

Pengaruh Penggantian Heat Exchanger terhadap Suhu di dalam Kabin Pesawat Terbang Tipe Boeing B737-800/900ER

Rohmat Mufti Ali^{1*}, Ali Rosyidin², Dzunnuroin Dzaki Zan³

^{1*} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Tangerang, rohmat.m.a@gmail.com

² Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Tangerang, rosyidinali90x@gmail.com

³ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Tangerang, dzunnuroindzakizain@gmail.com

Abstract

The Boeing B737-800/900ER aircraft is equipped with an air conditioning system, which is part of the Environmental Control System (ECS). The air conditioning system plays a crucial role in maintaining passenger and crew comfort during flight. One of the key components that affects this comfort within the air conditioning system is the heat exchanger. This study aims to analyze the impact of heat exchanger replacement on the cabin air temperature in Boeing B737-800/900ER aircraft. The research uses a quantitative comparative method by comparing cabin temperature data before and after the heat exchanger replacement. Data were obtained through direct measurements on grounded aircraft as well as technical documentation from the airline. The parameters analyzed include the inlet and outlet air temperatures of the heat exchanger, cockpit temperature, passenger cabin temperature, and pack temperature. The results show that after replacing the heat exchanger, a significant reduction in cabin air temperature occurred, ranging from 8°C to 10°C. Additionally, the temperature difference between inlet and outlet (ΔT) of the heat exchanger component met the target, exceeding 45°C. This indicates an improvement in heat transfer efficiency and the overall performance of the air conditioning system. The heat exchanger replacement has proven to have a significant impact on passenger comfort and the performance of the air conditioning system.

Keywords: Heat Exchanger, Cabin Temperature, Boeing B737-800/900ER, Air Conditioning System, Passenger Comfort

Abstrak

Pesawat Boeing B737-800/900ER dilengkapi dengan sistem pendingin udara atau *Airconditioning System* yang merupakan bagian dari *Environmental Control System (ECS)*. *Air conditioning system* memainkan peran penting dalam menjaga kenyamanan penumpang dan *crew* selama penerbangan. Salah satu komponen penting yang memengaruhi kenyamanan ini di dalam sistem pendingin udara (*Airconditioning System*) adalah *heat exchanger*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggantian *heat exchanger* terhadap suhu udara di dalam kabin pesawat udara tipe Boeing B737-800/900ER. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif komparatif yang membandingkan antara data suhu kabin sebelum dan sesudah penggantian *heat exchanger*. Data diperoleh dari hasil pengukuran langsung pada pesawat di darat serta dokumentasi teknis maskapai penerbangan. Parameter yang dianalisis meliputi suhu udara masuk dan keluar *heat exchanger*, temperatur kokpit, kabin penumpang dan pack. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah penggantian *heat exchanger*, terjadi penurunan suhu udara yang signifikan di dalam kabin yaitu 8^o-10^oC dan perbedaan *temperature in* dan *out* (ΔT) pada komponen *heat exchanger* memenuhi target yaitu lebih dari 45^oC. Hal ini menunjukkan peningkatan efisiensi perpindahan panas dan performa *airconditioning system*. Penggantian *heat exchanger* yang dilakukan terbukti memberikan dampak signifikan terhadap kenyamanan penumpang dan kinerja *airconditioning system*.

Kata Kunci: Heat Exchanger, Suhu Kabin, Boeing B737-800/900ER, Air conditioning system, Kenyamanan penumpang

PENDAHULUAN

Pada umumnya, pesawat komersial seperti Boeing B737-800/900ER dilengkapi dengan *Environmental Control System (ECS)* yang bertujuan untuk mengatur tekanan, kelembapan, dan suhu udara di dalam kabin pesawat (FAA, 2020). *ECS* terdiri dari beberapa subsistem, salah satunya adalah *Air Conditioning System (ACS)* yang berperan langsung dalam mengatur temperatur udara yang masuk ke kabin.

ACS bekerja dengan memanfaatkan udara bertekanan tinggi yang dikenal sebagai *bleed air* yang diambil dari mesin pesawat atau *Auxiliary Power Unit (APU)*. *Bleed air* ini memiliki temperatur yang sangat tinggi, yaitu sekitar 200°C–250°C, sehingga perlu melalui proses pendinginan sebelum masuk ke kabin. Proses pendinginan dilakukan dengan bantuan komponen *heat exchanger*, yang memanfaatkan

udara luar (*ram air*) untuk menurunkan suhu *bleed air* hingga mencapai temperatur yang aman dan nyaman bagi penumpang (Lumiantar, Jayadi dan Marausna, 2021).

