinjauan literatur terbaru, penelitian ini bertujuan memberikan rekomendasi teknis yang aplikatif dalam menangani gangguan termodinamika sistem pendingin kapal. Lebih jauh, hasil studi ini diharapkan dapat memberi kontribusi terhadap peningkatan keandalan sistem HVAC maritim serta mendukung upaya keselamatan dan kenyamanan kerja di lingkungan kapal.

2. METODE

Penelitian ini menerapkan pendekatan *applied case study* untuk menganalisis secara mendalam fenomena pembekuan ekstrem (frosting) pada sistem AC sentral kapal yang menggunakan kompresor semihermetik Carlyle tipe 06EA599 dan refrigeran R-407C. Pemilihan metode studi kasus memungkinkan peneliti mengevaluasi gejala, parameter teknis, dan konteks operasional secara langsung berdasarkan kondisi lapangan actual. Objek penelitian merupakan sistem pendingin udara terpusat pada sebuah kapal tanker berkapasitas 40 kW yang memanfaatkan kompresor semihermetik seri 06E. Sistem ini umum dipasang pada kapal komersial karena konstruksi mekanisnya kuat terhadap getaran dan lingkungan laut. Kompresor semihermetik juga dikenal memiliki ketahanan yang baik, namun tetap rentan terhadap fenomena termodinamika seperti *floodback* apabila parameter operasi tidak seimbang [10].

Pengumpulan data dilakukan saat inspeksi berkala, tepat setelah muncul laporan pembekuan berlebih pada evaporator dan saluran hisap kompresor. Data teknis yang direkam meliputi tekanan sisi tinggi (HP), tekanan sisi rendah (LP), temperatur pipa hisap, temperatur evaporator, serta kondisi komponen mekanis seperti filter, coil evaporator, dan permukaan kondensor. Penggunaan *manifold gauge* dan *temperature probe* untuk mengukur nilai tekanan dan temperatur. Parameter lingkungan juga diperhatikan, mengingat sistem pendingin maritim sangat dipengaruhi kondisi eksternal[2].

Langkah selanjutnya adalah pemeriksaan dokumentasi pemeliharaan. Catatan ini meliputi riwayat pembersihan evaporator, penggantian filter udara, pemeriksaan filter drier, pembersihan

kondensor air laut, serta inspeksi perpipaan. Analisis teknis mengacu pada *Service Guide Carlyle 06E*, yang menyediakan pedoman diagnosis gangguan pada kompresor dan sistem refrigerasi, seperti tekanan hisap terlalu rendah, *superheat* tidak stabil, atau indikasi *liquid floodback* [10].

Analisis termodinamika dilakukan dengan membandingkan tekanan hisap aktual dengan nilai suhu jenuh berdasarkan Pressure–Temperature Chart untuk R-407C. Perhitungan *superheat* digunakan untuk menilai apakah refrigeran yang masuk ke kompresor berada dalam kondisi uap jenuh. Nilai *superheat* ideal untuk aplikasi AC komersial berkisar antara 6–10 K. Apabila *superheat* mendekati 0 K, maka terdapat risiko aliran balik refrigeran cair menuju kompresor, yang dapat memicu kerusakan mekanis serius [5]. Nilai *subcooling* juga diperhatikan untuk mengidentifikasi kemungkinan *overcharge* refrigeran. Nilai *subcooling* yang terlalu tinggi sering menunjukkan bahwa refrigeran cair menumpuk di kondensor dan mengganggu distribusi fase di evaporator. Sistem yang menggunakan R-407C sangat sensitif terhadap kondisi pengisian berlebih karena refrigeran ini memiliki *temperature glide* yang besar [8].

Pembandingan hasil lapangan dengan hasil penelitian terdahulu digunakan untuk memperkuat interpretasi teknis. Misalnya, pola pembekuan evaporator dibandingkan dengan hasil yang meneliti dampak suhu evaporasi rendah terhadap pembentukan frost [6], sementara literatur lain memberikan wawasan mengenai ketidakseimbangan aliran udara sebagai pemicu frosting [9]. Selain itu, bagaimana *floodback* dapat menyebabkan penurunan temperatur ekstrem pada pipa hisap dan kompresor [7].

