

ANALISIS DAN SOLUSI PENURUNAN EFEKTIVITAS SISTEM AIR CONDITIONING PADA BOEING 737-900 ER

¹Bayu Ristiawan, ²Dhimas Wicaksono

¹⁾ *Jurusan Teknik Dirgantara*
Sekolah Tinggi Teknologi Kegirgantaraan
bayu.moca@gmail.com

²⁾ *Jurusan Teknik Dirgantara*
Sekolah Tinggi Teknologi Kegirgantaraan
Dhimas.wicaksono@sttkd.ac.id

Article history:

Received 7th of February 2025

Revised 10th of February 2025

Accepted 12th of February 2025

Abstract

The air conditioning system on the Boeing 737-900 ER plays a crucial role in maintaining passenger and cabin crew comfort. However, a decrease in the system's effectiveness has led to discomfort during flights. This study aims to identify the factors causing the decline in the air conditioning system's effectiveness and provide technical recommendations to enhance its performance. The research method used is Root Cause Analysis (RCA) with a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) approach. The findings indicate that the primary causes of decreased AC system effectiveness are blockages in the heat exchanger due to debris accumulation and oil contamination, as well as damage to the Air Cycle Machine (ACM), including worn-out turbine blades and bearings. To address these issues, preventive maintenance procedures, routine inspections, and the use of an air conditioning cart while the aircraft is on the ground are recommended to maintain cabin comfort.

Keywords: Air conditioning, Heat Exchanger, Root Cause Failure Analysis, Boeing 737-900 ER

Pendahuluan

Sistem *air conditioning* (AC) pada pesawat terbang memiliki peran vital dalam menjaga kenyamanan penumpang dan kru selama penerbangan [1]. Sistem ini memastikan sirkulasi udara yang baik, suhu kabin yang terkendali, dan kelembapan yang sesuai, sehingga menciptakan lingkungan kabin yang nyaman meskipun kondisi di luar pesawat bisa sangat ekstrem [2]. Pada pesawat Boeing 737, terdapat perangkat yang digunakan untuk menghasilkan udara dingin di dalam pesawat, yang bisa dirasakan oleh penumpang, yaitu *Air Cycle Machine*. Pada *Air Cycle Machine*, terdapat komponen bernama *Cooling Turbine* yang berfungsi untuk mengubah udara bertekanan tinggi dan panas menjadi udara dingin bertekanan tinggi [3]. Sistem udara pneumatic atau *bleed* yang dibahas dalam ATA Chapter 36 menyediakan panduan mengenai teknik troubleshooting dan prosedur perawatan pada komponen *Engine Bleed Air System* [4]. Sistem ini dirancang untuk memasok udara bertekanan dari compressor ke *Air Conditioning PACK*, yang bertujuan agar pesawat tetap dapat *dipressurize* saat lepas landas. Udara bertekanan ini dihasilkan oleh dua *compressor*, masing-masing pada stage 9 dan stage 5[5].

Penelitian serupa telah dilakukan oleh Adi & saputra, yakni Mengkaji masalah pada komponen pintu ram air pada sistem AC pesawat Boeing 737-800 Adi dkk [6]. Selanjutnya, penelitian oleh Prakoso dkk [4], yakni terkait Menganalisis sistem deteksi kebocoran bleed air pada pesawat Airbus A330-300 dan penanganan saat terjadi kegagalan. Penelitian lain juga menganalisis penyebab kegagalan pada sistem ac pesawat Boeing 737-800 [7]. Diharapkan analisis ini dapat memberikan wawasan lebih dalam pemilihan langkah perawatan dalam sistem *air conditioning* pesawat terbang.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif. Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, pengumpulan data yang meliputi riwayat pemeliharaan, observasi sistem ac, dokumentasi visual. Untuk analisis penyebab potensial peneliti menggunakan diagram ishikawa, *five whys analysis*. Terkait jenis data yang digunakan adalah data teknis pesawat Boeing 737-900ER, data riwayat pemeliharaan, dan data perbandingan pesawat. Metodologi *Root Cause Analysis (RCA)* diterapkan untuk mengidentifikasi akar masalah yang mengganggu kinerja sistem AC, sehingga solusi yang dihasilkan tepat sasaran dan efektif dalam mengatasi permasalahan [8]. Metode *RCA* digunakan untuk memperbaiki atau menghilangkan penyebabnya dan mencegah masalah berulang yang sama[9].