Kinerja heat exchanger memiliki peran yang sangat penting. Apabila kemampuan perpindahan panas (heat transfer) dari heat exchanger menurun akibat faktor usia pemakaian, korosi, penumpukan kotoran (*fouling*), atau kerusakan komponen, maka *bleed air* yang masuk ke sistem akan memiliki temperatur yang lebih tinggi dari standar. Kondisi ini dapat menyebabkan sistem pendinginan bekerja lebih keras, menurunkan efisiensi komponen lain seperti *Air Cycle Machine (ACM)*, dan pada akhirnya membuat suhu di dalam kabin tidak stabil (Wu, Y., Zhang, Z., & Li, H., 2019).

Penggantian *heat exchanger* merupakan salah satu tindakan preventif yang dilakukan ketika performanya menurun (Jang, Lim dan Kim, 2022). Penggantian ini diharapkan dapat memulihkan kemampuan *heat exchanger* dalam menurunkan suhu *bleed air*, sehingga sistem *ACS* dapat bekerja lebih efisien dan suhu kabin kembali berada pada rentang standar yang diizinkan (FAA, 2020). Standar kenyamanan suhu kabin pesawat telah diatur oleh *ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)* dan *FAA (Federal Aviation Administration)*. Berdasarkan *ASHRAE Standard 161* (2017), suhu kabin yang nyaman berada pada kisaran 22°C–27°C dengan kelembapan relatif sekitar 20%.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh penggantian *heat exchanger* terhadap kestabilan suhu di dalam kabin pesawat Boeing B737-800/900. Dengan membandingkan data suhu sebelum dan sesudah penggantian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan bukti kuantitatif bahwa penggantian *heat exchanger* berdampak signifikan terhadap peningkatan kenyamanan kabin.

METODE

Metodologi penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dengan pendekatan komparatif. Penelitian kuantitatif adalah penelitian empiris di mana data-datanya dalam bentuk sesuatu yang dapat dihitung. Penelitian kuantitatif memperhatikan pengumpulan dan analisis data dalam bentuk numerik. (Ali, Hariyati, Pratiwi dan Afifah, 2022). Penelitian komparatif adalah pendekatan yang digunakan untuk membandingkan dua atau lebih kelompok atau variabel untuk mengidentifikasi perbedaan atau kesamaan di antara mereka (Aida, Hermina, dan Norlaila, 2025).

Teknik pengumpulan data dengan menggunakan observasi dan eksperimen untuk mendapatkan data primer berupa suhu kabin dan suhu *bleed air* yang melewati heat exchanger (temperature in dan out). Sedangkan studi literature digunakan untuk mendapatkan data sekunder sebagai data pendukung berupa data aircondition troubleshooting dari Boeing 737 fleet team, Aircraft Maintenance Manual dan Fault Isolation Manual.

Alat dan bahan yang digunakan meliputi infrared thermometer gun yang digunakan untuk mengukur suhu *bleed air* yang melalui heat exchanger (temperature in dan out), temperature control panel yang menampilkan temperature di kabin, airconditioning/bleed control panel untuk mengoperasikan airconditioning system dan pesawat Boeing B737-900ER PK-LHL sebagai subyek penelitian.

Dalam penelitian ini menggunakan variable bebas (X) berupa kondisi sebelum dan sesudah penggantian heat exchanger dan variable terikat (Y) berupa temperature kabin dan *bleed air* yang masuk dan keluar dari heat exchanger (temperature in dan temperature out). Pengolahan data dilakukan dengan menghitung nilai efisiensi melalui rumus relative deviation.

