

ANALISIS TERJADINYA DISBONDING DAN PERBAIKAN AFT FLAP PADA PESAWAT BOEING 737-800NG

Analysis of Disbonding Occurrence and AFT Flap Repair on Boeing 737-800NG Aircraft

¹Riki Candra Putra, ²Jamaludin

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang,
Jl. Perintis Kemerdekaan I No.33, RT.007/RW.003, Babakan, Cikokol, Kec. Tangerang, Kota Tangerang
e-mail: riki.candra@gmail.com

Receive: 12-12-2025

Accepted: 30-01-2026

Abstract

Disbonding in sandwich composite structures is a critical type of damage that directly affects aerodynamic performance and flight safety. The aft flap of the Boeing 737-800NG is a vital component operating under high aerodynamic loads during take-off and landing, making it vulnerable to degradation of adhesive bonds within its composite structure. This study aims to analyze the causes of disbonding based on technical data and field inspection findings, identify the critical flight-hour range in which the damage most frequently occurs, and formulate technical recommendations for both repair and preventive actions in accordance with the Aircraft Maintenance Manual (AMM) and Structure Repair Manual (SRM). A mixed-method approach was employed, combining qualitative analysis using a Fishbone Diagram with quantitative evaluation through Pilot Report Rate and Unscheduled Component Removal Rate (UCRR). The results indicate that disbonding is driven by factors such as fatigue, thermal cycling, moisture ingress, Foreign Object Damage (FOD), and human error during maintenance. Data show that disbonding typically occurs between 986 and 1,688 flight hours, defining a critical range of 1,000–1,700 hours. Repairs involve doubler bonding or full panel replacement for severe cases. Preventive measures include enhanced flight-hour-based inspections and strengthened maintenance procedures. This study contributes to improved reliability of flap structures in commercial aircraft operations.

Keywords: *Disbonding, Composite sandwich structure, Aft flap, Reliability analysis Boeing 737-800NG*

Abstrak

Disbonding pada struktur komposit sandwich merupakan salah satu bentuk kerusakan kritis yang berdampak langsung pada performa aerodinamika dan keselamatan penerbangan. Aft flap pesawat Boeing 737-800NG merupakan komponen penting yang bekerja pada fase take-off dan landing, sehingga kerusakan pada struktur kompositnya dapat menyebabkan penurunan efisiensi gaya angkat ataupun gangguan stabilitas pesawat. Penelitian ini bertujuan menganalisis penyebab terjadinya disbonding berdasarkan data teknis dan temuan inspeksi lapangan, mengidentifikasi rentang jam terbang kritis terjadinya kerusakan, serta merumuskan rekomendasi teknik perbaikan dan pencegahan sesuai standar Aircraft Maintenance Manual (AMM) dan Structure Repair Manual (SRM). Penelitian menggunakan metode gabungan, yaitu pendekatan kualitatif melalui Fishbone Diagram dan analisis kuantitatif dengan parameter Pilot Report Rate dan Unscheduled Component Removal Rate (UCRR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa disbonding terjadi akibat faktor fatigue, thermal cycling, moisture ingress, FOD, dan human error dalam perawatan. Data menunjukkan kerusakan muncul pada rentang jam 986–1.688, sehingga rentang 1.000–1.700 jam merupakan periode kritis. Perbaikan dilakukan melalui metode doubler bonding dan penggantian panel pada kerusakan berat. Rekomendasi

pengecangan berupa peningkatan inspeksi berbasis jam terbang dan penguatan prosedur perawatan. Penelitian ini berkontribusi terhadap peningkatan reliability struktur flap pada pesawat komersial.

Kata Kunci: Disbonding, Struktur komposit sandwich, Aft flap, Analisis keandalan, Boeing 737-800NG

PENDAHULUAN

Pemanfaatan material komposit dalam industri penerbangan telah mengalami peningkatan signifikan, didorong oleh kebutuhan akan struktur yang ringan namun memiliki kekuatan superior (Ahmad et al., 2021). Pada pesawat Boeing 737-800NG, aft flap dirancang dengan struktur komposit sandwich, yang mengintegrasikan facesheet dengan core honeycomb guna mencapai kekakuan optimal dan massa rendah (Qi, 2024). Flap ini esensial untuk mengatur camber sayap dan meningkatkan gaya angkat selama fase penerbangan kritis, sehingga integritas strukturalnya memegang peranan vital bagi keselamatan operasional (Karakalas et al., 2015).