Hasil dan Pembahasan

Sistem AC pada pesawat memiliki perbedaan signifikan dibandingkan dengan sistem AC pada mobil atau rumah [10]. Sistem AC pesawat tidak menggunakan refrigerant sebagai fluida kerja, melainkan langsung menggunakan udara melalui sistem bootstrap [11]. Dalam sistem ini, udara pertama kali dialirkan melalui primary heat exchanger setelah sebelumnya melewati turbojet compressor. Udara yang keluar dari turbojet compressor memiliki suhu tinggi, tetapi setelah melalui heat exchanger, suhunya menjadi lebih rendah. Pendinginan di heat exchanger pesawat B737NG terjadi di plenum diffuser dengan udara sebagai pendingin utama [12]. Setelah melewati primary heat exchanger, udara dialirkan ke Air Cycle Machine (ACM).

Tabel 1. Data Pesawat yang Diteliti [13]

REG	MSN	AGE (years)	PART DEFECTIVE	PART SN	FH PART	FC PART
PK-LFK	35713	17,3	ACM	7598	30415	23352
PK-LGS	35735	14,9	HE/PLENUM	19664	4038	3100
PK-LHT	37283	13,5	HE/PLENUM	3955	28273	4788
PK-LSM	39841	9,6	HE/PLENUM	14251	15347	2730
PK-LGO	35731	15,2	HE/PLENUM	35731	6863	5336
PK-LGW	37269	14,6	HE/PLENUM	12189	3732	2894
PK-LFF	35679	18,2	HE/PLENUM	16884	4988	3820
PK-LGK	35728	15,5	HE/PLENUM	5300	6975	2888
PK-LSZ	36539	16,7	HE/PLENUM	9724	7152	3605
PK-LGV	37268	14,6	ACM	6419	32700	2395

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan efektivitas sistem Air Conditioning (AC) pada Boeing 737-900ER disebabkan oleh penyumbatan pada Heat Exchanger akibat akumulasi debu dan minyak, serta kegagalan Air Cycle Machine (ACM) yang diakibatkan oleh keausan bearing dan kerusakan turbine blade akibat Foreign Object Debris (FOD). Penyumbatan pada Heat Exchanger menghambat perpindahan panas sehingga udara yang masuk ke kabin tidak cukup dingin, terutama saat pesawat berada di darat. Sementara itu, kerusakan pada turbine blade ACM menyebabkan ketidakseimbangan sistem pendinginan dan meningkatkan beban kerja komponen lainnya. Berdasarkan data yang diperoleh didapatkan dari beberap kali penggantian *tank unit* dapat dibuatkan *fishbone* diagram untuk menentukan akar permasalahan.

Langkah-Langkah FMEA [14]