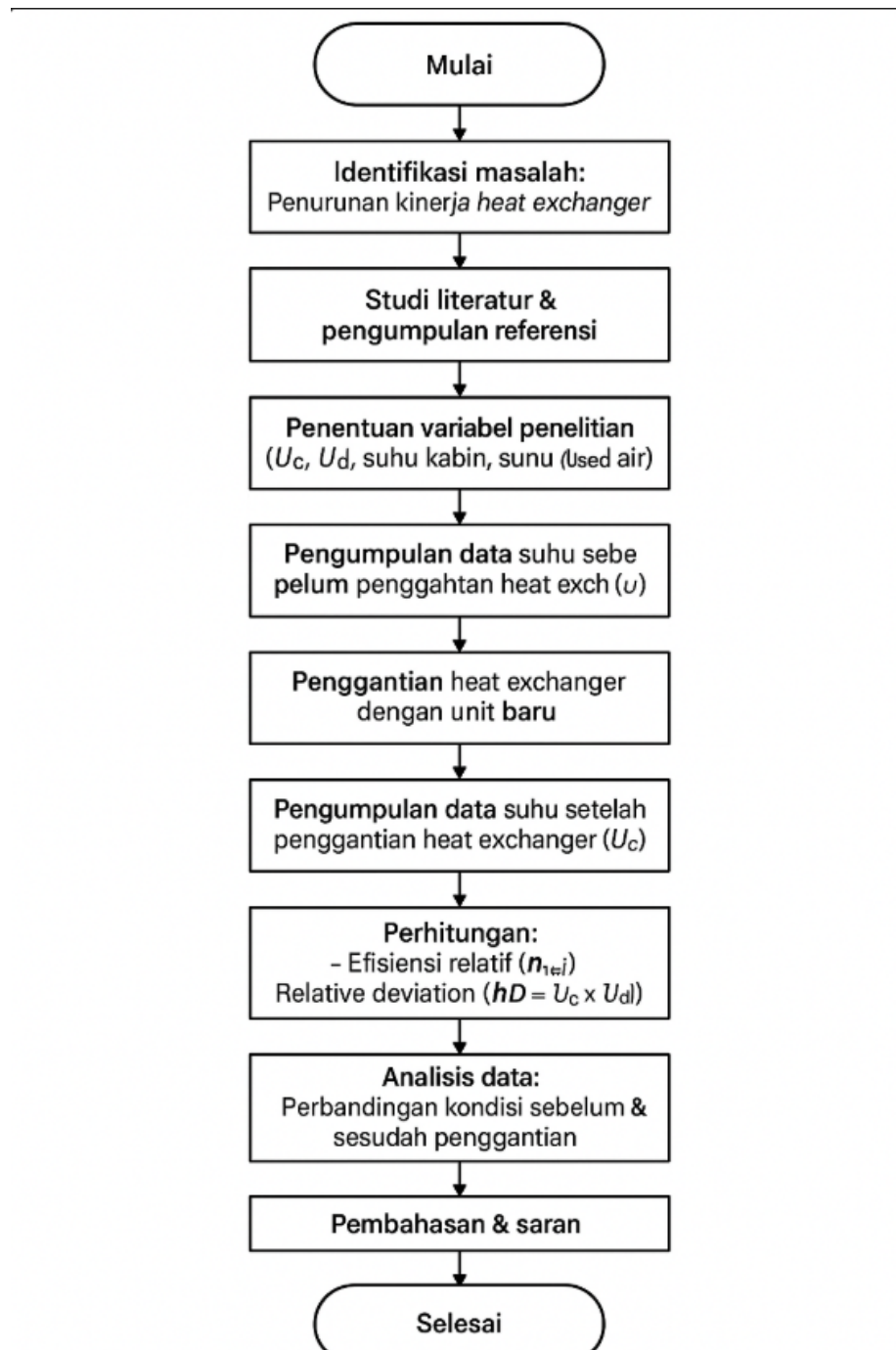
$$Rd = \frac{Uc - Ud}{Uc \times Ud}$$

Dimana:

Rd = relative deviation (nilai efisiensi)

Uc = Temperature setelah penggantian heat exchanger

U_d = Temperature sebelum penggantian heat exchanger



Gambar 1. Diagram alur penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran sebelum dan sesudah penggantian *heat exchanger*

Hasil pengukuran sebelum dan sesudah penggantian *heat exchanger* yang diperoleh melalui pengamatan terhadap *temperature indicator* yang ada di kokpit atau *flight deck* berupa data *temperature SUPPLY DUCT* (*control cabin, fwd cabin, aft cabin*), *PASS CABIN* (*FWD* dan *AFT*) dan *PACK* (*LEFT* dan *RIGHT*) serta data pengukuran *temperature in* dan *out* pada komponen *heat exchanger* yang akan diganti. Satuan *temperature* yang digunakan adalah derajat *Celcius* ($^{\circ}\text{C}$).