Namun, material komposit memiliki modus kegagalan intrinsik, salah satunya adalah disbonding (Saseendran, 2017). Fenomena ini merujuk pada pemisahan facesheet dari core, yang diakibatkan oleh degradasi adhesi internal (Saiki & Gomes, 2024). Kerusakan semacam ini tidak hanya melemahkan kekuatan flap, tetapi juga dapat memodifikasi kontur permukaan, yang berpotensi mengganggu aliran udara, meningkatkan drag, dan mengurangi efisiensi gaya angkat (Alshaer & Harland, 2020).

Data operasional menunjukkan bahwa disbonding pada aft flap dapat terjadi bahkan sebelum komponen mencapai masa pakai yang diharapkan. Hal ini mengindikasikan bahwa penyebab kerusakan bersifat multifaktorial (Karimah et al., 2022), mencakup karakteristik material, kondisi lingkungan, beban aerodinamis, dan kualitas pemeliharaan (Muhajir & Hepiyanto, 2021). Oleh karena itu, investigasi komprehensif diperlukan untuk mengidentifikasi akar permasalahan dan merumuskan strategi pencegahan yang efektif (Mishnaevsky, 2022).

Fokus penelitian ini adalah menganalisis secara mendalam faktor-faktor penyebab disbonding pada aft flap pesawat Boeing 737-800NG, berdasarkan temuan inspeksi lapangan, data pemeliharaan, dan standar teknis yang relevan. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi rentang jam terbang di mana insiden disbonding paling sering terjadi (Karimah et al., 2022), guna menentukan periode kritis degradasi adhesi struktural.

Lebih lanjut, studi ini berupaya merumuskan langkah-langkah perbaikan serta strategi pencegahan yang sesuai dengan standar Aircraft Maintenance Manual dan Structural Repair Manual, untuk mitigasi kerusakan di masa mendatang (Anes et al., 2022). Permasalahan penelitian ini secara keseluruhan diarahkan untuk menjawab bagaimana kerusakan tersebut terjadi, kapan kerusakan muncul, dan bagaimana tindakan teknis paling efektif untuk mengatasinya (Wardani et al., 2020).

Struktur komposit sandwich terdiri dari facesheet berbasis serat dan core berbentuk honeycomb yang disatukan oleh material perekat (adhesive) (Tabrizi et al., 2021). Disbonding terjadi ketika adhesive kehilangan sifat adhesinya akibat fatigue loading, thermal cycling, moisture ingress, atau impact damage (Ganilova et al., 2020). Flap

beroperasi dalam lingkungan dengan beban aerodinamis tinggi dan berdekatan dengan aliran exhaust mesin, menjadikannya rentan terhadap perubahan suhu ekstrem dan vibrasi yang mempercepat degradasi adhesi (Li et al., 2016).

Secara aerodinamis, flap berfungsi meningkatkan camber sayap untuk menghasilkan gaya angkat tambahan (Garcia-Moreno et al., 2019). Perubahan bentuk flap akibat disbonding dapat mengganggu aliran laminar, menyebabkan peningkatan drag, dan bahkan mengurangi efisiensi gaya angkat (Haughn et al., 2024). Prosedur perbaikan struktur komposit mengacu pada AMM dan SRM, yang menetapkan batas toleransi kerusakan serta metode perbaikan, seperti doubler bonding (Tashi & Abedian, 2024).

Dalam konteks reliability engineering, parameter seperti *Unscheduled Component Removal Rate*, *Mean Time Between Unscheduled Removals*, dan *Pilot Report Rate* digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan kegagalan komponen (Zio et al., 2018). *Fishbone Diagram* juga dapat dimanfaatkan untuk menganalisis penyebab dan keterkaitan faktor-faktor material, manusia, metode, mesin, dan lingkungan terhadap terjadinya disbonding (Rahman et al., 2025).

Tujuan penelitian ini adalah untuk elucidasi mekanisme disbonding pada aft flap pesawat Boeing 737-800NG melalui analisis faktor penyebab berbasis data operasional, hasil inspeksi fisik, dan dokumentasi teknis pemeliharaan (Insley & Turkoglu, 2020). Lebih lanjut, penelitian ini bertujuan untuk menentukan rentang jam terbang kritis terjadinya kerusakan sebagai dasar pengaturan interval inspeksi preventif.