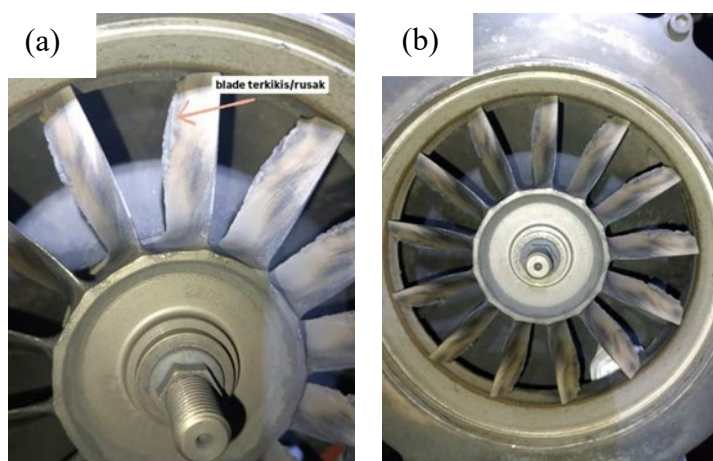
1. Identifikasi Proses atau Sistem: Tentukan komponen, proses, atau fungsi yang akan dianalisis.
2. Identifikasi Failure Mode: Analisis bagaimana komponen atau proses dapat gagal. Misalnya, keretakan, kebocoran, atau penurunan efisiensi.
3. Evaluasi Dampak (Effect): Tentukan konsekuensi dari kegagalan terhadap sistem atau pengguna.
4. Analisis Penyebab (Cause): Identifikasi penyebab utama dari kegagalan (contoh: material cacat, prosedur tidak tepat).
5. Penilaian Risiko: Gunakan tiga parameter untuk menilai tingkat risiko:
 - a. Severity (S): Tingkat keparahan dampak kegagalan.
 - b. Occurrence (O): Kemungkinan kegagalan terjadi.
 - c. Detection (D): Kemampuan mendeteksi kegagalan sebelum terjadi. Hitung Risk Priority Number (RPN): $RPN = S \times O \times D$

Analisis menggunakan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) menunjukkan bahwa penyumbatan Heat Exchanger memiliki nilai Risk Priority Number (RPN) = 160, sementara kerusakan turbine ACM memiliki RPN = 270, yang menjadikannya masalah prioritas tinggi. Tabel 2 dan Tabel 3 menjelaskan lebih lanjut dampak kegagalan ini terhadap performa sistem AC.

Tabel 2. Hasil Analisis FMEA Kegagalan ACM

Failure Mode	Effect	Cause	S	O	D	RPN	Mitigation
Kerusakan pada turbine	ACM stuck, kehilangan fungsi	FOD, kelelahan material	9	6	5	270	Inspeksi rutin untuk FOD, pembersihan saluran udara, dan pemeliharaan blade turbine.
Bearing aus	Ketidakseimbangan getaran	Pelumas tercemar atau interval servis tidak sesuai	8	5	6	240	Pemeliharaan pelumas secara berkala, analisis getaran rutin untuk mendeteksi keausan.
Overheat pada komponen ACM	Efisiensi pendinginan menurun	Gangguan pada aliran udara atau kontaminasi	7	4	5	140	Pemeriksaan saluran udara dan filter secara berkala.

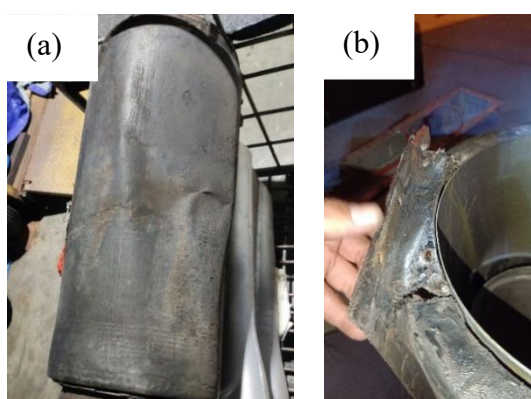
Kerusakan pada Air Cycle Machine (ACM) menjadi penyebab utama kegagalan sistem AC. Inspeksi menunjukkan bahwa turbine blade mengalami deformasi akibat FOD, sehingga menyebabkan ketidakseimbangan pada sistem pendinginan udara. Berikut adalah gambaran komponen blade turbine yang mengalami kerusakan:

**Gambar 1. (a) Blade terkikis; (b) Blade terkikis****Tabel 3. Hasil Analisis FMEA Kegagalan Heat Exchanger**

Failure Mode	Effect	Cause	S	O	D	RPN	Mitigation
Penurunan efisiensi heat transfer	Pendinginan udara kabin tidak optimal	Kotoran, penyumbatan debris	8	5	4	160	Pembersihan heat exchanger sesuai interval (2000 FC dan 36 bulan).
Kerusakan pada plat exchanger	Kebocoran udara, kehilangan tekanan	Erosi, korosi, atau bahan yang cacat	9	4	6	216	Inspeksi visual dan pengujian tekanan secara berkala.

