

Analisis Keandalan Pada Outer Pane Cabin Window BOEING 737-800NG

Nila Safiana Sari^{1,*}, Mufti Arifin², Endah Yuniarti³

^{1, 2, 3}Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Dirgantara dan Industri, Universitas Dirgantara
Marsekal Suryadarma, Jakarta

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 03 April 2026
Direvisi: 04 April 26
Diterima: 04 April 26

Kata kunci:

Keandalan
Aircraft Window
Cabin Window
Outer pane

Keywords:

Airworthiness
Aircraft Window
Cabin Window
Outer pane

ABSTRAK

Passenger cabin windows merupakan elemen penting dalam menjaga integritas struktural kabin bertekanan, khususnya pada pesawat komersial seperti B737-800NG. Diantara struktur *passenger cabin windows* yang banyak mengalami kerusakan adalah *outer-pane*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keandalan dan mengetahui penyebab kerusakan *outer-pane* dengan menggunakan teori keandalan dan metode fishbone diagram. Fokus utama penelitian adalah melakukan estimasi umur pakai serta mengidentifikasi titik-titik rawan retak yang dipengaruhi oleh siklus tekanan kabin dan kelelahan material. Kajian dilakukan dengan menelaah referensi teknis, laporan kecelakaan, serta data kerusakan yang terjadi selama operasional dalam periode Tahun 2024 hingga 2025. Hasil yang didapat ialah nilai *mean time between failures* 2.276 per *flight hours*, *mean time between unscheduled component removals* 23.000 per *flight hours*, serta *failure rate* 0.0545 dan *unscheduled component removal rate* 0.0434. Kerusakan dalam bentuk *scratch* umumnya terjadi pada *passenger cabin windows* dikarenakan *foreign object damage*, siklus beban tekan yang berulang, dan penggunaan bahan chemical tidak sesuai standar manual saat proses pembersihan. Sebagai tindakan pencegahan kerusakan perlu melakukan pemeriksaan rutin setiap 2.276 *flight hours*, guna mengetahui atau mengidentifikasi kondisi kerusakan sejak dini.

Passenger cabin windows are an important element in maintaining the structural integrity of pressurized cabins, especially on commercial aircraft such as the B737-800NG. Among the passenger cabin window structures that experience the most damage is the outer pane. This study aims to analyze reliability and determine the causes of outer-pane damage using reliability theory and the fishbone diagram method. The main focus of the study is to estimate the service life and identify crack-prone points affected by cabin pressure cycles and material fatigue. The study was conducted by examining technical references, accident reports, and damage data that occurred during operations in the period from 2024 to 2025. The results obtained were a mean time between failures of 2.276 per-FH, a mean time between unscheduled component removals of 23.000 per-FH, a failure rate of 0,545, and an unscheduled component removal rate of 0,0434 (in 1000 FH). Damage in the form of scratches generally occurs on passenger cabin windows due to foreign object damage, repeated compression cycles, and the use of ammonia during the cleaning process. As a preventive measure, it is necessary to conduct routine inspections every 2.276 flight hours to detect or identify damage early on

Penulis Korespondensi:

Nila Safiana Sari
Email:
nilarosa99@gmail.com

Copyright © 2026 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Industri penerbangan komersial merupakan salah satu bidang transportasi yang memiliki standar keselamatan paling ketat. Setiap komponen pesawat, baik struktur utama maupun komponen pendukung, dituntut memiliki keandalan tinggi agar mampu menjamin keselamatan penumpang dan awak selama penerbangan [1]. Salah satu komponen yang kerap luput dari perhatian masyarakat awam, tetapi sangat penting dari sisi teknis, adalah window kabin penumpang (*passenger window*). Window ini tidak hanya berfungsi sebagai media pandang, tetapi juga bagian utama dari struktur kabin bertekanan yang harus mampu menahan perbedaan tekanan besar antara interior pesawat dan kondisi atmosfer di ketinggian jelajah.

Pada pesawat Boeing 737-800NG *Next Generation* (B737-800NG), window kabin terdiri dari beberapa lapisan kaca akrilik. Lapisan paling luar (*outer pane*) memiliki peranan utama dalam melindungi bagian dalam dari beban lingkungan, seperti tekanan eksternal, perubahan temperatur, hingga risiko benturan benda asing. Berdasarkan Boeing *Structural Repair Manual* (SRM) Chapter 56, kerusakan pada passenger cabin window yang melebihi batas toleransi yang ditentukan dikategorikan sebagai kondisi *no-go item*, sehingga pesawat tidak diperbolehkan untuk beroperasi sebelum dilakukan perbaikan atau penggantian komponen, yang berarti setiap kerusakan yang melampaui batas toleransi harus segera ditindaklanjuti, karena jika tidak diperbaiki atau diganti maka pesawat dilarang beroperasi. Ketentuan ini menggambarkan betapa pentingnya menjaga kondisi outer pane agar selalu berada dalam keadaan laik terbang.