Studi ini juga mengagendakan penyusunan rekomendasi perbaikan yang konsisten dengan standar SRM, serta strategi pencegahan untuk meningkatkan reliability flap. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan program pemeliharaan komponen pesawat yang lebih efektif dan aman. Pendekatan ini sejalan dengan upaya berkelanjutan dalam meningkatkan keamanan penerbangan dan efisiensi operasional armada pesawat komersial, terutama dengan mempertimbangkan kompleksitas material komposit modern (D'Angelo & Rampone, 2014).

Oleh karena itu, investigasi mendalam terhadap kegagalan material komposit, khususnya disbonding pada struktur krusial seperti aft flap, menjadi esensial untuk memitigasi risiko kegagalan struktural dan memastikan keberlanjutan operasional pesawat (Karimah et al., 2022).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan *mixed-method*, mengintegrasikan analisis kualitatif dan kuantitatif, guna menghasilkan pemahaman komprehensif terkait etiologi, karakteristik, dan pola kerusakan disbonding pada komponen aft flap pesawat Boeing 737-800NG.

Pemilihan metode ini bertujuan untuk mengintegrasikan analisis teknis struktural dengan pola keandalan komponen yang teramati dalam kondisi operasional riil.

1. Desain Penelitian

Studi ini mengadopsi pendekatan deskriptif-analitis. Pendekatan ini bertujuan untuk mengelaborasi fenomena kerusakan dengan merujuk pada data empiris, standar teknis, dan hasil wawancara teknis. Selanjutnya, analisis dilakukan untuk mengidentifikasi akar penyebab serta merumuskan strategi perbaikan yang optimal. Secara lebih spesifik, komponen deskriptif dari pendekatan ini berfungsi untuk menguraikan karakteristik dan

tingkat kerusakan. Di sisi lain, komponen analitisnya berpusat pada evaluasi faktor-faktor penyebab melalui analisis akar masalah (root-cause analysis).

2. Sumber Data dan Teknik Pengumpulan Data

Penelitian menggabungkan tiga jenis sumber data, yaitu:

a. Data Primer

Data primer dikumpulkan melalui:

- Dilakukan observasi langsung terhadap komponen aft flap pesawat Boeing 737-800NG yang mengalami disbonding dalam konteks operasional komersial. Observasi ini meliputi pemeriksaan visual, tap-test, serta dokumentasi luas area kerusakan, tingkat keparahan, dan indikasi retakan struktural. Informasi ini selanjutnya diperkuat dengan wawancara mendalam bersama teknisi perawatan pesawat dan insinyur struktur untuk memperoleh perspektif praktis mengenai riwayat perawatan dan kejadian disbonding (Baskoro et al., 2025).
- Wawancara terstruktur dilaksanakan dengan teknisi line maintenance, engineer reliability, dan inspektur. Topik wawancara meliputi riwayat kerusakan, pola operasional, prosedur inspeksi, dan faktor lingkungan yang relevan.
- Dokumentasi perawatan, seperti logbook, Pilot Report, dan Work Orders yang berkaitan dengan flap, juga digunakan sebagai sumber data.

b. Data Sekunder

Data sekunder bersumber dari:

- Aircraft Maintenance Manual (AMM) Chapter 27–51 (Flight Controls & Composite Repair)
- Structure Repair Manual (SRM) Chapter 57 (Wings and Control Surfaces)
- Reliability & engineering reports dari maskapai
- Literatur ilmiah terkait komposit, fatigue, dan failure analysis

c. Data Keandalan Komponen

Data ini mencakup:

- *Unscheduled Component Removal Rate* (UCRR) untuk mengetahui frekuensi penggantian flap tanpa jadwal
 - *Mean Time Between Unscheduled Component Removal* (MTBUCR)
 - Pilot Report Rate yang menunjukkan seberapa sering flap dilaporkan bermasalah oleh pilot
 - *Time Since New* (TSN) dan flight hours komponen flap saat terjadi disbonding
- Data keandalan ini digunakan untuk menentukan periode kritis kerusakan.