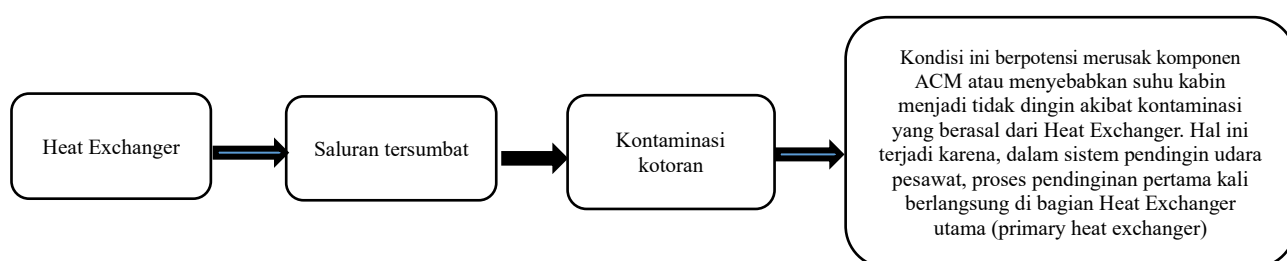
Failure Mode	Effect	Cause	S	O	D	RPN	Mitigation
Kontaminasi plenum atau diffuser	Aliran udara terganggu, menurunkan efisiensi	Akumulasi debris atau pelumas bocor	7	5	5	175	Gunakan metode pembersihan seperti backflush dan pembersihan dengan air sabun.

Kerusakan pada heat exchanger juga menjadi penyebab utama kegagalan sistem AC. Inspeksi menunjukkan bahwa terdapat penyumbatan dan korosi pada saluran heat exchanger, yang menghambat aliran udara dan mengurangi efisiensi transfer panas. Kondisi ini menyebabkan ketidakseimbangan pada sistem pendinginan udara. Berikut adalah gambaran komponen heat exchanger yang mengalami kerusakan:



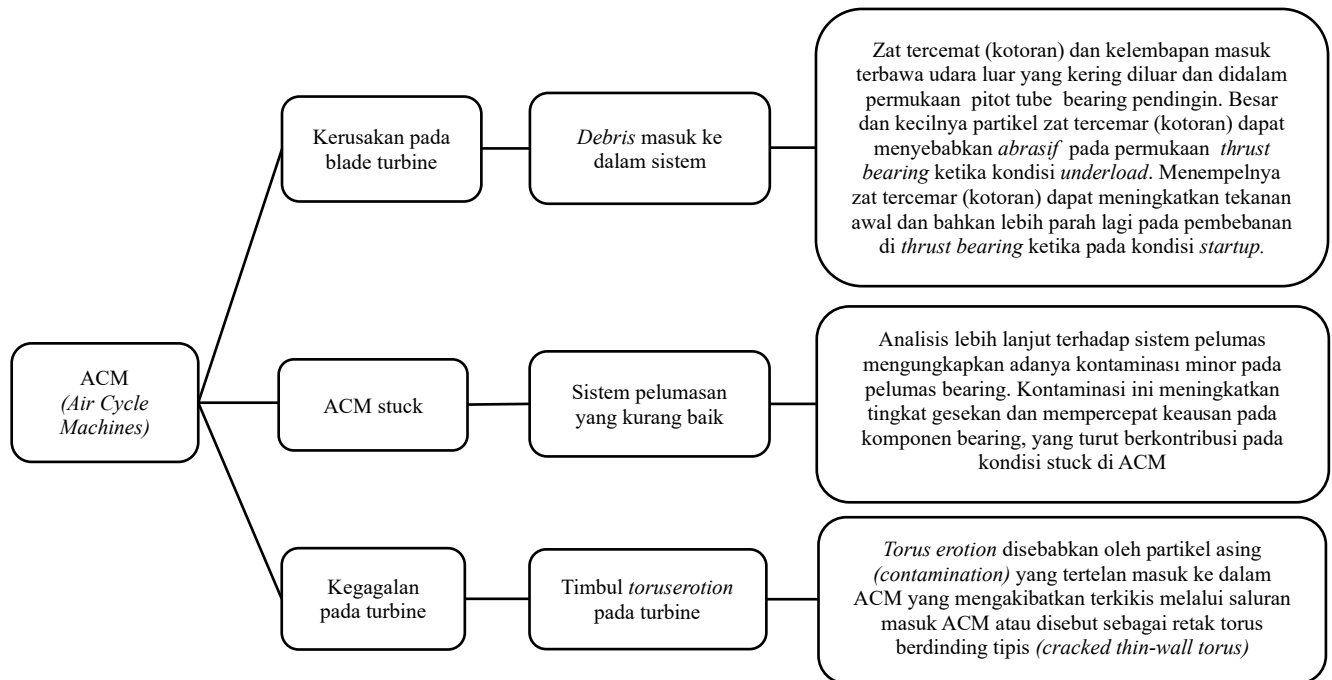
Gambar 2. (a) Plenum Mengalami Kerusakan; (b) Plenum terkikis