Walaupun secara umum kerusakan *window* penumpang tergolong jarang terjadi, dalam praktiknya beberapa maskapai melaporkan adanya penggantian *window* akibat kerusakan seperti retakan halus (*hairline crack*), delaminasi, hingga goresan dalam (*deep scratch*) yang terdeteksi saat inspeksi rutin [1]. Faktor penyebabnya sangat beragam. Siklus tekanan yang terus berulang selama ribuan penerbangan dapat memicu kelelahan material (*material fatigue*). Selain itu, kondisi operasi yang berbeda-beda, seperti variasi suhu ekstrem, kelembapan tinggi di daerah tropis, ataupun perbedaan beban saat lepas landas dan mendarat, juga turut mempercepat degradasi material. Di lapangan, risiko dari benda asing seperti kerikil kecil di landasan atau foreign object damage lainnya pun bisa menjadi penyebab awal terjadinya cacat pada permukaan *window* [2].

Kondisi di Indonesia menambah kompleksitasnya. Armada Boeing 737-800NG dioperasikan secara intensif dengan frekuensi penerbangan yang tinggi dan paparan iklim tropis yang khas. Siklus penerbangan yang padat ini berarti setiap *window* mengalami siklus tekan (*pressurization cycle*) yang sangat banyak dalam umur pakainya [3]. Walaupun pemeliharaan rutin sudah dilakukan, fakta bahwa komponen ini harus diganti atau diperbaiki dari waktu ke waktu menunjukkan bahwa keandalannya perlu ditinjau lebih mendalam.

Mengacu pada hal tersebut, penelitian yang berfokus pada keandalan window pesawat, khususnya lapisan *outer pane*, menjadi sangat penting. Analisis keandalan tidak hanya memberikan gambaran mengenai pola kerusakan yang mungkin timbul, tetapi juga membantu dalam memprediksi umur pakai komponen [4]. Dengan informasi tersebut, operator dapat merencanakan perawatan atau penggantian secara lebih efektif, sehingga dapat meminimalkan risiko gangguan operasional sekaligus mempertahankan tingkat keselamatan sesuai standar internasional.

Melalui kajian yang dilakukan dalam penelitian ini, diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai karakteristik kerusakan, estimasi umur pakai, dan faktor-faktor yang mempengaruhi degradasi *outer pane*. Hasilnya dapat menjadi bahan pertimbangan dalam penyusunan kebijakan perawatan yang lebih tepat sasaran, pengembangan prosedur inspeksi yang lebih detail, dan pada akhirnya berkontribusi dalam peningkatan keselamatan serta efisiensi operasional.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian mengenai keandalan outer pane cabin window ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif, di mana proses analisis dilakukan dengan menggabungkan data teknis, data operasional pesawat, serta temuan inspeksi lapangan. Metode penelitian disusun dalam beberapa tahapan yang saling berkaitan untuk memastikan bahwa penilaian terhadap kondisi outer pane menggambarkan situasi aktual di lapangan.

Tahap pertama adalah pengumpulan data, yang diperoleh dari berbagai sumber, seperti dokumentasi riwayat kerusakan, laporan perawatan, foto temuan di lapangan, serta referensi teknis dari Aircraft Maintenance Manual (AMM). Selain itu, dilakukan juga observasi langsung pada beberapa unit window pesawat guna mengidentifikasi pola kerusakan, tingkat keausan, dan potensi cacat pada material acrylic. Wawancara dengan teknisi engineering dan field technician dilakukan untuk menggali informasi tambahan mengenai kebiasaan perawatan, penggunaan peralatan, dan bahan pembersih.

Tahap berikutnya adalah analisis teknis, yang mencakup perhitungan beban tekanan diferensial (ΔP) yang diterima panel selama siklus *pressurization–depressurization*. Tekanan diferensial ini digunakan untuk menghitung besarnya gaya tekan yang bekerja pada permukaan outer pane. Dari beban tersebut kemudian dihitung tegangan lentur (σ) untuk mengetahui sejauh mana material acrylic bekerja mendekati batas kekuatannya.

