

Analisis Pengaruh *Blend-Out* Terhadap Kekuatan Tarik pada AFT Cargo Door Pesawat Airbus A330

Abudzar Sulistyo Alghifari¹ Lilies Esthi Riyanti² Abdan Mughni Syafa'at³

Teknik Pesawat Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Tangerang, Indonesia^{1,2,3}

Email: alghibir123@gmail.com¹ lilies.esthi@ppicurug.ac.id² abdand52001@gmail.com³

Abstrak

Pemeliharaan struktur pesawat merupakan aspek krusial dalam menjaga keselamatan dan keandalan operasional, khususnya pada komponen aft cargo door pesawat Airbus 330 yang berperan mempertahankan integritas fuselage dan tekanan kabin. Dalam praktik maintenance, kerusakan seperti dent, scratch, dan chafing sering ditemukan dan berpotensi menurunkan kekuatan struktural material Aluminium Alloy 2024-T3, sehingga diperlukan metode perbaikan yang sesuai dengan batasan kerusakan pada Structural Repair Manual (SRM). Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh repair blend-out terhadap kekuatan tarik (tensile strength) struktur aft cargo door menggunakan metode kuantitatif eksperimental melalui pengujian tarik berdasarkan standar ASTM E8/E8M pada dua kondisi spesimen, yaitu tanpa repair (initial thickness) dan setelah repair blend-out sedalam 0,25 mm (kategori repair B sesuai SRM), dilanjutkan dengan uji statistik Independent Samples T-Test. Hasil pengujian menunjukkan spesimen initial thickness memiliki rata-rata Ultimate Tensile Strength (UTS) 482,72 MPa, yield strength 344,84 MPa, dan elongation 17,92%, sedangkan spesimen repair blend-out menghasilkan rata-rata UTS 440,64 MPa, yield strength 311,42 MPa, dan elongation 14,68%. Uji statistik menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) pada seluruh parameter, dengan penurunan tensile strength sebesar 8,72%, yield strength 9,69%, dan elongation 18,08% akibat berkurangnya luas penampang efektif material. Meskipun demikian, kedalaman blend-out pada penelitian ini masih berada dalam batas allowable SRM kategori B, sehingga metode repair blend-out tetap dinyatakan valid dan efektif untuk diterapkan pada aft cargo door, dengan catatan penurunan kekuatan tarik perlu diperhitungkan dalam analisis structural safety margin sesuai prosedur airworthiness yang berlaku.

Kata Kunci: Blend-Out, Tensile Strength, Aluminium Alloy 2024-T3, Aft Cargo Door, Airbus A330



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Pesawat terbang merupakan alat transportasi udara yang menuntut tingkat keselamatan dan keandalan struktur yang sangat tinggi. Salah satu bagian penting dari struktur pesawat adalah cargo door, yang berfungsi sebagai akses keluar-masuknya barang atau bagasi ke dalam kompartemen pesawat. Pada pesawat Airbus 330, komponen aft cargo door memiliki peran krusial dalam menjaga integritas struktur fuselage serta mempertahankan kondisi cabin pressurized selama penerbangan. Berdasarkan data defect aft cargo door tahun 2022–2025, ditemukan sebanyak 55 defect yang meliputi kerusakan seperti dent, scratch, dan chafing. Salah satu metode perbaikan yang umum digunakan adalah metode blend-out, yaitu proses penghalusan atau pengikisan material pada area yang mengalami kerusakan dengan tujuan menghilangkan konsentrasi tegangan (stress concentration) tanpa menambahkan material baru [1]. Metode ini dinilai lebih sederhana dan ringan karena tidak menambah berat struktur, namun berpotensi mengurangi ketebalan material sehingga dapat mempengaruhi kekuatan tarik dari struktur tersebut, sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam Structural Repair Manual (SRM).