Tabel 1. Hasil pengukuran suhu udara pada *temperature control panel* sebelum dan sesudah penggantian *heat exchanger*.

REG	BEFORE HEAT EXCHANGER REPLACEMENT						
PK-LHL	SUPPLY DUCT			PASS CABIN		PACK	
	CONT CAB	FWD	AFT	FWD	AFT	RIGHT	LEFT
	18	32	33	32	33	48	31
	AFTER HEAT EXCHANGER REPLACEMENT						
	SUPPLY DUCT			PASS CABIN		PACK	
	CONT CAB	FWD	AFT	FWD	AFT	RIGHT	LEFT
	10	18	18	22	22	27	28

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran sebelum penggantian *heat exchanger* tersebut dapat dilihat pesawat dengan registrasi PK-LHL mengalami masalah *cabin hot temperature*. Berdasarkan dokumen *Airconditioning Pack Heat Exchanger Troubleshooting* dari 737NG *fleet team* yang menjelaskan tentang batas *temperature* yang direkomendasikan oleh pabrik Boeing untuk kenyamanan penumpang dan awak pesawat adalah:

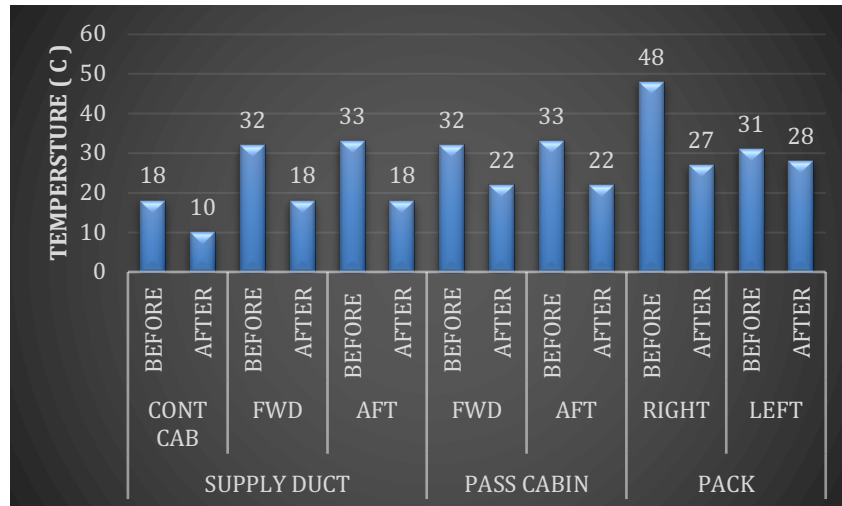
1. 10 deg C, 50 deg F - Flight Deck Supply Temp
2. 20 deg C, 68 deg F- Cabin Supply Temp
3. 30 deg C, 86 deg F - Pack Temp

Untuk *flight deck* atau kokpit pada *CONT CAB SUPPLY DUCT* menunjukkan 18°C. Suhu ini melebihi batas suhu yang di rekomendasikan yaitu 10°. Sedangkan untuk suhu di dalam kabin penumpang dapat kita lihat pada *FWD* dan *AFT SUPPLY DUCT* karena *duct* ini yang menyuplai udara kedalam *PASS CABIN* sehingga pengukurannya bisa sama atau hampir sama. Dalam pengukuran ini kita mendapatkan suhu di dalam kabin penumpang adalah 32°C untuk *forward cabin* dan 33°C untuk *aft cabin*. Suhu ini melebihi batas yang direkomendasikan Boeing yaitu 20°C. Dan untuk *PACK* menunjukkan suhu pada *PACK discharge temperature* atau suhu udara *output Air cooling system (PACK)* sebelum masuk ke *mix manifold* dan didistribusikan ke dalam kabin pesawat. Dalam pengukuran ini suhu *R PACK (Aircooling system* yang kanan) 48°C dan *L PACK (Aircooling System* yang kiri) 31°C, kedua-duanya melebihi batas yang direkomendasikan yaitu 30°C, terutama yang *R PACK* sangat jauh melebihi batas rekomendasi dari Boeing.