Selanjutnya dilakukan analisis keandalan (reliability) berdasarkan pendekatan *fatigue life*. Dengan asumsi karakteristik acrylic yang memiliki umur *fatigue* sekitar 20.000 siklus, data frekuensi terbang harian digunakan untuk memperkirakan umur pakai aktual komponen tersebut. Perhitungan ini memberikan gambaran kapan potensi kerusakan signifikan biasanya muncul selama masa operasional pesawat.

Tahap terakhir adalah analisis akar penyebab (root cause analysis) menggunakan fishbone diagram. Dalam metode ini, potensi penyebab kerusakan outer pane dikelompokkan ke dalam lima kategori: Man, Machine, Method, Material, dan Management. Melalui analisis ini diketahui bahwa kerusakan tidak hanya dipicu oleh beban mekanis akibat siklus tekanan, namun juga dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti penggunaan alat pembersih abrasif dan bahan pembersih yang tidak sesuai dengan karakteristik acrylic.

Secara keseluruhan, metode penelitian ini memberikan pendekatan komprehensif untuk mengevaluasi keandalan komponen window pesawat dengan menggabungkan data teknis, observasi lapangan, dan analisis rekayasa struktural sehingga mampu menghasilkan gambaran kondisi outer pane secara akurat dan objektif.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Identifikasi Potensi Kegagalan

Analisis perhitungan dalam penelitian ini difokuskan pada tiga aspek utama, yaitu perhitungan tekanan diferensial (ΔP), perhitungan gaya dan tegangan lentur (σ), serta perkiraan umur fatigue outer pane berdasarkan siklus tekanan. Ketiga perhitungan ini digunakan untuk menentukan tingkat keandalan material acrylic pada outer pane cabin window.

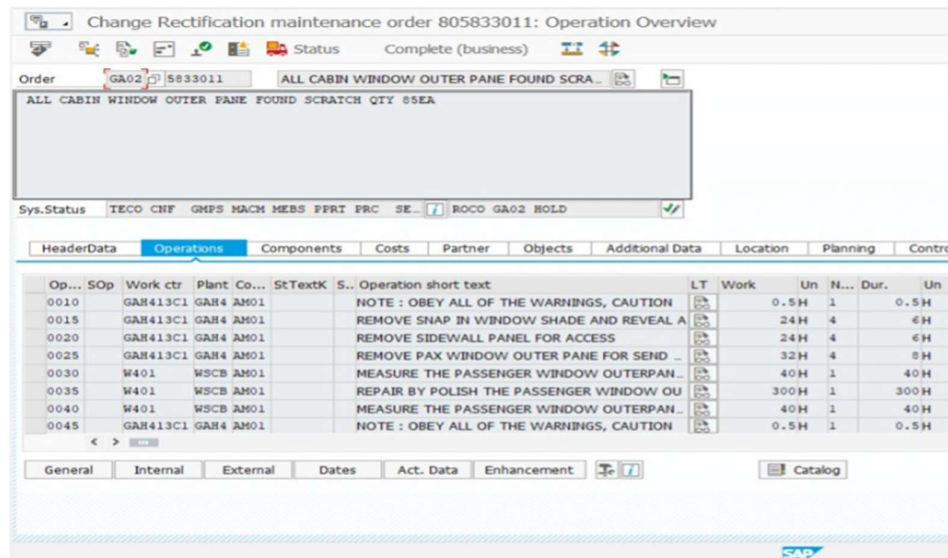
Tabel 1. Data kerusakan *Outer pane cabin windows*

No	Aircraft Registration	Removed Date	A/C TSN	Jumlah <i>Failures</i>	Jumlah <i>Replacement</i>
1	PK-G01	14-Oct-24	2589	85	
2	PK-G02	07-Nov-24	2061	85	
3	PK-G03	09-Dec-24	1382	85	
4	PK-G04	23-Dec-24	1266	85	
5	PK-G05	08-Jan-25	1730	85	
6	PK-G06	10-Jan-25	1368	55	