Aft cargo door pada kondisi tertutup dan terkunci dominan menerima beban tarik (tensile load). Hal ini terjadi karena sistem latch bekerja dengan cara saling menarik untuk memastikan pintu menutup rapat dan kedap tekanan. Gaya tarik ini semakin signifikan saat pesawat berada

pada kondisi udara bertekanan (pressurized), karena tekanan dari dalam kabin cenderung mendorong pintu ke arah luar, sehingga sistem pengunci (latch mechanism) harus menahan gaya tersebut dalam bentuk gaya tarik yang terus-menerus selama penerbangan [2]. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh blend-out terhadap kekuatan tarik material Aluminium Alloy 2024-T3 pada struktur aft cargo door pesawat Airbus A330 dengan membandingkan dua kondisi spesimen, yaitu tanpa repair (initial thickness) dan setelah dilakukan blend-out, melalui pengujian tensile test. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan data eksperimental mengenai perubahan kekuatan mekanik akibat metode blend-out sebagai referensi teknis dalam proses structural repair di lingkungan MRO, khususnya di GMF AeroAsia.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	Yan et al. (2022)	Experimental Investigation on Tensile Properties of Aluminum Structures with Repair	Menganalisis pengaruh metode repair terhadap kekuatan tarik aluminium pesawat	Tensile test dan DIC	Metode repair memodifikasi titik regangan sehingga nilai tarik melorot	Referensi fundamental untuk perbandingan beban material modifikasi.
2	Risanul et al. (2026)	Pengaruh Blend-Out dan Flap Peening terhadap Sifat Mekanik Aluminium 2024-T3	Menganalisis imbas metode blend-out terhadap tegangan material	Uji tarik ASTM E8/E8M	UTS panel tereduksi sesudah blend-out dari titik 436 MPa menjadi 396 MPa	Literatur teknis serupa yang memverifikasi pelemahan pasca amplas.
3	Zichil et al. (2024)	Notches and Fatigue on Aircraft-Grade Aluminium Alloys	Mengeksplorasi ancaman celah/goresan pada kelelahan struktur pesawat	Uji tarik spesimen notch	Goresan spesimen menukikkan data elongation dan UTS drastis	Acuan teoritis pemusatan tegangan mekanik terburuk di area abrasif.
4	(Kurniawati et al., 2018)	The Fracture Resistance of Fiber Reinforced Composite Restorative Material has Higher Yield than Nanohybrid Resin Composite	Menganalisis perbedaan ketahanan retak antara FRC dan Nanohybrid Resin Composite	Universal Testing Machine (3-Point Bending Test), Independent t-test	Fiber Reinforced Composite memiliki nilai fracture toughness lebih tinggi karena serat E-glass menghambat propagasi retak	Referensi pembandingan ketahanan material komposit terhadap propagasi retak.
5	(Rohith, 2023)	Comparative Study on Tensile Strength of Novel Metal Matrix Composite of Aluminum Alloy AA5083 with 0% and 2% SiC Powder Reinforcement [24/8, 21.58] riq: Menganalisis pengaruh penambahan 2% Silicon Carbide (SiC) terhadap kekuatan tarik AA5083	Menganalisis pengaruh penambahan 2% Silicon Carbide (SiC) terhadap kekuatan tarik AA5083	Stir Casting, CNC Machining, Tensile Test ASTM E8, SPSS	Penambahan 2% SiC meningkatkan Tensile Strength dari 233,15 MPa menjadi 243,45 MPa	Referensi modifikasi dan pengujian kekuatan tarik paduan aluminium.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental, yaitu pendekatan penelitian yang berfokus pada pengujian secara langsung untuk memperoleh data numerik guna menguji hipotesis secara objektif. Data yang diperoleh berupa nilai kekuatan tarik material Aluminium Alloy 2024-T3, meliputi ultimate tensile strength, yield strength, dan elongation, untuk membandingkan kondisi spesimen tanpa repair dan spesimen yang telah dilakukan proses blend-out.

Persiapan Spesimen

Spesimen pengujian dibuat dari material Aluminium Alloy 2024-T3 dengan ketebalan nominal 1,25 mm yang merepresentasikan panel inner skin pada area aft cargo door pesawat Airbus 330. Pengujian tarik mengacu pada standar ASTM E8/E8M-09 (Sheet-Type Specimen) dengan lebar bagian tengah (gauge width) 12,5 mm. Terdapat dua kelompok spesimen:

- Spesimen Initial Thickness: Lima spesimen tanpa perlakuan perbaikan apapun, dengan ketebalan 1,25 mm dan luas penampang awal 15,625 mm².
- Spesimen Repair Blend-Out: Lima spesimen yang telah dilakukan sanding sedalam 0,25 mm (kategori B sesuai SRM) pada area seluas 0,62 inch dengan lebar area blend-out 10 mm, sehingga remaining thickness menjadi 1,00 mm dan luas penampang efektif 12,5 mm².