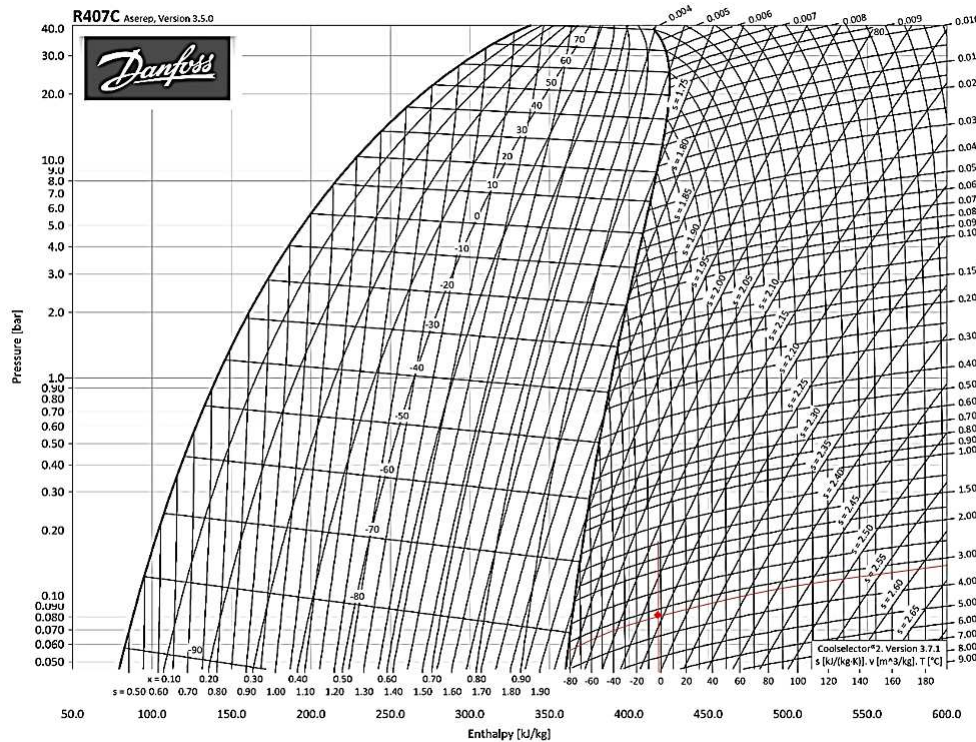
Tahap akhir metode adalah penyusunan rekomendasi teknis. Berdasarkan hasil analisis, penyesuaian TXV untuk menaikkan *superheat* ke kisaran aman 6–8 K menjadi langkah utama. Pengurangan jumlah refrigeran dilakukan bertahap untuk menaikkan tekanan sisi rendah dan menghilangkan kondisi *floodback*. Pemeriksaan sistem defrost dan verifikasi aliran udara memastikan evaporator tidak mengalami kelebihan es selama operasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil inspeksi terhadap sistem AC sentral pada kapal tanker menunjukkan adanya anomali signifikan pada tekanan kerja, temperatur komponen, serta pola pembekuan pada evaporator dan saluran hisap kompresor. Tekanan sisi rendah tercatat pada 3,2 bar, jauh di bawah tekanan operasi normal untuk sistem refrigerasi berbasis R-407C, yang umumnya beroperasi pada rentang 4,5–5,0 bar. Berdasarkan Pressure - Temperature Chartsesuai sesuai dengan Gambar 4 dan Tabel 1, tekanan 3,2 bar setara dengan suhu jenuh sekitar $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, yang menandakan bahwa evaporator beroperasi pada zona sub-zero. Penurunan tekanan evaporasi ini menjadi indikasi awal terjadinya ketidakseimbangan kontrol refrigeran pada siklus pendingin [6]. Suhu evaporator yang berada di bawah titik beku menyebabkan udara lembap yang melewati coil langsung mengalami kondensasi dan pembekuan, membentuk lapisan es yang semakin menebal. Evaporator dengan permukaan di bawah $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ akan memicu *progressive frosting*, yaitu penumpukan es yang berkembang cepat dan menghambat aliran udara. Dalam kasus ini, lapisan es tidak hanya terbentuk pada coil evaporator, tetapi menjalar hingga pipa suction dan menuju bodi kompresor.