Berdasarkan hasil pengukuran setelah penggantian *heat exchanger* terlihat penurunan suhu pada *SUPPLY DUCT CONT CAB flight deck* atau kabin kru menjadi 10°C, *SUPPLY DUCT FWD* dan *AFT* menjadi 18°C, *passenger cabin (PASS CAB) forward* dan *aft* menjadi 22°C dan pada *PACK temperature discharge RIGHT system* menjadi 27°C dan *LEFT system* menjadi 28°C.

Hasil pengukuran tersebut berdasarkan dokumen *Airconditioning Pack Heat Exchanger Troubleshooting* dari 737NG *fleet team* yang menjelaskan tentang batas *temperature* yang direkomendasikan oleh pabrik Boeing untuk kenyamanan penumpang dan awak pesawat telah sesuai atau masuk dalam batasan yang direkomendasikan. Sehingga *problem cabin hot temperature* pada pesawat boeing dalam penelitian ini yaitu boeing tipe B737-900 dengan registrasi PK-LHL diselesaikan atau *problem solved*.

Setelah melakukan penelitian diperoleh data dalam bentuk tabel dari hasil pengukuran suhu (*temperature*) sebelum dan setelah penggantian *heat exchanger* yang kemudian dianalisis dalam bentuk grafik. Grafik ini yang akan menjelaskan terjadinya perubahan suhu udara berupa penurunan atau peningkatan di dalam kabin.



Gambar 2. Grafik perubahan suhu udara pada *temperature control panel*

Setelah penggantian *primary* dan *secondary heat exchanger* pada *right* dan *left airconditioning system (PACK)* menunjukkan penurunan suhu yang optimal yaitu 8^o-10^oC. Penurunan ini menunjukkan bahwa *heat exchanger* yang baru memiliki efisiensi perpindahan panas yang sangat baik dan dengan penggantian *heat exchanger* efektif dalam menurunkan suhu didalam kabin pesawat Boeing B737-800/900ER dan menjaga agar tetap stabil.

Pengukuran dilanjutkan dengan mengukur *temperature in* dan *out* pada *primary* dan *secondary heat exchanger*.

Tabel 2. Hasil pengukuran *temperature in* dan *out* dari *primary* dan *secondary heat exchanger* pada *right system* sebelum penggantian *heat exchanger*

Right System					
Primary Heat Exchanger			Secondary Heat Exchanger		
temperature IN (°C)	temperature OUT (°C)	delta T (>45°C)	temperature IN (°C)	temperature OUT (°C)	delta T (>45°C)
122	102	20	105	60	45

Didapatkan hasil pengukuran pada *Right system*, *temperature in* dan *out primary heat exchanger* yaitu 122^oC dan 102^oC dengan delta T nya adalah 20^oC. Lalu pada *secondary heat exchanger* yaitu 105^oC dan 60^oC dengan delta T nya adalah 45^oC. nilai delta T dari *temp in* dan *out primary* dan *secondary heat exchanger* pada *Right system* tidak mencapai target yang seharusnya yaitu lebih dari 45^oC.

Tabel 3. Hasil pengukuran *temperature in* dan *out* dari *primary* dan *secondary heat exchanger* pada *left system* sebelum penggantian *heat exchanger*

Left System					
Primary Heat Exchanger			Secondary Heat Exchanger		
temperature IN (°C)	temperature OUT (°C)	delta T (>45°C)	temperature IN (°C)	temperature OUT (°C)	delta T (>45°C)
116	75	41	82	47	35

Selanjutnya pada *Left system*, *temperature in* dan *out primary heat exchanger* yaitu 116^oC dan 75^oC dengan delta T nya adalah 41^oC. Lalu pada *secondary heat exchanger* yaitu 82^oC dan 47^oC dengan delta T nya adalah 35^oC. Nilai delta T dari *temperature in* dan *out* pada *primary* dan *secondary heat exchanger Left system* tidak mencapai target yang seharusnya yaitu lebih dari 45^oC.

Tabel 2 dan 3 menunjukkan hasil pengukuran *primary* dan *secondary heat exchanger* pada *Right* dan *Left system* dan menunjukkan delta T yang tidak mencapai target yang seharusnya yaitu lebih dari 45^oC. Hal ini menjadi indikasi bahwa *heat exchanger* tidak dapat berfungsi secara optimal dalam menurunkan *temperature* dari *bleed air*.