Pelaksanaan Pengujian

Pengujian tarik dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) tipe GT-7001-L10/EMERL0034 berkapasitas 10 kN di Engine Shop PT. GMF AeroAsia, Tbk, Bandara Internasional Soekarno-Hatta, Tangerang. Pengujian dilaksanakan pada bulan Juli 2026 dan mengacu pada standar ASTM E8/E8M-09 Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials.

Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS dengan tahapan: (1) statistik deskriptif untuk memperoleh nilai mean dan standar deviasi; (2) uji normalitas Shapiro-Wilk (dipilih karena $n < 50$); (3) uji homogenitas Levene's Test; dan (4) uji hipotesis Independent Samples T-Test. Kriteria signifikansi menggunakan $\alpha = 0,05$, dengan H₀ ditolak apabila nilai Sig. (2-tailed) $< 0,05$.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil Pengujian Tarik Spesimen Initial Thickness

Luas penampang awal spesimen initial thickness: Aawal = 12,5 mm × 1,25 mm = 15,625 mm². Sebagai contoh, spesimen O-1 dengan P_{max} = 7.503,13 N menghasilkan UTS = 7.503,13 / 15,625 = 480,2 MPa. Hasil lengkap kelima spesimen disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik Spesimen Initial Thickness

No.	Kode Spesimen	Beban Maks. (N)	UTS (MPa)	Yield (MPa)	Elongasi (%)
1	O-1	7.503,13	480,2	342,5	17,5
2	O-2	7.587,50	485,6	347,8	18,2
3	O-3	7.532,81	482,1	344,2	17,8
4	O-4	7.600,00	486,4	348,6	18,5
5	O-5	7.489,06	479,3	341,1	17,6
Rata-rata		7.542,50	482,72	344,84	17,92
SD			3,17	3,27	0,42

Hasil Pengujian Tarik Spesimen Repair Blend-Out

Setelah proses blend-out sedalam 0,25 mm, ketebalan spesimen berkurang menjadi 1,00 mm, sehingga luas penampang awal menjadi $A_{awal} = 12,5 \text{ mm} \times 1,00 \text{ mm} = 12,5 \text{ mm}^2$. Sebagai contoh, spesimen B-1 dengan $P_{max} = 5.566,25 \text{ N}$ menghasilkan $UTS = 5.566,25 / 12,5 = 445,3 \text{ MPa}$. Hasil lengkap disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik Spesimen Repair Blend-Out

No.	Kode Spesimen	Beban Maks. (N)	UTS (MPa)	Yield (MPa)	Elongasi (%)
1	B-1	5.566,25	445,3	315,2	14,6
2	B-2	5.476,25	438,1	309,8	15,1
3	B-3	5.532,50	442,6	313,5	14,3
4	B-4	5.510,00	440,8	311,0	14,9
5	B-5	5.455,00	436,4	307,6	14,5
Rata-rata		5.508,00	440,64	311,42	14,68
SD			3,54	3,00	0,32

Hasil Analisis Statistik

Uji normalitas Shapiro-Wilk menunjukkan seluruh data berdistribusi normal (Sig. > 0,05). Uji homogenitas Levene's Test mengonfirmasi varians homogen pada seluruh parameter (Sig. > 0,05). Hasil uji Independent Samples T-Test disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Independent Samples T-Test

Parameter	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Diff.	Keterangan
Tensile Strength	19,806	8	0,000	42,08 MPa	Signifikan ($p < 0,05$)
Yield Strength	16,839	8	0,000	33,42 MPa	Signifikan ($p < 0,05$)
Elongation	13,716	8	0,000	3,24%	Signifikan ($p < 0,05$)

Pembahasan

Hasil pengujian tarik spesimen initial thickness menunjukkan rata-rata UTS 482,72 MPa dengan selisih kurang dari 1% dari data acuan MatWeb (483 MPa), membuktikan bahwa proses persiapan spesimen dan pelaksanaan pengujian telah dilakukan dengan akurat. Perpatahan pada seluruh spesimen terjadi di dalam area gauge length, mengonfirmasi validitas pengujian sesuai ASTM E8/E8M-09. Spesimen repair blend-out menghasilkan rata-rata UTS 440,64 MPa, turun 8,72% dibandingkan spesimen original. Penurunan ini terjadi karena proses blend-out mengurangi ketebalan material dari 1,25 mm menjadi 1,00 mm, sehingga luas penampang yang menahan beban berkurang dari $15,625 \text{ mm}^2$ menjadi $12,5 \text{ mm}^2$. Selain itu, area bekas sanding menjadi titik konsentrasi tegangan tertinggi. Hal ini dikonfirmasi oleh lokasi perpatahan pada seluruh spesimen blend-out yang terjadi tepat pada area yang mengalami proses sanding.