3. Teknik Analisis Data

a. Analisis Kualitatif – Fishbone Diagram

Pemanfaatan Diagram Fishbone merupakan pendekatan fundamental untuk mengidentifikasi akar penyebab kerusakan. Analisis komprehensif ini dikaji melalui enam kategori utama:

1. Material – degradasi adhesive, fatigue komposit, kerusakan struktur core/facesheet
2. Metode – ketidaksesuaian prosedur perawatan, inspeksi yang tidak konsisten
3. Manusia (Human Factor) – kurangnya kompetensi perawatan, kesalahan prosedural
4. Lingkungan – kelembaban tinggi, temperatur ekstrem, debris runway
5. Mesin/Peralatan – paparan engine exhaust, getaran aktuator flap
6. Proses Operasional – frekuensi take-off/landing, ground handling

Penggunaan diagram ini memungkinkan analisis komprehensif yang menghubungkan faktor teknis dan manusia secara bersamaan.

b. Analisis Kuantitatif – Keandalan Komponen

Pendekatan kuantitatif diterapkan untuk menganalisis tren kerusakan, dengan mempertimbangkan interval temporal dan akumulasi jam operasional.

Langkah-langkahnya mencakup:

1. Mengumpulkan data jam terbang komponen flap yang mengalami disbonding.
2. Menghitung nilai UCRR menggunakan rumus:

$$UCRR = \frac{\text{Jumlah Unscheduled Removals}}{\text{Total Flight Hours}} \times 1000 \quad (1)$$

3. Mengidentifikasi rentang jam terbang terbanyak saat kerusakan terjadi.
4. Membandingkan dengan nilai MTBUCR untuk melihat kecenderungan penurunan keandalan.
5. Menentukan jam terbang kritis yang digunakan sebagai acuan interval inspeksi.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kerusakan didominasi pada rentang 1.000–1.700 jam terbang.

4. Prosedur Analisis Observasi Kerusakan

Analisis lapangan terhadap komponen meliputi:

- Identifikasi pola kerusakan (full-surface disbonding, localized disbonding, cracking)
- Mengukur luas area kerusakan berdasarkan standar SRM
- Menilai tingkat keparahan kerusakan (minor, major, beyond allowable limit)
- Membandingkan kondisi kerusakan dengan batas toleransi SRM
- Menentukan apakah perbaikan dapat dilakukan melalui *doubler bonding* atau memerlukan *panel replacement*

Proses ini mengikuti standar inspeksi komposit yang direkomendasikan oleh Boeing dan FAA AC 43.13-1B.

5. Validasi Data

Untuk menjamin validitas hasil penelitian, dilakukan triangulasi:

- Triangulasi Sumber: membandingkan hasil wawancara, observasi, dan dokumen laporan teknis
- Triangulasi Metode: membandingkan analisis visual dengan data keandalan
- Triangulasi Waktu: validasi data dari tahun 2021–2024
- Validasi diperlukan agar hasil penelitian tidak bias terhadap kondisi pesawat tertentu.

6. Batasan Penelitian

- Data kerusakan flap hanya mencakup pesawat dalam satu operator.
- Analisis tidak mencakup pemeriksaan laboratorium terhadap spesimen komposit.
- Gambar kerusakan diabaikan sesuai arahan penulisan.
- Variasi lingkungan operasi antar bandara tidak dianalisis secara rinci.

Kendati demikian, hasil penelitian tetap representatif untuk operasi pesawat di wilayah tropis.

7. Alur Penelitian

Alur pelaksanaan penelitian dapat diringkas sebagai berikut:

- (1) Pengumpulan data kerusakan
- (2) Observasi dan wawancara
- (3) Analisis Fishbone
- (4) Analisis keandalan
- (5) Evaluasi SRM
- (6) Penyusunan rekomendasi perbaikan dan pencegahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Kerusakan Disbonding

Kerusakan yang teridentifikasi terdiri dari dua tipe utama: local disbonding dan full-surface disbonding. Local disbonding dicirikan oleh area terbatas dengan retakan atau deformasi ringan, sementara full-surface disbonding terjadi ketika facesheet terlepas secara luas, sehingga mengubah kontur flap. Tipe full-surface disbonding ini menimbulkan dampak struktural dan aerodinamis yang lebih signifikan karena dapat menyebabkan deformasi permanen pada permukaan flap.