Pola pembekuan meluas ini menjadi petunjuk kuat bahwa penyebab utamanya bukan sekadar aliran udara terhambat, tetapi lebih mengarah pada fenomena *liquid floodback*. Kondisi tersebut terjadi ketika refrigeran cair tidak sepenuhnya menguap di evaporator dan terbawa menuju kompresor. *Floodback* merupakan kondisi paling berbahaya bagi kompresor karena cairan yang masuk ke ruang kompresi dapat menyebabkan pengenceran oli pelumas, kerusakan katup, retak mekanis, bahkan *liquid hammer* [7]. Dalam kasus kapal, gejala-gejala visual seperti pipa hisap yang membeku hingga housing kompresor, turunnya arus listrik kompresor dari nilai normal, serta temperatur discharge yang lebih rendah dari standar sangat konsisten dengan karakteristik *floodback*.

Superheat rendah merupakan indikator TXV yang terlalu terbuka atau mengalami *hunting*. Hunting TXV terjadi ketika katup membuka dan menutup secara osilatif akibat perubahan cepat pada temperatur bulb sensor atau beban pendinginan. Dalam lingkungan ruang mesin yang memiliki fluktuasi panas ekstrem, TXV memang rentan mengalami ketidakstabilan. Ketidakseimbangan superheat ini kemudian menyebabkan refrigeran cair memasuki suction line, memicu pembekuan ekstrem seperti yang diamati [8].



Gambar 4. Diagram P-h R-407C [11]

Tabel 1. Data suhu dan tekanan R-407C pada kondisi cair dan uap[12]

TEMPERATURE R-407C		PRESSURE R-407C			
		Liquid		Vapor	
°C	K	psig	bar	psig	bar
-20,6	252,4	25,4	17,526	15,9	10,971
-17,8	255,2	29,9	20,631	19,6	13,524
-15	258	34,7	23,943	23,6	16,284
-12,2	260,8	39,9	27,531	28	1,932
-9,4	263,6	45,6	31,464	32,8	22,632
-6,7	266,3	51,6	35,604	38	2,622
-3,9	269,1	58,2	40,158	43,6	30,084
-1,1	271,9	65,2	44,988	49,6	34,224
1,7	274,7	72,6	50,094	56,1	38,709
4,4	277,4	80,7	55,683	63,1	43,539
7,2	280,2	89,2	61,548	70,6	48,714
10	283	98,3	67,827	78,7	54,303

Evaluasi Kondisi Kompresor dan Evaporator

Kompresor semihermetik seperti Carlyle 06EA599 dirancang dengan toleransi tinggi terhadap perubahan beban dan kondisi lingkungan. Namun kompresor tidak dirancang untuk menangani refrigeran cair yang masuk ke ruang kompresi. Pada inspeksi lapangan, kompresor menunjukkan gejala operasi tidak normal, yaitu: 1) Temperatur bodi kompresor sangat rendah, bahkan membentuk lapisan es di sebagian permukaan, 2) Tekanan hisap berfluktuasi, mengindikasikan bahwa TXV *hunting* atau aliran refrigeran tidak stabil, 3) Arus motor lebih rendah dari normal, mengindikasikan refrigeran diisap dalam kondisi sangat dingin dan tidak memiliki superheat yang cukup. Ketika kompresor mengisap uap jenuh atau uap dingin dengan superheat rendah, daya kompresi berkurang sehingga konsumsi arus juga menurun. Fenomena ini diamati secara konsisten dalam kasus ini, memperkuat hipotesis bahwa kompresor mengalami refrigerant return yang tidak sesuai desain [13].

Pembekuan evaporator seringkali disebabkan oleh hambatan aliran udara. Namun berdasarkan hasil inspeksi menunjukkan bahwa: 1) evaporator telah dibersihkan, 2) filter udara baru dipasang, 3) blower berfungsi dengan kecepatan normal, maka hambatan aliran udara bisa dikatakan bukan penyebab terjadinya pembekuan evaporator. *Frosting* akibat aliran udara buruk hanya terjadi bila kapasitas aliran udara turun lebih dari 30% [9]. Dalam kasus ini, aliran udara berada dalam kondisi optimal. Maka, dapat dipastikan bahwa penyebab pembekuan bukan terletak pada sisi *airflow*, melainkan berasal dari ketidakstabilan refrigeran.