7	PK-G07	24-Jan-25	1731	85	
8	PK-G08	30-Jan-25	2603	55	
9	PK-G09	11-Feb-25	2655	85	
10	PK-G10	19-Feb-25	2622	25	25
11	PK-G11	02-Mar-25	1859	40	10
12	PK-G12	28-Mar-25	1741	50	
13	PK-G13	28-Mar-25	1302	85	
14	PK-G14	24-Apr-25	2127	85	
15	PK-G15	25-Apr-25	1995	85	
16	PK-G16	28-Apr-25	1962	58	29
17	PK-G17	29-Apr-25	1467	85	
18	PK-G18	02-May-25	1929	44	40
18	PK-G19	05-May-25	1569	85	
20	PK-G20	14-May-25	1269	44	10
21	PK-G21	23-Jun-25	2391	23	24
22	PK-G22	23-Jun-25	1368	12	20
23	PK-G23	23-Jun-25	2028	36	14
24	PK-G24	14-Oct-24	2589	85	
25	PK-G25	07-Nov-24	2061	85	
26	PK-G26	09-Dec-24	1382	85	
27	PK-G27	26-Jul-25	2523	85	
28	PK-G28	21-Sep-25	1335	85	
29	PK-G29	13-Aug-25	1599	80	
30	PK-G30	17-Oct-25	1830	85	
31	PK-G31	20-Oct-25	1797	85	
32	PK-G32	20-Oct-25	1665	10	35
33	PK-G33	20-Oct-25	1170	12	20
34	PK-G34	23-Oct-25	1929	85	
35	PK-G35	23-Oct-25	1269	20	
36	PK-G36	25-Oct-25	1236	85	
37	PK-G37	04-Nov-25	1632	18	30
38	PK-G38	19-Nov-25	2292	57	
Total			67941	2339	257

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, 1 diatas merupakan data oprasional yang diperoleh dari record order pekerjaan yang masuk di *Cabin workshop* selama 12 bulan. Seluruh order tersebut berasal

dari sistem SAP, yang berfungsi sebagai platform utama pencatatan permintaan pekerjaan maupun kebutuhan maintenance. Setiap order yang masuk di rekam di sistem SAP kemudian akan di cetak sebagai task card referensi sebelum pekerjaan di laksanakan di lapangan.



Gambar 1 Order Sistem SAP Jika ditemukan Kerusakan Pada *Outer Pane*

Temuan tersebut menunjukkan bahwa potensi kegagalan dalam inspeksi airworthiness tidak hanya berasal dari komponen struktural utama, tetapi juga dari aspek administratif dan komponen pendukung keselamatan. Dalam konteks *continuing airworthiness*, kepatuhan terhadap persyaratan teknis dan administratif merupakan bagian integral dari sistem pengawasan sebagaimana diatur dalam ketentuan Part-M *Continuing Airworthiness Requirements* yang diterbitkan oleh European Union Aviation Safety Agency (EASA) [11]. Oleh karena itu, setiap temuan yang berkaitan dengan kedaluwarsa dokumen maupun komponen keselamatan harus dipandang sebagai bagian dari risiko sistemik, bukan sekadar ketidak sesuaian administratif.

3.2 Hasil Analisis Perhitungan Keandalan

- 3.2.1 Perhitungan Tekanan Diferensial (ΔP) Tekanan diferensial merupakan selisih antara tekanan kabin pesawat yang terkompresi dan tekanan udara luar pada ketinggian jelajah. Besar tekanan ini menentukan seberapa besar beban yang diterima oleh outer pane.

Rumus dasar:

$$\Delta P = P_{\text{kabin}} - P_{\text{luar}}$$

Dengan nilai empiris dari data operasional:

- Tekanan kabin: $P_{\text{kabin}} = 78 \text{ kPa}$
- Tekanan luar: $P_{\text{luar}} = 22 \text{ kPa}$

$$\Delta P = 78 - 22 = 56 \text{ kPa}$$

Tekanan ini merupakan beban utama yang berulang pada setiap siklus penerbangan.

3.2.2 Perhitungan Gaya Tekan (Force) pada Outer Pane

Setelah ΔP dihitung, tekanan ini dikonversi menjadi gaya yang bekerja tegak lurus pada permukaan acrylic. Rumus gaya:

Nilai luas panel outer pane = A

dimensi jendela standar pada pesawat narrow-body (misalnya Boeing 737 series), yaitu:

- Tinggi $\approx 0,30 \text{ m}$
- Lebar $\approx 0,15 \text{ m}$

Perhitungan luas panel dihitung dengan rumus:

$$A = p \times l$$

Maka:

$$A = 0,30 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 0,045 \text{ m}^2$$

- Luas panel: $A = 0.045 \text{ m}^2$

Maka:

$$F = 56,000 \text{ N/m}^2 \times 0.045 \text{ m}^2 = 2,520 \text{ N}$$

✓ Outer pane menahan gaya sebesar 2.520 N setiap siklus tekanan.