Penyebab Kerusakan Berdasarkan Fishbone Diagram

Analisis menunjukkan bahwa disbonding disebabkan oleh kombinasi faktor:

- Material: degradasi resin, moisture ingress, dan fatigue.
- Lingkungan: paparan panas exhaust dan kelembaban tinggi.
- Mesin: vibrasi berkepanjangan selama operasi.
- Metode Kerja: kesalahan prosedur inspeksi atau bonding.
- Manusia: kelalaian atau ketidaktepatan teknisi.

Secara komprehensif, faktor-faktor lingkungan dan material teridentifikasi sebagai kontributor utama kerusakan, terutama disebabkan oleh siklus termal yang mengakselerasi degradasi kekuatan adhesi.

Rentang Jam Terbang Kritis

Analisis data mengungkapkan terjadinya delapan insiden disbonding dalam rentang jam terbang 986–1.688. Peningkatan signifikan dalam Unscheduled Component Removal Rate diamati setelah komponen melampaui 1.000 jam operasional, sehingga rentang 1.000–1.700 jam terbang dapat diidentifikasi sebagai fase kritis awal. Implikasi dari temuan ini adalah kebutuhan akan jadwal inspeksi yang lebih intensif selama periode operasional tersebut.

Prosedur Perbaikan

Perbaikan kerusakan mengacu pada SRM, dengan metode utama doubler bonding. Proses ini meliputi pengikisan area rusak, penyiapan permukaan, aplikasi adhesive, pemasangan lapisan penguat, dan proses curing. Untuk kerusakan yang lebih luas, penggantian panel secara keseluruhan mungkin diperlukan. Setiap perbaikan disertai dengan pengujian adhesi pasca-curing untuk memastikan kekuatan optimal.

Strategi Pencegahan

Strategi pencegahan mencakup inspeksi berdasarkan jam operasional, peningkatan kualitas pengujian tak rusak, aplikasi sealant guna mitigasi intrusi kelembaban, pemantauan ketat area flap terhadap pajanan gas buang, serta peningkatan kompetensi teknisi dalam perawatan material komposit. Selain itu, implementasi program keandalan berbasis data historis sangat krusial untuk mempercepat deteksi anomali.

SIMPULAN DAN SARAN

Disbonding pada aft flap Boeing 737-800NG merupakan bentuk kerusakan struktural signifikan yang diakibatkan oleh konvergensi beberapa faktor, meliputi karakteristik material, tekanan lingkungan, beban aerodinamis, dan kesalahan manusia. Kerusakan ini cenderung termanifestasi dalam rentang jam terbang kritis antara 1.000

hingga 1.700 jam, sehingga menekankan pentingnya inspeksi terjadwal secara ketat dalam interval tersebut.