Untuk memahami akar penyebab kegagalan sistem AC, dilakukan *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) pada *Heat Exchanger* dan *Air Cycle Machine* (ACM) [15]. Hasil analisis menunjukkan bahwa penyumbatan Heat Exchanger disebabkan oleh kontaminasi minyak dan debu, sementara kegagalan ACM disebabkan oleh masuknya FOD yang merusak turbine blade.



Gambar 3. Analisis RCFA pada Heat Exchanger

Hasil analisis *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) pada *Heat Exchanger* menunjukkan bahwa penyumbatan terjadi akibat akumulasi debu dan minyak yang terperangkap dalam *plenum diffuser*. Akumulasi ini menyebabkan terganggunya aliran udara kepada plat *heat exchanger* memperburuk kondisi perpindahan panas, sehingga udara yang masuk ke kabin tidak cukup dingin. Selain itu, material yang mengalami korosi harus segera dilakukan pembersihan seperti backflush dan inspeksi visual perlu dilakukan secara rutin untuk menghindari akumulasi kontaminan yang dapat menghambat kinerja sistem.



Gambar 4. Analisis RCFA pada ACM

Hasil analisis *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) pada *Air Cycle Machine* (ACM) mengungkap bahwa kegagalan utama terjadi akibat *Foreign Object Debris* (FOD) yang masuk ke dalam sistem, menyebabkan erosi dan deformasi pada turbine blade. Kerusakan ini memicu ketidakseimbangan dalam sistem pendinginan, yang pada akhirnya meningkatkan beban kerja komponen lain seperti *bearing* dan *shaft*. Untuk mengatasi permasalahan ini, inspeksi rutin terhadap saluran udara serta pemasangan filter tambahan dapat membantu mencegah masuknya partikel asing yang berpotensi merusak komponen kritis pada ACM.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari analisis dan pembahasan yang telah dijelaskan, dapat disimpulkan bahwa sistem pendingin udara pada pesawat Boeing 737-900ER menggunakan teknologi *Air Cycle Machine* (ACM) dan *Heat Exchanger* yang mengandalkan udara sebagai media pendingin. Namun, sistem ini memiliki tantangan khusus saat pesawat berada di darat atau dalam kondisi lingkungan tropis yang panas.

Permasalahan utama yang menyebabkan penurunan efektivitas sistem AC adalah penyumbatan pada *Heat Exchanger* akibat kontaminasi debu dan minyak, serta kerusakan pada komponen ACM seperti turbine blade dan bearing. Kondisi ini mengakibatkan efisiensi pendinginan menurun, sehingga kenyamanan kabin terganggu. Oleh karena itu, pemeliharaan berkala dengan metode yang tepat seperti pembersihan berkala pada *heat exchanger* serta inspeksi menyeluruh terhadap ACM sangat diperlukan untuk memastikan kinerja optimal sistem AC pada pesawat Boeing 737-900ER.