Gaya sebesar 2.520 N bekerja secara berulang pada outer pane setiap kali pesawat mengalami pressurization.

3.2.3 Perhitungan Tegangan Lentur (σ)

Tegangan yang bekerja pada panel acrylic dihitung untuk mengetahui apakah material bekerja mendekati batas kekuatannya.

Rumus :

$$\sigma = \frac{P \cdot a^2}{t^2}$$

Data:

- $P = 56,000 \text{ N/m}^2$
- $a = 0.20 \text{ m}$ (dimensi karakteristik panel)
- $t = 0.006 \text{ m}$ (ketebalan panel)

Perhitungan:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{56,000 \times (0.20)^2}{(0.006)^2} \\ \sigma &= \frac{56,000 \times 0.04}{0.000036} \\ \sigma &= \frac{2,240}{0.000036} = 62,222,222 \text{ Pa} = 62 \text{ MPa}\end{aligned}$$

✓ Tegangan operasi = 62 MPa

✓ Batas tarik acrylic = 65–75 MPa → sangat dekat dengan batas aman

3.2.4 Perhitungan Reliability (MTBF, Failure Rate, MTBUR & UCRR)

Jumlah kerusakan komponen = Failure + Replacement

$$= 2.339 + 257 = 2.596$$

$$\text{MTBF} = \frac{\text{total TSN} \times \text{jumlah window per pesawat}}{\text{jumlah kegagalan komponen}} = \frac{67.941 \times 87}{2.596} = 2.276 \text{ Hrs}$$

Sehingga rata-rata outterpane removal untuk repair setelah 2.276 jam operasional.

Failure rate dalam 1000 FH, didapatkan;

$$\text{Failure Rate} = \frac{1}{\text{MTBF}} \times 1000 = \frac{1}{2.276} \times 1000 = 0,439$$

Rata-rata probabilitas terjadi kerusakan yaitu 0.439 dalam periode 1000 Jam operasional.

Mean Time Between Unscheduled Component Removals didapatkan;

$$\text{MTBUR} = \frac{\text{total TSN} \times \text{jumlah outterpane per pesawat}}{\text{jumlah removal komponen}} = \frac{67.941 \times 87}{257} = 23.000 \text{ Hrs}$$

Rata-rata removal terjadi di setiap akumulasi 23.000 Jam oprasional.

Unscheduled Component Removal Rate dalam 1000 FH, didapatkan;

$$\text{UCRR} = \frac{1}{\text{MTBUR}} \times 1000 = \frac{1}{23.000} \times 1000 = 0,0434$$

Rata-rata removal terjadi sebanyak 0,0434 dalam periode 1000 FH.

Fishbone menunjukkan bahwa faktor material dan method merupakan akar penyebab utama. Temuan kerusakan akibat chemical cleaning dan abrasif tools konsisten dengan pola kerusakan scratch yang mendominasi.

Hal ini mempertegas bahwa sebagian besar kerusakan bersifat surface-initiated, bukan structural crack, kecuali pada kasus fatigue yang telah mencapai umur siklus tinggi.

IV. KESIMPULAN

Penelitian mengenai keandalan outer pane cabin window pada pesawat Boeing 737-800NG menunjukkan bahwa secara umum komponen ini memiliki tingkat keandalan yang baik, namun tetap memiliki kerentanan terhadap kerusakan permukaan akibat pengaruh operasional dan perawatan. Berdasarkan analisis data tahun 2024–2025, nilai MTBF sebesar 2.276 FH, failure rate 0,439 per 1000 FH, serta MTBUR sebesar 23.000 FH mengindikasikan bahwa kegagalan mayor jarang terjadi dan sebagian besar kerusakan bersifat minor. Sementara itu, nilai UCRR yang rendah (0,0434 per 1000 FH) menegaskan bahwa penggantian tidak terjadwal berlangsung sangat jarang.v perawatan yang kurang sesuai. Upaya mitigasi yang direkomendasikan meliputi pengetatan prosedur pembersihan, pengendalian penggunaan chemical, peningkatan inspeksi berbasis siklus, serta pemantauan dini terhadap micro-crack untuk mencegah perkembangan kerusakan struktural yang lebih serius.

UCAPAN TERIMA KASI

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penelitian serta penulisan jurnal ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada pihak Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, khususnya program studi dan dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta dukungan selama proses penelitian berlangsung.