Pengukuran *temp in* dan *out* pada *heat exchanger* yang baru dilakukan untuk memastikan kinerja dalam menurunkan *temperature*. Berikut hasil dari pengukurannya :

Tabel 4. Hasil pengukuran *temperature in* dan *out* dari *primary* dan *secondary heat exchanger* pada *right system* setelah penggantian *heat exchanger*

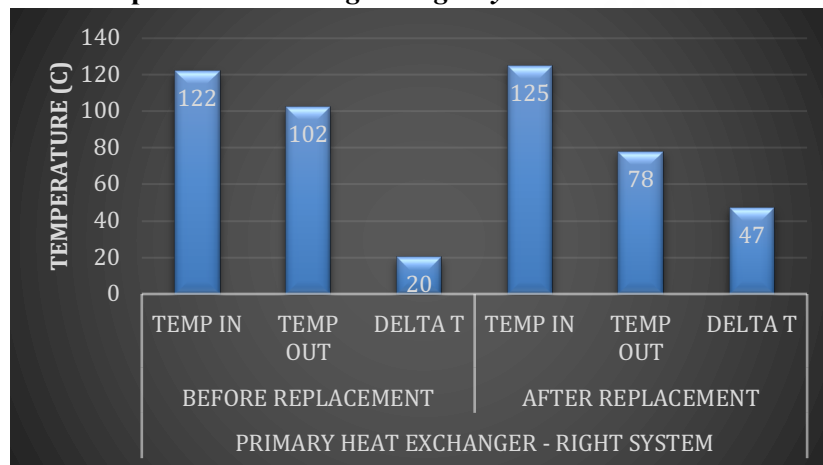
Right System					
Primary Heat Exchanger			Secondary Heat Exchanger		
temperature IN ($^{\circ}\text{C}$)	temperature OUT ($^{\circ}\text{C}$)	delta T ($>45^{\circ}\text{C}$)	temperature IN ($^{\circ}\text{C}$)	temperature OUT ($^{\circ}\text{C}$)	delta T ($>45^{\circ}\text{C}$)
125	78	47	80	32	48

Table 5. Hasil pengukuran *temperature in* dan *out* dari *primary* dan *secondary heat exchanger* pada *left system* setelah penggantian *heat exchanger*

Left System					
Primary Heat Exchanger			Secondary Heat Exchanger		
temperature IN ($^{\circ}\text{C}$)	temperature OUT ($^{\circ}\text{C}$)	delta T ($>45^{\circ}\text{C}$)	temperature IN ($^{\circ}\text{C}$)	temperature OUT ($^{\circ}\text{C}$)	delta T ($>45^{\circ}\text{C}$)
118	70	48	78	32	46

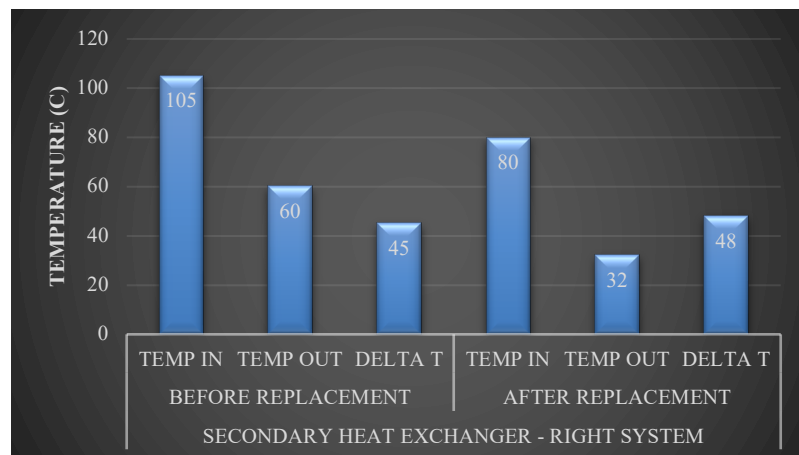
Tabel 4 dan 5 menunjukkan hasil pengukuran *heat exchanger* yang baru memiliki kinerja yang optimal dalam menurunkan *temperature bleed air* dalam *airconditioning system (PACK)* dengan dibuktikan dari nilai delta T yang mencapai lebih dari 45°C .