Penggunaan metode analisis seperti FMEA dan RCFA membantu mengidentifikasi akar penyebab kegagalan serta menentukan mitigasi yang diperlukan guna mencegah terjadinya kegagalan yang berulang. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pengembangan strategi perawatan preventif guna meningkatkan keandalan sistem pendingin udara pada pesawat komersial.

Daftar Pustaka

- [1] M. Tua and A. Gunawan, *Dasar-dasar teknik pesawat udara*. Jakarta: Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, 2022.

- [2] W. Surianta Ikhsan, “Reliability Pada Sistem Air Conditioning (Ac) Pesawat Terbang Tipe Boeing (B737ng) (Studi Kasus : Gmf-Aeroasia ” Pada Permasalahan Air Conditioning Produces Hot Air On Ground ”),” *J. Tek. POMITS*, vol. 1, no. ISSN: 2301-9271, p. 2, 2012.
- [3] Andriawan & Antonius Angga, “Analisis Efisiensi Cooling Turbin Pada Air Cycle Machine Pada Pesawat Pk-Gge,” *Univ. Mercu Buana Jakarta*, 2023, [Online]. Available: <http://repository.mercubuana.ac.id/id/eprint/48303>
- [4] A. Prakoso, R. Kurniawan, and F. Mauluddin, “Penanganan dan Analisa Kegagalan Pada Bleed Air Leak Detection System Pesawat Airbus A330-300 di Hanggar 3 PT.GMF AEROASIA,” *J. Teknol. dan Ris. Terap.*, vol. 3, no. 2, pp. 73–78, 2021, doi: 10.30871/jatra.v3i2.3714.
- [5] ATA 21, *Aircraft Maintenance Manual*, no. December. 1999.
- [6] P. Adi Nugraha and D. Saputra, “Studi Kasus Masalah Ram Air Door Pada Air Conditioning Pesawat Boeing 737-800” *Jurnal Mekanik Terapan* vol. 02, no. 02, pp. 89–96, 2021.
- [7] A. Istikomah, “the Failure of Air Conditioning System in B737Ng Aircraft,” 2020. doi: 10.28989/vortex.v1i1.722.
- [8] R. Venumadhav, A. Johnson, and K. Amarnath, “Designing of Air Conditioning System for Aviation Training Centre,” *Int. J. Eng. Manag. Res.*, no. 3, [Online]. Available: www.ijemr.net
- [9] A. I. J. Yafid Effendi, Fanni Fattah, “Sistem ini berfungsi untuk memberikan kenyamanan suhu udara didalam cabin pesawat terbang . Sistem ini akan menaikkan dan menurunkan Langkah diagram Alir Penelitian dapat dilihat pada,” vol. 5, no. 2, pp. 7–12, 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.31000/mbjtm.v5i2.5831.g3469>.
- [10] A. Gyta Prasditya and I. Herry Hartopo, “BERKURANGNYA KINERJA AIR CONDITIONING SYSTEM PESAWAT AIRBUS A320-200 PK-AXU,” 2015.
- [11] S. K. Wang, *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. 2001.
- [12] J. Halibart, K. Zwolińska, M. Borowski, and M. Jaszczur, “Analysis of the Velocity Distribution in the Plenum Box with Various Entries,” *Energies*, vol. 14, no. 12, p. 3630, Jun. 2021, doi: 10.3390/en14123630.
- [13] “Air-Conditioning of Parked Aircraft by GroundBased Equipment.pdf.”
- [14] R. Hanif, S. H. Rukmi, and S. Susanty, “Perbaikan Kualitas Produk Keraton Luxury DI PT. X dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA),” *J. Online Inst. Teknol. Nas.*, vol. Vol. 03, no. No. 03, pp. 137–147, 2015.
- [15] F. Wijayanti and N. Fadhila, “Root Cause Failure Analysis pada Shutoff Hot Damper Mill Di Pt. Indonesia Power Unit Jasa Pembangunan Jawa Tengah 2 Adipala,” *J. Mek. Terap.*, vol. 3, no. 2, pp. 50–59, 2022, doi: 10.32722/jmt.v3i2.4616.