Tindakan perbaikan dapat dilakukan melalui doubler bonding untuk kasus kerusakan ringan hingga sedang, sementara penggantian panel secara keseluruhan diperlukan untuk kerusakan yang lebih parah. Strategi pencegahan mengarahkan peningkatan protokol inspeksi, penyempurnaan prosedur perawatan, serta pengendalian faktor lingkungan yang berkontribusi. Penelitian ini menyediakan dasar teknis untuk meningkatkan keandalan flap dan efektivitas operasional pemeliharaan pesawat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F., Abbassi, F., Ul-Islam, M., Jacquemin, F., & Hong, J. (2021). Enhanced impact-resistance of aeronautical quasi-isotropic composite plates through diffused water molecules in epoxy. *Scientific Reports*, *11*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81443-w>
- Alshaer, A. W., & Harland, D. J. (2020). An investigation of the strength and stiffness of weight-saving sandwich beams with CFRP face sheets and seven 3D printed cores. *Composite Structures*, *257*, 113391. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113391>
- Anes, V., Morgado, T., Abreu, A., Calado, J. M. F., & Reis, L. (2022). Updating the FMEA Approach with Mitigation Assessment Capabilities—A Case Study of Aircraft Maintenance Repairs. *Applied Sciences*, *12*(22), 11407. <https://doi.org/10.3390/app122211407>
- Baskoro, D. A., Poluan, N. A. E., & Nasir, M. (2025). Dinamika penggunaan teknologi dalam pembelajaran pasca pandemi: Perspektif mahasiswa dan dosen. *Cyberspace Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, *9*(1), 101. <https://doi.org/10.22373/cj.v9i1.28908>
- D'Angelo, G., & Rampone, S. (2014). *Diagnosis of aerospace structure defects by a HPC implemented soft computing algorithm*. <https://doi.org/10.1109/metroaerospace.2014.6865959>
- Ganilova, O. A., Cartmell, M. P., & Kiley, A. (2020). Experimental investigation of the thermoelastic performance of an aerospace aluminium honeycomb composite panel. *Composite Structures*, *257*, 113159. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113159>
- Garcia-Moreno, I., Caminero, M. A., Rodriguez, G. P., & Lopez, J. J. (2019). Effect of Thermal Ageing on the Impact and Flexural Damage Behaviour of Carbon Fibre-Reinforced Epoxy Laminates. *Polymers*, *11*(1), 80. <https://doi.org/10.3390/polym11010080>
- Haughn, K., Auletta, J. T., Hrynuik, J. T., & Henry, T. (2024). Active adhesion improves adaptive flight for feathered wings. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5167087/v1>
- Insley, J., & Turkoglu, C. (2020). A Contemporary Analysis of Aircraft Maintenance-Related Accidents and Serious Incidents. *Aerospace*, *7*(6), 81. <https://doi.org/10.3390/aerospace7060081>
- Karakalas, A. A., Machairas, T., & Saravanos, D. A. (2015). *New morphing blade section designs and structural solutions for smart blades*.
- Karimah, A. L., Mawarda, M. I., Pauru', W., Ramadhan, Y., & Amalia, Y. (2022). Analisis Kegagalan Material Pada Sayap Pesawat Terbang (Review). *Jumantara Jurnal Manajemen Dan Teknologi Rekayasa*, *1*(1), 26. <https://doi.org/10.28989/jumantara.v1i1.1266>

- Li, W., Xu, C., & Cho, Y. (2016). Characterization of Degradation Progressive in Composite Laminates Subjected to Thermal Fatigue and Moisture Diffusion by Lamb Waves. *Sensors*, 16(2), 260. <https://doi.org/10.3390/s16020260>
- Mishnaevsky, L. (2022). Root Causes and Mechanisms of Failure of Wind Turbine Blades: Overview. *Materials*, 15(9), 2959. <https://doi.org/10.3390/ma15092959>
- Muhajir, K., & Hepiyanto, R. (2021). Evaluasi Tingkat Kerusakan Jalan Sebagai Dasar Penentuan Perbaikan Jalan. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 5(1), 46. <https://doi.org/10.31289/jcebt.v5i1.4134>
- Qi, J. (2024). Composite Materials in Advancing Electric Aircraft Technologies. *E3S Web of Conferences*, 553, 2018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202455302018>
- Rahman, F., Herlina, F., Maulana, Y., Trianiza, I., & Arief, S. (2025). Crawler Crane Failure Cause Analysis Using Fishbone Diagram, Pareto Principle, and Failure Mode Effect Analysis. *Journal of Innovation and Technology*. <https://doi.org/10.61453/joit.v2025no04>
- Saiki, L. E. de C., & Gomes, G. F. (2024). Understanding and mitigating delamination in composite materials: A comprehensive review. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. <https://doi.org/10.1080/15376494.2024.2333490>
- Saseendran, V. (2017). *Fracture Characterization and Analysis of Debonded Sandwich Composites*.
- Tabrizi, I. E., Oz, F. E., Zanjani, J. S. M., Mandal, S. K., & Yildiz, M. (2021). Failure sequence determination in sandwich structures using concurrent acoustic emission monitoring and postmortem thermography. *Mechanics of Materials*, 164, 104113. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2021.104113>
- Tashi, S., & Abedian, A. (2024). Repair-Based Design of Composite Structures: Scarf Repair. *Scientia Iranica*. <https://doi.org/10.24200/sci.2024.63573.8471>
- Wardani, A., Kristiawan, A., & Samsudin, N. (2020). Analisis Kerusakan Jalan Akibat Volume Kendaraan. *Jurnal Teknik Sipil Giratory Upgris*, 1(1), 49. <https://doi.org/10.26877/giratory.v1i1.7907>
- Zio, E., Fan, M., Zeng, Z., & Kang, R. (2018). Application of reliability technologies in civil aviation: Lessons learnt and perspectives. *Chinese Journal of Aeronautics*, 32(1), 143. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2018.05.014>