Ucapan terima kasih turut penulis sampaikan kepada engineering staff, field technician, serta seluruh pihak di lingkungan operasional perawatan pesawat yang telah memberikan kesempatan, data, dan wawasan teknis sehingga penelitian mengenai keandalan outer pane cabin window ini dapat dilakukan dengan baik dan komprehensif.

Tidak lupa penulis menyampaikan apresiasi kepada keluarga dan rekan-rekan atas doa, motivasi, dan dukungan moral selama penyusunan penelitian ini. Semoga jurnal ini dapat memberikan kontribusi ilmiah bagi pengembangan bidang keselamatan dan keandalan sistem pada dunia penerbangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Torkashvand, L. Stephane, and P. Vink, *Aircraft interior design and satisfaction for different activities; A new approach toward understanding passenger experience*, *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, vol. 6, no. 2, 2019, doi:10.15394/ijaaa.2019.1290.
- [2] S. Pujangkoro, D. Wahyuni, and J. Panama, *Evaluating Working Time and Work Capacity of Aircraft Cabin Line Maintenance Services*, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Jul. 2019. doi: 10.1088/1757-899X/505/1/012021.
- [3] C. MUFTI, *Perencanaan Penjadwalan Preventive Maintenance pada Pesawat Boeing 737-800 PK-GMW ATA CHAPTER 32*, Universitas Mercu Buana, Jakarta, <http://digilib.mercubuana.ac.id/2020>.
- [4] FAA, *Windows and Windshields – Advisory Circular*, AC No. 25.775-1, US Department of Transportation, USA, 2003.
- [5] T.H.G. Megson, *Aircraft Structure for Engineering Student*, in *Journal of Physics: Conference Series*, Butterworth-Heinemann, ISBN: 978-0-08-100914-7 2017.
- [6] M. C. Moruzzi and S. Bagassi, *Preliminary design of a short-medium range windowless aircraft*, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, volume 14, no. 3, pp. 823–832, Sep. 2020, doi:10.1007/s12008-020-00676-7.
- [7] B. Seth, P. Saxena, and S. Arora, *An Empirical Study of Indian Passenger Airlines for Sustainable Performance: A Window DEA Approach*, 2025, pp. 1–16. doi: 10.1007/978-981-96-0389-3_1.
- [8] Honeywell, *Reliability Reporting Definition*. Honeywell Products and Services. USA, 2023.
- [9] Mario Coccia, *The Fishbone Diagram to Identify, Systematize and Analyze the Source of General Purpose Technologies*. Italian National Research Council, 2017.
- [10] Jamaludin and Sumarno, *Analysis of Causes Damage in Flight Compartment Windows Due*

- to Heating System Failure in Boeing 737-800 Airport Using Weibull Analysis Distribution, in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics, 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1477/5/052038.
- [12] S. H. Chowdhury, F. Ali, and I. K. Jennions, Boeing 737-400 *Passenger Air Conditioner Control System Model for Accurate Fault Simulation*, *J Thermal Science Engineering Application*, vol. 14, no. 9, Mar. 2022, doi: 10.1115/1.4053740.
- [13] Boeing Company, *History and Development*, Boeing Proprietary, USA, 2025.
- [14] Boeing Company, *Dimensions and Areas*, AMM B737-600/700/800/900 Chapter 06, Boeing Proprietary, USA, 2024.
- [15] Boeing Company, *Windows*, AMM B737-600/700/800/900 Chapter 56, Boeing Proprietary, USA, 2024.
- [16] Agung Laksono, Sahril Afandi Sitompul, Agus Suprianto, Rizky Fitriansyah, *Analisis Numerik Pengaruh Gasket pada Windshield Pesawat Komuter 19 Penumpang Terhadap Fenomena Bird Strike*, Skripsi - Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Indonesia, 2022.
- [17] W. Zhang and X. Liu, "Application of Weibull Analysis in Civil Aviation Engineering," *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, vol. 838, pp. 321–327, 2024.
- [18] S. S. D. Setiowulandari, "Analysis of Reliability of Windshield Boeing 737-NG Using Weibull Distribution," *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi Dirgantara*, vol. 1, no. 2, pp. 55–63, 2025.
- [19] L. G. Otaya, "Distribusi Probabilitas Weibull dan Aplikasinya," *Tadbir: Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*, vol. 4, no. 2, pp. 45–54, 2016.
- [20] Wei Yu." Application of Weibull Analysis in the Optimization of Civil Aviation Aircraft Engineering Reliability Management." *Academic Journal of Engineering and Technology Science* (2024) Vol. 7, Issue 1: 68-73.