Analisis perubahan suhu pada *heat exchanger – right system*



Gambar 3. Grafik perubahan pada *temperature in* dan *out* serta delta T pada *primary heat exchanger – right system*

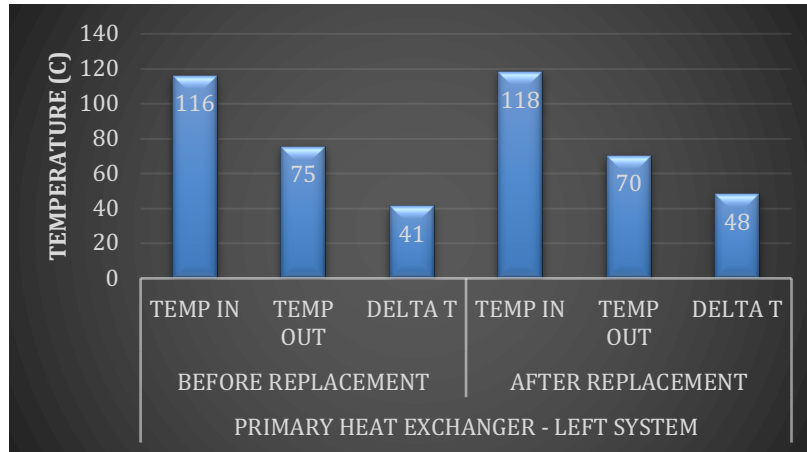
Pada *primary heat exchanger* di dalam *Right Airconditioning system* menunjukkan penurunan suhu yang lebih besar dengan delta T nya dari 20°C menjadi 47°C antara sebelum dan sesudah penggantian.



Gambar 4. Grafik perubahan pada *temperature in* dan *out* serta delta T pada *secondary heat exchanger – right system*

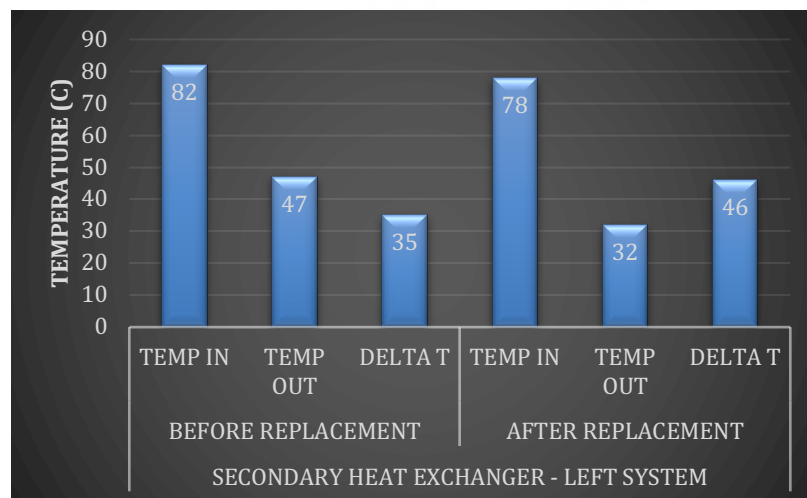
Pada *secondary heat exchanger* di dalam *Right Airconditioning system* menunjukkan penurunan suhu yang sedikit lebih besar dengan delta T nya dari 45⁰C menjadi 48⁰C antara sebelum dan sesudah penggantian.

Analisis perubahan suhu pada *heat exchanger* – *left system*



Gambar 5. Grafik perubahan pada temperature in dan out serta Delta T pada *primary heat exchanger* – *left system*

Pada *primary heat exchanger* di dalam *Left Airconditioning system* menunjukkan penurunan suhu cukup besar dengan delta T nya dari 41⁰C menjadi 48⁰C antara sebelum dan sesudah penggantian.



Gambar 6. Grafik perubahan pada temperature in dan out serta Delta T pada *secondary heat exchanger* – *left system*

Pada *secondary heat exchanger* di dalam *Left Airconditioning system* menunjukkan penurunan suhu yang signifikan dengan delta T nya dari 35⁰C menjadi 46⁰C antara sebelum dan sesudah penggantian.