Pengaruh Overcharge Refrigeran dan Sensor TXV

R-407C merupakan campuran zeotropik yang memiliki *temperature glide* 5–7 °C sehingga sensitif terhadap perubahan tekanan. Adanya *overcharge* sebesar 10–15% dapat menurunkan tekanan evaporasi secara drastis, memicu ketidakseimbangan komposisi refrigeran, dan menurunkan superheat [14]. Dalam kasus kapal ini, indikasi *overcharge* terlihat dari nilai subcooling yang lebih tinggi dari standar dan tekanan kondensasi yang cenderung stabil. Kondisi ini menandakan refrigeran cair menumpuk di kondensor dan masuk ke TXV dalam kondisi sangat dingin. TXV kemudian merespons dengan membuka lebih besar, menyebabkan *overfeeding* refrigeran ke evaporator. *Overfeeding* inilah yang memicu kondisi superheat rendah dan *floodback* berat.

Sensor TXV berfungsi menjaga keseimbangan antara jumlah refrigeran cair yang masuk dan beban pendinginan evaporator. Namun, *bulb sensor* TXV pada sistem pendingin kapal terpapar fluktuasi temperatur, getaran, dan lingkungan ruang mesin yang panas. Sensasi panas dari lingkungan luar dapat menyebabkan TXV salah menafsirkan perubahan temperatur pada suction line. Bahwa TXV mudah mengalami *hunting cycle* jika terdapat lonjakan beban termal atau perubahan tekanan mendadak [13]. Dalam kasus ini, TXV yang sering membuka terlalu besar menyebabkan volume refrigeran cair masuk ke evaporator secara berlebih. Ketika hal ini terjadi terus-menerus, kondisi evaporator menjadi sangat dingin dan tidak mampu menguapkan semua refrigeran cair sehingga sebagian cairan terbawa menuju kompresor. Analisis pola pembekuan menunjukkan bahwa es terbentuk di seluruh permukaan evaporator, di suction line, hingga mencapai body kompresor. Pola kejadian *extended icing* adalah sebuah kondisi yang hanya terjadi ketika superheat = 0 K dan aliran refrigeran cair mencapai kompresor [15]. *Extended icing* berbahaya karena bisa merusak oli pelumas, menimbulkan korosi internal, menurunkan umur kompresor, dan dapat menyebabkan kegagalan kompresor total.

Dari hasil inspeksi, analisis termodinamika, dan kajian literatur, didapatkan beberapa penyebab utama pembekuan ekstrem pada sistem AC kapal yaitu 1) Tekanan evaporasi terlalu rendah (3,2 bar), 2) uperheat mendekati 0 K adalah indikasi langsung terjadi *floodback*, 3) TXV mengalami