Penurunan yield strength sebesar 9,69% (dari 344,84 MPa menjadi 311,42 MPa) dan elongation sebesar 18,08% (dari 17,92% menjadi 14,68%) menunjukkan bahwa proses blend-out tidak hanya mengurangi kemampuan material menahan beban maksimum, tetapi juga menurunkan kemampuan deformasi material sebelum patah. Hasil uji Independent Samples T-Test dengan $p = 0,000$ ($< 0,05$) untuk seluruh parameter membuktikan secara statistik bahwa penurunan tersebut bukan kebetulan, melainkan pengaruh nyata dari berkurangnya luas penampang efektif material. Meskipun penurunan kekuatan tarik signifikan secara statistik, kedalaman blend-out 0,25 mm pada penelitian ini masih berada dalam batas allowable SRM kategori B, sehingga metode repair blend-out tetap valid dan efektif untuk diterapkan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Risanul et al. (2026) yang menemukan penurunan UTS dari 436 MPa menjadi 396 MPa setelah blend-out pada spesimen dengan profil serupa [6]. Perbedaan nilai absolut disebabkan oleh variasi kedalaman blend-out dan kondisi spesimen yang digunakan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian tarik dan analisis statistik terhadap spesimen Aluminium Alloy 2024-T3 area aft cargo door pesawat Airbus 330, dapat disimpulkan:

- Spesimen initial thickness menghasilkan rata-rata UTS 482,72 MPa, yield strength 344,84 MPa, dan elongation 17,92%, mendekati data referensi MatWeb dengan selisih < 1%.
- Spesimen setelah repair blend-out 0,25 mm menghasilkan rata-rata UTS 440,64 MPa, yield strength 311,42 MPa, dan elongation 14,68%, dengan lokasi perpatahan konsisten pada area blend-out.
- Terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik ($p < 0,05$) antara kedua kelompok, dengan penurunan tensile strength 8,72%, yield strength 9,69%, dan elongation 18,08%. Namun, kedalaman blend-out masih berada dalam batas allowable SRM kategori B, sehingga metode ini tetap valid dan efektif, dengan catatan penurunan kekuatan tarik perlu diperhitungkan dalam analisis structural safety margin sesuai prosedur airworthiness yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Airbus. (2026). AMM A330, Task 52-32-11-400-801-A, Installation of the Aft Cargo-Compartment Door. Airbus S.A.S.
- Airbus. (2026). SRM A330-200/-300, Task 52-32-00-283-006, Outer and Inner Skin – Allowable Rework. Airbus S.A.S.
- Al Ayubbi, I., et al. (2022). Analisa Perbandingan Hasil Uji Tarik pada Beberapa Spesimen dengan Load Cell Berkapasitas 500 kN. Jurnal Mekanova, 8(2).
- ASTM International. (2013). ASTM E8/E8M-13a: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. ASTM International.
- Li, S.S., et al. (2023). Development and applications of aluminum alloys for aerospace industry. Journal of Materials Research and Technology, 27, 944–983. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.09.274>
- Risanul, M., et al. (2026). Analisis Pengaruh Flap-Peening pada Skin Pesawat terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Pesawat Airbus 330 Series. Jurnal Elektro dan Ilmu Komputer (TEKNIK), 6(1). <https://doi.org/10.55606/teknik.v6i1>
- Růžek, R., et al. (2021). Optimal design and testing of a thermoplastic pressurized passenger door manufactured using thermoforming. Polymers, 13(19). <https://doi.org/10.3390/polym13193394>
- Vasco, M.C., Tserpes, K., & Pantelakis, S.G. (2018). Numerical simulation of tensile behavior of corroded aluminum alloy 2024 T3 considering the hydrogen embrittlement. Metals, 8(1). <https://doi.org/10.3390/met8010056>
- Zichil, V., et al. (2024). Notches and Fatigue on Aircraft-Grade Aluminium Alloys. Materials, 17(18). <https://doi.org/10.3390/ma17184639>