Analisis efektifitas dan efisiensi sebelum dan setelah penggantian *heat exchanger*

Untuk menentukan seberapa besar efektifitas dan efisiensi *temperature* antara sebelum dan setelah penggantian *heat exchanger* dapat menggunakan rumus nilai *relative deviation*. Untuk sampel dapat menggunakan hasil pengukuran pada *area control cabin* (kokpit), *pass cabin* (*fwd* dan *aft*) dan *pack* (*right* dan *left*).

$$Rd = \frac{Uc - Ud}{Uc \times Ud}$$

Dimana:

Rd = *relative deviation* (nilai efisiensi)

Uc = *Temperature* setelah penggantian *heat exchanger*

Ud = *Temperature* sebelum penggantian *heat exchanger*

Tabel 6. Hasil penghitungan efektifitas *temperature* menggunakan rumus *relative deviation* (Rd)

Area	before (Ud)	after (Uc)	Rd (efektifitas)	%
Control Cabin (kokpit)	18	10	-0,044444444	-4,444
FWD Cabin	32	22	-0,014204545	-1,42
AFT Cabin	33	22	-0,015151515	-1,515
Right Pack	48	27	-0,016203704	-1,62
Left Pack	31	28	-0,003456221	-0,346

Catatan:

- Jika Rd positif dan besar → terjadi kenaikan suhu signifikan → sistem menjadi lebih panas, menunjukkan komponen tidak bekerja dengan baik dalam menurunkan panas.
- Jika Rd kecil atau mendekati nol → perubahan suhu tidak signifikan, bisa berarti kinerja sistem tidak berubah banyak.
- Jika Rd negatif → menunjukkan penurunan suhu, bisa jadi karena pendinginan lebih efisien setelah penggantian komponen.

Tabel 6 menunjukkan hasil *relative deviation* dengan nilai negatif menandakan bahwa terjadi penurunan suhu yang signifikan setelah penggantian komponen *heat exchanger*. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penggantian *heat exchanger* yang baru efektif dan efisien dalam menurunkan suhu udara di dalam pesawat Boeing B737-800/900ER.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penggantian *heat exchanger* pada pesawat Boeing B737-800/900ER memberikan dampak signifikan terhadap penurunan temperatur *bleed air* dan peningkatan kenyamanan termal di dalam kabin. Temperatur kabin yang sebelumnya berada di atas standar kenyamanan (30–32°C), setelah penggantian turun ke rentang ideal (21–23°C), sesuai dengan standar *ASHRAE*. Selain itu, efisiensi sistem pendingin udara meningkat karena beban kerja komponen lain seperti *air cycle machine (ACM)* menjadi lebih ringan. Penggantian *heat exchanger* terbukti meningkatkan performa sistem *Environmental Control System (ECS)* secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE. (2017). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- FAA. (2020). *Aircraft Cabin Environmental Control Systems*. Federal Aviation Administration Advisory Circular.
- Muhammad Tri Anjas Aji Lumintar, Farid Jayadi, Gaguk Marausna. *Studi Eksperimental Heat Transfer Pada Heat Exchanger Dengan Tipe Helical Coil Tube Guna Menurunkan Temperatur Oli*

- Hidrolik. Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine* Vol 7, No. 1, Juli 2021. ISSN 2460-1608.
- Wu, Y., Zhang, Z., & Li, H. (2019). *Investigation of Fouling Characteristics and Performance Degradation in Aircraft Heat Exchangers*. *Journal of Aerospace Engineering*, 32(3), 04019012.
- Kumar, R., Singh, A., & Sharma, V. (2018). *Thermodynamic Analysis of Aircraft Air Cycle Machines*. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 10(3), 031013.
- Jang, J., Lee, K., & Kim, Y. (2022). *Performance Recovery of Aircraft Heat Exchangers after Maintenance Actions*. *Aerospace Science and Technology*, 123, 107385.
- Zhang, Y., Wang, Y., & Chen, H. (2019). Cabin Thermal Environment and Its Impact on Passenger Comfort. *Journal of Building and Environment*, 152, 15–25.
- Fang, X., Li, D., & Zhang, P. (2021). *Early Fault Diagnosis of Aircraft Heat Exchangers Using Relative Deviation Analysis*. *Applied Thermal Engineering*, 190, 116805.