hunting dan overfeeding, 4) Kemungkinan besar sistem mengalami overcharge refrigeran, 5) Lingkungan ruang mesin yang panas memperparah ketidakstabilan TXV.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis terhadap sistem AC sentral kapal menunjukkan bahwa fenomena pembekuan ekstrem pada evaporator serta terbentuknya lapisan es hingga ke pipa hisap kompresor disebabkan oleh kombinasi ketidakseimbangan tekanan, rendahnya nilai superheat, serta ketidakstabilan kontrol aliran refrigeran. Tekanan evaporasi yang turun hingga 3,2 bar menyebabkan suhu jenuh berada pada $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, sehingga evaporator bekerja di zona sub-zero dan memicu pembekuan cepat pada permukaan coil. Kondisi ini diperburuk oleh nilai superheat yang mendekati 0 K, yang menunjukkan bahwa refrigeran belum sepenuhnya menguap sebelum mencapai suction line, sehingga terjadi liquid floodback yang berpotensi merusak kompresor. Selain itu, TXV mengalami hunting dan overfeeding akibat fluktuasi suhu ruang mesin, getaran, serta pembacaan sensor yang tidak stabil, yang menyebabkan refrigeran cair masuk secara berlebihan ke evaporator. Faktor overcharge refrigeran dan tingginya temperatur ruang mesin semakin memperparah ketidakseimbangan siklus refrigerasi, sehingga pembekuan meluas hingga ke suction line dan body kompresor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada bapak Teki Handoyo (Eki), Perwira Listrik Kapal (ETO), yang bertugas di Kapal Tanker, yang telah membantu dalam memberikan data dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Mihai and L. Rusu, "An overview of the ship ventilation systems and measures to avoid the spread of diseases," *Inventions*, vol. 6, no. 3, 2021, doi: 10.3390/inventions6030055.
- [2] S. S. Syah, N. S. Drastiawati, and H. Taufan, "Perhitungan Cooling Capacity Yang Dibutuhkan Pada Kapal Tanker 17500 LTDW Cooling Capacity Calculations Required On Tanker Ship 17500 LTDW," *Otopro*, vol. 14, no. 1, p. 6, 2019, doi: 10.26740/otopro.v14n1.p6-12.
- [3] Chong, "Marine HVAC system," 2013. [Online]. Available: <https://kimwhy.blogspot.com/2013/07/marine-hvac-system-and-notes.html>
- [4] Biro Klasifikasi Indonesia, "Rules for Machinery Installations," vol. III, p. 10, 2025.
- [5] Carlyle, *Application Guide 06D, 06E, 06C Semi Hermetic Compressors*. 2018.
- [6] E. Bayrak, A. Çağlayan, A. Er, and Ş. Konukman, "Experimental Investigation of Frost Formation in a Finned-Tube Evaporator under Simulated Real Operation Conditions Friterm Inc . Research and Development Department , Gebze Technical University , Energy Systems Division , Department of Mechanical Engineer," *Int. Compress. Eng. Refrig. Air Cond. High Perform. Build. Conf.*, pp. 1–10, 2016.
- [7] G. Moore, "Why Compressors Fail - Part 1 Refrigerant Flood Back," *Danfoss Learn.*, pp. 1–17, 2013.
- [8] J. P. Meyer, "The performance of the refrigerants R-134a, R-290, R404A, R-407C and R-410A in air conditioners and refrigerators," *Stroj. Vestnik/Journal Mech. Eng.*, vol. 47, no. 8, pp. 366–373, 2001, doi: 10.1615/ichmt.2000.thersieprocvol2thersieprocvol1.80.
- [9] D. L. Da Silva, "Frost Formation on Fan-Supplied Tube-Fin Evaporators : A Visual and Numerical Analysis," *Int. Refrig. Air Cond. Conf.*, 2012.
- [10] Carlyle, *Service Guide 06D, 06E and 06CC Semi Hermetic Reciprocating Compressors*, no.

812. New York: Carlyle Compressor Division, 2018. [Online]. Available: https://www.mhlw.go.jp/english/org/pamphlet/dl/pamphlet-about_mhlw.pdf
- [11] Danfoss, “Logp-h-diagram-R407C,” 2025. [Online]. Available: <https://hvac-eng.com/refrigerant-ph-diagram-part-2/>
- [12] DuPont, *Thermodynamic Properties of R-407C Refrigerant*. 2018.
- [13] J. Jian, Y. Zhang, G. Wang, and Q. Li, “Optimizing the influence of refrigerant superheat on the cooperative thermal management system performance for the vehicle cabin and battery,” *Int. J. Refrig.*, vol. 168, pp. 364–375, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2024.09.013>
- [14] J. B. Jensen and S. Skogestad, “Optimal operation of simple refrigeration cycles Part I: Degrees of freedom and optimality of sub-cooling,” *Comput. Chem. Eng.*, vol. 31, no. November 2006, pp. 1590–1601, 2007.
- [15] A. Sazanskyi and M. Khmelniuk, “Performance analysis of the refrigeration system for improving energy efficiency,” *Int. Sci. J. Eng. Agric.*, vol. 2, no. 2, pp. 91–102, 2023, doi: 10.46299/j.isjea.20230202.09.